



AVRUPA KOMİSYONU

Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol

# Büyük Yakma Tesisleri

için

Mevcut En İyi Teknikler'e yönelik

Başvuru Belgesi

Temmuz 2006

Bu, aşağıda öngörülen bir dizi belgeden sadece biridir (belgelerin tümü için yazılma sırasında taslak oluşturulmamıştır):

Mevcut En İyi Teknikler için Başvuru Belgesi...	Kodu
Büyük Yakma Tesisleri	LCP
Mineral Yağ ve Gaz Rafinerileri	REF
Demir ve Çelik Üretimi	I&S
Demir İhtiva Eden Maden İşleme Sanayi	FMP
Demir İhtiva Etmeyen Maden Sanayileri	NFM
Demir ve Döküm Sanayi	SF
Metal ve Plastik Yüzey İşlemler	STM
Çimento ve Kireç İmalat Sanayileri	CL
Cam İmalat Sanayi	GLS
Seramik İmalat Sanayi	CER
Büyük Hacimli Organik Kimya Sanayi	LVOC
Organik Hassas Kimyasallar İmalatı	OFC
Polimer Üretimi	POL
Klor- Alkali İmalat Sanayi	CAK
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Amonyak, Asit ve Gübre Sanayileri	LVIC-AAF
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Toprak Sanayi ve diğerleri	LVIC-S
Özel İnorganik Kimyasallar Üretimi	SIC
Kimyasal Sektöründe Genel Atık Su ve Atık Gaz Arıtım/İdare Sistemleri	CWW
Atık Arıtma Sanayileri	WT
Saman Yakma	WI
Madencilik Faaliyetlerinde Tortu ve Atık İdaresi	MTWR
Selüloz ve Kağıt Sanayi	PP
Dokuma Sanayi	TXT
Sepi ve Dericilik	TAN
Mezbaha ve Hayvan Yan Ürünleri Sanayi	SA
Yiyecek, İçecek ve Süt Sanayileri	FDM
Yoğun Kümes Hayvanı ve Domuz Yetiştiriciliği	ILF
Organik Çözücü Kullanarak Yüzey İşleme	STS
Endüstriyel Soğutma Sistemleri	CV
Depo Emisyonu	ESB
Başvuru belgesi...	
İzleme Genel İlkeleri	MON
Ekonomi ve Çapraz Medya Etkileri	ECM
Enerji Verimliliği Teknikleri	ENE

## İDARİ ÖZET

‘Büyük Yakma Tesisleri’ adlı MET (Mevcut En İyi Teknikler) Başvuru Belgesi (BREF) Konsey Direktifi 96/61/EC (IPPC Direktifi)’nin 16(2). Maddesi kapsamında yürütülen bilgi değişimini yansıtır. Bu İdari Özet temel bulguları, başlıca MET kararları ve ilgili emisyon düzeylerini açıklar. Bağımsız bir belge olarak okunup anlaşılabilir ancak özet olarak tam BREF metninin tüm karmaşıklıklarını (örneğin; MET bölümlerinin tam ayrıntıları). Bu nedenle MET karar verme sürecinde bir araç olarak tam BREF metnine ikame olacak şekilde düşünülmemiş olup bu özeti ön söz ve MET bölümlerinin giriş bölümü ile birlikte okunması şiddetle tavsiye edilir.

Üye Ülkelerden gelen 60’ı aşkın uzman, sanayi ve çevre ile ilgili Sivil Toplum Kuruluşları bu bilgi alışverişine iştirak etmiştir.

### Kapsam

Bu BREF genel anlamda 50 MW’yi aşan nominal termal girişli yakma tesislerini ele alır. Bu ise güç üretim sanayi ile ‘konvansiyonel’ (piyasada mevcut ve belirli) yakıtların kullanıldığı ve de yakma ünitelerinin diğer bir sektör BREF’i kapsamında olmadığı sanayileri içine alır. Kömür, linyit, biyomas, turba, likit ve gaz yakıtlar (hidrojen ve biyogaz dahil) konvansiyonel yakıtlar kabul edilir. Saman yakma kapsama dahil değildir ancak büyük yakma tesislerinde atık ve yeniden kazanılan yakıtların birlikte yakılmasına değinilmiştir. BREF sadece yakma ünitesini değil aynı zamanda yakma prosesi ile doğrudan ilişkili olan upstream ve downstream faaliyetlerini de kapsar. Piyasada belirlenmiş yakıt olarak satılmayan yakıt veya yakıtlar olarak süreçle ilgili artık veya yan ürünleri kullanan yakma tesisleri ile özel üretim sürecinin bütünsel bir parçası olan yakma süreçleri bu BREF kapsamına alınmamıştır.

### Sunulan Bilgiler

Üye Ülkeler, sanayi, operatör ve yetkililer ile birlikte ekipman tedarikçileri ve çevre ile ilgili Sivil Toplum Kuruluşlarından edinilen çok sayıda belge, rapor ve bilgiler belgenin taslağını oluşturma sürecinde kullanılmıştır. Bilgiler ayrıca farklı Üye Avrupa Ülkelerine yapılan saha ziyaretleri sırasında ve teknoloji seçimi ile indirgeme tekniklerinin uygulanmasına ilişkin deneyimler üzerine kişisel iletişimlerle de edinilmiştir.

### Belgenin Yapısı

Avrupa’da elektrik (güç) ve/veya ısı üretimi muhtelif bir sektördür. Enerji üretimi genelde toplu halleri katı, sıvı veya gazlı yakıtlar olarak sınıflara ayrılabilen çeşitli yakıtlara dayanır. Bu nedenle bu belge dikey olarak her yakıt için ayrı olacak şekilde ancak üç giriş bölümünde birlikte açıklanan genel durum ve teknikler ile birlikte yazılmıştır.

### Avrupa Enerji Sanayi

Avrupa Birliği’nde tüm enerji kaynağı türleri elektrik ve termal güç üretimi için kullanılır. Kömür, linyit, biyomas, turba, petrol ve doğal gazın yerel ve ulusal bazda bulunabilirliği gibi ulusal yakıt kaynakları her AB Üye Ülkesinde enerji için kullanılan yakıt seçimini büyük ölçüde etkiler. 1990 yılından bu yana fosil yakıt enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarı %16 oranında artmış ve talep ise yaklaşık %14 oranında yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından (su enerjisi ve biyomas da dahil) üretilen elektrik enerjisi miktarı yaklaşık %20 oranında vasatın üzerinde bir artışı ortaya koymaktadır.

Yakma tesisleri endüstriyel imalat işlemlerine güç (örneğin elektrik, mekanik güç şeklinde), buhar veya ısı sağlayan endüstriyel yakma tesisleri yada kamu fabrikaları olarak enerji talep ve gereksinimine göre işletilirler.

### **Kullanılan teknolojiler**

Genel olarak güç üretimi çeşitli yakma teknolojisinden faydalanır. Katı yakıtların yakılmasında, pülverize yakma, akışkan yatak tekniği ile yakma ile birlikte ızgara yakma işlemlerinin tümü bu belgede açıklanan koşullar altında MET (Mevcut En İyi Teknikler) kabul edilir. Likit ve gazlı yakıtlar için, buhar kazanları, makine ve gaz türbinleri bu belgede açıklanan şartlar altında MET'dir.

Bir tesiste işe koşulan sistem seçimi yakıt elverişliliği, işletimsel gereklilikler, piyasa koşulları, ağ gereklilikleri gibi teknik, çevresel ve yerel değerlendirmelere dayanır. Elektrik çoğunlukla seçili yakıt ile ateşlenen bir buhar kazanı içerisinde buhar oluşturularak üretilir ve buhar elektrik üretecek olan jeneratörü harekete geçiren türbine güç sağlamada kullanılır. Buhar döngüsünün, türbinden sonra buharı yoğunlaştırma ihtiyacı ile kısıtlanan doğal bir verimliliği vardır.

Bazı sıvı ve gaz yakıtlar yakma gazı ile birlikte türbinleri harekete geçirmek amacıyla doğrudan ateşlenebilir veya sonradan jeneratörleri harekete geçirecek içten yanmalı motorlarda kullanılabilirler. Her bir teknoloji özellikle değişebilen güç talebine göre işletilebilme yeteneğinde operatöre belirli avantajlar sağlar.

### **Çevresel Konular**

Çoğu yakma tesis yakıt veya yerkürenin doğal kaynaklarından alınıp faydalı enerjiye dönüştürülen diğer ham maddeleri kullanır. Fosil yakıtlar günümüzde kullanılan en bol enerji kaynağıdır. Ancak, bu yakıtların yanmaları zaman zaman çevre üzerinde bütün olarak önemli bir etkiye neden olur. Yakma prosesi hava, su ve toprağa yönelik emisyon üretimine sebebiyet verir ki bunlar arasında hava emisyonu en önemli çevresel kaygılardan biri kabul edilir.

Fosil yakıtların yakılmasından ortaya çıkan en önemli hava emisyonları SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Partikül madde (PM<sub>10</sub>) ve N<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> gibi sera gazlarıdır. Ağır metaller, halide bileşikler ve dioksin gibi diğer maddeler daha az miktarlarda yayılırlar.

### **Koşullar**

MET ile ilgili emisyon düzeyleri günlük ortalama, standart koşullar ve tipik bir yük durumunu temsil eden %6 / %3 / %15 oranlarında (katı yakıtlar / sıvı ve gaz yakıtlar / gaz türbinleri) O<sub>2</sub> seviyesini temel alır. Tepe yükleri için çalıştırma ve kapama periyotları ile birlikte baca gazı sistemleri temizleme proselinin işletimsel problemleri için daha yüksek olabilen kısa vadeli tepe değerleri dikkate alınmalıdır.

### **Yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması**

Yakıtların ve kireç, kireçtaşı, amonyak ve benzeri katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşıma işlemleri sırasında ortaya çıkan tahliyeleri önlemeye yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

	MET
Partikül madde	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Kaçak toz oluşumunu azaltmak üzere stok üzerine konulan yakıt yüksekliğini en aza indirgeyecek yükleme ve boşaltma ekipmanının kullanılması</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Donma olayının meydana gelmediğı ülkelerde kıatı yakıt depolamasında kaçak toz oluşumunu azaltacak su sprey sistemleri kullanma</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Araçlar ve diğere ekipmanın uğrayabileceğı hasarın önlenebilmesi için aktarma tertibatının emniyetli zemin seviyesinden yüksek açık alanlara yerleştirmek</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Toz emisyonunu önlemek amacıyla taşıma tertibatı noktalarında iyi tasarlanmış, güçlü çıkarma ve filtreleme ekipmanı bulunan kapalı taşıma tertibatı kullanma</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Yerinde toz oluşumu ve taşınmasını en aza indirgeyecek taşıma sistemlerini modernleştirmek</li> <li>○ (Tüm yakıtılar için) Tasarımı iyi ekipman ile birlikte yapım uygulamaları ve yeterli bakım kullanımı</li> <li>○ (Tüm yakıtılar için) Kireç veya kireç taşının tasarımı iyi ve güçlü çıkarma ve filtreleme ekipmanlı silolarda muhafaza etme</li> </ul>
Su kontaminasyonu	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Tortu için su arıtımı, akaç birikim ve drenajı olan sızdırmaz yüzeylerde depolama yapma</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Tüm tankların maksimum kapasitesinin veya en büyük tankın maksimum hacminin %75'ini kapsayacak kapasitede su geçirmez yığınlarda tutulan likit yakıt depolama sistemlerini kullanma. Tank muhteviyatı gösterilmeli ve depolama tanklarının taşınmasını önlemek amacıyla ilgili alarmlar kullanılmalı ve otomatik kontrol sistemleri uygulanabilmelidir</li> <li>○ (Likit ve gaz yakıtılar için) Sızıntıların hemen tespit edilebilmesi ve araçlar ile diğere ekipmandan gelecek hasarın önlenebilmesi için boru hatları emniyetli zemin seviyesinden yüksek açık alanlara yerleştirilmeli. Erişilemeyen borular için, otomatik aralama kontrollü çift perdeli borular uygulanabilir</li> <li>○ (Kıatı yakıtılar için) Yakıtı su ile sürükleyen yüzeydeki birikintileri (yağmur suyu) yakıt depolama alanlarından toplama ve boşalmadan önce toplanan bu akıntıya müdahale etme (veya atık su arıtım tesisi)</li> </ul>
Yangın Öneleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (Kıatı yakıtılar) Risk noktalarını tanımlamak veya kendi kendine ateşleme sisteminin neden olduğı yangınları saptamak için otomatik sistem kıatı yakıt depo alanını inceleme</li> </ul>
Kaçak emisyonlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (Likit ve gaz yakıtılar için) yakıt gaz sızıntı tespit sistemleri ve alarmlar kullanma</li> </ul>
Doğal Kaynakların Verimli kullanımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (Likit ve gaz yakıtılar için) Basınç uygulanan yakıt gazlarının (basınç boru hatları yoluyla dağıtılan doğal gaz) enerji muhteviyatını yeniden elde edecek genişleme türbinleri kullanma</li> <li>○ (Likit ve gaz yakıtılar için) Buhar kazanı veya gaz türbininden gelen atık ısıyı kullanarak yakıt gazını önceden ısıtma.</li> </ul>
Amonyaga ilişkin sağık ve emniyet riski	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (tüm yakıtılar) Sıvılaştırılmış saf amonyağın taşıma ve depolanması için: 100 m<sup>3</sup>'den büyük sıvılaştırılmış saf amonyak basınç rezervuarı çift katman inşa edilmeli ve yeraltına yerleştirilmelidir. 100 m<sup>3</sup> ve daha küçük rezervuarlar tavlmalı imal edilmiş olmalıdır</li> <li>○ (Tüm yakıtılar) Emniyet açısından, amonyak-su çözeltilisinin kullanımı sıvılaştırılmış saf amonyak depolama ve taşınmasından daha az risklidir.</li> </ul>

Tablo 1: Yakıt ve katkı maddelerine ilişkin bazı Mevcut En İyİ Teknikler

### Yakıt Ön arıtım Uygulamaları

Kıatı yakıtlarda ön arıtım uygulamaları istikrarlı yakma koşulları sağılamak ve tepe emisyonlarını azaltmak amacıyla temelde harmanlama ve karıştırmayı ifade eder. Turba ve biyomasda su miktarını azaltmak için yakıt kurutma işlemi de MET'in bir parçası kabul edilir. Likit yakıtılar için gaz türbin ve motorlarında kullanılan dizel yağ temizleme üniteleri gibi ön arıtım cihazlarının kullanımı MET'dir. Ağır fuel oil (HFO) ön arıtım uygulamaları elektrikli veya buharlı bobin tipi ısıtıcılar, de-emulsifier dosing systems ve benzeri gibi aygıtları kapsar.

### Termal verimlilik

Doğal kaynakların temkinli idaresi ile enerjinin verimli kullanımı IPPC Direktifi'nin ana gerekliliklerinden ikisidir. Bu anlamda enerji üretilen verimlilik çevreye duyarlı CO<sub>2</sub> gazı emisyonunun önemli bir göstergesidir. Üretilen enerji birimi başına CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmanın bir yolu da enerji kullanımı ile enerji üretim prosesinin optimizasyonudur. Termal verimliliğin artırılmasının yük koşulları, soğutma sistemleri, emisyon, yakıt tipi kullanımı vesaire hususlar üzerinde etkileri vardır.

Kojenerasyonun (CHP) tahliye olan toplam CO<sub>2</sub> miktarını azaltmada en etkili seçenek olduğu düşünülür ve yerel ısı talebinin daha basit ısıtıcı veya sadece elektrikli tesisler yerine daha pahalı kojenerasyon tesisinin yapımını garantileyecek kadar yüksek olması halinde yeni inşa edilen bir elektrik santrali için uygundur. Verimliliği arttıracak MET kararları ve MET ile ilgili seviyeler Tablo 3 ile Tablo 5 arasında özetlenmiştir. Bu anlamda HFO ile çalışan tesislerin kömür ile çalışan tesisler ile benzer verimliliğe sahip kabul edildiğine dikkat edilmelidir.

Yakıt	Kombine teknik	Ünite termal verimliliği (net) (%)	
		Yeni Tesisler	Mevcut Tesisler
<b>Kömür ve Linyit</b>	Kojenerasyon (CHP)	75 – 90	75 – 90
<b>Kömür</b>	PC (DBB ve WBB)	43 – 47	Erişilebilir termal verimlilik gelişimi spesifik tesise bağlıdır ancak bir gösterge olarak % 36* - 40 düzeyi veya %3'den daha fazla olan aşamalı gelişim mevcut tesislere yönelik MET kullanımı ile ilişkili olarak görülebilir.
	FBC	> 41	
	PFBC	> 42	
<b>Linyit</b>	PCDBB	42 – 45	
	FBC	> 40	
	PFBC	> 42	
<b>PC:</b> pülverize yakma <b>DBB:</b> kuru taban buhar kazanı <b>WBB:</b> Islak taban buhar kazanı <b>FBC:</b> sıvı yatak tekniği ile yakma <b>PFBC:</b> basınçlı sıvı yatak tekniği ile yakma * Bu değerlerde bazı bölümler oluşmuş ve asıl belge Kısım 4.5.5'de raporlanmıştır			

**Tablo 2: Kömür ve linyit ile çalışan yakma tesislerine yönelik MET tedbirlerinin uygulanması ile ilişkili termal verimlilik düzeyleri**

Yakıt	Kombine teknik	Ünite termal verimliliği (net) (%)	
		Elektrik Verimliliği	Yakıt Kullanımı (CHP)
<b>Biyomas</b>	Izgara ateşleme	20 civarında	75 – 90
	Biyomas dağıtıcı-ateşçi	> 23	
<b>Turba</b>	FBC (CFBC)	> 28 – 30	
	FBC (BFBC ve CFBC) Turba	> 28 – 30	
<b>FBC:</b> akışkan yatak yakma <b>CFBC:</b> dolaşan akışkan yatak yakma <b>BFBC:</b> kaynayan akışkan yatak yakma <b>CHP:</b> Kojenerasyon			

**Tablo 3: Turba ve biyomas ile çalışan yakma tesislerine yönelik MET tedbirleri uygulanması ile ilişkili termal verimlilik düzeyleri**

Buhar kazanı ve motorlardaki likit yakıtları kullanırken hiçbir spesifik termal verimlilik değerine hükmedilmemiştir. Ancak, dikkate alınacak bazı teknikler ilgili MET kısımlarında mevcuttur.

Tesis türü	Elektrik verimliliği (%)		Yakıt kullanımı (%)
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni ve mevcut tesisler
<b>Gas türbini</b>			
Gaz türbini	36-40	32-35	
<b>Gaz motoru</b>			
Gaz motoru	38-45		
CHP modunda HRSG'li gaz motoru	> 38	> 35	75 – 85
<b>Gaz-ile çalışan buhar kazanı</b>			
Gaz ile çalışan buhar kazanı	40- 42	38 – 40	
<b>CCGT</b>			
Sadece elektrik üretimi için ilave ile çalışan veya ateşlemesiz (HRSG) kombine devir	54 - 58	50 – 54	
CHP modunda ilave ateşlemesiz (HRSG) Kombine devir	<38	<35	75 – 85
CHP modunda ilave ile çalışan kombine devir	<40	<35	75 – 85
<b>HRSG:</b> ısı yenileme buhar jeneratörü	<b>CHP:</b>	Konjenerasyon	

**Tablo 4: MET kullanımı ile ilişkili gaz ile çalışan yakma tesislerinin verimliliği**

Partikül madde (toz) emisyonları

Katı ve likit yakıtların yakılması esnasında yayılan partikül madde (toz) neredeyse tamamen mineral parçalanmasından ortaya çıkar. Likit yakıtların yakılması ile kötü yakma koşulları is oluşumuna yol açar. Doğal gaz yakılması önemli bir toz emisyon kaynağı değildir. Bu durumda toz emisyon düzeyleri ilave olarak uygulanan herhangi bir teknik tedbir olmaksızın normal şartlarda 5 mg/Nm<sup>3</sup> seviyesinin altında olmalıdır.

Yeni ve mevcut yakma tesislerinden çıkan gaz tozlarını arındırmak için MET elektrostatik presipitator (ESP) veya bez filtre (FF) kullanımı olduğu düşünülür, ki bunlardan bez filtre 5 mg/Nm<sup>3</sup>'den az emisyon düzeylerine ulaşır. Siklon ve mekanik kolektörler tek başına MET değildir ancak bacı gazı yolunda ön temizlik aşaması olarak kullanılabilirler.

Toz arındırmaya yönelik MET kararları ve ilişkili emisyon düzeyleri Tablo 5'de özetlenmiştir. 100 MW<sub>th</sub> ve özellikle 300 MW<sub>th</sub>'den daha yüksek yakma tesisleri için, zaten kükürt gidermeye yönelik MET kararlarının bir parçası olan FGD teknikleri ayrıca partikül maddeyi azalttığından toz seviyeleri daha düşüktür.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz emisyon düzeyi (mg/Nm <sup>3</sup> )						Bu seviyelere Erişecek MET
	Kömür ve linyet		Biyomas ve turba		Buhar kazanı için likit yakıtlar		
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	
50 – 100	5 – 20*	5 – 30-	5 - 20	5 - 30	5 – 20*	5 – 30*	ESP veya FF
100 - 300	5 – 20*	5 – 20*	5 – 20	5 – 20	5 – 20*	5 – 20*	FBC için PC ESP veya FF için FGD (ıslak, sd veya dsi)
> 300	5 – 10*	5 – 20*	5 - 20	5 - 20	5 -10*	5 – 20*	kombinasyonunda ESP veya FF

Notlar:  
**ESP:** Elektrostatik presipitator)      **FF:** Bez filtre      **FGD(ıslak):** Islak baca gazı kükürtünün giderilmesi  
**FBC:** Akışkan yatak yakma)      **sd:** yarı kuru      **dsi:** kuru sorbent enjeksiyonu  
\* Bu değerlerde bazı bölümler oluşmuş ve asıl belgenin 4.5.6 ve 6.5.3.2 Kısımlarında raporlanmıştır.

**Tablo 5: Bazı yakma tesislerinden gelen partikül emisyonlarının azaltılmasına yönelik MET**

## Ağır metaller

Ağır metal emisyonları fosil yakıtlarda doğal bir bileşen olarak bulunmalarından kaynaklanır. Ele alınan ağır metallerin çoğu (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) partiküller ile ilişkili olarak normalde bileşik olarak (örneğin; oksit, klorid) serbest kalırlar. Bu nedenle ağır metal emisyonlarını azaltmak amaçlı MET genelde ESP veya FFler gibi yüksek performanslı toz arındırma cihazlarının kullanımınıdır.

Sadece Hg ve Se buhar aşamasında en azından kısmen bulunur. Cıva tipik kontrol cihaz çalışma sıcaklığında yüksek bir buhar basıncına sahip olup partikül madde kontrol cihazları ile toplamanı yüksek derecede değiştendirir. Islak kireçtaşı gaz temizleyici aygıtları, püskürtmeli kurutma gaz temizleyici aygıtlar veya kuru sorbent enjeksiyon gibi FGD teknikleri ile birlikte çalışan ESPler veya FFler için, ortalama Hg atılma oranı %75 (ESP'de %50 ve FGD'de %50) ve ilave yüksek toz SCR varlığında %90 elde edilebilir.

## SO<sub>2</sub> emisyonları

Sülfür oksit emisyonları çoğunlukla yakıttaki sülfür varlığından kaynaklanır. Doğal gaz genellikle sülfürsüz sayılır. Belirli endüstriyel gazlar için bu durum söz konusu olmamakla birlikte daha sonra gazlı yakıtın sülfürden arındırılması gerekli olabilir.

Genel anlamda, katı ve likit yakıt ile çalışan yakma tesislerine yönelik olarak düşük kültür ve/veya sülfürden arındırma MET olarak kabul edilir. Ancak, 100 MWth'den yüksek tesisler için düşük sülfür yakıtı kullanımı çoğu durumda diğer tedbirler ile birlikte SO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürecek ilave bir tedbir olarak görülebilir.

Düşük sülfür yakıtı kullanımının yanı sıra, MET olarak kabul edilen teknikler temelde ıslak gaz temizleyici aygıt (azaltma oranı % 92 - 98) ve halihazırda %90'dan daha fazla Pazar payına sahip olan sprey kuru gaz temizleyici aygıt de-sülfürizasyonudur (azaltma oranı % 85 - 92). Kuru sorbent enjeksiyonu gibi kuru FGD teknikleri çoğunlukla 300 MWth'den daha az termal kapasiteye sahip tesisler için kullanılır. Islak gaz temizleyici aygıt ayrıca HCl, HF, toz ve ağır metal emisyonlarını da azaltma avantajına sahiptir. Maliyetin yüksek olması nedeniyle ıslak gaz temizleme prosesi 100 MWth'den daha az kapasiteli tesisler için MET olarak düşünülmemektedir.

Kapasite (MWth)	SO <sub>2</sub> emisyon seviyesi (mg/Nm <sub>3</sub> )						Bu seviyelere Erişecek MET
	Kömür ve linyet		Turba		Buhar kazanları için Likit yakıtlar		
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	
50 - 100	200 - 400* 150 - 400* (FBC)	200 - 400* 150 - 400* (FBC)	200 - 300	200 - 300	100 - 350*	100 - 350*	Düşük sülfür yakıtı ve/veya FGD (dsi) veya FGD (sds) veya FGD (ıslak) (tesis büyüklüğüne bağlı olarak) Denizsuyu ile yıkama No <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> azaltımına yönelik kombine teknikler. Kireçtaşı enjeksiyonu (FBC)
100 - 300	100- 200 (FBC)	100- 250* (FBC)	200 - 300 150 - 250	200 - 300 150 - 300	100- 200*	100 - 250*	
> 300	20 - 150* 100 - 200 (CFBC/ PFBC)	20 - 200* 100 - 200* (CFBC/ PFBC)	50 - 150 50 - 200 (FBC)	50 - 200	50 - 150*	50 - 200*	

Notlar:  
**FBC:** Akışkan yatak yakma  
**PFBC:** Basınçlı akışkan yatak yakma  
**FGD(sds):** Püskürtmeli kurutma kullanarak baca gazı kükürtünün giderilmesi  
**FGD(dsi):** Kuru sorbent enjeksiyonu kullanarak baca gazı de-sülfürizasyonu  
 \* Bu değerlerde bazı bölümler oluşmuş ve asıl belgenin 4.5.8 ve 6.5.3.3 Kısımlarında raporlanmıştır.

**Tablo 6: Bazı yakma tesislerinden gelen SO<sub>2</sub> emisyonu azaltımına yönelik MET**



**NO<sub>x</sub> emisyonları**

Yakma işlemi sırasında ana nitrojen oksitler NO<sub>x</sub> olarak anılan nitrik oksit (NO) ve nitrojen dioksittir (NO<sub>2</sub>).

Pülverize kömür yakma tesislerine yönelik olarak SCR gibi birincil ve ikincil tedbirler ile, SCR sistem azaltım oranının %80 ile 95 arasında değiştiği hallerde, NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılması MET'dir. SCR veya SNCR kullanımının tepkimeye uğramamış amonyak'ın ('ammonia slip') muhtemel emisyon dezavantajı vardır. Yüksek yük varyasyonları olmayan ve istikrarlı bir yakıt kalitesi bulunan küçük katı yakıt ile çalışan tesisler için, SNCR tekniği de ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak üzere MET olarak kabul edilir.

Pülverize linyit ve turba ile çalışan yakma tesisleri için, farklı birincil tedbirlerin bileşimi MET kabul edilir. Bu ise, örneğin, baca gazının yeniden sirkülasyonu, aşamalı yakma (hava toplama), yeniden yakma ve benzeri gibi diğer birincil tedbirler ile birlikte ileri düzey düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin kullanımı anlamına gelir. Birincil tedbirlerin kullanımı yetersiz yakmaya neden olma eğilimindedir ki bu da uçucu kül ve bazı karbonmonoksit emisyonlarında yüksek düzeyde yanmamış karbona neden olur.

Katı yakıt yakan FBC buhar kazanlarında MET baca gazının yeniden dolaşımı veya hava dağıtımı yoluyla kazanılan NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasıdır. NO<sub>x</sub> emisyonunda BFBC ve CFBC yakma işlemlerinden çok az fark bulunur.

NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılmasına yönelik MET kararları ile çeşitli yakıtlara ilişkin emisyon düzeyleri Tablo 8, 9 ve 10'da özetlenmiştir.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Yakma Tekniği	Met ile ilişkili Nox emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )			Bu seviyelere erişecek MET seçenekleri
		Yeni Tesisler	Mevcut Tesisler	Yakıt	
50-10	Izgara ateşleme	200-300*	200-300*	Kömür ve linyit	Pm ve/veya SNCR
	PC	90-300*	90-300*	Kömür	Pm ve SNCR veya SCR Kombinasyonu
	CFBC ve PFBC	200-300	200-300	Kömür ve linyit	Pm
	PC	200-450	200-450*	Linyit	
100-300	PC	90*-200	90-200*	Kömür	SCR veya kombine teknikler ile Pm kombinasyonu
	PC	100-200	100-200*	Linyit	Pm Kombinasyonu
	BFBC, CFBC ve PFBC	100-200	100-200*	Kömür ve linyit	SNCR ile Pm kombinasyonu
>300	PC	90-150	90-200	Kömür	SNCR ile Pm kombinasyonu
	PC	50-200*	50-200*	Linyit	SCR veya kombine teknikler ile Pm kombinasyonu
	BFBC, CFBC ve PFBC	50-150	50-200	Kömür ve linyit	Pm Kombinasyonu
<p><b>Notlar:</b>  <b>PC:</b> Pülverize yakma <b>BFBC:</b> Kabarcıklı yatak yakma  <b>CFBC:</b> Dolaşimli akışkan yatak yakma <b>PFBC:</b> Basınçlı yatak yakma  <b>SCR:</b> Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı <b>Pm:</b> NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler  <b>SNCR:</b> Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı  Antrasit taş kömürünün kullanımı, yüksek yakma sıcaklıkları nedeniyle daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyon seviyelerine neden olabilir  * Bu değerlerde bazı bölünmeler oluşmuş ve asıl belgenin 4.5.9 Kısımlarında raporlanmıştır.</p>					

**Tablo 7: Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı NO<sub>x</sub> azaltımına yönelik MET**

Kapasite (MWth)	NO <sub>x</sub> -emisyona seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )				Bu seviyeleri sağlayacak MET
	Biyomas ve turba		Sıvı yakıtlar		
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	
500-100	150-250	150-300	150-300*	150-450	Pm, SNCR/ SCR veya kombine teknikler kombinasyonu
100-300	150-200	150-250	50-150*	50-200*	
>300	50-150	50-200	50-100*	50-150*	

**Notlar:**  
**Pm:** NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler                      **SCR:** Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı  
\* Bu değerlerde bazı bölünmeler oluşmuş ve asıl belgenin 6.5.3.4 Kısımlarında raporlanmıştır.

**Tablo 8: Turba, biyomas ve likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı NO<sub>x</sub> azaltımına yönelik MET**

Yeni gaz türbinleri için, kuru düşük NO<sub>x</sub> ön karışım brülörleri (DLN) MET'dir. Mevcut gaz türbinleri için ise su ve buhar enjeksiyonu veya DLN tekniğine dönüşüm MET'dir. Gaz ile çalışan sabit motorlu tesisler için, lean-burn yöntemi gaz türbinlerinde kullanılan kuru düşük NO<sub>x</sub> tekniğine benzer MET'dir.

Çoğu gaz türbini ve gaz motoru için, SCR de ayrıca MET olarak kabul edilir. SCR sisteminin CCGT'ye teknolojik olarak uyarlanması teknik açıdan olanaklı ancak mevcut tesisler için ekonomik anlamda makul değildir. Bunun nedeni HRSG'de gerekli alanın projede öngörülmemiş olması ve bu nedenle de mevcut olmamasıdır.

Tesis Tipi	MET ile ilişkili emisyon seviyeleri		O <sub>2</sub> 1 (%)	Bu seviyeleri sağlayacak MET seçenekleri
	NO <sub>x</sub>	CO		
<b>Gaz türbinleri</b>				
Yeni gaz türbinleri	20-50	5-100	15	Kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler veya SCR
Mevcut gaz türbinlerine yönelik DLN	20-75	5-100	15	Varsa uyarlama paketleri olarak kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler
Mevcut gaz türbinleri	50-90*	30-100	15	Su ve buhar enjeksiyonu veya SCR
<b>Gaz motorları</b>				
Yeni gaz motorları	20-75*	30-100*	15	CO'ya yönelik zayıf-yakma kavramı veya SCR ve oksidasyon katalizörü
CHP modunda HRSGli yeni gaz motorları	20-75*	30-100*	15	CO'ya yönelik zayıf-yakma kavramı veya SCR ve oksidasyon katalizörü
Mevcut gaz motorları	20-100*	30-100	15	Düşük NO <sub>x</sub>
<b>Gazla çalışan buhar kazanı</b>				
Gazla çalışan yeni buhar kazanı	50-100*	30-100	3	Düşük NO <sub>x</sub> brülörler veya SCR veya SNCR
Mevcut gazla çalışan buhar kazanı	50-100*	30-100	3	
<b>CCGT</b>				
İlave ateşlemesiz yeni CCGT (HRSG)	20-50	5-100	15	Kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler veya SCR
Mevcut ilave ateşlemesiz CCGT (HRSG)	20-90*	5-100	15	Kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler veya su ve buhar enjeksiyonu veya SCR
İlave ateşlemesiz yeni CCGT	20-50	30-100	Tesise özgü	Buhar kazanı bölümü veya SCR yada SNCR için kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler veya düşük NO <sub>x</sub> brülörler
Mevcut ilave ateşlemesiz CCGT	20-90*	30-100	Tesise özgü	Buhar kazanı bölümü veya SCR yada SNCR için kuru düşük NO <sub>x</sub> premiks brülörler veya su ve buhar enjeksiyonu ve düşük NO <sub>x</sub> brülörler

**SCR:** Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltma                      **SNCR:** Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltma  
**DLN:** kuru düşük NO<sub>x</sub>                      **HRSG:** ısı yenileme buhar jeneratörü                      **CHP:** Kojenerasyon  
**CCGT:** kombine çevrim gaz türbini  
\* Bu değerlerde bazı bölünmeler oluşmuş ve asıl belgenin 7.5.4 Kısımlarında raporlanmıştır.

**Tablo 9: Gazla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı NO<sub>x</sub> ve CO emisyonu azaltımına yönelik MET**

### CO emisyonları

Carbonmonoksit (CO) her zaman yakma prosesinin bir ara ürünü olarak ortaya çıkar. CO emisyonlarını en aza indirmeye ilişkin MET iyi fırın tasarımı, yüksek performanslı izleme ve kontrol tekniklerinin kullanılması, yakma sisteminin bakımı işlemlerinin bir parçası olan komple yakmadır. Farklı yakıtlara yönelik MET kullanımına ilişkin bazı emisyon düzeyleri BET bölümlerinde mevcuttur ancak bu idari özette sadece gaz ile çalışan yakma tesislerindeki rapor edilmiştir.

### Su Kontaminasyonu

Hava kirliliği oluşturmasının yanı sıra, büyük yakma tesisleri ayrıca nehir, göl ve deniz çevrelerine önemli bir su tahliyesi (soğutma ve atık su) kaynağıdır.

Yakıt partiküllerini sürükleyen depolama alanlarından gelen herhangi bir yüzey akıntısı (yağmur suyu) tahliye olmadan önce toplanmalı ve arıtılmalıdır. Herhangi bir güç santralinde ara sıra suya küçük miktarlarda yağ bulaşması kaçınılmazdır. Olası çevresel zararı önlemek üzere yağ ayırma kuyuları MET'dir.

Islak gaz temizleme kükürt giderme işlemine yönelik MET kararları atık su arıtma tesisi uygulaması ile ilgilidir. Atık su arıtma tesisi ağır metalleri temizlemek ve suya giren katı madde miktarını azaltmak için farklı kimyasal işlemlerden oluşur. Arıtma tesis pH seviyesi ayarlaması, ağır metal presipitasyonu ve katı maddelerin temizlenmesini kapsar. Tam belgede bazı emisyon düzeyleri de bulunur.

### Atık ve tortular

Yakma işlemi sonrası ortaya çıkan atık ve tortuları sadece arazi dolum bölgelerinde biriktirmek yerine bunların değerlendirilmesine sektör tarafından fazlaca dikkat edilmektedir. Bu nedenle değerlendirme ve yeniden kullanma mevcut en iyi seçenek olup aynı zamanda önceliğe de sahiptir. Kül gibi farklı yan ürünlere yönelik olarak çok farklı değerlendirme olanakları mevcuttur. Her farklı değerlendirme seçeneği farklı özel kriterlere sahiptir. Bu BREF'de tüm bu kriterlerin kapsanması olanaklı değildir. Kalite kriterleri genellikle tortunun yapısal özellikleri ile yanmamış yakıt miktarı ve ağır metal çözünürlüğü vb. gibi zararlı maddelerin muhteviyatına bağlıdır.

Islak gaz temizleme tekniğinin nihai ürünü çoğu AB ülkesinde tesislere yönelik ticari bir ürün olan alçıdır. Doğal alçıtaşı yerine kullanılıp satılabilir. Enerji santrallerinde üretilen alçının hemen hemen çoğu alçı panel endüstrisinde kullanılır. Alçının saflığı işleme katılabilecek kireçtaşı miktarını kısıtlar.

### Atık ve yenilenen yakıtın birlikte yakılması

MET'ye göre tasarlanıp işletilen büyük yakma tesisleri toz (kısmen ağır metaller de dahil olmak üzere), SO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub>, HCl, HF ve diğer kirlenici maddelerin temizlenmesine yönelik etkili tedbir ve teknikler ile birlikte su ve toprak kontaminasyonunu önleyecek teknikleri işe koşar. Genel olarak bu teknikler yeterli görülebilir. Bu nedenle ikincil yakıtın birlikte yakılması için MET olarak düşünülebilir. Bunun temelinde MET kararları ve özellikle de yakıtta özgü bölümlerde tanımlandığı üzere MET kullanımı ile ilişkili emisyon düzeyleri yatar. Ateşleme sistemine daha yüksek seviyede kirlenici madde girişi baca gazı temizleme sistemi adaptasyonu veya birlikte yakılabilen ikincil yakıt yüzdesinin sınırlanması ile belirli sınırlar dahilinde dengelenebilir.

Birlikte yakmanın tortunun niteliğine etkisi düşünüldüğünde ana MET konusu alçı, kül, cüruf ve diğer toru ve yan ürünlerin niteliğini yeniden kazanım amaçlarına yönelik olarak ikincil yakıt yakımı olmaksızın ortaya çıkan maddeler ile aynı seviyede tutulmasıdır. Şayet birlikte yakma prosesi önemli (fazla) miktarda yan ürün veya tortu veya fazladan metal (örneğin Cd, Cr, Pb) veya dioksin kontaminasyonuna yol açıyor ise, bunu önlemek için ilave tedbirlerin devreye sokulması gereklidir.

### **Anlaşma Düzeyi**

Bir bütün olarak bu belge TWG Üyelerinin çok fazla desteğini almaktadır. Ancak sanayi ile başlıca iki Üye Ülke bu nihai taslak için tam desteklerini ifade etmemekle birlikte bu belgede sunulan kararların bazılarına yönelik özellikle kömür ve linyit, likit ve gaz yakıtlara yönelik MET ile ilişkili verimlilik ve emisyon düzeyleri ile ekonomik nedenlerle SCR kullanıma yönelik 'ayrı görüş' diye tabir edilen görüşle ifadelerde bulunmuşlardır. MET kullanımı ile ilişkili emisyon düzeyleri olarak verilen aralığın genel olarak hem yeni hem de mevcut tesisler için çok düşük olduğunu iddia etmişlerdir. Ancak özellikle mevcut tesislere yönelik MET ile ilişkili emisyon üst düzeylerinin bazı Avrupa Üyesi Ülkelerde belirlenen birtakım geçerli ELV'ler ile benzer olduğu unutulmamalıdır. Sanayi tarafı ise bu belgenin tüm büyük yakma tesislerinin deneyim ve şartlarını yansıttığı yönünde özel bir görüş ortaya atmışlardır. Bu ise TWG Üyelerinin MET seviyelerinin mantıklı olduğu ve Avrupa iyi kabul edilebilecek bir dizi tesisin dikkate alınan bu MET düzeylerine eriştiğini gösterdiği fikrini desteklemektedir.

Avrupa Komisyonu RTD programları vasıtasıyla temiz teknolojileri ele alan, fabrika atığı sıvı arıtımı ve yeniden kazanım teknolojileri ile yönetim teknolojilerini ortaya çıkaran bir dizi proje başlatmakta ve bu projeleri desteklemektedir. Potansiyel olarak bu projeler ileriki BREF değerlendirmelerine faydalı bir katkı sağlayabilir. Bu nedenle okuyucular bu belgenin kapsamı ile ilgili olan herhangi bir araştırmanın sonuçlarının EIPPCB'sini bildirmeye davet edilmektedir (ayrıca belgenin önsöz bölümüne bakınız).

## ÖNSÖZ

### 1. Belgenin statüsü

Aksi ifade edilmedikçe bu belgede bulunan “Direktif” kelimesine yönelik atıflar 96/61/EC sayılı entegre kirlilik önleme ve kontrolü Direktifi anlamına gelir. Direktif işyerinde sağlık ve emniyet hükümlerine hanel getirmeksizin uygulandıgından bu belgede aynı şekilde uygulanır.

Bu belge AB Üye Ülkeleri ile mevcut en iyi teknik (MET), ilişkili izleme ve bunların gelişimleri ile alakalı sanayiler arasındaki bilgi alışverişinin sonucunu sunan dizinin bir parçasını teşkil eder. Direktifin 16(2) No’lu Maddesi uyarınca Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmış olup bu nedenle “mevcut en iyi tekniklerin” belirlenmesinde Direktif Ek IV’e uygun olarak bu belge dikkate alınmalıdır

### 2. IPPC Direktifinin ilgili yasal yükümlülükleri ve MET tanımı

Okuyucuya belgenin taslağının oluşturulduğu yasal kapsamı anlamasında yardımcı olmak amacıyla ‘mevcut en iyi teknikler’ terimi de dahil olmak üzere IPPC Direktifinin ilgili hükümlerinin bazıları önsöz bölümünde açıklanmıştır. Bu açıklama ister istemez eksik olup sadece bilgi amaçlı olarak verilmiştir. Hiçbir yasal değeri yoktur ve Direktifin asıl hükümlerini hiçbir şekilde değıştirmez veya anılan hükümlere hanel getirmez.

Direktifin amacı bütün olarak yüksek düzeyde çevre korumasına öncülük ederek Ek I’de sıralanan faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğın entegre önleme ve kontrolünü sağlamaktır. Direktifin yasal temeli çevre korumasına yöneliktir. Bu Direktifin uygulanmasında sürdürülebilir kalkınma suretiyle Topluluk sanayisinin rekabetçi gücü gibi Topluluğun diğer amaçları da ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

Daha özele inecek olursak, Direktif hem işletmen hem de düzenleyicilerin tesisin tüketim ve kirlenme potansiyeline bütün ve genel olarak bakmalarını gerektiren belirli sanayi tesisi kategorilerine yönelik bir izin sistemi öngörür. Böyle bütünleşik bir yaklaşımın genel hedefi bir bütün olarak çevreye yönelik yüksek koruma düzeyi sağlayabilmek için endüstriyel süreçlerin yönetim ve kontrolünü geliştirmek olmalıdır. Bu yaklaşımın odağında Madde 3’de verilen işletmenlerin çevresel performanslarını arttırmalarını mümkün kılacak mevcut en iyi tekniklerin uygulanması vasıtasıyla kirliliğe karşı tüm uygun önleyici tedbirleri almaları gerektiği genel ilkesi bulunur.

‘Mevcut en iyi teknikler’ ifadesi Direktif Madde 2(11)’de “ emisyonları önlemek ve bunun mümkün olmadığı durumlarda ise genel anlamda emisyonları ve bir bütün olarak çevre üzerindeki etkilerini azaltmak üzere tasarlanmış emisyon sınır değerleri için bir esas sağlamaya yönelik işletme metotlarında ve faaliyetlerin gelişiminde en etkili ve en ileri aşama” olarak tanımlanır. Madde 2 (11) ileri giderek bu tanımı aşağıdaki şekliyle daha da açıklar:

‘teknikler’ hem kullanılan teknolojiyi hem de tesisin tasarlanma, inşa edilme, bakılma, işletilme ve faaliyetine son verilme şeklini kapsar;

‘mevcut’ teknikler operatör tarafından makul şartlar altında erişilebilecek oldukları sürece söz konusu Üye Ülkede kullanılıp kullanılmadığına veya üretilip üretilmediğine bakılmaksızın ekonomik ve teknik olarak uygulanabilir koşullar altında ilgili sanayi sektöründe uygulanmasına olanak sağlayacak ölçüde geliştirilmiş tekniklerdir;

‘en iyi’ bir bütün olarak en üst genel düzeyde çevre koruması sağlamada en etkili anlamına gelir.

Bununla birlikte, Direktif Ek IV “tedbir ve önleme ilkelerini ve bir önlemin olası maliyet ve faydalarını göz önünde bulundurarak ... mevcut en iyi teknikleri belirlerken özel durumlarda veya genel olarak dikkate alınması gereken düşüncüler” listesini içine alır. Bu düşünceler Madde 16(2) uyarınca Komisyon tarafından yayımlanan bilgileri kapsar.

İzin vermekle sorumlu olan yetkili makamların izin koşullarını belirlemede Madde 3’de beyan edilen genel ilkeleri göz önünde bulundurmaları gerekir. Bu koşullar uygun olduğu hallerde eşdeğer parametre veya teknik ölçülerle ilave yapılan veya bunlarla değiştirilen emisyon sınır değerlerini kapsamalıdır. Direktif’in 9(4) No’lu Maddesine göre bu emisyon sınır değerleri, eşdeğer parametre ve teknik ölçüler çevresel kalite standardına uygunluk koşuluna hanel getirmeksizin ve herhangi bir teknik veya spesifik teknoloji kullanımını tavsiye etmeksizin ancak ilgili tesisin teknik özelliklerini, coğrafi konumunu ve yerel çevresel koşulları dikkate alarak mevcut en iyi tekniklere dayanmalıdır. Her halükarda izin koşulları uzun mesafeli veya sınır ötesi kirliliğin en aza indirilmesi ile ilgili hükümleri kapsamalı ve bir bütün olarak en üst düzeyde çevresel koruma sağlamalıdır.

Direktif’in 11. Maddesine göre Üye Ülkeler yetkili makamların mevcut en iyi tekniklerde meydana gelen gelişmeleri takip etmelerini veya bu gelişmeler hakkında bilgilendirilmelerini sağlamakla yükümlüdür.

### 3. Belgenin Amacı

Direktif’in 16(2). Maddesi Komisyonun ‘Üye Ülkeler ile mevcut en iyi teknik (MET), ilişkili izleme ve bunların gelişimleri ile alakalı sanayiler arasında bir bilgi alışverişi’ düzenlemesini ve bu alışverişin neticelerini yayımlamasını gerektirir.

Bilgi alışverişinin amacı ‘mevcut en iyi tekniklere ilişkin Topluluk düzeyindeki gelişme ve bilgi alışverişinin Topluluk içindeki teknolojik dengesizliklerin düzeltilmesine yardımcı olacağı; Topluluk içinde kullanılan sınır değerler ve tekniklerin dünyaya yayılmasını teşvik edeceği ve Üye Ülkelere bu Direktifi verimli bir şekilde uygulamalarına yardım edeceğini’ ifade eden Direktif’in 25. raporunda verilmiştir.’

Komisyon (Çevre DG) Madde 16(2) kapsamında yürütülen çalışmaya yardımcı olmak amacıyla bir bilgi alışveriş forumu (IEF) kurmuş ve IEF şemsiyesi altında bir dizi teknik çalışma grubu oluşturulmuştur. Hem IEF hem de teknik çalışma grupları Madde 16(2)’de istenildiği üzere sanayi ve Üye Ülkelerden temsilciliği kapsar.

Bu belge dizilerinin amacı Madde 16(2)’de istenildiği üzere yer alan bilgi alışverişini doğru olarak yansıtmak ve izin koşullarını belirlemede göz önünde bulundurmak üzere izin makamlarına başvuru bilgileri sağlamaktır. Mevcut en iyi teknikler ile ilgili bilgileri sağlayarak bu belgeler çevresel performansı harekete geçirecek faydalı araçlar olmalıdırlar.

### 4. Bilgi Kaynakları

Bu belge, özellikle, çalışmasında Komisyona yardımcı olmak üzere kurulmuş ve Komisyon hizmetleri tarafından teyit edilmiş grupların uzmanlığı da dahil bir dizi kaynaktan toplanmış bilgilerin özetini temsil eder. Tüm katkılar Yapılan tüm katkılar içten teşekkür ile karşılanmıştır.

### 5. Belgenin anlaşılması ve kullanılması

Bu belgede sunulan bilgilerin özel durumlarda MET belirlenmesinde bir girdi olarak kullanılması amaçlanmıştır. MET belirleme ve MET-temelli izin koşullarını tesis etmede bir bütün olarak en yüksek düzeyde çevre korumasını sağlama genel amacı her zaman dikkate alınmalıdır.

Belgenin her bölümünde verilen bilgilerin türü burada açıklanmıştır.

Bölüm 1’de sanayi sektörüne ilişkin genel bilgiler sunulur ve önemli çevresel hususlar açıklanır.

Bölüm 2’de yakma döngüleri ve enerji üretimine ilişkin kavram ve ilkelere giriş yapılır. Bu bilgiler sadece kısa bir açıklamadan ibaret olup okuyucunun yakma teknolojisi ve enerji üretimini anlamasına yardımcı olmak amacıyla verilir.

Bölüm 3’de büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonları azaltmak için sektör çapında kullanılan genel proses ve tekniklere ilişkin bilgiler verilir.

4 ile 8 arasındaki Bölümlerde farklı yakıtların yakılmasında kullanılan tekniklere ilişkin bilgiler verilir. Bu bölümlerden her biri farklı bir yakıt türüne ayrılmıştır bu nedenle bu bölümler daha sonra ‘yakıtta özgü bölümler’ olarak anılacaktır. Bu bölümlerin yapısı genel BREF taslağına dayanır:

- Her bölümün birinci kısmında (4 ile8 arası Bölümler) özel yakıtların yakılmasında kullanılan uygulamalı proses ve tekniklere ilişkin bilgiler verilir.
- Her bölümün ikinci kısmında (4 ile8 arası Bölümler) özel yakıtların yakılmasında kullanılan uygulamalı teknik ve süreçlere ilişkin örnekler verilir.
- Her bölümün üçüncü kısmında (4 ile8 arası Bölümler) belgenin yazıldığı zaman zarfında mevcut tesislerdeki durumu yansıtan tüketim seviyelerine ilişkin bilgiler sunulur.
- Her bölümün dördüncü kısmında (4 ile8 arası Bölümler) emisyon azaltma ile MET ve MET-temelli izin koşullarının belirlenmesi ile en çok ilişkili olduğu kabul edilen diğer teknikler daha ayrıntılı bir şekilde açıklanır. Bu bilgiler tüketim seviyeleri, termal verimlilik ve teknik kullanılarak erişilebileceği düşünülen emisyon düzeylerine dair ayrıntıları; bazı seviye ve maliyet türü göstergelerini ve teknikle ilintili bazı çapraz medya etkilerine dair bilgileri ve ayrıca tekniğin örneğin yeni, mevcut, büyük veya küçük tesislerde uygulanabilir olup olmadığı gibi IPPC izni gereken tesis alanında uygulanabilme derecesine ilişkin ayrıntıları kapsar. Genel olarak eskimiş görülen teknikler dahil edilmemiştir.
- Her bölümün son kısmı (4 ile8 arası Bölümler) ‘sonuçlar’ bölümüdür. Burada genel anlamda teknikler, MET ile uyumlu olduğu kabul edilen tüketim, termal etkinlik ve emisyon seviyeleri sunulur. Bu kısmın amacı MET temelli izin koşullarının belirlenmesine yardımcı olmak üzere veya Direktif’in (9)8. Maddesi kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesisine yönelik olarak uygun başvuru noktaları olarak düşünülebilecek genel göstergeler sağlamaktır.

Ancak bu belgenin emisyon sınır değerleri önermemektedir. Uygun izin koşullarının belirlenmesinde ilgili tesisin teknik özellikleri, coğrafi konumu ve yerel çevresel koşulları gibi yerel, sahaya özgü etmenler dikkate alınacaktır. Mevcut tesisler düşünüldüğünde bu tesislerin ekonomik ve teknik yükseltme kapasiteleri de ayrıca dikkate alınması gerekir. Hatta bir bütün olarak yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama yegane amacı sık sık farklı türdeki çevresel etkiler arasında değerlendirme kararları yapmayı gerektirir ve bu kararlar çoğu zaman yerel değerlendirmelerden etkilenecektir.

Bu konuların bazılarında değinme teşebbüsünde bulunmuş olmasına rağmen bu belgede tam olarak ele alınmaları olanaklı değildir. Yakıta özel bölümlerdeki (4 ile 8 arası Bölümler) Mevcut En İyi Tekniklere ilişkin sonuç kısmında sunulan teknik ve düzeyler bu nedenle mutlaka tüm tesislere uygun olmayacaktır. Diğer taraftan uzun mesafeli veya sınır ötesi kirliliğin en aza indirilmesi de dahil olmak üzere yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama yükümlülüğü izin koşullarının tümüyle yerel değerlendirmeler temelinde tesis edilemeyeceğine işaret eder. Bu nedendir ki bu belgede yer alan bilgilerin izin makamları tarafından dikkate alınması son derece önemlidir.

Mevcut en iyi teknikler zamanla değişeceğinden bu belge gerektiği gibi gözden geçirilip güncellenecektir. Tüm yorum ve öneriler aşağıdaki adreste bulunan Gelecek Teknoloji Araştırmaları Enstitüsü'ndeki Avrupa IPPC Bürosuna yollanmalıdır:

Edificio Expo, Inca Garcilaso s/n, E-41092 Seville – İspanya  
Telefon: +34 95 4488 284Faks: +34 95 4488 426  
e-posta JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu  
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

## 6. IPP ve Büyük Yakma Tesisi Direktifleri arasındaki Kesişim Noktası

Konulara ilişkin aşağıdaki sunum büyük yakma tesislerinden havaya karışan belirli kirletici madde emisyonlarının sınırlandırılması hakkındaki 23 Ekim 2001 tarih ve 2001/80/EC sayılı Direktif (LCP) ile entegre kirlilik önleme ve kontrolü ile ilgili 24 Eylül 1996 tarih ve 96/61/EC sayılı Direktif (IPPC Direktifi) arasındaki kesişim noktasına aittir.

Topluluk hukukunun nihai yorumunun Avrupa Adalet Divanına yönelik bir mesele olduğu unutulmamalıdır ve bu nedenle Divanın yapacağı yorumun ileride yeni meseleler doğurabileceği konu dışında tutulamaz.

LCP Direktifi IPPC Direktifine yönelik aşağıdaki temel kesin başvuruları içerir:

- LCP Direktifinin 8. Raporundaki ifadeye göre “Bu Direktif ile getirilen emisyon sınır değerlerine uygunluğun mevcut en iyi tekniklerin kullanımına ilişkin olarak 96/61/EC sayılı Direktif gerekliliklerine uygunluk için gerekli ancak yeterli olmayan bir koşul olarak değerlendirilmesi gerekir. Böyle bir uygunluk daha katı emisyon sınır değerlerini, diğer madde ve ortama ilişkin sınır değerlerini ve diğer uygun koşulları kapsayabilir”. Rapor LCP Direktifi ile getirilen emisyon sınır değerlerine uygunluğun IPPC Direktifine uyma özellikle de Direktife uygun olarak belirlenen koşulları içeren izne uygun olarak çalışma yükümlülüğünü kaldırmaz (IPPC Direktifi Madde 9(4)).
- LCP Direktifi Madde 4(3) ve 4(6) Üye Ülkelerin mevcut tesisler için ulusal bir emisyon azaltma planı oluşturma veya mevcut tesiste LCP Direktifinde belirtilen emisyon sınır değerlerini uygulamalarını öngörür. Ancak plan “herhangi bir tesisi hiçbir koşulda, diğerlerine ilaveten 96/61/EC No’lu Direktif ve ilgili Topluluk mevzuatı ile getirilen hükümlerden muaf tutamaz”. Bu nedenle herhangi bir tesis ulusal bir plan kapsamında olsa dahi IPPC Direktifinin 9(4) veya 9(8). Maddeleri hükümlerine göre belirlenen eşdeğer parametre ve teknik ölçüler veya emisyon sınır değerlerini içeren izin de dahil olmak üzere tüm IPPC Direktifi hükümlerine uygun olarak çalıştırılması gerekir. Buna ilaveten, standart BREF önsözünde sunulduğu üzere, hem IPPC Direktifi Madde 9(4) hükümleri hem de MET tanımında belirli bir esneklik getirilmiştir.



- LCP Direktifinin 4(4). Maddesi “ömrünü tamamlamış” tesisler için emisyon sınır değerlerine uygunluk veya “96/61/EC sayılı Direktife hâle getirmeksizin” ulusal plana dahil edilme yükümlülüklerinden olası bir muafiyet öngörür. Önceki durumda olduğu gibi ilgili tesisin yine de “IPPC” iznine göre işletilmesi gerekir. Yukarıda sunulduğu üzere, IPPC Direktifinin 9(4) nolu Madde hükümleri ve MET tanımı yetkili makamların bu tür “ömrünü tamamlamış” tesislerin özgüllüklerini dikkate almalarına olanak sağlar. Buna ek olarak, başvuru sahibi izin başvurularına ilişkin olarak IPPC Direktifi’nin 6. Maddesinde sıralanan belgelere LCP Direktifinin 4(4)(a) maddesine göre yazılı beyanını iliştiirmelidir.

# Büyük Yakma Tesislerine Yönelik Mevcut En İyi Teknikler Başvuru Belgesi

İDARİ ÖZET.....	I
ÖNSÖZ.....	XI
BELGENİN KAPSAM VE DÜZENLEMESİ.....	XXXV

## 1. GENEL BİLGİLER1

1.1 Sanayiye ilişkin genel açıklama .....	1
1.2 Ekonomik durum.....	7
1.3 Önemli çevresel konular .....	10
1.3.1 Verimlilik.....	11
1.3.2 Hava emisyonları.....	13
1.3.2.1 Sülfür oksit .....	13
1.3.2.2 Nitrojen oksit (NOx) .....	13
1.3.2.3 Toz ve partikül madde .....	15
1.3.2.4 Ağır metaller.....	16
1.3.2.5 Karbon monoksit.....	18
1.3.2.6 Sera gazları (karbon dioksit ve diğer gazlar) .....	18
1.3.2.7 Hidroklorik asit.....	21
1.3.2.8 Hidrojen florid .....	21
1.3.2.9 Amonyak (NH <sub>3</sub> ) .....	21
1.3.2.10 Uçucu organik bileşenler (VOC) .....	22
1.3.2.11 Kalıcı organik bileşenler (POPs), polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAHs), dioksin ve furanlar .....	22
1.3.3 Su emisyonları .....	22
1.3.4 Yakma tortu ve yan ürünleri .....	24
1.3.5 Gürültü emisyonları .....	26
1.3.6 Radyoaktif maddelerin emisyonu .....	27

## 1. ENERJİ ÜRETİMİNE YÖNELİK GENEL TEKNİKLER .....

1.1 Yakma ilkeleri .....	29
1.2 Genel teknik yakma süreçleri.....	30
1.1.1 Genel yakıt ısı dönüşümü .....	30
2.2.2 Pülverize katı yakıt ateşleme.....	30
2.2.3 Akışkan yatak yakma fırını.....	31
2.2.4 Izgara ateşleme.....	31
2.2.5 Petrol ve gaz ateşleme .....	31
2.2.6 Gazlaştırma/Sıvılaştırma .....	31
2.3 Direkt dönüşüm .....	32
2.3.1 Genel.....	32
2.3.3 Gaz türbini.....	33
2.4 Genel teknik buhar süreçleri .....	33
2.4.1 Genel.....	33
2.4.2 Vakum yoğunlaştırıcı enerji tesisi .....	33
2.4.3 Birlikte üretim / bileşik ısı ve enerji .....	34
2.5 Kombine çevrim.....	35
2.5.1 Genel.....	35
2.5.2 Kombine çevrim gaz türbininin ilave ateşlemesi ve mevcut enerji santrallerinin yeniden çalıştırılması .....	35
2.6 Buhar çevriminin tipik unsurları .....	36
2.6.1 Buhar kazanı.....	38
2.6.2 Buhar türbini.....	40
2.6.3 Yoğunlaştırıcı .....	40
2.6.4 Soğutma sistemi .....	40
2.6.5 Farklı enerji tesisi konseptlerinin spesifik giderleri .....	40
2.7 Verimlilik.....	41
2.7.1 Carnot verimliliği.....	42
2.7.2 Termal verimlilik .....	42
2.7.3 Ünite verimliliği.....	43
2.7.4 Buhar çekilmesine yönelik ünite verimliliği .....	43

2.7.5 Ekserji kavramı ve ekserji verimliliği.....	44
2.7.6 İklim şartlarının verimlilik üzerindeki etkisi.....	46
2.7.7 Verimlilik ve çevresel konular arasındaki ilişki.....	48
2.7.8 Yakma tesislerinde verimlilik kaybı.....	48
2.7.9 LCP verimliliğini arttıracak jenerik teknik tedbirler.....	49
<b>3 BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARI AZALTACAK GENEL SÜREÇ VE TEKNİKLER.....</b>	<b>51</b>
3.1 Başlıca emisyonu azaltıcı tedbirlerden bazıları.....	52
3.1.1 Yakıt değişimi.....	52
3.1.2 Yakma modifikasyonları.....	52
3.2 Partikül emisyonlarını azaltacak teknikler.....	54
3.2.1 Elektrostatik presipitatörler (ESPs).....	55
3.2.2 Islak elektrostatik presipitatörler.....	57
3.2.3 Bez filtreler (ek odacık).....	57
3.2.4 Merkezkaçlı presipitasyon (siklonlar).....	60
3.2.5 Islak gaz temizleyici aygıt.....	61
3.2.6 Partikül madde kontrol ekipmanı genel performansı.....	64
3.3 Sülfür oksit emisyonlarını azaltacak teknikler.....	65
3.3.1 Sülfür oksit emisyonlarını azaltacak birincil tedbirler.....	65
3.3.1.1 Dahili desülfürizasyona yönelik düşük sülfür yakıtı veya temel kül bileşenli yakıt kullanımı.....	65
3.3.1.2 Akışkan yatak yakma sistemlerinde adsorban kullanımı.....	65
3.3.2 Sülfür oksit emisyonlarını azaltacak ikincil tedbirler.....	66
3.3.3 Islak gaz temizleyici aygıtlar.....	67
3.3.3.1 Islak kireç / kireçtaşı gazı temizleyici aygıtlar.....	68
3.3.3.2 Deniz suyu gazı temizleyici aygıt.....	75
3.3.3.3 Magnezyum ıslak gaz temizleyici aygıt.....	77
3.3.3.4 Amonyak ıslak gaz temizleyici aygıt.....	77
3.3.4 Sprey kuru gaz temizleyici aygıtlar.....	78
3.3.5 Sorbent enjeksiyonu.....	81
3.3.5.1 Fırın sorbent enjeksiyonu.....	81
3.3.5.2 Kanal sorbent enjeksiyonu (kuru FGD).....	83
3.3.5.3 Hibrid sorbent enjeksiyonu.....	86
3.3.5.4 Dolaşımli akışkan yatak (CFB) kuru gaz temizleyici aygıtlar.....	86
3.3.6 Yenilenebilir süreçler.....	87
3.3.6.1 Sodyum sülfid bisülfid prosesi.....	87
3.3.6.2 Magnezyum oksit prosesi.....	88
3.3.7 Baca gazı desülfürizasyon (FGD) tekniklerinin genel performansı.....	89
3.4 Nitrojen oksit emisyonlarını azaltacak teknikler.....	94
3.4.1 NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltacak birincil tedbirler.....	95
3.4.1.1 Düşük hava fazlalığı.....	95
3.4.1.2 Hava toplama.....	96
3.4.1.3 Baca gazı yeniden dolaşımı.....	97
3.4.1.4 İndirgenmiş hava ön ısısı.....	97
3.4.1.5 Yakıt toplama (yeniden yakma).....	98
3.4.1.6 Düşük NO <sub>x</sub> brülörü.....	100
3.4.1.7 NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaya yönelik birincil tedbirlerin genel performansı.....	104
3.4.2 NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltacak ikincil tedbirler.....	106
3.4.2.1 Selektif katalitik indirgeme (SCR).....	106
3.4.2.2 Selektif katalitik olmayan indirgeme (SNCR).....	113
3.4.2.3 Amonyak depolamasına yönelik emniyet hususları storage.....	115
3.4.2.4 NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaya yönelik ikincil tedbirlerin genel performansı.....	116
3.5 Sülfür oksit ve nitrojen oksit emisyonlarını azaltacak kombine teknikler.....	117
3.5.1 Katı soğurma / rejenerasyon.....	117
3.5.1.1 Aktifleştirilmiş karbon prosesi.....	117
3.5.1.2 NO <sub>x</sub> SO prosesi.....	118
3.5.1.3 Diğer katı soğurma / rejenerasyon süreçleri.....	118
3.5.2 Gaz/katı katalitik süreçler.....	119
3.5.2.1 WSA-SNOX prosesi.....	119
3.5.2.2 DESONOX prosesi.....	120
3.5.2.3 SNRB prosesi.....	120
3.5.2.4 Ortaya çıkan gaz/katı katalitik süreçler.....	121

3.5.3	Elektron ışını irradasyonu	121
3.5.4	Alkali enjeksiyonu	121
3.5.5	NO <sub>x</sub> ihracını sağlayacak katkı maddeleri ile ıslak gaz temizleyici aygıt	121
3.5.6	SO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> azaltma işlemine yönelik kombine tekniklerin genel performansı	122
3.6	Metal (ağır metal) emisyonlarını azaltacak teknikler	123
3.6.1	Cıva (Hg) emisyonlarının kontrolü	124
3.6.1.1	Katı yakıtın Hg içeriğini azaltacak birincil tedbirler	124
3.6.1.2	Cıva emisyonlarını azaltacak baca gazı arıtma teknolojileri	124
3.6.2	Partikül kontrol sistemlerinde metal emisyonlarının azaltılması	125
3.6.3	FGD sistemlerinde metal emisyonlarının azaltılması	125
3.6.4	NO <sub>x</sub> kontrol sistemlerinde metal emisyonlarının azaltılması	126
3.6.5	Metal ihracı için tasarlanan sistemler ile metal emisyonlarının azaltılması	126
3.7	CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarını azaltacak teknikler	127
3.8	Halojen emisyonlarını azaltacak teknikler	127
3.8.1	Partikül kontrol sistemlerinde halojen emisyonlarının azaltılması	128
3.8.2	FGD sistemlerinde halojen emisyonlarının azaltılması	128
3.8.3	NO <sub>x</sub> kontrol sistemlerinde halojen emisyonlarının azaltılması	128
3.9	Büyük yakma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması	129
3.9.1	Termal verimliliğin artırılması ile karbon dioksit emisyonlarının azaltılması	129
3.9.2	Karbon monoksidin baca gazlarından atılması	131
3.10	Suya tahliye kontrol etme teknikleri	132
3.10.1	Su arıtma tesislerinden gelen atık su	133
3.10.2	Soğutucu devre sistemlerinden gelen atık su	133
3.10.3	Diğer buhar üretim prosesi kaynaklarından gelen atık su	133
3.10.4	Baca gazı temizleme sistemlerinden gelen atık su	134
3.10.5	Sıhhi atık su	135
3.10.6	Atık su arıtma teknikleri	136
3.10.7	Diğer atık sular	137
3.11	Toprağa tahliye kontrol etme teknikleri	137
3.12	Gürültü emisyonlarını kontrol edecek tedbirler	139
3.12.1	Temel seçenekler	139
3.12.2	Yapı kaynaklı gürültü	139
3.12.3	Kanal ve boru tesisatı gürültüsü	140
3.12.4	Susturucular	140
3.12.5	Makine gürültüsü	140
3.12.6	Sonuçlar	140
3.13	Soğutma teknikleri	141
3.14	Emisyon izleme ve raporlama	141
3.14.1	Emisyon bileşenleri	142
3.14.2	Referans koşul ve parametreleri	142
3.14.3	Numuneleme yerleri	143
3.14.4	Emisyonların izlenmesi	143
3.14.4.1	Sürekli izleme	145
3.14.4.2	Kesintisiz ölçümler	145
3.14.4.3	İşler parametrelerin ölçümüne dayalı emisyon hesaplamaları	145
3.14.4.4	Emisyon faktörleri	145
3.14.5	Emisyon verilerini raporlama	147
3.15	Çevresel yönetim araçları	147
3.15.1	Çevresel yönetime ilişkin MET	154
3.16	Bir bütün olarak çevrenin korunması bütünlük yaklaşımına giriş	156

#### 4 KÖMÜR VE LİNYİT YAKMA TEKNİKLERİ 159

4.1	Uygulamalı proses ve teknikler	160
4.1.1	Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması	161
4.1.1.1	Kömür ve linyit	161
4.1.1.2	Katı maddeleri ve arıtma ayıraçları	161
4.1.2	Kömür ve linyit ön arıtımı	162
4.1.3	Yakıt hazırlama	163
4.1.3.1	Pülverize taş kömürü yakımı için yakıt hazırlama	163
4.1.3.2	Pülverize linyit yakımı için yakıt hazırlama	166
4.1.3.3	Akışkan yatak yakımı (FBC) için yakıt hazırlama	167
4.1.3.4	Izgara ateşleme (GF) için yakıt hazırlama	167
4.1.4	Buhar kazanı türleri ve buhar jeneratörü	167

---

4.1.4.1 Yoğunlaşma enerji santralleri .....	167
4.1.4.2 Akışkan yatak yakma (FBC) .....	170
4.1.4.3 Basınçlı akışkan yatak yakma .....	174
4.1.4.4 Izgara ateşleme (GF) .....	175
4.1.5 Entegre gazlaştırma kombine çevrim .....	176
4.1.6 Birlikte üretim (CHP) .....	177
4.1.7 Kombine çevrim yakma (yeniden çalıştırma) .....	178
4.1.8 Kömür ve linyit ataşlemeli LCP verimliliği .....	179
4.1.8.1 Buhar kazanı verimliliği .....	179
4.1.8.2 Kömür ile çalışan buhar kazanı verimliliğini arttıracak teknikler .....	179
4.1.9 Kömür ve linyit ile çalışan LC'lerden kaynaklı hava emisyonunun kontrolü .....	179
4.1.9.1 Pülverize yakıt yakmadan kaynaklı emisyonların kontrolü .....	180
4.1.9.2 Akışkan yatak yakmadan kaynaklı emisyonların kontrolü .....	187
4.1.9.3 Izgara ateşlemeden kaynaklı emisyonların kontrolü .....	188
4.1.10 Su ve atık su arıtımı .....	189
4.1.11 Yakma tortu ve yan ürünlerinin arıtımı .....	189
4.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri .....	192
4.2.1 Bireysel uygulamalı teknik örnekleri .....	192
4.2.2 Mevcut kömür ve linyit ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansını arttıracak uygulamalı teknik örnekleri .....	214
4.2.3 Yeni kömür ve linyit ile çalışan büyük yakma tesislerine uygulanan tekniklere ilişkin örnekler .....	220
4.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri .....	229
4.3.1 LCP'lerde kullanılan kömür ve linyit .....	229
4.3.2 Kömür ve linyit ile çalışan yakma tesislerinin verimliliği .....	232
4.3.3 Hava emisyonları .....	235
4.3.3.1 Taş kömürü ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	236
4.3.3.2 Linyit ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	238
4.3.3.3 Ağır metal emisyonları .....	240
4.3.4 Taş kömürü ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları .....	244
4.3.5 Linyit ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları .....	248
4.3.6 Yakma tortu ve yan ürünleri .....	249
4.3.7 Gürültü emisyonları .....	253
4.4 Kömür ve linyit yakımına yönelik Met belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler .....	254
4.4.1 Yakıt boşaltım, depolama ve taşıma işlemlerine yönelik teknikler .....	255
4.4.2 Yakıt ön arıtımına yönelik teknikler .....	256
4.4.3 Verimlilik ve yakıtın değerlendirilmesini arttıracak teknikler .....	257
4.4.4 Toz ve partiküle bağlı ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler .....	259
4.4.5 SO <sub>2</sub> emisyonunun kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	260
4.4.6 NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının emisyonunun kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	262
4.4.7 Su kirliliğinin emisyonunun kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	264
4.5 Kömür ve linyit yakma işlemine yönelik Mevcut En İyi Teknikler (MET) .....	265
4.5.1 Giriş .....	265
4.5.2 Yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması .....	267
4.5.3 Yakıt ön arıtım .....	267
4.5.4 Yakma .....	268
4.5.5 Termal verimlilik .....	268
4.5.6 Toz .....	270
4.5.7 Ağır metaller .....	271
4.5.8 SO <sub>2</sub> emisyonları .....	272
4.5.9 NO <sub>x</sub> emisyonları .....	275
4.5.10 Karbon monoksit (CO) .....	279
4.5.11 Hidrojen florid (HF) ve hidrojen klorit (HCl) .....	279
4.5.12 Amonyak (NH <sub>3</sub> ) .....	279
4.5.13 Su kirliliği .....	279
4.5.14 Yakma işlemi tortuları .....	281
4.6 Kömür ve linyit yakma işlemine yönelik ortaya çıkan teknikler .....	282
4.6.1 Düşük sıcaklıklı linyit ön kurutucusuna yönelik pilot tesis .....	282
4.6.2 SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> ve cıvanın eşzamanlı kontrolü .....	282

<b>5 BİYOMAS VE TURBAYA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ</b> .....	285
5.1 Uygulamalı proses ve teknikler .....	285
5.1.1 Biyomas ve turbanın boşaltma, depolama ve taşınması .....	285
5.1.1.1 Biyomas ve turbanın nakil ve taşınması .....	285
5.1.1.2 Samanlerin nakil ve taşınması .....	286
5.1.2 Biyomas ve turba ön arıtımı.....	287
5.1.3 Biyomas ve turba yakma ve gazlaştırma işleminde özel hususlar .....	287
5.1.3.1 Izgara ateşleme.....	287
5.1.3.2 Samanlere yönelik yakma işlemi .....	288
5.1.3.3 Pülverize turba ateşleme .....	288
5.1.3.4 Akışkan yatak yakma.....	289
5.1.3.5 Biyomas gazlaştırma.....	290
5.1.3.6 Birlikte üretim (CHP) .....	291
5.1.3.7 Biyomas ve fosil yakıtların birlikte ateşlenmesi .....	292
5.1.4 Baca gazı temizleme .....	295
5.1.4.1 Izgara ateşleme kaynaklı emisyon kontrolü.....	295
5.1.4.2 Pülverize turba yakmadan kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	296
5.1.4.3 Biyomas ve turbanın akışkan yatak tekniği ile yakma işleminden kaynaklı emisyonların kontrolü .....	296
5.1.5 Su ve atık su arıtma.....	298
5.1.6 Yakma tortu ve yan ürünlerinin taşınması .....	298
5.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri.....	299
5.2.1 Biyomas ve turba ile çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonları azaltacak bireysel teknikler .....	300
5.2.2 Mevcut biyomas ve turba ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansının geliştirilmesi .....	301
5.2.3 Yeni biyomas ve turba ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansı.....	306
5.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri.....	313
5.3.1 Kütle akışına dair genel açıklama .....	313
5.3.2 Büyük yakma tesislerinde kullanılan biyomas ve turbaya ilişkin genel açıklama.....	313
5.3.2.1 Biyomas .....	313
5.3.2.2 Turba .....	316
5.3.3 Biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinin verimliliği .....	318
5.3.4 Hava emisyonları.....	318
5.3.4.1 Biyomas ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları.....	318
5.3.4.2 Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları.....	320
5.3.5 Yakma ve diğer tesis tortuları .....	321
5.3.6 Potansiyel gürültü emisyonu kaynakları .....	321
5.4 Biyomas ve turba yakılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler .....	322
5.4.1 Yakıt boşaltım, depolama ve taşıma teknikleri .....	323
5.4.2 Yakıt ön arıtım teknikleri .....	324
5.4.3 Yakma teknikleri .....	324
5.4.4 Verimliliği artıracak teknikler.....	325
5.4.5 Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler .....	326
5.4.6 Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı SO <sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler.....	327
5.4.7 NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler.....	328
5.4.8 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler.....	329
5.4.9 Yakma tortularının taşınma, azaltma ve yeniden kullanımına ilişkin teknikler .....	330
5.5 Biyomas ve turba yakımına ilişkin mevcut en iyi teknikler (MET) .....	331
5.5.1 Biyomas, turba ve katkı maddelerinin boşaltma, depolama ve taşınması .....	333
5.5.2 Yakıt ön arıtımı .....	334
5.5.3 Yakma .....	334
5.5.4 Termal verimlilik.....	334
5.5.5 Toz .....	335
5.5.6 Ağır metaller .....	336
5.5.7 SO <sub>2</sub> emisyonları.....	336
5.5.8 NO <sub>x</sub> emisyonları.....	339
5.5.9 Karbon monoksit (CO) .....	340
5.5.10 Hidrojen florit (HF) ve hidrojen klorit (HCl) .....	341
5.5.11 Amonyak (NH <sub>3</sub> ) .....	341
5.5.12 Dioksin ve furanlar .....	341
5.5.13 Gürültü.....	341
5.5.14 Su kirliliği .....	341
5.5.15 Yakma tortuları.....	342

5.6 Biyomas ve turba yakma işlemine ilişkin ortaya çıkan teknikler .....	343
<b>6 LİKİT YAKITLARA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ.....</b>	<b>345</b>
6.1 Uygulamalı proses ve teknikler .....	345
6.1.1 Likit yakıtların boşaltım, depolama ve taşınması .....	345
6.1.2 Likit yakıtların ön arıtımı .....	346
6.1.2.1 Geleneksel buhar kazanlarında kullanılan petrol ön arıtımı.....	346
6.1.2.2 Gaz türbinlerinde kullanılan likit yakıtların ön arıtımı.....	346
6.1.2.3 Dizel motorlar için likit yakıtların ön arıtımı.....	346
6.1.3 Petrol ile çalışan buhar kazanları.....	347
6.1.4 Endüstriyel uygulamalara yönelik petrol ile çalışan yakma tesisleri (process heater) .....	348
6.1.5 Akışkan yatak ateşleme .....	349
6.1.6 Sıkıştırma ile çalışan (dizel) motorlar.....	349
6.1.7 Likit yakıt ile çalışan gaz türbinleri .....	350
6.1.8 Birlikte üretim (CHP) .....	351
6.1.9 Kombine çevrim yakma işlemi .....	351
6.1.10 Hava emisyonlarının kontrolü.....	351
6.1.10.1 Likit yakıt ile çalışan buhar kazanlarından kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	352
6.1.10.2 Likit yakıt ile çalışan proses ısıtıcılardan kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü.....	355
6.1.10.3 Likit yakıt ile çalışan (dizel) motorlardan kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	356
6.1.10.4 Likit yakıt ile çalışan gaz türbinlerinden kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	361
6.1.11 Su ve atık su arıtımı.....	361
6.1.12 Yakma tortu ve yan ürün arıtımı .....	362
6.2 Uygulamalı proses ve tekniklere ilişkin örnekler .....	363
6.2.1 Likit yakıt ile çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklı emisyonları azaltacak bireysel teknikler .....	363
6.2.2 Mevcut likit yakıt ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansının geliştirilmesi .....	364
6.2.3 Yeni likit yakıt ile çalışan yakma tesislerinin çevresel performansı .....	369
6.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri.....	374
6.3.1 Büyük yakma tesislerinde kullanılan likit yakıtlara ilişkin genel açıklama .....	374
6.3.2 Likit yakıt ile çalışan yakma tesislerinin verimliliği .....	375
6.3.2.1 Petrol ile çalışan buhar kazanlarının verimliliğini arttıracak teknikler .....	376
6.3.2.2 Yardımcı unsurların enerji tüketimi .....	376
6.3.3 Hava emisyonları .....	377
6.3.3.1 Likit yakıt ile çalışan buhar kazanı tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	377
6.3.3.2 Endüstriyel uygulamalarda kullanılan proses ısıtıcılardan kaynaklı NOx emisyonlarının azaltılması .....	378
6.3.3.3 Likit yakıt ile çalışan motor tesislerinde ölçülen emisyonlar .....	378
6.3.3.4 Su emisyonları.....	381
6.3.3.5 Atık ve tortular .....	382
6.3.3.6 Atık su arıtım tesisinden kaynaklı tortular .....	384
6.4 Likit yakıtların yakılmasına yönelik MET belirlemede değerlendirilecek teknikler .....	386
6.4.1 Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler .....	387
6.4.2 Likit yakıt ateşlemeli buhar kazanlarının verimliliğini arttıracak teknikler.....	388
6.4.3 Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	389
6.4.4 SO <sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	390
6.4.5 NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler.....	392
6.4.6 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	393
6.5 Likit yakıtların yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET) .....	394
6.5.1 Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması .....	395
6.5.2 Motor ve gaz türbinlerinde kullanılan likit yakıtların ön arıtımı.....	396
6.5.3 Likit yakıt ile çalışan buhar kazanlarına yönelik MET .....	396
6.5.3.1 Termal verimlilik.....	396
6.5.3.2 Toz ve ağır metal emisyonları .....	397
6.5.3.3 SO <sub>2</sub> emisyonları.....	398
6.5.3.4 NO <sub>x</sub> emisyonları.....	399
6.5.3.5 Karbon monoksit (CO) .....	401
6.5.3.6 Amonyak (NH <sub>3</sub> ) .....	401
6.5.3.7 Su kirliliği .....	402
6.5.3.8 Yakma tortuları .....	403
6.5.4 Likit yakıt ile çalışan gaz türbinlerine yönelik MET .....	404
6.5.5 Likit yakıt ile çalışan (dizel) motorlara yönelik MET.....	404
6.5.5.1 Termal verimlilik .....	404

6.5.5.2 Toz ve ağır metal emisyonları .....	405
6.5.5.3 SO <sub>2</sub> emisyonları .....	406
6.5.5.4 NO <sub>x</sub> emisyonları .....	406
6.5.5.5 CO ve hidrokarbon emisyonları .....	407
6.5.5.6 Su kirliliği .....	407
6.6 Likit yakıtların yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler .....	407
<b>7 GAZLI YAKITLARA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ .....</b>	<b>409</b>
7.1 Uygulamalı proses ve teknikler .....	409
7.1.1 Gazlı yakıtların boşaltım, depolama ve taşınması .....	409
7.1.2 Gaz türbinleri (GT) .....	410
7.1.3 Sıkıştırma ile çalışan motorlar .....	413
7.1.3.1 Buji ile çalışan motorlar .....	413
7.1.3.2 Dual yakıt motorları .....	413
7.1.3.3 Yüksek basınç gaz enjeksiyon motorları .....	414
7.1.3.4 Gaz motorları kullanılarak birlikte üretim .....	414
7.1.4 Gaz ile çalışan buhar kazanı ve ısıtıcılar .....	415
7.1.5 Kombine çevrim yakma işlemi .....	415
7.1.5.1 İlave ateşleme (HRSG) ile ve ilave ateşleme olmaksızın kombine çevrim .....	417
7.1.6 Birlikte üretim (CHP) .....	420
7.1.7 Gaz ile çalışan türbin ve kombine çevrimlerden kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	422
7.1.7.1 Toz emisyonlarının azaltılması .....	422
7.1.7.2 SO <sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması .....	422
7.1.7.3 NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması .....	423
7.1.8 Buji ile çalışan (SG) ve dual yakıt (gaz modu) kaynaklı NO <sub>x</sub> emisyonlarının kontrolü .....	429
7.1.9 Gaz ile çalışan buhar kazanlarından kaynaklı NO <sub>x</sub> emisyonlarının kontrolü .....	429
7.1.10 Su ve atık su arıtımı .....	430
7.1.11 Gürültü emisyonlarının kontrolü .....	430
7.1.12 Deniz dibi (offshore) yakma tesisleri .....	431
7.1.12.1 Deniz dibi gaz türbinlerinden kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü .....	432
7.1.12.2 Deniz dibi gaz türbinlerinin verimliliği .....	433
7.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri .....	434
7.2.1 Gaz ile çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklı emisyonları azaltacak bireysel teknikler .....	434
7.2.2 Mevcut gaz ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansının geliştirilmesi .....	444
7.2.3 Yeni gaz ile çalışan yakma tesislerinin çevresel performansı .....	446
7.2.4 Deniz dibi platformlarında çalışan yakma tesislerinin çevresel performansını arttıracak teknikler .....	453
7.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri .....	462
7.3.1 Kütle akışına dair genel açıklama .....	462
7.3.2 Büyük yakma tesislerinde kullanılan gazlı yakıtlara ilişkin genel açıklama .....	462
7.3.3 Gazlı yakıt ile çalışan yakma tesislerinin verimliliği .....	463
7.3.4 Hava emisyonları .....	464
7.3.5 Su emisyonları .....	468
7.3.6 Yakma ve diğer tesis tortuları .....	468
7.3.7 Gürültü emisyonu .....	468
7.4 Gazlı yakıtların yakılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler .....	469
7.4.1 Gazlı yakıt ve likit katkı maddelerinin tedarik ve taşınmasına yönelik teknikler .....	470
7.4.2 Gazlı yakıt ile çalışan buhar kazanı ve türbinlerin verimliliğini artırma teknikleri .....	471
7.4.3 NO <sub>x</sub> ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	472
7.4.4 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	473
7.4.5 Deniz dibi tesislerine yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler .....	474
7.5 Gazlı yakıtların yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET) .....	476
7.5.1 Gazlı yakıt ve katkı maddelerinin tedarik ve taşınması .....	477
7.5.2 Gaz ile çalışan yakma tesislerinin termal verimliliği .....	477
7.5.3 Gaz ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı toz ve SO <sub>2</sub> emisyonları .....	479
7.5.4 Gaz ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı NO <sub>x</sub> ve CO emisyonları .....	480
7.5.4.1 Su kirliliği .....	483
7.5.4.2 Yakma tortuları .....	483
7.5.5 Deniz dibi platformlarda çalışan yakma tesislerine yönelik MET .....	483
7.6 Gazlı yakıtların yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler .....	485
7.6.1 Katalitik yakma .....	485
7.6.2 Buhar soğutma .....	485



7.6.3 Yeni gelişim potansiyelleri .....	486
7.6.4 Reküperatif seçenekler .....	486
7.6.4.1 Ara soğutma ve reküperatörlü gaz türbini .....	486
7.6.4.2 HAT çevrimi .....	486
7.6.4.3 TOPHAT prosesi .....	487
7.6.4.4 CHAT çevrimi .....	487
<b>8 ATIK VE YENİLENEN YAKITIN BİRLİKTE YAKILMASI .....</b>	<b>489</b>
8.1 İkincil yakıtların LCP'lerde birlikte yakılmasında kullanılan uygulamalı proses ve teknikler .....	490
8.1.1 Kabul ve ön kabul prosedürleri .....	490
8.1.2 Boşaltma, depolama ve taşıma .....	490
8.1.3 İkincil yakıtların ön arıtımı .....	491
8.1.3.1 Haddeleme .....	491
8.1.3.2 Ön yakma işlemi .....	491
8.1.3.3 Kurutma .....	492
8.1.3.4 Piroliz .....	492
8.1.3.5 Gaslaştırma .....	493
8.1.3.6 Metanizasyon .....	495
8.1.4 İkincil yakıtları yakma prosesine alma teknikleri .....	495
8.1.4.1 Ana yakıt ile karıştırma .....	496
8.1.4.2 Ayrı lance'ler veya mevcut modifiye brülörler .....	497
8.1.4.3 Özel ızgaralar .....	497
8.1.4.4 İkincil yakıtları akışkan yatak buhar kazanına besleme .....	497
8.1.5 İkincil yakıtların birlikte yakılması .....	498
8.1.6 İkincil yakıtın birlikte yakılması yoluyla oluşan hava emisyonlarının kontrolü .....	498
8.1.7 Su ve atık su arıtımı .....	499
8.1.8 Yakma tortu ve yan ürünlerinin taşınması .....	499
8.2 İkincil yakıt birlikte yakma örnekleri .....	500
8.3 LCP'lerde ikincil yakıtların birlikte yakılması işleminde mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri .....	508
8.3.1 LCP'lerde birlikte yakılan ikincil yakıtlara genel bakış .....	508
8.3.2 LCP'lerde birlikte yakılan ikincil yakıtların derecesi .....	510
8.3.3 İkincil yakıtların birlikte yakılmasının genel etkileri .....	512
8.3.4 Birlikte yakma işleminin tesis verimliliği üzerindeki etkileri .....	512
8.3.5 Birlikte yakma işleminin tesis performansı üzerindeki etkileri .....	514
8.3.6 Birlikte yakma işleminin hava emisyonları üzerindeki etkileri .....	514
8.3.6.1 Partiküler madde .....	515
8.3.6.2 Asit gazları .....	515
8.3.6.3 Karbon oksitler .....	515
8.3.6.4 Halide'lar .....	515
8.3.6.5 Nitrojen oksitler .....	515
8.3.6.6 Sülfür oksitler .....	516
8.3.6.7 VOC'ler ile dioksinler .....	516
8.3.6.8 Metaller .....	516
8.3.6.9 Baca dumanı .....	517
8.3.6.10 Koku .....	517
8.3.7 Birlikte yakma işleminin su emisyonları üzerindeki etkileri .....	518
8.3.8 Birlikte yakma işleminin yakma tortu ve yan ürünlerinin kalitesi üzerindeki etkileri .....	518
8.4 Atık ve yenilenen yakıtların birlikte yakılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler .....	520
8.4.1 Tozlu ve kokulu ikincil yakıtların depolama ve taşınmasına yönelik teknikler .....	521
8.4.2 İkincil yakıtların ön arıtımına yönelik teknikler .....	522
8.4.3 İkincil yakıtı yakma prosesine alma teknikleri .....	523
8.4.4 İkincil yakıtların birlikte yakılmasından kaynaklı hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	524
8.4.5 İkincil yakıtların birlikte yakılmasından kaynaklanan su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	526
8.4.6 Birlikte yakma işleminin yakma tortu ve yan ürünleri üzerindeki etkilerini azaltacak teknikler .....	526
8.5 Atık ve yenilenen yakıtların birlikte yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET) .....	527
8.5.1 Kabul ve ön kabul kriterleri .....	528
8.5.2 İkincil yakıtların depolama ve taşınması .....	529
8.5.3 İkincil yakıt ön arıtımı .....	529
8.5.4 İkincil yakıtın yakma prosesine alınması .....	529

---

8.5.5 Hava emisyonları .....	529
8.5.6 Su kirliliği .....	530
8.5.7 Yakma tortu ve yan ürünleri .....	531
8.6 Atık ve yenilenen yakıtların birlikte yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler .....	531
<b>9 SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER .....</b>	<b>533</b>
9.1 İşin zamanlaması .....	533
9.2 Bilgi kaynakları .....	533
9.3 Anlaşma düzeyi .....	534
9.4 Gelecekteki çalışmalara ilişkin öneriler .....	535
<b>REFERANSLAR .....</b>	<b>537</b>
<b>TERİMLER SÖZLÜĞÜ .....</b>	<b>547</b>
<b>10 EKLER .....</b>	<b>559</b>
10.1 Ek 1: Yakma çevrimi ilkeleri ve verimlilik kavramları .....	559
10.1.1 Ek 2: Termodinamik ilkeleri .....	559
10.1.1.1 Birinci termodinamik yasası .....	559
10.1.1.2 İkinci termodinamik yasası .....	559
10.1.1.3 Entalpi ve entropi .....	560
10.1.1.4 Geri döndürülebilirlik (reverzibilite) kavramı .....	560
10.1.1.5 İdeal çevrim (Carnot çevrimi) .....	561
10.1.1.6 Buhar özellikleri (su buharı) .....	562
10.1.2 Buhar enerji tesislerine yönelik standart çevrim olarak Rankine çevrimi .....	562
10.1.2.1 Haricen geri döndürülemeyen Rankine çevrimi .....	563
10.1.2.2 Rankine çevrimi verimliliğinin geliştirilmesi .....	564
10.1.2.3 Yeniden ısıtma .....	566
10.1.2.4 Rejenerasyon .....	567
10.1.3 Gaz türbinlerine yönelik standart çevrim olarak Joule veya Brayton çevrimi .....	568
10.1.3.1 İdeal Brayton çevrimi .....	568
10.1.3.2 İdeal olmayan Brayton çevrimi .....	570
10.1.3.3 Rejenerasyon .....	571
10.1.3.4 Kompresör ara soğutma .....	571
10.1.3.5 Türbin yeniden ısıtma .....	572
10.1.4 Kombine çevrimler .....	572
10.1.5 Birlikte üretim (CHP) .....	574
10.2 Ek 2. Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin teknik seçenekler .....	576
10.2.1 Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin absorpsiyon teknikleri .....	576
10.2.2 Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin adsorpsiyon teknikleri .....	576
10.2.3 Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin sirojenik teknikler .....	577
10.2.4 Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin membran teknikler .....	577
10.2.5 Baca gazlarından CO <sub>2</sub> ihracına ilişkin Carnot tekniği .....	577
10.2.6 Farklı CO <sub>2</sub> ihraç seçeneklerinin karşılaştırılması .....	578

## Şekil Listeleri

Şekil 1.1: Enerji üretim sektöründeki dünya çapında enerji kaynakları (1995).....	1
Şekil 1.2: Yakıt yoluyla elektrik üretimine yönelik enerji tüketimi (1997) .....	2
Şekil 1.3: Bir yakma tesisi ve ilişkili işlemlerinin genel akış diyagramı .....	10
Şekil 1.4: Kömür yakım işlemi sırasında iz elementlerinin bölümlendirilmesi.....	16
Şekil 1.5: Küresel ortalama sıcaklık ve geçmiş yüzyılda yayılan CO <sub>2</sub> miktarı .....	18
Şekil 1.6: Zaman içerisinde atmosferdeki CO <sub>2</sub> yoğunlaşmalarındaki değişim.....	19
Şekil 1.7: Farklı yakma tesisi türlerine yönelik CO <sub>2</sub> salınımı örnekleri.....	20
Şekil 1.8: Fosil yakıt ile çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklı atık sular .....	23
Şekil 2.1: Kömür ile çalışan elektrik santralının modern buhar türbini .....	36
Şekil 2.2: İdeal yakma çevriminin şematik yapısı.....	37
Şekil 2.3: Olası elektrik santrali konsepti.....	38
Şekil 2.4: Doğal sirkülasyon ve tek geçişli buhar kazanı konsepti.....	39
Şekil 2.5: Spesifik yatırımlar ve bunların seçili elektrik santrali konseptlerine yönelik yapıları .....	41
Şekil 2.6: Halihazırda kullanımda olan termal enerji üretim teknikleri yoluyla ulaşılan verimlilikler ile karşılaştırılan ideal (Carnot) verimliliği .....	42
Şekil 2.7: Termik santralde enerji aktarımı .....	43
Şekil 2.8: Ekserjetik verimliliği hesaplama metodolojisini gösteren örnek .....	44
Şekil 2.9: 1993 ile 2000 yılları arasında elektrik santrallerinin verimliliğindeki gelişmeler .....	50
Şekil 3.1: Halihazırda kullanılan partikül madde kontrol cihazlarına ilişkin genel açıklama .....	54
Şekil 3.2: ESP'nin tipik şematik tertibi .....	55
Şekil 3.3: Bez filtrenin genel tertibi (temizleme çevriminde bir bölmeli) .....	58
Şekil 3.4: Düşük basınç pulse jet bez filtre .....	59
Şekil 3.5: Ventüri sisteminin tipik akış şeması .....	61
Şekil 3.6: Oynar yatak gaz temizleyici .....	62
Şekil 3.7: Sülfür oksit emisyonlarını azaltmada kullanılan teknolojilerin genel açıklaması (ikincil tedbirler) .....	66
Şekil 3.8: Kireç/kireçtaşı ıslak gaz temizleyici FGD prosesinin akış şeması .....	68
Şekil 3.9: Farklı türde kireç/kireçtaşı ıslak gaz temizleyici .....	71
Şekil 3.10: Farklı absorber türleri .....	73
Şekil 3.11: Deniz suyu gaz temizleme prosesinin temel ilkeleri .....	75
Şekil 3.12: Deniz suyu gaz temizleme prosesi.....	76
Şekil 3.13: Islak amonyak prosesi .....	77
Şekil 3.14: Bir sprey kuru gaz temizleme prosesinin işleyerek üretim şeması.....	78
Şekil 3.15: Fırın sorbent enjeksiyonu .....	81
Şekil 3.16: Fırın sorbent enjeksiyonunda SO <sub>2</sub> ihracı tepkimeleri.....	81
Şekil 3.17: Kanal sorbent enjeksiyonu .....	83
Şekil 3.18: Modifiye kuru FGD prosesi .....	85
Şekil 3.19: Nitrojen oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel açıklaması .....	95
Şekil 3.20: Baca gazı yeniden dolaşımı .....	97
Şekil 3.21: Yeniden yakma prosesinde üç yakma zonu ve ilişkili parametreler.....	98
Şekil 3.22: Yeniden yakma yakıtı olarak kömür, petrol ve doğal gaz arasında karşılaştırma .....	99
Şekil 3.23: Yeniden yakma oranı fonksiyonu olarak denitrifikasyon oranı rate.....	100
Şekil 3.24: Konvansiyonel hava geçişli (hava toplama) ve ileri hava geçişli düşük NO <sub>x</sub> brülörlerin karşılaştırılması .....	101
Şekil 3.25: Gaz/petrol baca gazı yeniden sirkülasyonu düşük NO <sub>x</sub> brülörü .....	102
Şekil 3.26: Brülörde yakıt idaresi .....	103
Şekil 3.27: Petekli veya plaka tipi katalizörler .....	107
Şekil 3.28: Katalizör reaktörü, eleman, modül ve katmanların konfigürasyonu .....	108
Şekil 3.29: Mevcut azaltma teknolojileri konfigürasyonları .....	109
Şekil 3.30: Yüksek toz SCR katalizörü örneği .....	110
Şekil 3.31: Yakma tesisindeki SCR prosesine ilişkin yatırım maliyetleri.....	111
Şekil 3.32: SNCR prosesi .....	113
Şekil 3.33: Aktif karbon prosesi .....	118
Şekil 3.34: WSA-SNOX prosesi .....	119
Şekil 3.35: DESONOX prosesi .....	120
Şekil 3.36: Kömür ile çalışan yakma tesislerindeki ağır metal, florid ve klorin kütle dengelemesi.....	123
Şekil 3.37: Son 50 yılda enerji üretim teknolojilerindeki verimlilik gelişimleri .....	129
Şekil 3.38: Verimliliğe karşı CO <sub>2</sub> salınımı .....	130
Şekil 3.39: Tesis büyüklüğüne karşı spesifik CO <sub>2</sub> emisyonları.....	130
Şekil 3.40: Mevcut teknolojilerin CO <sub>2</sub> emisyon performansı .....	131
Şekil 3.41: FGD atık su arıtım tesisi.....	135
Şekil 3.42: Emisyon izleme konfigürasyonlarının iki kaynağı .....	143

Şekil 3.43: Elektrik santrallerinde proses kontrolü ve hava emisyonlarını izleme örneği.....	144
Şekil 4.1: 15 AB ülkesinde kömür ve linyit ile çalışan elektrik santralleri.....	159
Şekil 4.2: 15 AB ülkesinde kömür ve linyit ile çalışan elektrik santrallerinin yaş ve kapasiteleri.....	159
Şekil 4.3: 15 AB ülkesinde kömür ve linyit ile çalışan elektrik santrallerinin yaşı.....	160
Şekil 4.3: 15 AB ülkesinde kömür ve linyit ile çalışan elektrik santrallerinin yaşı.....	160
Şekil 4.5: Bilyalı kömür değirmeni.....	164
Şekil 4.6: Bilyalı kömür değirmeni.....	165
Şekil 4.7: Linyit öğütme işlemi için fan değirmeni.....	166
Şekil 4.8: Soğutucu kule tahliyeli yeni büyük linyitle çalışan elektrik santrali.....	167
Şekil 4.9: AB’de çalışan kuru ve ıslak taban buhar kazanı örnekleri.....	169
Şekil 4.10: Farklı kömür brülör konfigürasyonları (uygulanan ana sistemler).....	169
Şekil 4.11: Teğetsel ateşlemeli yanma odası.....	170
Şekil 4.12: Kabarcıklı yatak buhar kazanı ile dolaşımli akışkan yatak buhar kazanı taslakları.....	171
Şekil 4.13: Düşük sülfür kömür yakma işlemine yönelik CFBC buhar kazanı.....	172
Şekil 4.14: Kabarcıklı yatak PFBC sisteminin taslak çizimi.....	174
Şekil 4.15: Kömür yakımına yönelik hareketli ızgara ateşleme.....	175
Şekil 4.16: Oksijen üfleme IGCC’nin ana özellikleri.....	176
Şekil 4.17: İspanya’da faaliyet gösteren bir IGCC elektrik santralinin işleyerek üretim şeması.....	177
Şekil 4.18: Mevcut bir tesise FGD teknolojisinin uyarlanması.....	182
Şekil 4.19: Kurutma kulesi ile ıslak FGD prosesi.....	182
Şekil 4.20: FGD ünitesi çevresinde ısı displasmanı unit.....	183
Şekil 4.21: NO <sub>x</sub> emisyon üretimini azaltacak birincil tedbirleri uygulayan linyitle çalışan büyük buhar kazanı.....	184
Şekil 4.22: 150 MW’lık linyitle çalışan bir buhar kazanında çeşitli kısımlarda NO <sub>x</sub> , CO ve fazla hava arasındaki ilişkiler.....	185
Şekil 4.23: Kapalı alçıtaşı depolama tesisleri.....	189
Şekil 4.24: Aksiyal ve radyal hava toplama ilkeleri.....	193
Şekil 4.25: Brülör stekiyometri ve ateşleme sistemine karşı NO <sub>x</sub> .....	193
Şekil 4.26: Şeçili bazı elektrik santrallerine yönelik NO <sub>x</sub> değerlerinin karşılaştırılması.....	194
Şekil 4.27: Ark ile çalışan yakıt ön ısıtmalı brülör.....	195
Şekil 4.28: Kömür üstü kömür yeniden yakma işlemi uygularken mevcut buhar kazanındaki değişiklikler.....	199
Şekil 4.29: Muhalif ateşlemeli buhar kazanında bütünlük DS girdap brülörü.....	200
Şekil 4.30: Birkaç uyarlanmış buhar kazanından kaynaklı NO <sub>x</sub> emisyonları.....	201
Şekil 4.31: Farklı kömürler kullanan girdap brülörünün performansı.....	201
Şekil 4.32: Sıcak tip (‘Ignifluid’) akışkan yatak teknolojisi.....	202
Şekil 4.33: Yüksek sülfür linyite yönelik CFBC tesisi.....	205
Şekil 4.34: Bilgisayarlı optimizasyon sitesi.....	209
Şekil 4.35: İleri izleme sistemleri ile yakma koşullarının tanımlanması.....	210
Şekil 4.36: PC ark ateşlemeli (antrasit) ve ön cephe ateşlemeli (taş kömürü + linyit) buhar kazanlarının neticeleri.....	212
Şekil 4.37: Verimlilik gelişimi.....	217
Şekil 4.38: Gaz türbini kombine çevrimi ile birlikte işletilen kömürle çalışan buhar kazanı.....	220
Şekil 4.39: Endüstriyel CFBC buhar kazanı.....	227
Şekil 4.40: Kömür kalitesinin yakma tesisi performansı üzerindeki etkisi.....	232
Şekil 4.41: Avrupa’daki kömürle çalışan tesislerin kapasite bağlamında toplam verimliliği.....	232
Şekil 4.42: Avrupa’daki kömürle çalışan tesislerin işletmeye alınma yılı bağlamında toplam verimliliği.....	233
Şekil 4.43: Taş kömürüyle çalışan elektrik santralinin artan verimliliği – bireysel tedbirler.....	234
Şekil 4.44: Taş kömürüyle çalışan elektrik santralinin artan verimliliği – materyallerin geliştirilmesi.....	235
Şekil 4.45: 6000 saat tam yükte 750 MW <sub>e</sub> taş kömürü ile çalışan bir elektrik santralindeki CCP’lerin Yıllık Üretimi (CCP’lerin toplam üretimi = 154000 ton).....	249
Şekil 4.46: 1999 yılında EU-15’de CCP’lerin üretimi.....	250
Şekil 4.47: 1999 yılında EU-15’de CCP’lerin kullanım ve atılması.....	250
Şekil 4.48: 1999 yılında EU-15’de CCP’lerin kullanım ve atılması.....	251
Şekil 4.49: 1999 yılında EU-15’de CCP kullanımına genel bakış.....	252
Şekil 4.50: Linyit kurutmaya yönelik pilot tesis.....	282
Şekil 5.1: Turba, ahşap ve kömür taşıma sistemi.....	286
Şekil 5.2: Katı yakıtlara yönelik dağıtıcı atıcı ızgara ateşleme.....	288
Şekil 5.3: Dolaşımli akışkan yatak buhar kazanı.....	290
Şekil 5.4: Foster ve Wheeler gazlaştırıcı.....	291
Şekil 5.5: Birlikte ateşleme için uygulanan çoklu giriş siklonlu endüstriyel CFB buhar kazanı.....	293
Şekil 5.6: Biyomas birlikte yakma işleminin SO <sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisi (500 MW <sub>th</sub> , kömürde % 1.2 S).....	293
Şekil 5.7: Biyomas ateşlemeli bir CFBC buhar kazanında yakıt ve yatak materyali akışı.....	297
Şekil 5.8: Pülverize turba buhar kazanından dönüştürülen BFBC buhar kazanı.....	301
Şekil 5.9: Saman yakan yakma tesisi.....	308

Şekil 5.10: Turba ateşlemeli CFBC buhar kazanının kütle akış örneği .....	313
Şekil 6.1: Ağır fuel oil buhar kazanı .....	347
Şekil 6.2: HFO ateşlemeli buhar kazanına uygulanan ıslak FGD prosesi .....	354
Şekil 6.3: Sabit motorlu yakma tesisine uygulanan SCR sistemi .....	360
Şekil 6.4: SCR, ıslak FGD ve ısı displasman sistemi uyarlanmış bir ağır fuel oil ateşlemeli elektrik santrali .....	365
Şekil 6.5: Ağır fuel oil ve doğal gaz yakan kombine gaz türbini – buhar türbini – bölge ısıtması elektrik santrali .....	370
Şekil 6.6: Coğrafi kökenlerine göre HFO'lardaki sülfür ve nitrojen içerikleri (vakum kalıntıları) .....	375
Şekil 7.1: Avrupa doğal gaz ağı .....	409
Şekil 7.2: Gaz türbinleri ateşleme modu – dünya çapındaki durum .....	410
Şekil 7.3: Ağır iş gaz türbini elektrik üretim ünitesi .....	411
Şekil 7.4: Silo yakma odalı gaz türbini (159 MW) .....	411
Şekil 7.5: Türbin yakma sonrası ilk sıra türbin valfleri .....	412
Şekil 7.6: Doğal gaz ile çalışan motor .....	414
Şekil 7.7: Gaz türbini kombine çevrim elektrik tesisi .....	416
Şekil 7.8: Belçika'da yakın zamanda inşa edilen gaz türbini kombine çevrim elektrik santrali .....	417
Şekil 7.9: Isı yenileme buhar jeneratörlü (HRSG) kombine çevrim elektrik santralinin şematiği .....	418
Şekil 7.10: Güç öncelikli birlikte üretim çevrimi kombine elektrik santralinin şematiği .....	419
Şekil 7.11: Buhar veya su enjeksiyonu yoluyla NO <sub>x</sub> azaltımı .....	424
Şekil 7.12: DLN yakma odasının şematiği .....	425
Şekil 7.13: HRSG tasarım ve SCR kurulumu .....	427
Şekil 7.14: Dikey akışlı SCR kurulumu .....	427
Şekil 7.15: Kuzey Denizi petrol platformu .....	431
Şekil 7.16: Cheng Buhar Enjeksiyonu Çevriminin prensip taslağı .....	439
Şekil 7.17: Buhar hızı fonksiyonu olarak NO <sub>x</sub> ve CO emisyonu .....	440
Şekil 7.18: Katalizör sisteminin şematik temsili .....	442
Şekil 7.19: DLN yakma odalı offshore gaz türbinlerinden yayılan NO <sub>x</sub> emisyonları .....	457
Şekil 7.20: Kombine çevrim ısı ve elektrik santrali offshore'un akış şeması .....	459
Şekil 7.21: Norveç kıta sahanlığındaki offshore platformu üzerine kurulu kombine çevrim elektrik santrali örneği .....	460
Şekil 7.22: HRSG'li gaz türbininin Grassmann diyagramı .....	462
Şekil 8.1: Kömür ile çalışan buhar kazanına bağlı CFB gazlaştırıcısı .....	493
Şekil 8.2: Gazlaştırıcı konseptinin işleyerek üretim şeması .....	494
Şekil 8.3: Gaz temizleme ile ahşap gazlaştırma .....	495
Şekil 8.4: Kömür ve pis su çamurlarının birlikte yakılması .....	496
Şekil 8.5: Pülverize kömürle çalışan buhar kazanındaki dahili ızgaralar .....	497
Şekil 8.6: Pis su çamurlarının birlikte yakılması ile CFB'den baca gazı kanalına aktif karbon enjeksiyonu .....	506
Şekil 10.1: İdeal Carnot çevrimi .....	561
Şekil 10.2: Basit ideal Rankine çevrimi .....	563
Şekil 10.3: Fiili buhar elektrik çevriminin ideal Rankine çevriminden sapması .....	563
Şekil 10.4: İdeal Rankine çevriminin kondansatör basıncının azaltma etkisi .....	565
Şekil 10.5: İdeal Rankine çevriminde buharın yüksek sıcaklıklara ısıtma etkisi .....	565
Şekil 10.6: İdeal Rankine çevriminde buhar kazancı basıncını yükseltme etkisi .....	566
Şekil 10.7: Kritik üstü Rankine çevrimi .....	566
Şekil 10.8: İdeal yeniden ısıtma Rankine çevrimi .....	567
Şekil 10.9: Kapalı besleme suyu ısıtıcı ideal rejeneratif Rankine çevrimi .....	568
Şekil 10.10: Kapalı çevrim gaz türbin motoru .....	569
Şekil 10.11: İdeal Brayton çevrimine yönelik T-s ve P-v diyagramları .....	569
Şekil 10.12: Dönüşmezliklerin sonucu olarak fiili gaz türbin çevriminin ideal Brayton çevriminden sapması .....	570
Şekil 10.13: Basınç oranı ( $r_p$ ) ve sıcaklığı fonksiyonu olarak Brayton çevriminin termal verimliliği ( $T_3$ ) .....	571
Şekil 10.14: Buğu ile soğutma ve reküperatif çevrimler .....	571
Şekil 10.15: Ara soğutmalı çevrim .....	572
Şekil 10.16: Yeniden ısıtma çevrimi .....	572
Şekil 10.17: İdeal birlikte üretim (kojenerasyon) tesisi .....	575
Şekil 10.18: Ayarlanabilir yüklü birlikte üretim tesisi .....	575

## Tablo listeleri

Tablo 1.1: 15 AB Üye Ülkesinde kurulu elektrik kapasitesi.....	2
Tablo 1.2: 1997 yılında AB Üye Ülkelerindeki elektrik enerjisi brüt üretimi.....	3
Tablo 1.3: 1990'dan 2030 yılına kadar Avrupa enerji dengesi özeti (gelecekteki (hesaplanan) enerji beklentisi) .....	5
Tablo 1.4: 1990'dan 2030 yılına kadar Avrupa enerji dengesi özeti (gelecekteki (hesaplanan) enerji beklentisi) .....	6
Tablo 1.5: Kaynak tür ve maddesi yoluyla potansiyel emisyon yolları .....	11
Tablo 1.6: Avrupa Kirletici Emisyon Kayıt sistemi 2001 (EPER)'e göre farklı LCP kategorilerinden kaynaklanan emisyonların 2001 yılında AB – 15'de faaliyet gösteren IPPC tesislerinden kaynaklanan toplam hava emisyonlarına katkıları .....	13
Tablo 1.7: Yakıta bağlı nitrojen.....	14
Tablo 1.8: 1990 yılında AB – 15'deki yakma tertibatlarından kaynaklanan ağır metallerin yıllık emisyonları .....	17
Tablo 1.9: Sera gazları: konsantrasyon değişiklikleri, küresel ısınma ve ana kaynaklara katkısı .....	19
Tablo 1.10: Büyük yakma tesislerinde yakılan ana yakıtlara yönelik spesifik CO <sub>2</sub> emisyonu faktörleri .....	20
Tablo 1.11: 1996 yılındaki sera gazı emisyon ve removals/sinks .....	21
Tablo 1.12: Büyük yakma tesislerinden kaynaklanan su kirletici listeleri .....	24
Tablo 2.1: 1998 yılında AB – 15'deki CHP ile termal ve toplam elektrik üretimi yüzdesi olarak CHP .....	35
Tablo 2.2: Farklı yakma tesisi tiplerinin enerjetik ve ekserjetik verimliliği örnekleri .....	45
Tablo 2.3: Avrupa'daki iklim koşullarının elektrik tesislerinin verimlilik kaybı üzerindeki etkilerine örnekler .....	47
Tablo 3.1: Emisyon kontrolüne yönelik birincil tedbirler.....	53
Tablo 3.2: Partiküler madde temizleme cihazlarının genel performansı.....	64
Tablo 3.3: AB – 15'deki büyük yakma tesislerindeki FGD.....	67
Tablo 3.4: Cebri ve doğal oksitlenmenin karşılaştırılması .....	69
Tablo 3.5: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik ıslak kireç/kireçtaşı gaz yıkayıcılarının genel Performansı.....	89
Tablo 3.6: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik deniz suyu gaz yıkama işleminin genel performansı.....	90
Tablo 3.7: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik sprey kuru gaz yıkama işleminin genel performansı .....	91
Tablo 3.8: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik sorbent enjeksiyon tekniklerinin genel performansı .....	92
Tablo 3.9: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik rejeneratif tekniklerin genel performansı .....	93
Tablo 3.10: AB – 15'de büyük yakma tesislerindeki DENOX (birincil tedbirleri kapsamayan ikincil tedbirler) .....	94
Tablo 3.11: NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel performansı .....	104
Tablo 3.12: NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel performansı .....	105
Tablo 3.13: Baca gazı hacmi fonksiyonu olarak elektrik santrallerinden sonraki SCR ünitelerine yönelik maliyet Hesaplamaları .....	112
Tablo 3.14: NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil tedbirlerin genel performansı .....	116
Tablo 3.15: Sülfür oksit/nitrojen oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik farklı sorbent enjeksiyonu tekniklerinin genel Performansı.....	122
Tablo 3.16: Enerji endüstrisindeki uygulamalara yönelik farklı soğutma tekniklerinin kapasite ve termodinamik özelliklerinin örneklerine ait örnekler.....	141
Tablo 4.1: Farklı kalitede kömürler kullanan değirmen tipleri .....	165
Tablo 4.2: Kömür ve linyit yakımında ortaya çıkan tortu ve yan ürünlerin yeniden kullanılmasına ilişkin örnekler .....	191
Tablo 4.3: Farklı test kömürlerinin analizi .....	196
Tablo 4.4: Ölçülen emisyonlara genel bakış (% 6 O <sub>2</sub> ) .....	203
Tablo 4.5: Ignifluid buhar kazanının maliyeti .....	204
Tablo 4.6: CFBC tesislerine yönelik tipik NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> emisyonları .....	207
Tablo 4.7: Kömürle çalışan buhar kazanlarında ileri kontrol teknolojisinin uygulanması .....	211
Tablo 4.8: Sunulan teknoloji ile PC elektrik santrallerindeki NO <sub>x</sub> emisyonlarının tipik azatımı .....	211
Tablo 4.9: Birincil NO <sub>x</sub> kontrol tedbirlerinin uyarlanmasından önce ve sonra ilgili işletim verilerinin karşılaştırılması .....	214
Tablo 4.10: 1999 yılındaki hava emisyonlarının ölçümü .....	215
Tablo 4.11: Yakılan taş kömürünün ortalama özellikleri .....	215
Tablo 4.12: Yoğuşma arıtımı ile diğer buhar üretim kaynaklarından gelen atık sulardaki katılaşık Konsantrasyonları.....	216
Tablo 4.13: Desülfürizasyon prosesinden kaynaklanan atık sulardaki katılaşık konsantrasyonu .....	216
Tablo 4.14: 1999 yılında ölçümlenen hava emisyonları.....	218
Tablo 4.15: Yakılan linyitin özellikleri .....	218
Tablo 4.16: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi .....	218
Tablo 4.17: Atık su arıtma tesisinden sonraki atık su katılaşıklıklarının konsantrasyonları .....	219
Tablo 4.18: 1999 yılında üretilen tortular.....	219

Tablo 4.19: Uyarlama yatırımları .....	219
Tablo 4.20: Farklı işletimsel durumlardaki performans verileri.....	220
Tablo 4.21: 1999 yılında ölçülen emisyon seviyeleri.....	222
Tablo 4.22: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi .....	222
Tablo 4.23: Arıtma sonrası kükürt giderme tesisi atık sularındaki kirlenici konsantrasyonları .....	223
Tablo 4.24: 1999 yılında üretilen tortular.....	223
Tablo 4.25: 1999 yılında ölçülen emisyon seviyeleri.....	225
Tablo 4.26: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi .....	225
Tablo 4.27: Soğutucu sistem atık sularındaki katılaşma konsantrasyonları .....	225
Tablo 4.28: Arıtma sonrası kükürt giderme atık sularındaki katılaşma konsantrasyonları .....	226
Tablo 4.29: 1999 yılında üretilen tortular.....	226
Tablo 4.30: Polonya’da işletilen taşkömürü ile çalışan üç akışkan yatak buhar kazanına yönelik erişilen ve taahhüt edilen kirlenici madde emisyon değerlerinin karşılaştırılması .....	228
Tablo 4.31: Tipik kömürlerin indikatif analizleri (genel uygulama) .....	230
Tablo 4.32: Farklı bölgelerden alınan kömürlerdeki iz element ve ağır metal konsantrasyonları .....	231
Tablo 4.33: Farklı LCP teknolojilerine yönelik tipik enerji verimlilikleri (LHV <sub>net</sub> ) .....	233
Tablo 4.34: Buhar özelliklerinin farklı tekniklere yönelik verimlilikler üzerindeki etkisi .....	234
Tablo 4.35: Normal çalışma ve sabit yükte kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan (konsantrasyondaki) hava Emisyonları.....	236
Tablo 4.36: Normal çalışma ve sabit yükte kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan spesifik hava emisyonları .....	237
Tablo 4.37: Normal çalışma ve sabit yükte linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan hava emisyonları .....	238
Tablo 4.38: Normal çalışma ve sabit yükte linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan spesifik hava emisyonları .....	239
Tablo 4.39: İkincil tedbirler olmaksızın mevcut tesislere yönelik NO <sub>x</sub> emisyon düzeyi .....	240
Tablo 4.40: Çeşitli türdeki enerji santrallerine yönelik kombine ağır metal kütle dengeleri .....	240
Tablo 4.41: Kömürle çalışan yakma tesislerindeki ağır metallerin izlediği yollar .....	241
Tablo 4.42: Farklı kökenli kömürlerdeki civa içeriği.....	242
Tablo 4.43: ESP’nin baca gazı downstream’indeki civa içeriği.....	242
Tablo 4.44: Farklı yazın kaynaklarından alınan ölçülmüş N <sub>2</sub> O emisyon seviyeleri .....	243
Tablo 4.45: İkincil tedbirlere sahip ve sahip olmayan tesislere yönelik HCl ve HF emisyon seviyeleri .....	243
Tablo 4.46: Farklı yakıtların yakılmasından kaynaklanan dioksin ve PAH emisyon seviyeleri.....	243
Tablo 4.47: Kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	244
Tablo 4.48: Kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	245
Tablo 4.49: Dört farklı kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	246
Tablo 4.50: Dört farklı kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	247
Tablo 4.51: Linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	248
Tablo 4.52: Linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan su emisyonları .....	248
Tablo 4.53: Kömür ağır metalleri ve bazı kömür yakma işlemi tortuları (kömür ve tesis türüne bağlı olarak çok fazla değişkenlik olabileceğinden bu veriler örnek olarak anlaşılmalıdır) .....	253
Tablo 4.54: Kömürle çalışan yakma tesislerinde metal girdi ve çıktıları (kömür ve tesis türüne bağlı olarak çok fazla değişkenlik olabileceğinden bu veriler örnek olarak anlaşılmalıdır) .....	253
Tablo 4.55: Yakıt boşaltma, depolama ve taşınmasına yönelik değerlendirilecek teknikler .....	255
Tablo 4.56: Yakıt ön arıtımına yönelik değerlendirilecek teknikler.....	256
Tablo 4.57: Verimlilik ve yakıt kullanımı artırmak üzere değerlendirilecek teknikler .....	257
Tablo 4.58: Verimliliği artırmak üzere değerlendirilecek teknikler .....	258
Tablo 4.59: Toz ve ağır metal emisyonlarının önleme ve kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler .....	259
Tablo 4.60: SO <sub>2</sub> emisyonlarının önleme ve kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler.....	260
Tablo 4.61: SO <sub>2</sub> emisyonlarının önleme ve kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler.....	261
Tablo 4.62: NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının önleme ve kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler .....	262
Tablo 4.63: NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının önleme ve kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler .....	263
Tablo 4.64: Su kirliliğinin önleme kontrolüne yönelik değerlendirilecek teknikler .....	264
Tablo 4.65: Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET .....	267
Tablo 4.66: MET tedbirlerinin uygulanması ile ilişkili termal verimlilik seviyeleri .....	269
Tablo 4.67: Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı atık gazların tozdan arındırılmasına yönelik MET .....	271
Tablo 4.68: Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı sülfür dioksitlerin kontrol ve önlenmesine yönelik MET .....	274

Tablo 4.69: Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı nitrojen oksitlerin kontrol ve önlenmesine yönelik MET .....	278
Tablo 4.70: Atık su arıtımına yönelik MET .....	280
Tablo 4.71: Temsili 24 saat kompozit örneği olarak verilen MET – FGD atık su arıtma tesisi kullanımı ile ilişkili emisyon Seviyeleri .....	281
Tablo 5.1: Vaka incelemesi sonuçlarının özeti .....	300
Tablo 5.2: Birlikte yakma deneylerine yönelik olarak kullanılan yakıtların ortalama kaliteleri .....	303
Tablo 5.3: Farklı oranlı biyomasa yönelik haddelenen yakıtların kalitesi .....	303
Tablo 5.4: Atmosfer emisyonları: beş farklı birlikte yakma testi ile tek kömür yakmanın karşılaştırılması .....	303
Tablo 5.5: Kömür ve odun çöplerinin özellikleri ile odun çöplerinde izin verilen en fazla katışıklık Konsantrasyonları .....	304
Tablo 5.6: Atık odun çöplerinin birlikte yakılmasına yönelik ölçülen emisyon değerleri .....	305
Tablo 5.7: 1999 yılında hava emisyonları .....	306
Tablo 5.8: Yakılan odunun özellikleri .....	307
Tablo 5.9: 1999 yılında üretilen küllerin kaliteleri .....	307
Tablo 5.10: Danimarka'daki saman yakan üç tesise ait veriler .....	309
Tablo 5.11: Danimarka'daki saman yakan üç tesisin maliyetleri .....	309
Tablo 5.12: Üç örnek tesise ilişkin teknik veriler .....	310
Tablo 5.13: 2000/2001 yılında ölçülen atmosfer emisyonları .....	312
Tablo 5.14: Farklı yakıt türlerinin B tesisindeki toplam yakıt tüketimine katkısı .....	312
Tablo 5.15: Farklı türdeki katı odun yakıtlarının ortalama oranları .....	315
Tablo 5.16: Haddelenen turba ile normalde LCP'lerde kullanılan öteki fosil yakıtlar ile karşılaştırılması .....	317
Tablo 5.17: Biyomasa çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları (veriler spesifik biyomas yakıtını temsil etmekte ve mutlaka temsili olmaları gerekmez) .....	319
Tablo 5.18: Biyomasa çalışan yakma tesislerinden kaynaklı spesifik hava emisyonları .....	319
Tablo 5.19: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	320
Tablo 5.20: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı spesifik emisyonlar .....	320
Tablo 5.21: Yakıtın boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler .....	323
Tablo 5.22: Yakıt ön arıtım teknikleri .....	324
Tablo 5.23: Yakma teknikleri .....	324
Tablo 5.24: Verimliliği artıracak teknikler .....	325
Tablo 5.25: Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	326
Tablo 5.26: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı SO <sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	327
Tablo 5.27: NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	328
Tablo 5.28: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	329
Tablo 5.29: Yakma tortularının taşınma, redüksiyon ve yeniden kullanılmasına ilişkin teknikler .....	330
Tablo 5.30: Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET .....	333
Tablo 5.31: MET tedbirlerinin uygulanması ile ilişkili termal verimlilik seviyeleri .....	335
Tablo 5.32: Biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı atık gazların tozdan arındırılmasına yönelik MET .....	336
Tablo 5.33: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı sülfür dioksitlerin kontrol ve önlenmesine ilişkin MET .....	338
Tablo 5.34: Biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinde nitrojen oksit kontrol ve önlenmesine yönelik MET .....	340
Tablo 5.35: Atık su kontaminasyonunun azaltılmasına yönelik MET .....	342
Tablo 6.1: Sunulan ileri düzey kontrol teknolojisinin petrol ile çalışan buhar kazanlarında uygulanması .....	364
Tablo 6.2: 1998 yılındaki atmosfer emisyonları .....	366
Tablo 6.3: 1998 yılında önemli yan kaynakların tüketilmesi .....	366
Tablo 6.4: Arıtma sonrası kükürt giderme tesisinden kaynaklanan atık sularındaki katışıklık Konsantrasyonları .....	367
Tablo 6.5: 1998 yılında üretilen tortular .....	367
Tablo 6.6: 1998 yılında buhar kazanından (tek çalışma) kaynaklı atmosfer emisyonları .....	368
Tablo 6.7: 1998 yılında kombine çevrim işletimine yönelik atmosfer emisyonları .....	368
Tablo 6.8: Besleme suyu arıtımından kaynaklanan nötrleştirilmiş atık sularındaki katışıklık konsantrasyonları .....	369
Tablo 6.9: Ölçülen emisyonlara genel bakış .....	371
Tablo 6.10: Baca gazı temizleme işleminden arıtma sonrası ölçülen su emisyonları .....	371
Tablo 6.11: Uygulamalı azaltım tekniklerinin yatırım ve işletme masrafları .....	372
Tablo 6.12: SCR'li donatılmış HFO ve dizel elektrik santrallerinin emisyon seviyeleri .....	373
Tablo 6.13: Likit yakıtların genel özellikleri .....	374
Tablo 6.14: Çeşitli tipik ağır yağların kimyasal özellikleri .....	374
Tablo 6.15: Orimulsion özellikleri .....	375
Tablo 6.16: Normal çalışma ve sabit yükte likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	377



Tablo 6.17: Farklı yakıtların yakılmasından kaynaklı dioksin ve PAH emisyon seviyeleri .....	378
Tablo 6.18: Farklı düşük NO <sub>x</sub> brülör tiplerinden NO <sub>x</sub> azaltımı .....	378
Tablo 6.19: Proses ısıtıcılarda NO <sub>x</sub> kontrolü .....	378
Tablo 6.20: Likit yakıtla çalışan motorların partiküler emisyonları .....	378
Tablo 6.21: Motor modifikasyonları ile sağlanabilen tipik NO <sub>x</sub> emisyonları .....	379
Tablo 6.22: NO <sub>x</sub> optimize motor kullanımı .....	379
Tablo 6.23: SCR'li dizel motor tesislerinde ölçülen NO <sub>x</sub> Emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> ) .....	379
Tablo 6.24: Birincil yöntem: su ilavesi kullanılır .....	380
Tablo 6.25: Normal çalışma ve sabit yükte petrolle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları .....	381
Tablo 6.26: Normal çalışma ve sabit yükte petrolle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları .....	381
Tablo 6.27 İşlenmemiş su tavlama işleminin tortuları .....	382
Tablo 6.28 Atık su arıtımından kaynaklı tortular Eurelectric .....	382
Tablo 6.29: İki farklı tesiste kazanaltı küllerinin analizi .....	383
Tablo 6.30: Üç farklı tesiste uçucu küllerin analizi .....	383
Tablo 6.31: Üç tesiste filtre keki analizi .....	384
Tablo 6.32: HFO kullanan bir elektrik santralinde çalışan atık su arıtma tesisindeki pres filtreden alınan pres filtre kekinin başlangıç analizi örneği .....	385
Tablo 6.33: Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına ilişkin teknikler .....	387
Tablo 6.34: Likit yakıtla çalışan buhar kazanlarının verimliliğini artıracak teknikler .....	388
Tablo 6.35: Likit yakıtla çalışan buhar kazanlarının verimliliğini artıracak teknikler (Tablo 6.28'in devamı) .....	389
Tablo 6.36: Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	389
Tablo 6.37: SO <sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin (birincil tedbirler) teknikler .....	390
Tablo 6.38: SO <sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin (ikincil tedbirler) teknikler .....	391
Tablo 6.39: NO <sub>x</sub> ve N <sub>2</sub> O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler .....	392
Tablo 6.40: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine ilişkin teknikler .....	393
Tablo 6.41: Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET .....	395
Tablo 6.42: Likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı atık gazların tozdan arındırılmasına yönelik MET .....	398
Tablo 6.43: Likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan sülfür dioksidin kontrol ve önlenmesine ilişkin MET .....	399
Tablo 6.44: Likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan nitrojen oksidin kontrol ve önlenmesine ilişkin MET .....	401
Tablo 6.45: Temsili 24 saat kompozit örneği olarak verilen MET – FGD atık su arıtma tesisi kullanımı ile ilişkili emisyon seviyeleri .....	402
Tablo 6.46: Atık su arıtımına yönelik MET .....	403
Tablo 6.47: Birincil motor tedbirleri ile dört zamanlı motor santrallerinden kaynaklı atık gazların tozdan arındırılmasına yönelik MET .....	405
Tablo 6.48: MET olarak SCR kullanan likit yakıtla çalışan motor tesislerine yönelik MET ile ilişkili NO <sub>x</sub> seviyeleri .....	407
Tablo 7.1: Birlikte üretimin ayrı ısı ve enerji üretimi ile karşılaştırılması .....	421
Tablo 7.2: Gaz türbinlerine yönelik 1993 yılı NO <sub>x</sub> kontrol maliyetleri ile 1999 yılı NO <sub>x</sub> kontrol maliyetlerinin karşılaştırılması (uyarlama maliyetleri dikkate alınmamıştır) .....	428
Tablo 7.3: Gaz türbinine su enjeksiyonu uygulanması yoluyla NO <sub>x</sub> ve CO emisyonu .....	435
Tablo 7.4: Kuru düşük NO <sub>x</sub> yakma odalı gaz türbininin ölçülen emisyon konsantrasyonları .....	435
Tablo 7.5: Gaz türbininde SCR sistemi kullanılarak ölçülen NO <sub>x</sub> emisyonları .....	437
Tablo 7.6: Gaz türbininde SCR sistemi kullanılarak işletim verileri .....	437
Tablo 7.7: Gaz türbinlerindeki SCR'ye ilişkin maliyet bileşenleri .....	437
Tablo 7.8: Gaz türbinlerindeki SCR'ye ilişkin maliyet şekilleri .....	437
Tablo 7.9: SCR'li iki gazla çalışan motor elektrik santralinin emisyon seviyeleri .....	438
Tablo 7.10: Modifiye yakıt püskürtme başlıklı konvansiyonel yakıcı türbinlerine ilişkin termal verimlilik ve meydana getirilen NO <sub>x</sub> emisyonu .....	440
Tablo 7.11: GELM paketi üzerindeki Cheng buhar enjeksiyon çevrimine yönelik ağırlık ve maliyetler .....	441
Tablo 7.12: 1999 yılında ölçülen hava emisyonları .....	444
Tablo 7.13: Gaz türbini ile yardımcı yakma çalışma modları .....	446
Tablo 7.14: 1998 yılında ölçülen atmosfer emisyonları .....	446
Tablo 7.15: 1999 yılındaki önemli yan kaynakların tüketimi .....	447
Tablo 7.16: Yan ateşlemesiz kombine çevrim elektrik santralinin verimlilikleri .....	448
Tablo 7.17: 1999 yılında ölçülen hava emisyonları .....	449
Tablo 7.18: 1999 yılındaki önemli yan kaynakların tüketimi .....	449
Tablo 7.19: 1999 yılında ölçülen hava emisyonları .....	450
Tablo 7.20: 1999 yılındaki önemli yan kaynakların tüketimi .....	451
Tablo 7.21: Elektrik santrali atık sularındaki katıksızlık konsantrasyonları .....	451
Tablo 7.22: Büyük yakma tesislerinde yakılan ilgilil gazlı yakıtlara genel bakış .....	462
Tablo 7.23: Kuzey Denizi'ndeki bir petrol sahasından alınan işlenmemiş doğal gazın örnek bileşimi .....	463
Tablo 7.25: Yeni gaz türbinlerine yönelik NO <sub>x</sub> emisyon seviyeleri ve seçili parametreler .....	465

Tablo 7.26: Kararlı durumlu tam motor yüküne ilişkin NO <sub>x</sub> emisyonları .....	466
Tablo 7.27: Gazlı yakıtlarla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları .....	467
Tablo 7.28: Gazlı yakıt ve likit katkı maddelerinin temin ve taşınmasına yönelik teknikler .....	470
Tablo 7.29: Gazlı yakıtlarla çalışan buhar kazanı ve türbinlerin verimliliklerini artıracak teknikler .....	471
Tablo 7.30: NO <sub>x</sub> ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	472
Tablo 7.31: NO <sub>x</sub> ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	473
Tablo 7.32: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler .....	473
Tablo 7.33: Offshore tesisleri için MET belirlenmesinde dikkate alınacak teknikler .....	475
Tablo 7.34: Gazlı yakıtların temin ve taşınmasına yönelik MET .....	477
Tablo 7.35: MET kullanımı ile ilgili gazla çalışan tesislerin verimliliği (ISO koşullarına dayalı) .....	479
Tablo 7.36: Bazı gazla çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan NO <sub>x</sub> ve CO emisyonlarının azaltılmasına yönelik MET .....	481
Tablo 7.37: Bazı gazla çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan NO <sub>x</sub> ve CO emisyonlarının azaltılmasına yönelik MET .....	482
Tablo 8.1: Birlikte yakma işleminden önce ve bu işlem sırasında taş kömürü ile pis su tortularının ortalama kalitesi .....	501
Tablo 8.2: Birlikte yakma işlemi ile ve bu işlem olmadan baca gazındaki katışıklık konsantrasyonları .....	501
Tablo 8.3: Birlikte yakma işlemi ile ve bu işlem olmadan tortu kalitesi .....	502
Tablo 8.4: 1996 yılında 10 haftalık bir test periyodu süresince taş kömürünün tek başına yakılması ve pis su tortularının birlikte yakılmasından kaynaklanan atmosfer emisyonları .....	504
Tablo 8.5: İki pis su tesisinden alınan pis su tortularının başlangıç analizi .....	504
Tablo 8.6: Test periyodu süresince farklı pis su tesislerinden alınan pis su tortularındaki katışıklık konsantrasyonu ranjları .....	505
Tablo 8.7: Linyit ve pis su tortularının özellikleri .....	506
Tablo 8.8: LCP'lerde birlikte yakılan ikincil yakıtların türleri .....	508
Tablo 8.9: Kömür/liniyit ve pis su tortularının bileşimlerine örnekler .....	509
Tablo 8.10: LCP'lerde kullanılan atık odun türü bileşimlerinin örnekleri .....	510
Tablo 8.11: Farklı odun – ikincil yakıt karışımlarındaki katışıklıkların varyasyonları .....	510
Tablo 8.12: Bazı AB Üye Ülkeleri ile Birleşik Devletler'deki bazı LCP'lerde birlikte yakma işlemi deneyimi .....	512
Tablo 8.13: Birlikte yakma işleminin LCP verimliliği üzerindeki bazı etkilerine örnekler .....	513
Tablo 8.14: LCP'lerde birlikte yakılan ikincil yakıtların neden olduğu etkiler .....	514
Tablo 8.15: Civa emisyon kontrol teknolojilerinin uyarlanmasına yönelik mevcut ve tahmini yıllık işletme giderleri Hesaplamaları .....	517
Tablo 8.16: Birlikte yakma işleminin yakma tortuları üzerindeki etkisi .....	519
Tablo 8.17: Birlikte yakma işleminin yakma tortuları üzerindeki etkisi .....	520
Tablo 8.18: İkincil yakıtın depolama ve taşınmasına yönelik teknikler .....	521
Tablo 8.19: İkincil yakıtın ön arıtımına yönelik teknikler .....	522
Tablo 8.20: İkincil yakıtı yakma prosesine alma teknikleri .....	523
Tablo 8.21: İkincil yakıtın birlikte yakılması yoluyla hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik Teknikler .....	524
Tablo 8.22: İkincil yakıtın birlikte yakılması yoluyla hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik Teknikler .....	525
Tablo 10.1: Gaz türbini, buhar türbini ve kombine çevrim süreçlerinin termodinamik karşılaştırması .....	573
Tablo 10.2: CO <sub>2</sub> ihracı ile veya olmaksızın farklı yakma tekniklerinin karşılaştırılması .....	579
Tablo 10.3: CO <sub>2</sub> ihracı ile veya olmaksızın farklı yakma tekniklerinin karşılaştırılması .....	580

## BELGENİN KAPSAM VE DÜZENLEMESİ

IPPC Direktifine ait Ek I'e uygun olarak bu BREF genel anlamda 50 MW'yi aşan nominal termal girişli yakma tesisleri kapsar; ancak küçük üniteler potansiyel olarak 50 MW'yi aşan daha büyük tesisler oluşturmak amacıyla başka bir tesise eklenebildiğinden a50 MW'den düşük termal girişli tesisler teknik açıdan uygun olduklarında ele alınacaktır. Bu; mekanik enerji ve ısı üretimi için kullanılan her nevi konvansiyonel elektrik santrallerinin (örneğin; elektrik buhar kazanı, kombine ısı ve elektrik santralleri, bölge ısı santralleri vb. ) bu çalışmada ele alındığı anlamına gelir. Endüstriyel yakma tesisleri konvansiyonel yakıt kullandıkları ölçüde ele alınmıştır. Yakıtın piyasada ticari olarak alınıp satılabilirliği konvansiyonel yakıtları tanımlamada bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bir yakıtı 'konvansiyonel yakıt' olarak sınıflandırma kriteri nispeten sabit kalan ve aslında genellikle standart olan bilinen bir niteliklerdir. Kömür, linyit, turba, likit ve gazlı yakıtlar (hidrojen ve biyogaz da dahil olmak üzere) konvansiyonel yakıtlar olarak kabul edilirler.

Endüstriyel sahalardaki aşağıda bulunan yakma donanımları örneğin büyük yakma tesislerine ilişkin olan bu BREF'de ele alınmamıştır:

- Yakıt olarak proses-ilişkili tortu veya yan ürünleri kullanan yakma donanımları; örneğin selülöz ve kağıt sanayisinde kullanılan siyah likör kazanı; veya yakıt piyasasında belirli bir yakıt olarak satılmayan rafineri yakıt gaz veya likit yakıtları kullanan yakma donanımları
- Yakma prosesinin spesifik bir üretimin ayrılmaz parçası olduğu donanımlar; örneğin demir ve çelik endüstrisinde veya selülöz ve kağıt endüstrisinde kullanılan fırın veyahut da çimento üretiminde kullanılan çimento fırını gibi.

Atık, yenilenen yakıt, kanalizasyon tortuları ve biyomas kaynaklı yakıt (kirlenmiş ahşap) gibi ikincil yakıtların belirli bir yüzdesinin yakılması Avrupa'daki bazı yakma tesislerinde halihazırda uygulanmaktadır. Bu yakıtlar kullanılırken yakma prosesindeki bazı farklılıklar nedeniyle bu BREF belgesinin ayrı bir bölümünde birlikte yakma konusunu açıklamaya karar verilmiştir (Bölüm 8).

Bu BREF kapsamında ikincil yakıtların büyük yakma tesislerine girmeden önce ön arıtmadan geçmeleri kabul edilmiş ki bu proses öncelikle yakılabilen parçaların yakılamayan parçalardan ayrılmasını içerir. Bu ön arıtım hususları (örneğin sınıflandırma, ezme ve hazırlama) Atık Arıtımı BREF'de ele alınacaktır.

Büyük yakma tesisleri taban, orta ve tepe yüklü olarak sınıflandırılan tesisler ile birlikte talep ve gereksinimlere göre sınıflandırılıp işletilir. Yükleme kapasiteleri kısmi yükten tam yük arasında değişiklik gösterebilir. Çalışma saatleri yılda sadece birkaç saat enerji üretiminden tam zamanlı çalışmaya arasında değişiklik gösterebilir. Bu geniş değişkenlik nedeniyle BREF'in her farklı çalışma modu için MET kararı sunması olanaksızdır.

Bu BREF sadece yakma ünitesini değil aynı zamanda da yakma prosesi ile doğrudan ilişkili olan upstream ve downstream faaliyetlerini de kapsar. Bun ise bu belgenin örneğin yakıtın taşınması le birlikte off-gas arıtımı, yakıt tortularının taşınması ve ham su arıtma konularını açıkladığı anlamına gelir.

Avrupa'da ısı ve güç üretimi muhtelif bir konudur. Fosil yakıtların kullanılması yoluyla güç üretimi genelde toplu halleri katı, sıvı veya gazlı yakıtlar olarak sınıflara ayrılabilen çeşitli yakıtlara dayanır. Bu nedenle bu BREF dikey olarak her yakıt için ayrı olacak şekilde ancak üç giriş bölümünde birlikte açıklanan genel durum ve teknikler ile birlikte yazılmıştır. Bu BREF'in düzenlenmesi aşağıdaki grafikte şematik olarak gösterilmektedir.

## 1 GENEL BİLGİLER

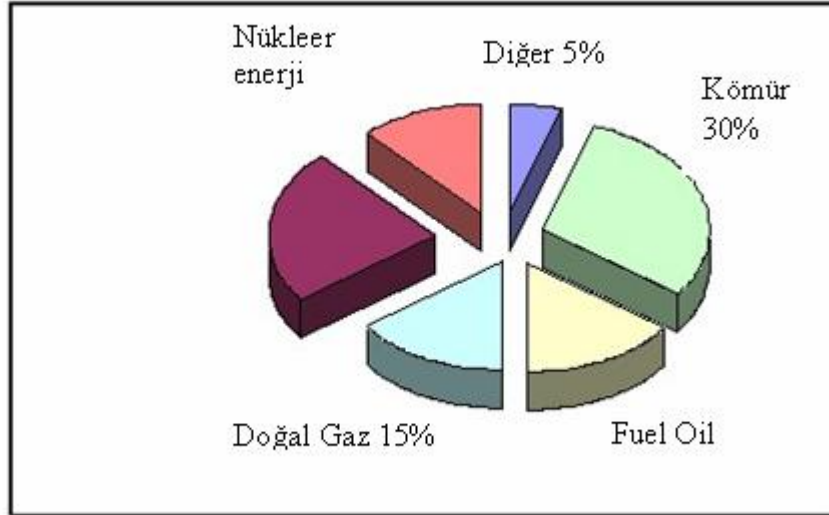
### 1.1 Sanayiye ilişkin genel açıklama

Dünyada ticareten birincil enerji (kömür, petrol, gaz) tüketiminin büyümesi 1960 ile 1973 yılları arasında yıllık ortalama %5'lik bir artışla 1960 yıllarında çok yüksekti. Ancak dünyadaki bu büyüme 1979 yılındaki ilk petrol krizinden sonra belirgin bir düşüş yaşadı (büyüme 1973 ile 1979 yılları arasında % +3.1'e düştü) ve hatta 1979'daki ikinci petrol krizinden sonra daha da gerileme gösterdi (tüketim 1979-1982 yılları arasında yıllık % -0.7 oranında geriledi).

1983 yılından bu yana ve özellikle 1986'dan sonra petrol krizlerinin iyileşmesi ( petrol fiyatlarının yarı yarıya düşmesiyle yansımıştır) ve sanayileşmiş ülkelerde daha güçlü bir ekonomiye dönüş ile birlikte enerji tüketimindeki artış daha yüksek büyüme hızının geri dönmesiyle devam etmiştir (1983-1989 arası % +3).

1990 yılındaki durgunluk ve sonra gelen 1991'deki yaklaşık %0,5'lik artış sonrasında dünya enerji talebi ABD'de ılımlı bir büyüme (% +1.8), Asya'da güçlü bir büyüme (% +5), Doğu Avrupa'da ciddi bir düşüş (% -8) ve Batı Avrupa'da sanal bir durgunluk gibi dikkate değer bölgesel zıtlıklar olmasına rağmen 1992 yılında hemen hemen sabit kalmıştır [4, OSPAR, 1997].

Şekil 1.1'de 1995 yılına ait enerji üretim sektöründe dünya çapındaki enerji kaynakları gösterilmiştir.

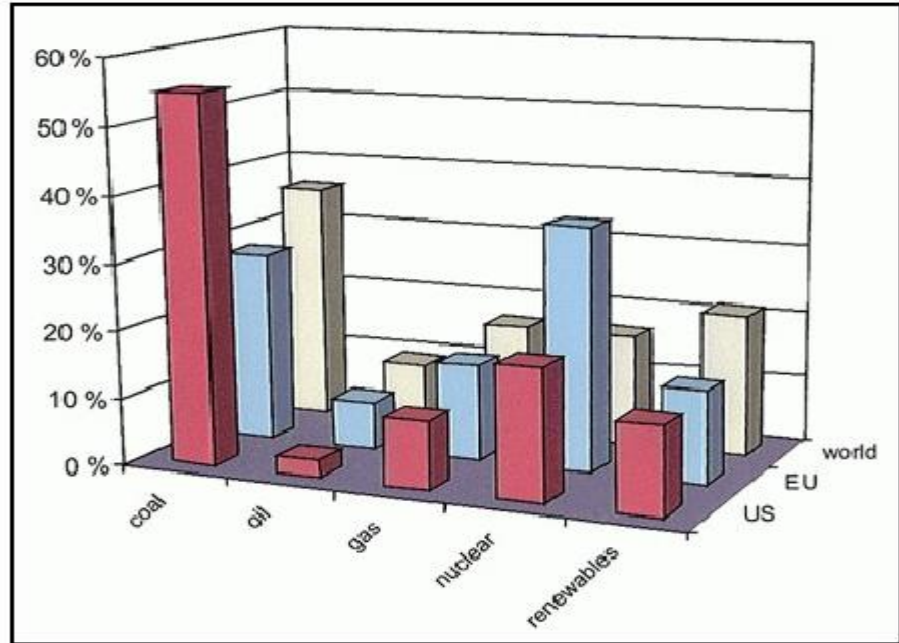


**Şekil 1.1: Enerji üretim sektöründe dünya çapındaki enerji kaynakları (1995)**  
[32, Rentz, ve diğerleri., 1999]

Dünya çapında üretilen elektriğin yaklaşık yarısı kömürden üretilen %30 ile birlikte farklı fosil yakıtlarından üretilmektedir [133, Strömberg, 2001].

Şekil 1.2'de 1997 yılında dünyanın farklı bölgeleri arasındaki enerji üretimine yönelik yakılan farklı enerji kaynaklarının kullanımındaki temel farklılıklar gösterilmiştir.

Coal: Kömür  
 Oil: Petrol  
 Gas: Gaz  
 Nuclear: Nükleer  
 Renewables: Yenilenebilir Maddeler  
 US: Birleşik Devletler  
 EU: AB  
 World: Dünya



**Şekil 1.2: Yakıt ile elektrik üretimine yönelik enerji tüketimi (1997)**  
 [105, Steen, 2001]

1997 yılında AB genelinde elektrik ve termal enerji üreten 1214 şirket bulunmaktaydı. Buna ek olarak endüstriyel yakma tesislerini işleten ve kendi tesislerinin ihtiyacını karşılamak üzere elektrik ve termal enerji üreten yaklaşık 590 sanayi şirketi vardı.

Ayrıca 1997 yılında, yaklaşık 2423 TW/s büyüklüğündeki Avrupa'da toplam elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık % 90'ı sadece %10'u endüstriyel yakma tesislerine ait olan büyük elektrik üretim şirketlerinin sahip olduğu tesisler tarafından gerçekleştirilmekteydi.

Elektrik aktarımı için kullanılan yüksek gerilim ve ekstra yüksek gerilim şebekeleri AB'deki sadece 35 şirket tarafından işletilmekte ve enerjinin son kullanıcıya dağıtımı ise 2050 şirket tarafından gerçekleştirilmekte idi (durum: 1997).

1997 yılında Avrupa genelinde tesis edilen santral kapasitesi konvansiyonel termik santrallerin yaklaşık 307 GW (yaklaşık %53'ü) de dahil olmak üzere toplam yaklaşık 580 GW'ye denk gelmiştir. Tablo 1.1'de elektrik enerjisi üretim tesislerinin alt bölümleri gösterilmektedir.

Enerji santral türleri		GW	Toplam %
Fosil yakıtla çalışan elektrik santralleri	Buhar	249.679	43.03
	Gaz türbinleri	25.310	4.36
	Kombine çevrimler	25.776	4.44
	İç yanma	5.873	1.01
Nükleer enerji santralleri		124.151	21.40
Hidroelektrik santralleri	Toplam kurulu kapasite	116.189	20.02
	Pompalanan depo	29.686	5.12
Jeotermal		0.539	0.1
Rüzgar		3.024	0.51
Tüm kurulu santrallerin toplam kapasitesi		580.227	

**Tablo 1.1: 15 AB üye ülkesinde tesis edilen elektrik kapasitesi**  
 [58, Eurelectric, 2001]

Avrupa Birliğinde mevcut tüm enerji kaynağı türleri elektrik ve termal enerji üretimi için kullanılır. Her bir AB Üye Ülkesinde enerji üretimi için kullanılan yakıt türü kömür, linyit, doğal gaz veya petrolün yerel veya ulusal bazda mevcut olması gibi ulusal yakıt kaynaklarından büyük ölçüde etkilenir. Örneğin Yunanistan'da ve Almanya ile Polonya'nın bazı bölümlerinde enerji üretimi için önemli linyit kaynakları mevcuttur. Örneğin İrlanda ve Finlandiya'da turba önemli bir yerel enerji kaynağı olup bu nedenle enerji politikasının önemli bir temel taşıdır. Ülkenin önemli bir kısmının enerji talebini karşılamak üzere nükleer enerji santrallerinin tesis edildiği Fransa'da ise fosil yakıt kullanımı temelde az miktarda tepe yükü tesisi ile sınırlıdır.

Yakma tesisleri sahiplerinin talep ve gereksinimlerine göre büyük elektrik santralleri veya endüstriyel üretim süreçlerine elektrik, buhar veya ısı sağlayan endüstriyel yakma tesisleri olarak AB'de uygulanırlar. Büyük yakma tesisleri talep ve gereksinimlerine göre sınıflandırılır ve işletilirler. Elektrik ikmal endüstrisi için bu tesisler taban-yük, orta yük veya tepe yükü santraller olarak sınıflandırılırlar. Ayrıca yoğun nüfuslu kentsel alanlar için sadece şebeke istikrarı sağlamak amacıyla çalıştırılan santraller gibi dönen rezerv elektrik santralleri olarak veya acil durum üniteleri olarak uygulanabilirler. Yükleme kapasiteleri kısmi yükten tam yük arasında değişiklik gösterebilir. Çalışma saatleri yılda sadece birkaç saat enerji üretiminden tam zamanlı çalışmaya arasında değişiklik gösterebilir.

Kullanılan fosil yakıtları taş kömürü, petrol ürünleri, doğal gaz, türetilmiş gazlar, biyomas ve turba ile diğer yakıtlardır (örneğin bitümen, petrol kok kömürü). Nükleer enerji yaklaşık %35'lik bir pay ile elektrik enerjisi üretiminde ikinci büyük kaynaktır. Yenilenebilir enerjiler ki bunlar arasında özellikle hidro elektrik bulunur, toplamda yaklaşık %14'lük bir payı oluşturur (bakınız Tablo 12).

Yakıt tipi		Toplam brüt elektrik enerjisi üretimi (GW/s)	Toplam %
Fosil yakıtla çalışan elektrik santralleri	Taş kömürü	471797	19.5
	Linyit	183140	7.6
	Petrol ürünleri	185755	7.7
	Doğalgaz	332331	13.7
	Türetilmiş gazlar	27793	1.1
	Diğer yakıtlar	7707	0.3
Biyomas ve turba		27283	1.1
Nükleer		859894	35.5
Hidro		316116	13.0
Jeotermal		3957	0.2
Rüzgar		6909	0.3
Toplam brüt üretim		2422682	

**Tablo 1.2: 1997 yılındaki AB Üye Ülkelerinde elektrik enerjisi brüt üretimi [58, Eurelectric, 2001]**

Şebekeye sağlanan net üretimin yaklaşık olarak 2300000 GWh (2300 TWh) olduğu rapor edilmiştir. Elektrik santrallerinin yan elektrik üretimi bu suretle % 5.1'e ulaşmaktadır.

Enerji üretiminin %50'den fazlasından sorumlu olması nedeniyle konvansiyonel termal enerji Avrupa'da hakim bir enerji türüdür. Ancak 1990'dan bu yana elektrik santrallerinde kullanılan kullanılan bireysel enerji kaynaklarının gelişiminin incelenmesi bu süreçten sonra Avrupa'nın enerji politikasının değişen vurgusunu yani çevresel politik kararların büyüyen etkisini yansıtmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıt enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarı yaklaşık %16 oranında artış gösterirken talep ise yaklaşık %14 oranında artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarı (hidro elektrik ve biyomas da dahil olmak üzere) yaklaşık %20 oranında ortalamann üzerinde bir artış göstermektedir.

Elektrik enerjisi üretimi için kullanılan geniş fosil enerji kaynakları çeşitliliği içerisinde çok farklı bazı gelişmeler bulunur:

İnceleme kapsamındaki proses içerisinde (1990 – 1997), doğal gaz yaklaşık %134 oranında artış gösterirken taş kömürü yaklaşık %14 oranında düşmüş ve linyitteki artışın sadece Almanya'nın yeniden birleşmesi sonrası eski Doğu Almanya'daki tesislerin katılımı ile gerçekleşmesine rağmen linyit %49'luk bir artış göstermiştir.

Tablo 1.3 ve Tablo 1.4 AB'deki enerji üretimi ve tüketimine ilişkin en önemli rakamların özetini sunmaktadır.

AVRUPA BİRLİĞİ: Enerji Dengesi Özeti												
	1990	1997	2000	2010	2020	2030	Yıllık Değişim					
							1990/1997	1997/2000	200/2010	2010/2020	2020/2030	2000/2030
<b>Nüfus (milyon)</b>	365.3	374.1	375.1	376.3	371.6	362.4	% 0.3	% 0.1	% 0.0	% -0.1	% -0.2	% -0.1
<b>Yurtiçi milli hasıla (YMH) (USD95 x 109ppa)</b>	6806.1	7529.4	8163.8	10032.5	12157.1	13996.1	% 1.5	% 2.7	% 2.1	% 1.9	% 1.4	% 1.8
<b>Kişi başı Yurtiçi milli hasıla (USD95 x 103/ca)</b>	18.6	20.1	21.7	26.7	32.7	38.6	% 1.1	% 2.6	% 2.1	% 2.1	% 1.7	% 1.9
<b>Kişi başı Yurtiçi milli hasıla (USD95 x 103/ca) (t/(USD<sub>95</sub>x 10<sup>3</sup>))</b>	194.0	187.8	178.4	152.0	133.5	120.1	% -0.5	% -1.7	% -1.6	% -1.3	% 1.1	% -1.3
<b>Yurtiçi brüt tüketim /kişi başı (t/cap<sup>3</sup>)</b>	3.6	3.8	3.9	4.1	4.4	4.6	% 0.6	% 0.8	% 0.4	% 0.8	% 0.6	% 0.6
<b>Elektrik üretimi./kişi başı (kWh/cap)</b>	5.9	6.4	6.4	7.1	8.4	9.9	% 1.2	% 0.0	% 1.0	% 1.7	% 1.6	% 1.4
<b>869.4CO2 emisyonları (milyon ton C)</b>	869.4	858.5	903.0	927.4	1010.0	1057.4	% -0.2	% 1.7	% 0.3	% 0.9	% 0.5	% 0.5
<b>CO2 emisyonları/kişi başı (2.4 ton C/cap)</b>	2.4	2.3	2.4	2.5	2.7	2.9	% -0.5	% 1.6	% 0.2	% 1.0	% 0.7	% 0.6
<b>Birincil üretim (milyon ton)</b>	n.a.	725.2	774.6	631.7	612.1	595.4	n.a.	% 2.2	% -2.0	% -0.3	% -0.3	% -0.9
Katılar	212.8	126.6	125.6	101.4	105.8	110.1	% -7.1	% -0.3	% -2.1	% 0.4	% 0.4	% -0.4
Petrol	127.7	163.5	167.4	82.1	47.1	38.7	% 4.1	% 0.8	% -6.9	% -5.4	% -1.9	% -4.8
Doğalgaz	131.2	179.3	213.9	167.0	170.6	140.3	% 4.6	% 6.1	% -2.4	% 0.2	% -1.9	% 1.4
Nükleer	154.8	184.9	203.4	208.4	204.9	211.0	% 2.6	% 3.2	% 0.2	% -0.2	% 0.3	% 0.1
Hidro + Jeotermal	24.0	27.5	27.6	29.0	30.2	31.0	% 1.9	% 0.2	% 0.5	% 0.4	% 0.3	% 0.4
Geleneksel biyomas	17.2	17.0	17.3	18.2	19.2	20.4	% -0.2	% 0.5	% 0.5	% 0.6	% 0.6	% 0.6
Diğer yenilenebilir maddeler	n.a.	26.4	19.4	25.6	34.1	43.9	n.a.	% -9.7	% 2.8	% 2.9	% 2.6	% 2.8
<b>Net ithaller (milyon ton)</b>	639.6	658.2	681.8	893.2	1011.1	1085.0	% 0.4	% 1.2	% 2.7	% 1.2	% 0.7	% 1.6
Katılar	90.2	96.9	106.4	110.3	154.9	197.4	% 1.0	% 3.2	% 0.4	% 3.4	% 2.5	% 2.1
Petrol	432.8	435.9	441.1	540.7	599.3	602.8	% 0.1	% 0.4	% 2.1	% 1.0	% 0.1	% 1.0
Doğalgaz	89.4	117.6	134.3	242.3	256.9	284.9	% 4.0	% 4.5	% 6.1	% 0.6	% 1.0	% 2.5
Elektrik	2.3	0.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	% -16.3	n.a.	% 0.0	% 0.0	% 0.0	% 0.0
<b>Yurtiçi brüt tüketim (milyon ton)</b>	1320.6	1413.8	1456.4	1524.9	1632.2	1680.4	% 1.0	% 1.0	% 0.5	% 0.6	% 0.3	% 0.5
Katılar	303.0	223.5	232.0	211.7	260.7	307.4	% -4.3	% 1.3	% -0.9	% 2.1	% 1.7	% 0.9
Petrol	556.5	599.4	608.6	622.7	646.4	641.5	% 1.1	% 0.5	% 0.2	% 0.4	% -0.1	% 0.2
Gaz	220.6	296.9	348.2	409.3	427.6	425.2	% 4.3	% 5.5	% 1.6	% 0.4	% -0.1	% 0.7
Diğerleri	n.a.	297.6	267.6	281.1	288.5	306.3	n.a.	% -3.5	% 0.5	% 0.3	% 0.6	% 0.5

Tablo 1.3: 1999 ile 2030 arası Avrupa enerji dengesi özeti (beklenen (tahmini) enerji görünümü) [77, IEPE/IPTS, 2000]



AVRUPA BİRLİĞİ: Enerji Dengesi Özeti												
	1990	1997	2000	2010	2020	2030	Yıllık Değişim					
							1990/1997	1997/2000	200/2010	2010/2020	2020/2030	2000/2030
<b>Elektrik Tüketimi (TWh)</b>	21.649	2444.0	2463.9	2732.1	3139.9	3646.9	% 8.1	% 1.8	% 12.5	% 14.5	% 16.3	% 1.3
Termal:	1153.6	1218.4	1275.3	1479.2	1890.1	2258.3	% 0.8	% 1.5	% 1.5	% 2.5	% 1.8	% 1.9
Kömür	n.a.	n.a.	0.0	166.7	457.2	801.7	n.a.	n.a.	% 240.3	% 10.6	% 5.8	% 58.5
Gaz türbinleri	46.2	149.0	263.6	444.2	544.8	642.1	% 18.2	% 20.9	% 5.4	% 2.1	% 1.7	% 3.0
Biyomas	14.8	24.2	27.3	31.9	35.6	38.3	% 7.3	% 4.0	% 1.6	% 1.1	% 0.7	% 1.1
Nükleer	720.2	859.9	803.9	823.8	816.5	855.9	% 2.6	% -2.2	% 0.2	% -0.1	% 0.5	% 0.2
Hidro + jeotermal	279.3	319.5	321.4	337.4	351.6	361.0	% 1.9	% 0.2	% 0.5	% 0.4	% 0.3	% 0.4
Güneş	0.0	0.0	0.2	2.2	7.4	11.9	% 27.5	% 63.5	% 30.6	% 13.0	% 4.8	% 15.7
Rüzgar	0.2	7.5	15.2	35.7	72.4	103.8	% 73.7	% 26.6	% 8.9	% 7.3	% 3.7	% 6.6
Küçük hidro	11.6	38.7	48.0	53.7	55.9	56.0	% 18.8	% 7.4	% 1.1	% 0.4	% 0.0	% 0.5
CHP	56.6	226.0	177.5	236.8	247.8	230.7	% 21.9	% -7.7	% 2.9	% 0.5	% -0.7	% 0.9
<b>Üretim kapasitesi (GWe)</b>	392.3	546.5	593.9	743.0	840.4	946.4	% 4.9	% 2.8	% 2.3	% 1.2	% 1.2	% 1.6
Termal	192.0	300.8	338.9	471.6	541.9	621.9	% 6.6	% 4.1	% 3.4	% 1.4	% 1.4	% 2.0
Nükleer	92.4	124.0	124.0	120.0	118.4	123.7	% 4.3	% 0.0	% -0.3	% -0.1	% 0.4	% -0.0
Hidro + jeotermal	105.5	110.6	112.3	118.9	124.0	127.5	% 0.7	% 0.5	% 0.6	% 0.4	% 0.3	% 0.4
Güneş + rüzgar + küçük hidro	2.4	11.2	18.7	32.5	56.1	73.2	% 24.6	% 18.6	% 5.7	% 5.6	% 2.7	% 4.7
<b>Ortalama Yük Faktörü (%)</b>	62.7	50.2	46.4	41.1	42.5	43.2	% -0.3	% -2.6	% -1.2	% 0.3	% 0.2	% -0.2
Termal enerji üretimi için yakıt girdisi (milyon ton)	n.a.	292.7	291.4	299.7	365.1	416.3	n.a.	% -0.1	% 0.3	% 2.0	% 1.3	% 1.2
Katılar	n.a.	187.4	192.1	178.6	230.6	281.5	n.a.	% 0.8	%	% 2.6	% 2.0	% 1.3
Petrol	43.5	39.9	31.5	28.2	29.2	24.0	% -1.2	% -7.6	% -1.1	% 0.3	% -1.9	% 0.9
Gaz	32.9	65.4	67.8	92.9	105.3	110.9	% 10.3	% 1.2	% -3.2	% 1.3	% 0.5	% 1.7
Ortalama Termal Verimlilik (%)	n.a.	35.8	37.6	42.4	44.5	46.6	n.a.	% 1.7	% 1.2	% 0.5	% 0.5	% 0.7
Nihai enerji tüketimi	n.a.	n.a.	1059.6	1129.9	1197.7	1233.0	n.a.	n.a.	% 0.6	% 0.6	% 0.3	% 0.5
Katılar	n.a.	n.a.	42.2	40.2	42.5	42.6	n.a.	n.a.	% -0.5	% 0.5	% 0.0	% 0.0
Petrol	n.a.	n.a.	538.4	554.7	576.6	579.5	n.a.	n.a.	% 0.3	% 0.4	% 0.1	% 0.2
Gaz	n.a.	n.a.	240.6	266.0	268.3	260.7	n.a.	n.a.	% 1.0	% 0.1	% -0.3	% 0.3
Isı	16.9	22.7	22.6	23.4	24.3	25.3	% 4.3	% -0.2	% 0.4	% 0.4	% 0.4	% 0.4
Elektrik	156.7	176.7	187.5	212.8	248.8	282.9	% 1.7	% 2.0	% 1.3	% 1.6	% 1.3	% 1.4
Yenilenebilir maddeler	n.a.	n.a.	28.4	32.7	37.1	41.9	n.a.	n.a.	% 1.4	% 1.3	% 1.2	% 1.3
Sektör olarak:												
Endüstri	345.1	350.8	359.1	375.9	386.1	383.0	% 0.2	% 0.8	% 0.5	% 0.3	% -0.1	% 0.2
Taşıma	n.a.	296.5	309.8	336.2	357.8	371.7	n.a.	% 1.5	% 0.8	% 0.6	% 0.4	% 0.6
Evel, üçüncül ve tarım	340.5	374.4	390.7	417.8	453.8	478.3	% 1.4	% 1.4	% 0.7	% 0.8	% 0.5	% 0.7

Tablo 1.4: 1990 ile 2030 arası Avrupa enerji dengesi özeti (beklenen (tahmini) enerji görünümü) [77, IEPE/IPTS, 2000]

## 1.2 Ekonomik durum

Elektrik piyasalarının açılış ve deregülasyon prosesi dünya çapında süregelen bir olgudur. Temel amaç sektör çapında rekabeti artırmak ve bu suretle hem endüstri hem de yerli müşterilerin yararına üretim, iletim, dağıtım ve tedarik maliyetlerini azaltmaktır.

Elektrik piyasasının serbestleşmesine paralel olarak ulusal ve uluslararası enerji ve çevre politikası hedeflerine ulaşmak için ekonomik araçların kullanılması yönünde bir hareket ortaya çıkmıştır. Bu araçlar vergiler, teşvikler ve pazara dayalı ticaret imkanları da dahil farklı şekillerde kendilerini gösterirler.

Avrupa pazarının açılması bu yolda öncülük eden Birleşik Krallık ile birlikte 1980'lerin sonlarına doğru başlamıştır. Daha sonra 1996 yılında Avrupa Birliği, Üye Ülkeler pazar açma prosesini daha ileriye götürmede serbest olmakla birlikte pazarlarını %25'e kadar açmalarını gerektiren İç Elektrik Pazarı (IEM) Direktifini (96/92/EC) ortaya çıkarmıştır. Fiili Pazar açma derecesi Birleşik Krallık, Almanya, İspanya, Finlandiya ve İsveç'deki tamamen açık pazardan Fransa ve İtalya gibi diğer ülkelerdeki kısmen açık pazarlara kadar tüm AB genelinde değişiklik gösterir.

Pazar gelişim prosesi pazarın tam olarak açılmasından sonra dahi Üye Ülkelerde ulusal ölçüde belirlenen adım adım süreçte devam eder. Ulusal sistemlerdeki eşitsizliklerin nedeni uzlaşmalı veya üçüncü şahıs erişimli veya tek alıcı sistemi gibi ulusal hükümetin benimsediği özel bir rekabet modelidir. Bu nedendir ki Üye Ülkelerdeki düzenleme koşulları bir dizi faktöre göre büyük ölçüde değişiklik gösterir. Pazar yapıları ayrı ayrı geliştiğinden bu sadece beklenen bir durumdur.

Sınır ötesi politika ve teknik hizalama durumları büyük ölçüde ilgili ülkelerin büyüklükleri, birbirleri ile olan işbirliği geçmişleri ve deniz kıyısına sahip olup olmadıklarına bağlıdır. Bir Üye Ülkenin iç coğrafyası en basitinden doğal kaynakların elverişliliği ve bu kaynakların iletim şebekesi sistemi üzerindeki etkileri nedeniyle önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Örneğin İsveç ve Finlandiya'da çoğu hidro elektrik üretim kapasitesi kuzeydedir, bu nedenle sistem yoğun nüfuslu güney bölgelerini uzun nakil hatları üzerinden besler, ancak nükleer tesisler ise güneydedir. Oysa Almanya'da üretim tesislerinin bu alanlardan iletim sistemleri gelişmiş olan özel alanlarda bulunmasından ortaya çıkan bir merkezi sistem modeli mevcuttur.

IEM Direktifinin ana hedefi yerel elektrik pazarlarını uluslararası rekabete açmaktır. Bu ise ulusal sistemlerde önemli değişiklikler gerektirir. Bu değişiklikler arasında özelleştirme, ayrıştırma ve uygun düzenleyici sistemlerin getirilmesi sayılabilir. Dikey bütünlük kamu hizmetlerinin elektrik üretim, iletim ve tedariki üzerinde hemen hemen tam kontrol kullandığı ülkelerde deregülasyon da yeni firma hisse senetlerinin piyasaya girmesine ve rekabeti teşvik etmesine olanak sağlar.

Bir dizi önemli konu tam uluslararası rekabeti fiilen engellemektedir. Bunlar arasında sınır ötesi iletim fiyatlandırması, bazı sistemlerde kapasite fazlası derecesi ile ulus ve ülkeler arasında şebeke bağlantı kapasitelerinde yaşanan dar boğazlar sayılabilir. Açık söylemek gerekirse uluslararası pazarların gerçek ve yaygın uluslararası rekabet var olacak kadar gelişmesi biraz zaman alacaktır.

Pazarlar rekabete açıldıkça bu durum büyük yakma tesislerinin işletim, denetim ve yönetimine ilişkin çok çeşitli bir dizi faktörde önemli etkilere sahip olabilir ve hava, su ile kara emisyonlarını azaltacak özel tekniklerin uygunluğunun belirlenmesinde dikkate alınabilir. Bazı tesislerin voltaj ve frekansı koruma gibi bazı yan hizmetle de dahil özel müşteri gereksinimlerini yönetme ihtiyacı, yük izleme, tepe yükü üretimi ve yeniden çalışma kapasitesine yol açar. Bu yan hizmetlere bunlarla sınırlı olmamak kaydıyla aşağıdakiler de dahildir: [58,Eurelectric, 2001].

- Enerji temininin güvenliği. Bu husus kapasitenin kendisi dönen rezerv ihtiyacı ve yakıt depolama elverişliliğinden etkilenmesine rağmen bir sistemdeki fazla kapasite seviyeleri ile yakıt çeşitliliği oranını etkileyebilir.
- Yakıt maliyeti
- Herhangi bir pazarın gerektirdiği sistem güvenliği derecesi, yatırım maliyetleri ile yatırımın karşılığını vermek için gerekli elektrik fiyatı seviyesi üzerinde doğrudan etkisi olmakla birlikte aynı zamanda tesis tasarımındaki fazlalıklar gibi faktörleri önemli ölçüde etkileyebilir
- Farklı türdeki tesisleri kullanma serviyesi, elverişlilik gereksinimleri ve kapasite fazlalığı düzeyini etkileyebilecek marjinal üretim maliyetleri gibi faktörler ile birlikte piyasa şeklinin etkisi (yani yük süresi eğrileri),
- Sözleşmeli pazarlar, dengeleyici pazarlar, bir elektrik havuzu üzerinden ticaret, kapasite ödemeleri vb. gibi pazarları işletip işletmedikleri de dahil olmak üzere özel pazarlar içerisindeki istihkak yapıları.
- Belirli bir pazarın yatırımların karşılığını ödeme kabiliyetini etkileyebilecek tesis kullanım ve üretim maliyetleri ile ilişkili fiyat yapısı ve Pazar içerisinde ileri fiyat seviyesi
- Bireysel bir Üye Ülke enerji politikası gerekliliklerini desteklemek amacıyla özel bir yakıttan kaynaklanan veya belirli bir teknikle üretilen elektriğin temin ve tüketimini kontrol etmek üzere tarife tespit etme derecesi. Karbon, enerji ve kirlenici madde vergileri de dahil olmak üzere bu amaçları gerçekleştirmek üzere Üye Ülkeler tarafından diğer araçlar da ayrıca kullanılır
- Hepsinin birlikte bahsi geçen tesisin işletme ile ilgili özellikleri üzerinde göze çarpan bir etkiye sahip olabilecek bakım sistemi voltaj ve frekansı, yük izleme ve yük yapısı, yeniden çalışma kapasitesi ve yerel şebeke kısıtlarını karşılamaya yönelik spesifik gereksinim gibi yardımcı hizmetler de dahil olmak üzere özel bir tesisin spesifik müşteri arabirimi gerekliliklerini yönetme ihtiyacı
- Ayrıca kısa vadeli talepler ile harekete geçirilebilecek, gaz ve elektrik şebekelerinin yakıt fiyatı farklılıklarına dayanan gaz temini ve elektrik üretimi arasında finansal koruma (hedging) fırsatı yarattığı sistemlerdeki gibi bağlı pazarların etkileşimi
- Şebeke altyapısı ve spesifik bir pazar içerisindeki özel yükleme yapısı örneğin iletim kaybı, şebeke erişimi ve sistem yüklerinin kullanımı gibi tesise özgü çıkarımlara sahip olabilir
- Özel pazarlar içerisinde gömülü ve dağıtılmış üretimi teşvik edecek yasal teşvikler. Bu teşvikler ayrıca tedarikçi yükümlülük ve sübvansiyonları da dahil olmak üzere ilave destek mekanizmaları yoluyla ulusal hedeflerin gerçekleştirilebileceği yenilenebilir üretim seviyesi üzerinde bir etkiye de sahiptir.

### **Yakma tesislerinin konumu**

Tüm Avrupa genelinde tesisin bulunduğu alan ile tesisin çalışmasını destekleyecek altyapı ile ilgili katkı sağlayacak bir dizi faktöre imkan vererek fosil yakıt yakan enerji üretim tesislerini kurulum ve faaliyetine yönelik en az maliyet doğuracak yerlerde konumlandırılması genel bir uygulamadır. Bu faktörlerin her biri yerel ve ulusal değerlendirmelere göre önem hususunda değişiklik arz ederler ancak çoğu durumda elektrik iletim/dağıtım sistemi ile irtibat elverişliliği, elektrik talebine yakınlık soğutucu sistemler için su elverişliliği maden alanları/limanlara yakınlık büyük yakma tesislerinin yer seçiminde belirleyici faktörler olmuşlardır. Geçmişte bireysel ülkelerin gelecekteki enerji taleplerine yönelik öngörülere ve tercih edilen tesis türüne ilişkin en uygun uzun vadeli maliyetler enerji üretim tesislerinin büyüklük ve konumlarını belirlemiştir.

Büyük yakma tesislerinin konum belirlenmesinde diğer faktörler çoğunlukla daha az öneme sahiptir. Uygun arazi elverişliliği, yerel çevre üzerindeki görsel etkiler ve hava niteliği etkisi, yakıtların dağıtım ve depolanmasına ilişkin erişim enerji üretim tesisinin tasarım ve konumlandırılmasında etkisi olan faktörlerdendir. Ancak bu faktörler çoğu zaman sadece genel konum belirlenmiş olduğunda detaylı bir şekilde ele alınır ve genellikle tesis kurulumuna geçme kararını değiştirmezler.

Avrupa’da yer alan enerji altyapılarının geniş çapta yayılımı ile birlikte enerji üretim tesisinin konumu belirlerken kullanılan faktörlerden her birinin göreceli etkisine ilişkin değişiklikler de mevcuttur. Artık mevcut altyapıya göre konum seçmekten ziyade yakıt ve enerji bağlantılarını tesis için doğru konuma getirmek daha kolaydır. Yakıt olarak doğal gaz kullanımındaki önemli artış günümüzde gaz tedarik altyapısını daha üst düzeylere getirmiş ve bu durum düşük ulaşım maliyetleri ile birlikte sahada yakıt depolama gereksinimi olmaksızın , enerji üretimine ilişkin gaz türbinlerinin çalışması için gerekli miktar ve basınçta gazı daha geniş çapta bulunabilir hale getirmiştir. Entegre elektrik dağıtım sisteminin yayılması tesise enerji sağlamak üzere tesise iyi bağlantılar edinme seçeneğini genişletmiştir. Yeni şalt cihazı ve kontrol sistemleri de ayrıca daha güvenli ve etkin bağlantıyı mümkün hale getirmektedir.

Enerji üretim tesislerine yönelik ana gereksinimleri karşılayacak artan bir konum elverişliliği mevcuttur. Aynı zamanda enerji üretimi ve azaltma tekniklerindeki değişiklikler fosil yakıt yakan eski tesislerden çok daha temiz egzoz gazı sağlamakla birlikte enerji üretiminin verimliliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Enerji üretimine ilişkin gaz türbinlerinin kullanımı ve yeni yakma tesisleri ile egzoz gazı arıtma işlemlerinin geliştirilmesi üretilen güç birimi başına öncekinden çok daha az kirlenici madde yayan gazlı, likit veya katı yakıt seçeneklerini kullanabilen enerji santralleri ile sonuçlanmıştır. Yeni tesisler eşdeğer verim ile eski tesislerden çok daha küçük olup yapı gazı ile çalışan tesisler yakıt depolaması için arazi alanı ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Yeni tesislerin yerel çevreleri üzerinde sahip oldukları genel etki eski tesisler ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde azdır.

İlave olarak son değişiklikler ve Avrupa gaz ve elektrik pazarlarının açılmasının ardından tesis seçmeye yönelik uzun vadeli marjinal maliyet hesaplamaları artık uygun değildir. Bu durum ise daha az zamanda inşa edilebilen, düşük sermaye maliyetli, verimliliği yüksek daha küçük tesisler inşa etme kararları ile sonuçlanmıştır.

Yeni tesisler daha yüksek üretim verimliliğine sahiptir ki bu ise diğer unsurlara ilaveten üretilen güç birimi başına daha az emisyon (su ve havaya) üretimi ile sonuçlanır. İleriki tesis verimliliği artışları aşağıdakiler nedeniyle sınırsız olmayacaktır:

- Termodinamik yasaları
- Artan gelişim maliyetlerinden azalan gelirler
- Daha yüksek üretimle sonuçlanan sermaye maliyetlerinin artması.



KAYNAK SALINIMI			Maddeler											
			Partiküller madde	Sülfür oksitleri	Nitrojen oksitleri	Karbon oksitleri	Organik bileşikler	Acitler/Alkaliler/tuzlar	Hidrojen klorid/florid	Ücucu organik bileşikler	Metaller e tuzlar	Klorin (hipoklorit olarak)	Cıva ve/veya kadmınyumm	PAH'ler
Hava (A)	Su (W)	Toprak (L)												
Yakıt depolama ve taşıma			A				W			A				
Su arıtma			W											
Egzoz gazı			A	A	A	A	A		A	A	A		A	A
Egzoz gazı arıtma			W				W			WL			W	
Yağmur suyu da dahil saha drenajı			W				W							
Atık su arıtımı			W				W	W						
Soğutma suyu akıntısı			W				W			W	W		W	
Soğutma suyu egzozu										A				

**Tablo 1.5: Kaynak türü ve madde ile potansiyel emisyon yolları [5, HMIP, 1995]**

### 1.3.1 Verimlilik

Doğal kaynakların temkinli idaresi ile enerjinin verimli kullanımı IPPC Direktifi'nin ana gerekliliklerinden ikisidir. Bu nedenle enerjinin üretilebileceği verimlilik bir prosesin çevresel etkisinin göstergesi olarak önemi gittikçe artan bir rol üstlenmektedir. Verimlilik sadece doğal yakıt kaynaklarının dikkatli kullanılmasının bir işareti olması açısından önemli olmayıp ayrıca birim enerji miktarının üretiminde salınan emisyonlar; CO<sub>2</sub> gibi 'çevreye duyarlı gazlar' denilen emisyonların da bir göstergesidir. Bu avantajı sağlamanın bir yolu da enerji kullanımı ile enerji üretim prosesinin verimliliğinin optimizasyonudur. Spesifik verimliliğin optimize edilmesi yakıtın nitelik ve kalitesi, yakma sisteminin tipi, gaz türbini ve/veya buhar türbininin işletim sıcaklıkları, yerel iklim koşulları, kullanılan soğutma sistemi türü vb. dahil çeşitli faktörlere dayalıdır.

Yakıtın faydalı enerjiye dönüşüm prosesinde birbirinin izleyen aşamalardan her birinin kendi verimlilik faktörüne sahiptir. Prosesin toplam verimliliği tüm bireysel verimlilik faktörlerinin multipikasyonu ile sağlanır. Verimliliğin seviyesi ve karşılaştırılabilirliği gerekli dönüşümlerin gerçekleştirilmesi zorunlu olduğu hallerde seçilen ekipmanın sınırlarına bağlıdır (örneğin aynı referans sıcaklığına yönelik).

Yardımcı istasyon temini (ve proses ısı talebi), yakıtın hazırlanması, yan ürün arıtımı, baca gazı arıtımı, atık su arıtımı, soğutma sistemi, fan ve pompalar nedeniyle ortaya çıkan tüm kayıpları dikkate alır. Çevre koruması için kullanılan araçlar da dahil olmak üzere tüm verimlilik faktörlerine yönelik verimlilik optimizasyonu sağlanabilir. Katı emisyon kontrolü yakıt ve bu suretle ürüne özgü CO<sub>2</sub> emisyonlarına bağlı olarak yardımcı istasyon teminini geliştirir. Elektrik tüketicileri için herhangi bir şebeke veya trafo kaybı dikkate alınmalı ve ayrıca Kombine Isı ve Enerji (CHP) ünitelerinden kaynaklı ısı tüketicileri için ise bölge ısı ağı ve çevrim pompalarının nakil kayıpları hesaba katılmalıdır.

Sahadaki yüksek yüksek ortam sıcaklığı periyotları hem gaz hem de buhar türbinlerinde elektrik üretim verimliliğini düşürür. Gaz türbinleri ve dizel motorlar için ortam hava sıcaklığı önemli iken, buhar türbinleri için soğutucu ortamı sıcaklığı daha önemlidir. Soğutulan ve yayılan buharın yoğunlaşması için uygulanabilen üç tip soğutma sistemi bulunur: deniz veya nehir suyu ile doğrudan soğutma, ıslak soğutma kuleleri ile doğrudan ve dolaylı soğutma, ve kuru soğutucu kuleleri ile dolaylı soğutma. Daha fazla bilgi için 'Endüstriyel Soğutma Sistemleri' BREF'e başvurun.

**Verimlilik ve emisyonlar**

En verimli enerji tesisleri dahi şu anda toplam enerji girdilerinin önemli bir miktarını geri çevrilmiş biçimde çevreye geçirmektedirler. Bu ısı yerel çevreye nispeten dah az oranda zarar vererek yerel çevre veya su yollarında absorbe edilir ancak her enerji birimi atmosfere geçen ilave CO<sub>2</sub>'yi temsil eder. Şu anda enerji üretimi verimliliğini geliştirecek en etkili yol üretilen ısıyı faydalı biçimde kullanmak ve boşa harcamamaktır.

Atık ısı kullanımı için termodinamik, teknik ve ekonomik kriterlerin dikkate alınması gerekir. Termodinamik kriterler bir tarafta ısı diğer tarafta ise ortaya çıkan atık ısı ekserji içeriğini kapsar. Isıtma amacıyla atık ısı kullanılması durumunda sıcaklığın da dikkate alınması gereklidir. Elektrik ve enerji üretimi için atık ısı kullanılması durumunda ekserji içeriği de dikkate alınmalıdır. Teknik kriterler münferit saha koşullarına bağlıdır.

Atık ısıların azaltılıp kullanılması ile genel anlamda enerji tasarrufu yapılabilir, emisyonlar azaltılabilir ve kaynaklar muhafaza edilebilir. Enerji üretim santrallerinin elektrige dönüşmemiş enerjinin kullanıcı ve tüketicilere onların faydalanacakları biçimde ısı olarak geçebilen sahalarda yer almasına ilişkin olanaklar artmaktadır. İşletim ve üretim tesislerine yönelik girdiler olarak buhar, sıcak su veya sıcak hava biçiminde kesintisiz ısı kaynakları gerektiren çok çeşitli süreçler mevcuttur. Bu teknik kojenerasyon veya kombine ısı veya elektrik üretimi (CHP) olarak bilinir ve ilişkili ısı tüketimi genellikle %70 ile %90 seviyelerinde olup bir elektrik santralinin toplam kombine verimliliğini artırma etkisine sahiptir. Artan verimlilik avantajları ayrı bir yakma tesisinde yakıtları yakmak için ihtiyaç duyulan ısı tüketimini önleyerek CO<sub>2</sub> emisyonlarının da azalmasına neden olur. Çoğu durumda nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) ve diğer kirletici maddelerin toplam emisyonlarında da azalmalar söz konusudur. Ancak hem atık ısı azaltma hem de atık ısı kullanımına yönelik sadece ekonomik ve teknik açıdan anlamlı tedbirler hem çevresel hem de ekonomik hedefleri karşılayabileceklerdir.

**Bölge ısıtmasının hava kalitesi üzerindeki etkisi**

Baca gazı temizlemeli ve yüksek istifli birkaç büyük ve iyi durumda muhafaza edilmiş buhar kazanları düşük istifli ve çoğunlukla kötü kontrollü yakma işlevli çok sayıda münferit ısıtma tesisini değiştirebilir. Sonuç itibarıyla partikül, CO ve yanmamış hidrokarbonların toplam emisyonları epeyce azaltılabilir. Modern teknoloji ile birlikte, bölge ısıtması buhar kazanlarındaki ısı kalitesinin münferit ısıtma işleminde değiştirilen yakıtlarınkinden daha düşük olsa dahi SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emisyonlarında herhangi bir büyük artışa gerek duyulmaz. Aynı miktarda toplam emisyon ile birlikte yüksek istifler, kirletici maddeler zemin seviyesine ulaşmadan önce daha yüksek düzeyde dilüsyona neden olur. Bunun etkisi ise bölge ısıtması sistemi buhar kazanları ile ısıtılan şehir, kasaba ve köylerdeki yerel hava kalitesinin tek başına münferit ısıtma kullanıldığında ortaya çıkacak sonuçtan çok daha iyi olmasıdır.

Enerji verimliliği gelişimi, emisyon azaltma ve de çevre açısından bölge ısıtması sisteminin faydalarına ilişkin örneklerden biri de Helsinki (Finlandiya) şehrinde alınan bir vaka analizinde görülebilir. Burada semt ısıtma uygulaması 1950 yıllarında başlamış olup günümüzde merkezi semt ısıtma şebekesine bağlı olan tüm binaların %92'si ile doyma noktasına yakın bir yerdedir. Son on yıllık zaman zarfında kömürün doğal gaz ile kısmi ikamesi ayrıca emisyonlardaki azalmaya da katkıda bulunmuştur. Helsinki enerji temin çalışmasından elde edilen bazı bulgular elektrik üretimi ve enerji temini verimliliği ile birlikte belirli emisyon ve ölçülen SO<sub>2</sub> yoğunlaşmalarında hatırı sayılır bir azalmayı ortaya koymaktadır. Helsinki'de, toplam NO<sub>2</sub> emisyonlarındaki düşüş 10 yıl öncesinden başlamışken son 20 yıllık süreçte toplam SO<sub>2</sub> emisyonlarında güçlü bir düşme eğilimi hakimdir.

### 1.3.2 Hava emisyonları

Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan en önemli hava emisyonları SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, partikül madde ile CO<sub>2</sub> gibi sera gazlarıdır. Ağır metal, hidrojen florid, halide bileşikler, yanmamış hidrokarbonlar, metal olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC'ler) ve dioksinler gibi diğer maddeler daha küçük miktarlarda yayılırlar ancak zehirli olmaları ve uzun süre kalmaları nedeniyle çevre üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaları olasıdır. Uçucu kül emisyonları da ayrıca PM<sub>10</sub> diye adlandırılan 10 Vm'den daha az aerodinamik çaplı partikül maddeler arasına dahil edilebilir. Tablo 1.6'da farklı LCP kategorilerinden gelen çeşitli kirlenici madde emisyonlarının 2001 yılında AB-15'de faaliyet gösteren IPPC tesislerinden kaynaklı bu kirlenici maddelerin toplam emisyonlarına yönelik katkıları verilmiştir.

	IPPC donanımlarından kaynaklı toplam emisyonlara katkı (%)										
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	PM <sub>10</sub>	Hg <sub>TOT</sub>		NMVOC	CO
LCPs over 300 MW	64.6	53.4	0.5	54.4	7.6	0.2	38.1	28.8	19.0	0.7	4.4
LCPs over 300 MW	3.6	6.0	NI	5.0	21.0	0.2	2.1	2.6	0.2	0.7	2.8
Gaz turbinleri	0.9	3.6	0.03	5.5	0.4	0.3	0.1	NI	0.3	0.1	0.3
Sabit motorlar	0.3	1.2	NI	0.1	NI	0.05	0.2	0.3	NI	0.1	0.03
Tüm LCP'ler	69.4	64.2	0.5	65.0	29.0	0.8	40.5	31.7	19.5	1.6	7.5
<b>Notlar:</b>											
N1											
Bu kategori için emisyon bildirilmemiştir.											

**Tablo 1.6: Farklı LCP kategorilerinden kaynaklı emisyonların Avrupa Kirlenici Emisyon Kaydı 2001 (EPER)'e göre 2001 yılında AB-15'de faaliyet gösteren IPPC donanımlarından kaynaklı toplam hava emisyonlarına katkısı [193, EC, 2001]**

#### 1.3.2.1 Sülfür oksitler

Sülfür oksit emisyonları temel olarak yakıttaki sülfür varlığından kaynaklanır. Fosil yakıt inorganik sülfür veya organik bileşik olarak sülfür ihtiva eder. Örneğin sülfür kömürde piritik sülfür, organik sülfür, sülfür tuzları ve saf sülfür olarak ortaya çıkar. Yakma işlemi sırasında şu ana dek sülfür oksitlerin çoğunluğu sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) formunda meydana gelmiştir.

Katı ve sıvı yakıtlara yönelik olarak sülfür'ün % 3 ile 4'ü de ayrıca bu tepkimeyi katalize eden yakıttaki geçiş metallerin varlığı ile sülfür trioksit'e (SO<sub>3</sub>) oksitlenmiştir. Sülfür trioksit partikül bileşikler üzerinde adsorbe edilir ve sıvı yakıt hallerinde asit kurumu oluşumuna katkıda bulunur. PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> emisyonları bu nedenle SO<sub>3</sub> ile arttırılır. Buna ek olarak emisyon ağır fuel oil ile çalışan buhar kazanlarından 'mavi duman' olarak da oluşabilir. Bu optik olgunun sülfat oluşumu (SO<sub>2</sub> artı toz) ile ortaya çıktığı ve yağdaki vanadyum muhteviyatı ve muhtemelen SCR katalizörü ile geliştiği kabul edilir.

Doğal gazın genellikle sülfür ihtiva etmediği düşünülür. Ancak bu durum belirli endüstriyel gazlar için geçerli değildir ve bu durumda gazlı yakıtların kükürtlerinin giderilmesi gerekli olabilir [4, OSPAR, 1997].

#### 1.3.2.2 Nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>)

Fosil yakıtların yakılması işlemi sırasında yayılan temel nitrojen oksitleri nitrik oksit (NO), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), ve nitro oksit (N<sub>2</sub>O). Bunlardan ilk ikisi temel büyük yakma tesisi türlerindeki NO'un yaklaşık %90'ından fazlasını oluşturan NO<sub>x</sub> olarak bilinen karışımı teşkil eder.



NO<sub>x</sub> oluşumu; tepkimenin oluştuğu ortam ve nitrojen kökeni ile karakterize olan üç esas mekanizma ile yönetilir:

- termal NO<sub>x</sub> havadaki oksijen ile nitrojen arasındaki tepkimeden kaynaklanır
- yakıt NO<sub>x</sub> yakıtta bulunan nitrojen ile oluşur
- ani NO<sub>x</sub> ara hidrokarbon bileşiklerinin varlığında alev cephesinde moleküler nitrojen dönüşümü ile oluşur.

Ani NO<sub>x</sub> mekanizması ile oluşturulan NO<sub>x</sub> miktarı genellikle diğer tepkime yollarından çok daha azdır.

Termal NO<sub>x</sub> oluşumu yüksek oranda sıcaklığa bağlıdır. Yakma işlemi 1000 °C'nin altında sıcaklık ile gerçekleştirilebildiğinde NO<sub>x</sub> emisyonları önemli ölçüde düşüktür. Tepe alev sıcaklığı 1000 °C'nin altında olduğunda ise NO<sub>x</sub> oluşumu çoğunlukla yakıt nitrojenine bağlıdır. Termal NO<sub>x</sub> oluşumu gazlı veya sıvı yakıt kullanan tesislerde NO<sub>x</sub> üretiminde dominant yöntemdir.

Yakıt NO<sub>x</sub> oluşumu yakıtın oksijen içeriği ile tepkime ortamındaki oksijen yoğunlaşmasına bağlıdır. Üretilen yakıt NO<sub>x</sub> miktarı, yapısında diğer yakıt tiplerinden daha fazla oranda nitrojen barındırdığından kömür kullanan tesislerde daha fazladır. Genellikle farklı yakıt tiplerinde bulunan ortalama nitrojen içeriği Tablo 1.7'de verilmiştir.

Yakıt	Yakıtla bağlı nitrojen (ağırlık %, kuru, külsüz bazda)
Kömür	0.5 – 2
Biyomas (odun)	< 0.5
Torba	1.5 – 2.5
Fuel oil	< 1.0
Doğal gaz	0.0
Türetilmiş gazlar	0.1 - 1 (>>1 kimya kaynakları)

**Tablo 1.7: Yakıtla bağlı nitrojen**

Kullanılan yakma prosesi tipi ayrıca yayılan nitrojen oksit miktarını da etkilemektedir. Örneğin kömür ele alındığında:

- Nispeten düşük yakma sıcaklığı ve ızgara üzerinde ilerlediğinden yakmanın aşamalı niteliği nedeniyle hareketli ızgara buhar kazanı ile NO<sub>x</sub> emisyonları daha düşüktür
- Brülör tipi ile yakma odası dizaynına bağlı olarak değişmekle beraber pülverize kömür buhar kazanında emisyonlar daha yüksektir
- Sıvılaştırılmış buhar kazanında NO<sub>x</sub> emisyonları konvansiyonel buhar kazanlarında üretilenlerden daha düşük olmakla birlikte N<sub>2</sub>O emisyonları daha yüksektir [4, OSPAR, 1997].

Termal NO<sub>x</sub> oluşumu gazlı veya distile sıvı yakıt kullanan tesislerde NO<sub>x</sub> üretiminde dominant yöntemdir. Üretilen yakıt NO<sub>x</sub> miktarı, daha geniş çapta yakıtla bağlı nitrojene sahip olduklarından kömür ile ağır fuel oil kullanan tesislerde daha fazladır.

Ani NO<sub>x</sub> mekanizması ile oluşturulan tertip genellikle diğer tepkime yolları ile oluşturululardan çok daha küçüktür.

Nitro oksidin ( $N_2O$ ) oluşum mekanizması henüz tam olarak açıklanamamıştır. NO oluşumuna yakın olan ara ürünler (HCN,  $NH_3$ ) temeline dayalı olası bir oluşum mekanizması mevcuttur. Örneğin 1000 °C altı gibi düşük yakma sıcaklıklarının daha yüksek  $N_2O$  emisyonlarına neden olduğu ortaya çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıklarda  $N_2O$  molekülü nispeten sabit kalıp; yüksek sıcaklıklarda ise oluşturulan  $N_2O$   $N_2$ 'ye indirgenir. Konvansiyonel sabit yakma ünitelerden kaynaklı emisyonlar ile karşılaştırıldığında ya kabarcıklı, dolaşımly yada basınçlı akışkan yatak yakma işleminden kaynaklı nitro oksit nispeten daha yüksektir. Labartuvar deneylerinde nitro oksidin SCR prosesinin optimum sıcaklık 'penceresine' erişen veya bu sıcaklık değerine yaklaşan 'Selektif Katalitik Azaltım' (SCR) süreçleri ile oluşturulduğu bulunmuştur [1, Corinair, 1996]. Nitro oksit ( $N_2O$ ), ayrıca troposferde termal kızılotesi absorpsiyon yoluyla iklimsel sera etkilerine doğrudan katkıda bulunur. Diğer gazlar, bulutlar ve dumanlarla etkileşimi en düşük seviyede olduğundan  $N_2O$ 'un troposferdeki yaşam süresi oldukça uzundur.  $N_2O$ ;  $O_3$  olarak ve  $NO_x$  adıyla bilinen  $NO_2$  ve NO formlarında ayrışır.

### 1.3.2.3 Toz ve partikül madde

Kömür, turba ve biyomas yakma işlemleri sırasında yayılan toz neredeyse hemen hemen yakıtın mineral parçalanmasından kaynaklanır. Küçük oranda toz miktarı yakma işlemi sırasında gaz haline gelen bileşiklerin yoğunlaşması ile oluşan çok küçük partiküllerden teşekkül edebilir.

Kullanılan yakma prosesi tipinin buhar kazanlarından baca gazı emisyonlarına karışan kül miktarında hatırı sayılır bir etkisi vardır. Örneğin pülverize kömür buhar kazanları büyük oranda (% 80 - 90) uçucu kül üretirken hareketli ızgara buhar kazanlarında bu oran nispeten daha küçüktür (toplam külünm % 20 – 40).

Likit yakıtların yakılması da kömürden daha az oranda olmasına rağmen bir partikül emisyon kaynağıdır. Özellikle kötü yakma koşulları is oluşumuna yol açar ki bu isin sülfür trioksit tertibinde korozif özellikler taşıyan asit aglomeratları üretmesi olasıdır.

Doğal gaz yakma işlemi önemli bir toz emisyonu kaynağı değildir. Diğer taraftan bazı endüstriyel gazlar üretim prosesinde veya yakma işlemi öncesinde filtrelenmesi gereken partiküller ihtiva edebilir.

Ayrıca birçok tesis için potansiyel yayılım (difüz) emisyonu mevcuttur (kömürün açık havada depolama ve taşınması, pülverize kömür buhar kazanlarında kullanılan kömürün ezilmesi, külün taşınması vb.). [4, OSPAR, 1997].

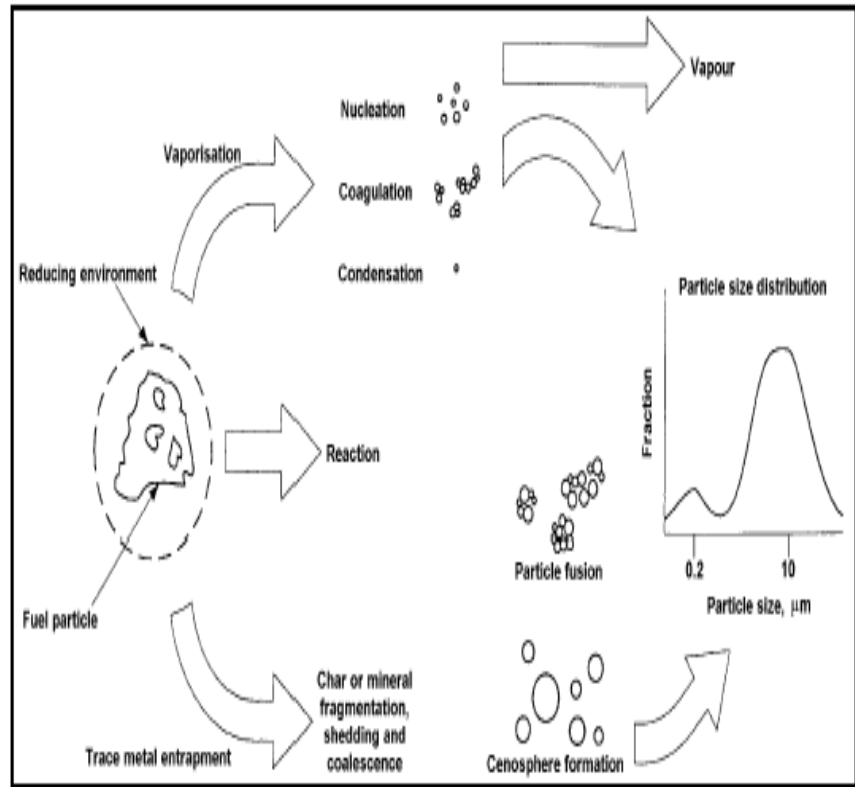
Atmosferde günlerce hatta haftalarca asılı kaldıklarından, çevresel sorunlar çapı 2.5 Vm'den daha az olan partiküllerden kaynaklanabilir. Çevresel sorunlar ayrıca yerküre üzerindeki persistan bileşiklerin uzun süreli toplanması ile dilüsyon veya su gövdelerine nakilleri yoluyla da ortaya çıkabilir. Partiküllerin presipitasyon yoluyla havadan atılmadan önce yol aldıkları mesafe fiziksel özelliklerine ve hava koşullarına bağlıdır. Büyüklük, yoğunluk ve şekil partiküllerin dibe çökme hızını etkiler. Çapı 10 Vm'den daha büyük partiküller oldukça hızlı dibe çökerler. Etkileri esas olarak kaynağın yakınında olur. Çapı 10 Vm' den az olan daha küçük partiküller ve özellikle de 2.5Vm'den daha az olanlar dibe çökmeden önce yüzlerce kilometre yol alabilirler. Dumanlar çoğu zaman bulut oluşumu için yoğunlaşma çekirdekçikleri olarak işler ve yağmurla birlikte yok olurlar.

Partikül maddeye (PM) yönelik emisyon kontrol teknikleri ham gaz girdisinden % 99.8'den daha yüksek oranda sökme ile oldukça etkilidir.  $PM_{10}$  ve altı gibi sadece küçük partiküller için, sökme verimliliği % 95 ile 98 arası seviyeye düşer. Bu nedenle halen havaya yayılan LCP'lerden kaynaklı partiküllerin çoğu 0.1 Vm ile 10 Vm çap arasında değişiklik gösterir.

### 1.3.2.4 Ağır metaller

İz metaller olarak da bilinen ağır metallerin emisyonları fosil yakıtlarında doğal bir bileşen olarak bulunmalarından kaynaklanır. Ele alınan ağır metallerin çoğu (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) partiküller ile ilişkili olarak normalde bileşik olarak (örneğin; oksit, klorid) serbest kalırlar. Sadece Hg ve Se en azından kısmen buhar evresinde bulunur. Özellikle Hg emisyon kaynağından çok uzak alanlarda kirlilik sorunları yaratabilecek uzun menzilli sınır ötesi kirletici madde olarak bilinir. Daha az uçucu olan elementler baca gazı akımındaki küçük partiküllerin yüzeyi üzerinde yoğunlaşmaya eğilimlidirler. Bu nedenle en ince partikül bölünmesindeki zenginleşmeler gözlenir. Kömür yakma prosesinde ağır metallerin bölünmesi aşağıda örnek olarak gösterilmiştir.

Fuel particle: Yakıt Partikülü  
 Reducing environment: Azaltıcı Ortam  
 Vaporisation: Vaporizasyon  
 Nucleation: Nükleasyon  
 Coagulation: Koagülasyon  
 Condensation: Yoğunlaşma  
 Reaction: Reaksiyon  
 Char or mineral fragmentation, shedding and coalescence: Çar veya mineral fragmantasyon, dökülme veya birleşim  
 Trace metal entrapment: iz metal yakalama  
 Vapour: buhar  
 Particle size distribution: partikül boyutu dağılımı  
 Fraction: fraksiyon  
 Particle fusion: partikül füzyonu  
 Cenosphere formation: Cenosphere formasyon  
 Particle size: partikül boyutu



**Şekil 1.4: Kömür yakma işlemi sırasında iz elementlerinin bölünmesi**  
 [107, Davidson, 2000]

Kömürdeki ağır metallerin içeriği normalde petrolde (ağır fuel oil'deki Ni ve V hariç olmak üzere) veya doğal gazda olduğundan birkaç sıra daha yüksektir. Ağır metallerin çoğu anhidrit ve alçıtaşı gibi mineraller ile oksit, sülfat ve alüminosilikatlere benzer bileşiklere kimyasal olarak bağlı bulunurlar. Elementlerin süzdürülebilirliği bileşiğin yapısı ve partikül büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin kömür yakım işlemi sırasında partiküller uçucu elementlerin buharlaşmasına yol açan kompleks değişimler geçirirler. Ağır metal bileşiklerinin buharlaşma hızı yakıt özelliklerine (örneğin kömürdeki yoğunlaşmalar, kalsiyum gibi inorganik bileşiklerin bölünmesi gibi) ve uygulanan teknolojinin özelliklerine bağlıdır (örneğin buhar kazanı tipi, işletim biçimi vb.).

Tablo 1.8'de 1990 yılında AB-15'deki yakma tesislerinden kaynaklanan ağır metal emisyonlarına yönelik bazı veriler sunulmuştur.

Kaynak	Yakıt	As (ton)	Cd (ton)	Cr (ton)	Cu (ton)	Hg (ton)	Ni (ton)	Pb (ton)	Zn (ton)
<b>AB- 15'deki toplam</b>		575	203	1170	3040	245	4860	1930	11100
<b>Sabit yakma (aşağıdaki üç sektörün toplamı)</b>		491.8	57.8	397.5	390.1	89.6	2780.6	885.8	1597.8
<b>Enerji üretiminde yakma</b> (kamu elektrik santralleri, Kojenerasyon tesisleri, bölgesel ısıtma tesisleri dahil)	<b>Tüm Yakıtlar Toplamı</b>	276.9	19.1	192.6	104.2	43.4	1681.5	190.5	395.4
	Linyit	20.2	3.42	19.3	40.5	8.69	24	26.6	85
	Kömür	130	4.42	40	42.1	21.2	94.4	105	219
	Fuel oiller	117	10.2	132	19.9	1.39	1560	30.3	32.5
	Diğer yakıtlar	9.73	1.06	1.36	1.72	12.2	3.05	28.6	58.9
Ticari, kurumsal ve bayındırlık sektörleri (buhar kazanları, gaz türbinleri ve sabit motorlar dahil)	Tüm yakıtlar toplam	37.7	10.1	24.2	28.3	13.4	128.9	115.9	174.4
	Linyit	2.02	0.483	0.89	0.325	4.2	15.5	21.5	0.284
	Kömür	23.4	1.39	10.9	16.3	3.3	38.4	43	33.9
	Fuel Oiller	9.46	2.35	9	3.14	0.253	73	7.88	6.19
	Diğer yakıtlar	2.82	5.91	3.42	8.53	5.61	1.94	43.5	134
<b>Endüstride yakma</b> (buhar kazanları, gaz türbinleri ve sabit motorlar dahil)	Tüm yakıtlar (toplamı)	177.2	28.6	180.7	257.6	32.8	970.2	579.4	1028
	Linyit	65.6	8.95	62.8	140	13.7	80.7	81.4	219
	Kömür	52.3	1.58	35.7	27.2	8.66	69.7	148	328
	Fuel Oiller	50.6	12	69.5	43.5	1.53	805	199	148
	Diğer yakıtlar	8.72	6.07	12.7	46.9	8.94	14.8	151	333

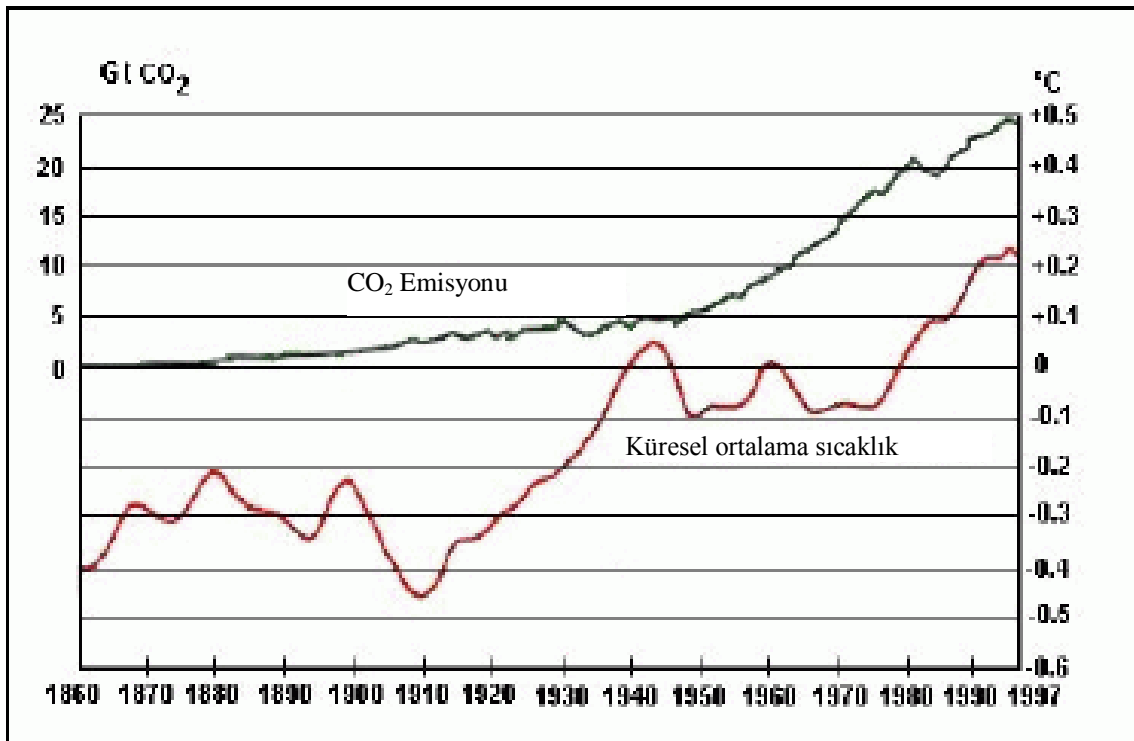
**Tablo 1.8: 1990 yılında AB-15'de yakma donanımlarından kaynaklanan yıllık ağır metal emisyonları**  
Veriler 1990 yılı için Avrupa Ağır Metal ve Sürekli Organik Kirletici Emisyon Envanteri'nden alınmıştır, [10, Berdowski, et al., 1997]

### 1.3.2.5 Karbon monoksit

Karbon monoksit (CO) özellikle stokiyometrik yakma koşulları altında her zaman yakma prosesinin ara ürünü olarak ortaya çıkar. CO korozyon riski ve yanmamış yakıtın bir göstergesi olduğundan ve bu nedenle verimlilik düşüşünü ifade ettiğinden tesis işletmenleri her zaman CO oluşumunu en aza indirmeye çaba gösterirler. CO, termal NO ve VOC oluşum mekanizmalarının hepsi yakma koşullarından benzer şekilde etkilenirler [1, Corinair, 1996].

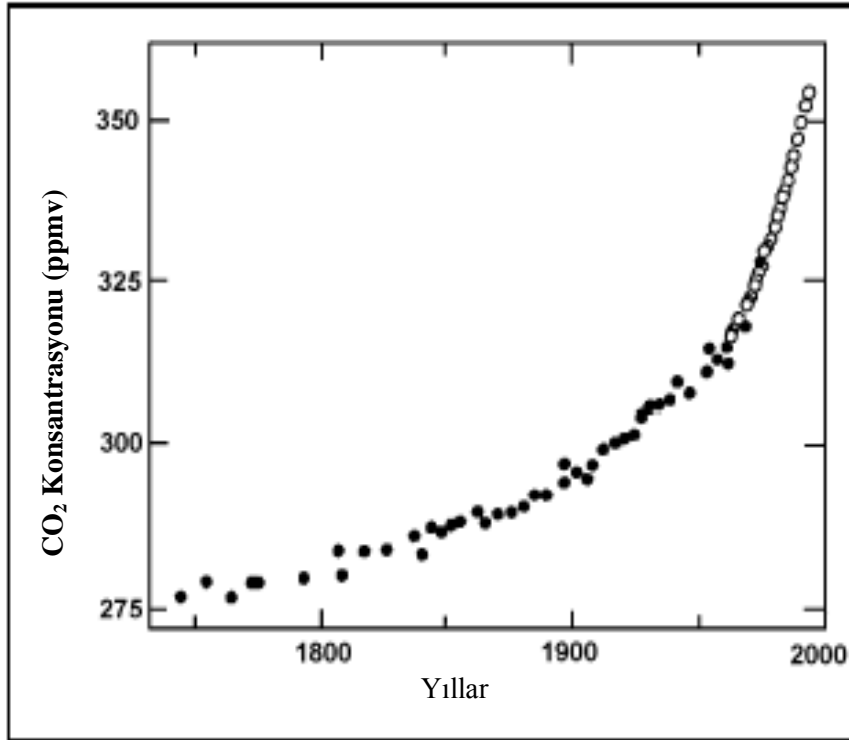
### 1.3.2.6 Sera gazları (karbon dioksit ve diğer gazlar)

Sanayileşmenin başlamasından itibaren, çoğunlukla karbon dioksitten (CO<sub>2</sub>) oluşan antropojenik sera gazlarının artan emisyonları nedeniyle yerkürenin enerji dengesi değişmektedir. Son iyi yüzyıldan bu yana atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikiminden dolayı, atmosferde hapsolan kızılötesi radyasyon miktarı artmıştır. Aynı zamanda ortalama küresel sıcaklık ile atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunlaşmalarında da Şekil 1.5 ile Şekil 1.6.'da görüldüğü üzere gözle görülür bir artış gözlenmiştir.



Şekil 1.5: Geçen yüzyıldan bu yana yayılan CO<sub>2</sub> miktarı ve ortalama küresel sıcaklık [13, Verbund, 1998]

1856 ile 1998 yılları arasında, 1961 – 1990 küresel ortalamadan kaynaklı yıllık sapmalar ile Avrupa sıcaklıkları 0.3 °C ile 0.6 °C arasında değişen bir artışı ortaya koymaktadır. 1998 kayıtlara göre küresel olarak en sıcak yıldır ve 1997 bundan önceki en sıcak yıldır. Bunun nedeni kısmen 1997/1998 El Niño/Southern Oscillation (ENSO)'dır (Hadley Centre/The Met. Office, 1998a). ENSO fenomeni tropik yağış miktarı ile rüzgar yapılarındaki büyük çaplı değişiklikler ile sonuçlanan Pasifik okyanus sıcaklıklarının doğal dalgalanmalarının bir çevrimidir [11, EEA, 1999].



**Şekil 1.6: Zaman içerisinde atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunlaşmaları**

Sera gazlarının atmosferde artan yoğunlaşması nedeniyle ortalama küresel sıcaklıktaki artışın, bahsedilen gazların emisyonları (başlıca CO<sub>2</sub>) azaltılmaması halinde, yerkürenin iklimini değiştireceği düşünülmektedir.

Gaz	Yaklaşık 1750 den Beri yoğunlaşma artışları	Küresel ısınmaya katkıları	Ana atropojenik kaynak
CO <sub>2</sub>			Fosil yakıt yakma (enerji üretim ve naklini içerir) ormandan yoksun bırakma ve arazi kullanımı çimento üretimi gübre kullanımı
N <sub>2</sub> O	% 15	% 6	Gübre kullanımı Arazi açıklıkları Adipik ve nitrik asit üretimi Biyomas yakma Fosil yakıt yakma (FBC)
<p><b>Notlar:</b> 1 Farklı gaz etkilerini karşılaştırmak için, 1 değerine sahip CO<sub>2</sub> ile birlikte CO<sub>2</sub> ile ilgili küresel ısınma potansiyeli (GWP) sıklıkla kullanılır. GWP gazın enerji absorpsiyon kapasitesi ile atmosferdeki yaşam süresini dikkate alan bir kavramdır. GWP her zaman özel bir zaman zarfına yönelik olarak zikredilmelidir. 100 yıllık bir zaman zarfında GWP değerleri örnekleri CH<sub>4</sub> için 21, N<sub>2</sub>O için 310 ve bir dizi halojen bileşikler için birkaç bindir. GWP değerlerinin hesaba katan emisyonlara CO<sub>2</sub> eşdeğerleri denir.</p>			

**Tablo 1.9: Sera gazları: yoğunlaşma değişiklikleri, küresel ısınmaya olan katkıları ve ana kaynaklar [12, IEA, 2001]**

Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) tüm fosil yakıtlarının yakılmasından kaynaklanan ana tepkime ürünüdür. CO<sub>2</sub> emisyonu, gazlı yakıtların diğer fosil yakıtlarından önemli ölçüde daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonuna sahip olduğu yakıtların karbon içeriği ile doğrudan ilişkilidir. Karbon içeriği kömür ve linyit (taş kömürü, esmer kömür) için % 61 ile 87 wt- arasında; odun için yaklaşık % 50 wt- ve gazlı ve ağır fuel oil için ise yaklaşık % 85 wt- olarak değişmektedir [1, Corinair, 1996]. Tablo 1.10'da büyük yakma tesislerinde yakılan ana yakıtlara yönelik spesifik CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri sunulmuştur.

Yakıt	Ranj olarak spesifik CO <sub>2</sub> emisyon faktörleri (t CO <sub>2</sub> /TJ (g/kWh))
Doğal gaz	55 (198)
Ağır fuel oil (HFO)	80 (288)
Hafif fuel oil (HFO)	77 (277)
Taş kömürü	95 (342)
Linyit	110 (396)

**Tablo 1.10: Büyük yakma tesislerinde yakılan ana yakıtlara yönelik spesifik CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri [192, TWG, 2003]**

**Şekil 1.7'de Farklı yakma tesisi türleri için üretilen CO<sub>2</sub>/MWh elektrik olarak hesaplanan CO<sub>2</sub> salınımları sunulmuştur [133, Strömberg, 2001].**

Type of plant: Tesis türü

Coal PP: Kömür PP

Coal CHP: Kömür CHP

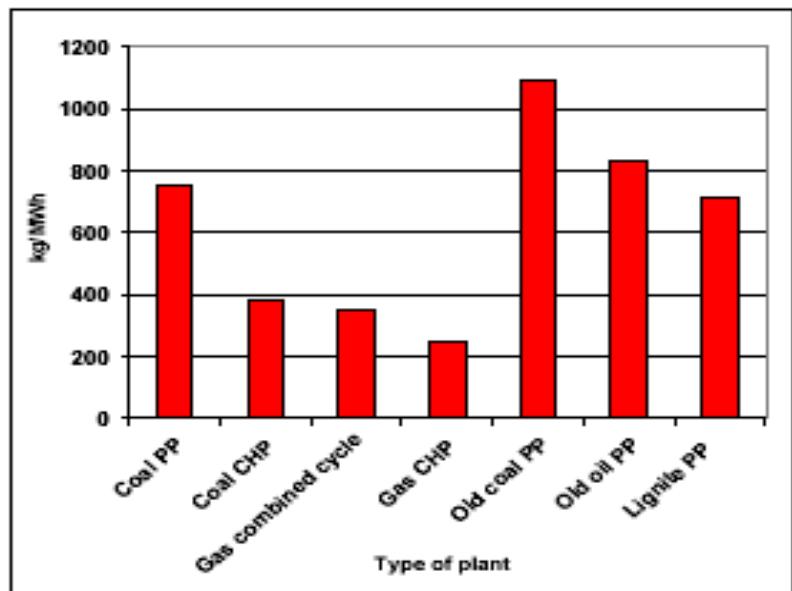
Gas combined cycle: Gaz kombine çevrimi

Gas CHP: Gaz CHP

Old coal PP: Eski kömür PP

Old oil PP: Eski petrol PP

Lignite PP: Linyit PP



**Şekil 1.7: Farklı yakma tesisi türlerine yönelik CO<sub>2</sub> salınımı örnekleri**  
**Not: üretilen kg CO<sub>2</sub>/MWh elektrik olarak hesaplanmıştır**  
**[133, Strömberg, 2001]**

Eğilim Üye Ülkeler arasında epeyce değişiklik göstermesine rağmen AB CO<sub>2</sub> emisyonları 1990 ile 1996 yılları arasında %1 oranında düşmüştür. Bir bütün olarak AB'ye yönelik bu düşüş büyük ölçüde Almanya ve Birleşik Krallık'taki azalmalara bağlıdır. 1995 yılında Avrupa toplamının yaklaşık %30'u ile Almanya en fazla ulusal CO<sub>2</sub> Emisyonuna sahiptir. 1990 ile 1996 yılları arasında en geniş tam emisyon azatılımı Almanya'da gerçekleşmiştir ki bunun nedeni temelde eski Demokratik Alman Cumhuriyetinin ekonomik yeniden yapılandırılmasıdır. Birleşik Krallık'ta emisyonlardaki önemli azaltım temel nedeni ise yakıt olarak kömürden doğal gaza geçiştir [14, EEA, 1999]. Tablo 1.11'de 15 Avrupa Üye Ülkesindeki (EU-15) sera gazı emisyonu ile CO<sub>2</sub>'ye yönelik ihrac/çökmelere ilişkin bilgiler verilmiştir. Avrupa Topluluğunda sera gazı emisyonlarına ilişkin daha ayrıntılı veriler için Yıllık Avrupa Topluluğu Sera Gazı Envanteri 1990-1996'ya başvurun [14, EEA, 1999] (<http://www.eea.eu.int/>).

Üye Ülkeler	CO <sub>2</sub> (milyon ton)		CH <sub>4</sub> (kt)	NzO (kt)
	Emisyon	İhraçlar/ çökmeler		
Avusturya	62	14	580	13
Belçika	129	2	591	35
Danimarka	60	1	430	33
Finlandiya	66	14	270	18
Fransa	399	60	2844	174
Almanya	910	30	4788	210
Yunanistan	92	-	457	29
İrlanda	35	6	800	26
İtalya	448	36	2516	162
Lüksemburg	7	0	24	1
Hollanda	185	2	1179	72
Portekiz	51	1	834	14
İspanya	248	29	2370	90
İsviçre	63	32	297	10
Birleşik Krallık	593	19	3712	189
EU-15	3347	247	21692	1076

**Notlar:**  
Avusturya, Danimarka, Fransa, İtalya, Portekiz ve İspanya için 1996 yılına ait tahminler bulunmamaktadır. Bu ülkeler için başlangıç AB-15 1996 hesaplaması için 1994 ve 1995 tahminleri kullanılmıştır. CO2 hesaplamaları sıcaklık ve elektrik ticaretine yönelik olarak düzeltilmemiştir. Bazı Üye Ülkeler ulusal şartların daha iyi yansıtılması açısından düzeltilmiş CO2 hesaplamalarını kullanmaktadır.

**Tablo 1.11: 1996 yılındaki sera gazı emisyon ihraç/çökmeler [14, EEA, 1999]**

### 1.3.2.7 Hidroklorik asit

Baca gazı kükürtünün giderilmesi (FGD) olmayan büyük yakma tesisleri atmosferdeki en önemli hidrojen klorid kaynağı olarak kabul edilirler. Hidroklorik asit emisyonunun nedeni kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarında bulunan klorid iz miktarıdır. Fosil yakıtlar yakıldığında küçük miktarlarda klorid salınır. Bu kloridin bir miktarı hidrojen klorid oluşturmak üzere hidrojen ile birleşir. Havadaki nem ile birlikte hidrojen klorid asidifikasyon sorunlarına katkıda bulunan hidroklorik asit dumanına dönüşür. Bu duman atmosferde hareket ettikçe daha seyrek hale gelir.

### 1.3.2.8 Hidrojen florid

Klorid gibi florid de fosil yakıtlarında bulunan doğal bir elementtir. FGD kullanmaksızın enerji üretmek amacıyla kömür gibi fosil yakıtlar kullanıldığında florid serbest kalır ve baca gazına salınır. Hidrojen florid oluşturmak üzere hidrojen ile hidroflorik asit oluşturmak üzere de ortamdaki hava ile birleşir. Hidrojen floridin döner ısı değiştirici ve yakma hava ön ısıtıcılarından taşınım yoluyla yayılabileceği gözlemlenmiştir.

### 1.3.2.9 Amonyak (NH<sub>3</sub>)

Amonyak (NH<sub>3</sub>) emisyonu fosil yakıtların yakılmasından ortaya çıkmaz; daha doğru bu emisyon denitrifikasyon prosesinde amonyağın eksik tepkimesinin bir sonucudur. Amonyak SCR ve SNCR ünitelerinde saf amonyak veya sulu çözelti halinde katkı maddesi olarak kullanılır. Amonyak NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub> oluşturmak üzere kimyasal tepkime gösterir ve büyük ölçüde uçucu küller ile birlikte sistemden atılır. Toz atma veya FGD downstream DENOX (kuyruk ucu konfigürasyonu) olmaksızın 'ammonia slip' baca gazı ile birlikte atmosfere yeniden yayılır. SCR ve SNCR tesislerindeki ammonia slip artan NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> oranı ve ayrıca azalan katalizör faaliyeti ile birlikte artar.



### 1.3.2.10 Uçucu organik bileşikler (VOC)

Endüstriyel faaliyetler nedeniyle uçucu organik bileşiklerin emisyon kaynakları çok çeşitli olmakla beraber bunlardan en önemlileri fosil yakıtların yakılmasıdır.

### 1.3.2.11 Persistan organik bileşikler (POP'lar), polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), dioksin ve furanlar

Fosil yakıt yakma işlemi sırasında yayılması muhtemel persistan organik bileşikler arasında polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorodibenzo-dioksinler (PCDD'ler) ile poliklorodibenzo-furanlar (PCDF'ler)'lerden söz edilmelidir.

PCDD ve PCDF molekülleri çok uçucu olmayıp yakma prosesi ile üretilen partiküller üzerinde adsorbe edildiklerinde çevrede yüksek termal ve kimyasal dengeye sahiptirler. Sadece 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda yok edilirler. Bu bağlamda PCDD/PCDF'lerin sadece baca gazlarında değil aynı zamanda kazanaltı külü, cüruf ve uçucu kül gibi herhangi bir yakma prosesinde meydana gelen katı tortularda da bulunurlar.

Dioksinlere yönelik 75 konjener ve furanlara yönelik ise 135 konjener bulunur. Zehirliliklerini de dikkate alarak dioksin ve furan emisyonlarını nicilemek için, yoğunlaşma veya yayılan fluks söz konusu karışımda bulunan PCDD/PCDF moleküler formlarının her birinin katsayı (Toksik Eşdeğerlik Faktörü TEF) özelliği ile ağırlanır. 2, 3, 7, 8 – tetraklorodibenzodioksin bilinen en zehirli PCDD'dir ve konvansiyon ile 1 TEF değeri verilerek referans madde olarak alınır. Endişeyle bakılan diğer konjenerler 2, 3,7 ve 8 ikame molekülleridir.

Bir karışımın dioksin aktivitesi aşağıdaki formül ile tanımlanan TEQ (Zehirli Eşdeğerlik Miktarı) ile ifade edilir:

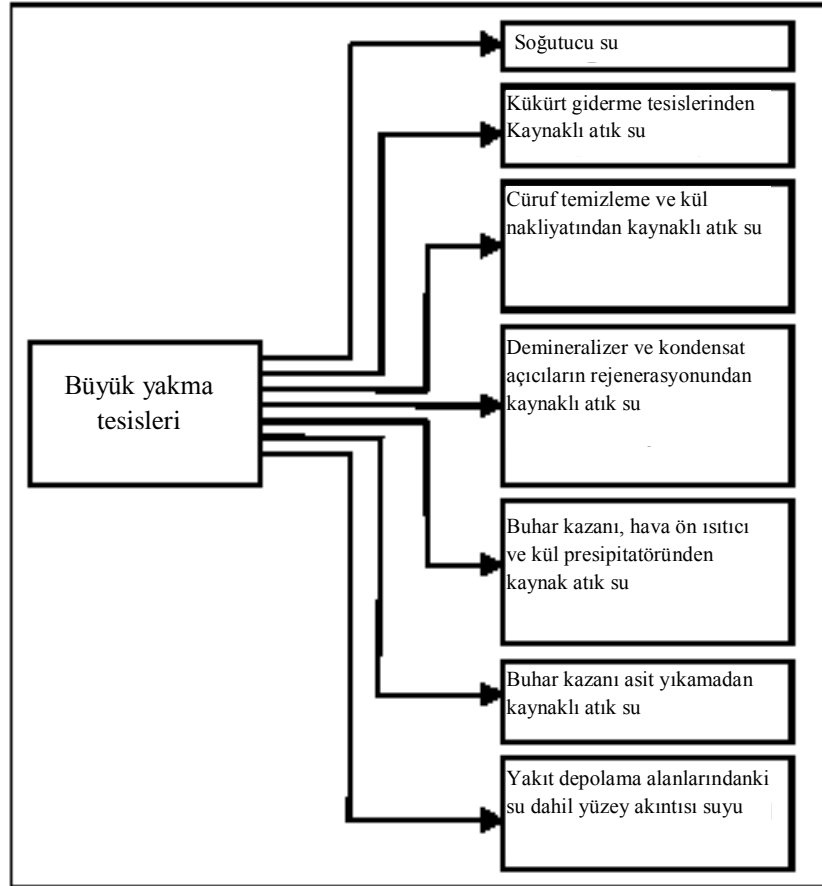
$$TEQ = \text{izomer} \times TEF$$

Kömür yakma işleminin yanı sıra odun kullanan yakma tesislerinden de olası emisyon kaynakları olarak söz edilir. Konu ile ilgili ana proses, örneğin sunta biçiminde veya klorlanmış organik bileşik (PCP, lindane, PVC, NH<sub>4</sub>Cl, vb.) içeren veya arıtılan odundan gelen atıklar biçiminde odunun geri dönüşümüdür. Bununla birlikte belirli konvansiyonel yakma tesislerinde atıkların (kanalizyon atıkları, plastik ve diğer atıklar) kombine yakma prosesinin başlangıcı da önemli dioksin emisyonlarına neden olabilir [4, OSPAR, 1997].

### 1.3.3 Su emisyonları

Hava kirliliğine üretiminin yanı sıra büyük yakma tesisleri ayrıca nehir, göl ve deniz çevrelerine önemli bir su tahliyesi kaynağıdır (soğutma ve atık su). Bu tahliyeler büyük ölçüde değişiklik gösteren ve kullanılan yakıt tipi, uygulanan azaltım tekniği, soğutma tekniği ve sonuç olarak kullanılan su miktarı, temizlik ve bakım amaçlarıyla eklenen kimyasal ve biyolojik arıtma testlerine bağlı su kalitesi problemlerine neden olabilirler. Fosil yakıtla çalışan yakma tesislerindeki akıntılarının ana kaynakları şu şekilde açıklanabilir:

Çeşitli PCDD/PCDF moleküllerine yönelik TEF değerleri kullanılan sisteme göre değişiklik gösterir. Ancak, NATO-CCMS (NATO Modern Toplumun Sorunları Komitesi) sistemi yaygın olarak uluslar arası kullanılır.



**Şekil 1.8: Fosil yakıtla çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklı akıntılar**

Bir yakma çevriminin termal verimliliği ideal yakma çevrimi olan 'Carnot çevriminin' termodinamik limitleri ile sınırlandırılmıştır. Bunun anlamı herhangi bir fosil yakıtının kimyasal sınırlı tüm enerjisinin mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülemeyeceğidir. Bunun sonucu ise yakma ile sağlanan enerjinin önemli bir bölümünün kondansatör seviyesine yayılması ve ısı tahliyesi olarak çevresel ortama nakledilmesi gerektiğidir. Çoğu yakma tesisi nehir, göl, zemin seviyesindeki sular ile denizden aldıkları büyük miktarda soğutma suyunu soğutma aracı olarak kullanır.

Atık ısı (tek geçişli sistemler veya ıslak soğutma kuleleri kullanılarak) soğutma suyuna ve buradan da akuatik çevreye transfer edilir. Endüstriyel soğutma ve ayrıca büyük yakma tesislerinde kullanılan yakma tesislerinde kullanılan soğutma tekniklerinin MET uygulanması üzerindeki etkisi BREF'de açıklanmaktadır.

Yukarıda söz edilen atık su akıntıları çok çeşitli farklı su kirletici maddeler ile kirletilebilir. Aşağıdaki tabloda LCP'lerin suya yönelik emisyonları olarak önem taşıyan genel anlamda ilgili kirletme parametrelerini gösterir. Ancak, her bir parametrenin önemi işlenmemiş su kalitesi, spesifik tesis konfigürasyonu ve uygulanan süreçlere bağlıdır ki bahsi geçen bu hususlar aynı zamanda arıtma öncesinde atık suda bulunan kirletici madde türü ve miktarını da tayin ederler. Tablo 1.12 içerikleri gaz ve likit yakıt ile çalışan elektrik santrallerinde tam olarak uygulanmaz.

Parametre	Parametre*
pH	TOC
Sıcaklık	N (toplam)
Renk	P (toplam)
TSS	Cd
TDS	Cr
BOD	Cu
COD	Hg
Mineral yağlar	Ni
Serbest klorin	Pb
NH <sub>3</sub>	Zn
Balık zehirliliği	Cl <sup>-</sup>
Sb	F <sup>-</sup>
As	PAH
Co	BTEX
Mn	
Tl	
V	
Sn	
CN	
S	
SO <sub>3</sub>	
SO <sub>4</sub>	
EOX	
Fenol	
PCDD/PCDF	
* EPER uygulamasına yönelik 2000/479/EC sayılı Komisyon Kararı uyarınca: EPER uygulamasına ilişkin taslak kılavuz belgede öngörüldüğü üzere, >50 MW <sub>th</sub> yakma donanımlarına ilişkin sektöre özgü alt liste (23/8/2000).	

**Tablo 1.12: Büyük yakma tesislerinden kaynaklı su kirletici maddelerinin listesi**

Kimyasal, biyolojik ve fiziki davranışları nedeniyle bu gibi bileşikler akuatik çevre üzerinde yüksek etkiye sahip olabilirler. Bu maddeler; alıcı sularda asidite ve alkalinite seviyelerinin artışı ve bu suretle pH değeri ve tuzluluk seviyesinin değişimi, oksijen içeriğinin azalması ve tesis nütrient emisyonları nedeniyle tesis büyümesinin artışı gibi değişikliklere neden olabilirler.

Örneğin buhar kazanı yıkamasından gelen su asidik iken cüruf taşıması ile kül naklinden gelen su kül terkihi nedeniyle alkaline karaktere sahiptir. Islak kükürt giderme tesisinden gelen atık sular klorid ve sülfat gibi tuzlar ihtiva eder. Kaynağını denizden alan tuz daha çok kıyılara yakın sularda bulunur. Ancak enerji üretim tesisleri gibi endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan tahliyeler yeni bir tuz kaynağı sağlar. Suyun bir behire ve göle tahliye edilmesi durumunda bu etki çok daha önemlidir.

### 1.3.4 Yakma tortu ve yan ürünleri

Fosil yakıtlarının yakılması çok çeşitli tortu ve yan ürünlerin üretimi ile ilişkilidir. Yan ürün terimi genelde piyasada satılabilen materyaller için kullanılacaktır (örneğin baca gazı kükürtünün giderilmesinden kaynaklanan alçı vb.). Kökenlerine göre yakma tesisinden kaynaklanan tortular yakma prosesiyle doğrudan ilgili olan atığa veya kömür haddehanesi veya su arıtma tesisleri gibi tesis ve ekipmanları ile üretilen atığa ayrılabilir. Fosil yakıtların yakılması prosesiyle doğrudan ilgili olan tortular baca gazı kükürtünün giderilmesinden kaynaklanan kül (uçucu kül ve kazanaltı külü) ve tortulardır. AB’de kömür yakma işleminden yaklaşık 55000 kt katı atık üretilmiştir. Örneğin 1999 yılında yaklaşık 31000 kt kullanılmıştır (55.3 %). Geri kalan 24000 kt ise atılmıştır.

- **Kazanaltı külü ve/veya buhar kazanı cürufu:** Kazanaltı külü buhar kazanının tabanına yerleşen ve konsolide olmayan kül biçiminde kalan yanmaz bir materyaldir. Yakma sıcaklıklarının kül füzyon sıcaklığını aşması halinde, kül buhar kazanı cürufu olarak buhar kazanı tabanından akana kadar erimiş durumda cüruf olarak kalır
- **Akışkan yatak külü:** Kömür gibi katı yakıtlara yönelik ve ayrıca biyomas ve turba yakma işlemine yönelik akışkan yatak yakma tesisinin işletilmesi kullanılan yatak materyali ve yakıt külü terkihi olan kül üretimi ile ilgilidir. Kül akışkan yatak yakma odası tabanından sökülür
- **Uçucu kül:** Uçucu küller baca gazı ile buhar kazanı dışına taşınan yanmaz malzeme kısmını temsil eder. Uçucu küller elektrostatik presipitator veya bez filtre gibi partikül kontrol ekipmanından ve ayrıca ekonomizer ve hava ön ısıtıcısı gibi buhar kazanının farklı kısımlarından toplanır. En fazla kül miktarı kömür ve linyit yakma işleminde üretilir ve bunu turba ve biyomas yakma işlemleri takip eder. Oysa gaz ile çalışan tesisler çok az miktarda kül üretir. Likit yakıt ile çalışan bir tesiste üretilen kül miktarı gaz ile çalışan buhar kazanındakinden çok daha fazladır ancak kömür yakma işleminden üretilen kül miktarı ile karşılaştırıldığında miktarlar yine de epey azdır
- **Baca gazı kükürtünün giderilmesi tortu ve yan ürünleri:** Kömür, turba ve petrol gibi fosil yakıtlar değişen miktarlarda sülfür içerirler. Atmosfere yüksek sülfür dioksit emisyonunu önlemek amacıyla büyük yakma tesisleri (özellikle 100 MW<sub>th</sub> 'den daha yüksek tesisler) genellikle baca gazı kükürt giderme tesisleri (FGD) ile donatılırlar. Halihazırda kullanılmakta olan farklı kükürt giderme teknikleri bir dizi tortu ve yan ürün üretimine neden olur. Örneğin ıslak kireç/kireçtaşı temizleyicileri yan ürün olarak alçı üretirken kuru temizleyici sistemler tortu olarak tepkimeye girmemiş sorbent (örneğin kireç, kireçtaşı, sodyum karbonat ve kalsiyum karbonat), sülfür tuzları ve uçucu kül karışımı üretirler.

Kül ve baca gazı kükürt giderme tortuları şu ana dek büyük yakma tesislerinden kaynaklı en fazla miktarda atıktır. Bu tortular kısmen bir arazi dolum alanına boşaltılır veya çimento ve beton üretiminde bir katkı maddesi olarak; beton, asfalt, maden ıslahı veya atık stabilizasyonunda agregat olarak ve diğer birçok üründe bir içerik maddesi olarak farklı amaçlarla kullanılabilir.

Kükürt giderme tesisinden kaynaklı bir yan ürün olan alçı panel üretiminde geniş ölçüde kullanılır ve alçı talebine yönelik önemli ve gittikçe artan bir katkı sağlar. Ancak belirli ölçüde katkı da doğal alçı ile sağlanır.

Yakma prosesi atıkları ile doğrudan ilişkili olan ve büyük hacimlerde ortaya çıkan atıkların yanı sıra tesis ve ekipman işletimi sonucu daha düşük hacimli atıklar da üretilir. Bu atıkların tipik örnekleri:

- **Buhar kazanı temizlemeden kaynaklı tortular:** Hava ön ısıtıcı, ekonomizer, kızdırıcı, baca, kondansatör ve yardımcı ekipman da dahil olmak üzere buhar kazanının su ile gaz kısmının bakımı sırasında üretilen tortular. Gaz tarafında is ve uçucu kül gibi yakma tortuları ekipman yüzeyinde birikir ve bunların belli zaman aralıkları ile temizlenmeleri gerekir. Su tarafında ise boru kireci ve korozyon ürünleri buhar kazanında birikir ve bunların asit veya alkalın çözeltileri kullanılarak zaman zaman temizlenmeleri gerekir.
- **Katı yakıt frezesinden kaynaklı ıskartalar:** Kömür ve linyit gibi katı yakıtlarının buhar kazanına sürüklenebilmeleri için normalde boyutları küçültülür. Kömür frezesi sırasında kaya ve pritlerin (demir bazlı bir mineral) yakıt akımından ayıklanması gerekir. Bu katı tortular kazanaltı külü ile birlikte tahliye edilebilir
- **İlave su arıtma tortuları:** Buhar döngüsüne yönelik ilave suyun arıtılmasından kaynaklanan atıklar. Buhar kazanı ilave suyunun arıtılması durultma, flokülasyon, yumuşatma, filtreleme ve ozmoz gibi farklı süreçler ihtiva edebilir. Bu arıtma metotları arıtım tortularının oluşmasına neden olur

- **Tüketilen iyon alışveriş reçineleri:** İyon alışveriş reçineleri buhar kazanı ilave su arıtımı için kullanılır
- **SCR süreçlerinden tüketilen katalizörler:** SCR katalizörleri atmosferdeki nitrojen oksit emisyonlarını azaltmak için kullanılır. Deaktivasyon nedeniyle bu katalizörler periyodik olarak değiştirilmelidir (birkaç yıl çalıştıktan sonra). Bugün, bu gibi katalitik materyallerin rejenerasyonu için farklı süreçler mevcuttur
- **Atık su arıtım tortuları:** Büyük yakma tesisinden farklı atık su akıntılarının arıtılması işleminde ortaya çıkan tortular.
- **Laboratuvar atıkları:** Örneğin yakıt numuneleri, giriş suyu, yan ürünler, tortuların analizi ile laboratuvarlarda ortaya çıkan küçük miktardaki atıklar.
- **Diğer tortular:** kullanılmış yağlar ile yağ içeren ekipman, PCB içeren ekipman ve yakıt arıtımından kaynaklanan atıkları (örneğin kömür yıkama) içeren diğer tortular.

Yakma prosesinden kaynaklanan (örneğin kül) veya kükürt giderme prosesinden kaynaklanan (örneğin alçı) ve yukarıda bahsi geçen tortu ve yan ürünlerin bir çoğu ve yakma tesislerinin neden olduğu diğer tortular genel anlamda çevreye yönelik potansiyel bir risk teşkil ederler. Örneğin kömürle çalışan bir buhar kazanından kaynaklanan küller antimon, arsenik, baryum, kadmiyum, kromiyum, kurşun, cıva, selenyum, strontiyum, çinko ve diğer metaller gibi ağır metallerin yanında silikon, alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum ve titanyum gibi elementler ihtiva ederler.

Yürürlükteki AB mevzuatı yakma tesislerinden kaynaklanan yukarıda bahsi geçen tortuların çoğunu atık olarak kabul eder. Ancak, uzun yıllar endüstri tortularının üretimini en aza indirmek ve/veya arazi dolumu için amaçlanan atık miktarlarının fiili olarak azaltıldığı çimento ve inşaat sektöründe olduğu gibi bunları çeşitli endüstri sektörlerinde yeniden kullanmak amacıyla büyük çaba sarfetmiştir. 75/442/EC Sayılı Konsey Direktifi (ve değişiklikleri ) uyarınca, tortuların hammadde olarak değerlendirilmesi doğal kaynakların muhafaza edilmesi ve tahliye edilmesi gereken toplam atık miktarının en aza indirilmesine yardımcı olduğundan bu durum çevre için de faydalıdır.

Kömür yakma işleminden kaynaklanan taban külleri ve uçucu küllere ilişkin olarak, bu her iki tür de kömür ile ilişkili topraktan çeşitli bazı elementlerden oluşur. En önemli belirleyici özelliklerinden birisi de bu materyalin hacminin cam gibi bir kalıp içerisinde bulunan çoğu element ile birlikte toz halinde veya katılmış halde olmasıdır; ve bu özellik bu materyallerin ulusal ve uluslar arası atık listelerindeki yasal sınıflandırmada cansız, aktif olmayan veya tehlikesiz tortular yer almalarını sağlamıştır (örneğin Avrupa atık listesindeki tehlikesiz atıklar - 2001/118/EC No'lu Karar ile birlikte C(92)39/nihai nolu OECD Kararı'nın 'yeşil' listesinin form bölümleri.

Kükürt giderme tesisinden kaynaklanan alçıtaşı gibi bazı yan ürünlerin alçıtaşı piyasasında güçlü bir ticari paya sahip olduğu ve bununla birlikte alçı panel üretimi için en önemli hammadde olarak kullanıldığı iyi bilinmektedir. (Alçıtaşı Avrupa atık listesinde tehlikesiz madde olarak sınıflandırılmıştır (2001/118/EC No'lu Karar)). Endüstrinin ortaya koyduğu bu uğraşlar çapraz medya etkileri ve çevresel zarar riskinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

### 1.3.5 Gürültü emisyonları

Özellikle gaz türbinleri yüksek gürültü emisyonu potansiyeline sahip olduğundan, gürültü ve vibrasyon büyük yakma tesislerinin çalışmasından ortaya çıkan genel konulardır. Bir tesisten yakın çevreye yayılan gürültü geçmişte birçok rahatsızlığa neden olan bir faktör olup gürültü ve vibrasyon nedenleri ile birlikte bunları önleme ve en aza indirme yöntemlerine ilişkin bilgi verilmelidir.

En önemli gürültü kaynakları yakıt, tortu ve yan ürünlerin nakil ve taşınması; büyük pompa ve fanların kullanılması; emniyet subapları; soğutma tekniği ve elbette ki buhar kazanları ile buhar ve gaz türbinleri veya sabit motorlardır. Gürültü ve vibrasyon bir dizi yöntem ile ölçülebilir ancak genellikle detay sahaya özgü olup ses frekansları ile meskun mekan konumlarını göz önünde bulundurur (duyarlı reseptörler).

Bir yakma tesisinden yayılan gürültünün etkisi tesis civarına nispeten yakın alanla sınırlıdır. Özellikle geceleyin en sık rastlanan sorun tesise yakın bölgede yaşayan insanlara yönelik gürültü rahatsızlığı olabilir. Bu nedenle bazı ülkelerde gürültü seviyesi kuralları geceleyin daha sıkıdır.

### 1.3.6 Radyoaktif madde emisyonları

IPPC Direktifinin 2.1 Maddesine göre doğal radyoaktif maddeler IPPC Direktifi kapsamına girmeyen maddeler olarak kabul edilirler. Ancak büyük yakma tesislerine ilişkin teknik çalışma grubu fosil yakıtların yakılması ile salınan doğal radyoaktif maddelerin neden olduğu emisyonlara ilişkin bazı bilgileri bu belgenin genel bölümüne dahil etme konusunda mutabık kalmıştır.

Ancak doğal olarak çoğu fosil yakıtında mevcut olan radyoaktif maddelerin neden olduğu emisyonlar büyük yakma tesislerine yönelik MET'e ilişkin bilgi alışverişi kapsamında önemli bir çevre konusu kabul edilmemekte olup bu nedenle daha fazla açıklama yapılmayacaktır. Yine de son yıllarda Avrupa toplumu (özellikle büyük yakma tesislerine yakın yerlerde yaşayan insanlar) özellikle çok fazla miktarlarda kömür yakma prosesinde fosil yakıtların kullanılmasından çevreye salınan radyasyona ilişkin gittikçe daha fazla endişe duyar hale gelmişlerdir. Ancak uygulamada özel bir enerji santral veya bacasından salınan radyoaktif maddelerin havadaki emisyonlarının doğal geri plan radyasyonu ile karşılaştırıldığında saptanamaz dereceye yakın olduğu bulunmuştur.

Bunun nedeni kömür, linyit veya turba yakım işleminden sonra radyoaktif maddelerin çoğunun kül içerisinde kalmasıdır. Elektrik santrallerinden geçen katı materyallerin radyoaktivitesine ilişkin bir inceleme kömürdeki radyoaktivitenin %90'dan fazlasının kül içerisinde alkonulduğunu göstermektedir. FGD alçıtaşı gibi baca gazı kükürt giderme ürünlerinde sadece çok az oranda radyoaktivite bulunabilir. Bir küldeki radyonüklit konsantrasyonu; kömürdeki radyonüklit konsantrasyonu, kömürdeki kül içeriği ve tesisteki koşullar ile saptanır. Kül içeriği nedeniyle, uçucu küldeki doğal radyoaktif nüklit konsantrasyonları 2 ile 15 arasında değişen bir çarpan ile kömürdekini geçer. Kömürün yakılması ile üretilen uçucu küldeki radyoaktivite faaliyetinin uluslar arası ölçüm neticeleri 60 ile 1000 Bq/kg arasında değişir. Ortalama veri değerleri uranyum serileri için tepe değerleri 1000 Bq/kg olarak 90 ile 180 Bq/kg arasında değişirken toryum serileri için ise tepe değerleri 290 Bq/kg olarak 70 ile 150 Bq/kg aralığında değişim gösterir.

Turba külü beton peyzaj çalışmasında bir arazi dolgu malzemesi ve yol yapımı için dökme malzeme olarak kullanılır. Ayrıca çöp olarak da yığılabılır. Turba külünün taşıma ve kullanımından kaynaklanan radyasyon aktivite göstergeleri ile birlikte hesaplanmıştır. Turba külünde, radyonüklit aktivite konsantrasyonları turbada olduğundan 20 W 25 kat daha yüksektir. Radyum ve toryum konsantrasyonları toprak ve kayadaki ile aynı büyüklüktedir. Uranyum konsantrasyonu (1000 Bq/kg'ye kadar) kum ve çakıldakinden ortalama yaklaşık 25 kat daha yüksektir.



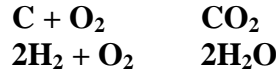
## 2 ENERJİ ÜRETİMİNE YÖNELİK YAYGIN TEKNİKLER

### 2.1 Yakma ilkeleri

Buhar kazanı buhar üretmek için yeterli sıcaklıkta ısı kaynağına gereksinim duyar. Buhar üretiminde kullanıldığında fosil yakıt genellikle buhar kazanının yakma odasında veya fırında yakılır. Buhar jeneratörleri diğer bir süreçten kaynaklı atık ısı şeklinde termal enerji kullanabilirler.

Yanma yakıtın yanıcı elementleri ile birlikte oksijenin hızlı kimyasal kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Karbon, hidrojen ve sülfür olarak sadece üç yanıcı önemli kimyasal element bulunur. Sülfür ısı kaynağı olarak genellikle daha az öneme sahiptir.

Oksijenle tamamlanmak üzere yakıldıklarında karbon ve hidrojen aşağıdaki tepkimelere göre CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ye dönüşür:



Hava buhar kazanı fırınları için doğal bir oksijen kaynağıdır. Bu yakma reaksiyonları egzotermik olup açığa çıkan ısı yakılan yaklaşık 32800 kJ/kg karbon ve 142700 kJ/kg hidrojen kadardır. Fosil yakıtların enerjisi sadece hidrojen ve karbon içeriğinden gelen enerji toplamı ile hesap edilemez, bununla birlikte moleküler oluşumun kimyasal enerjisi de ayrıca dikkate alınmalıdır. Ayrıca sülfür ve yakıtlarda bulunan diğer maddeler enerji salınımına katkıda bulunur. Yakma işlemi sırasında su gazlı bir oluşum içerisinde tahliye olduğundan yakıtın su içeriği buhar jeneratörüne iletebilen ısıyı azaltır. Bu enerji "alt ısı değeri" (LHV) olarak ifade edilir. LHV çevresel şartlarda (1 bar, 25 °C) tüm yakma ürünleri için tanımlanan "üst ısı değeri" (UHV) ile karşılaştırılabilir. İlave enerjinin çoğu su çığırma noktası yani 40 °C'nin altında ısı sıcaklıklarında baca gazından kaynaklanan gazlı H<sub>2</sub>O'nun sıvı H<sub>2</sub>O'ya yoğunlaşması ile mümkündür.

İyi bir yakma işleminin amacı yakma kusurları ve gereksiz hava akışlarını en aza indirirken bu ısının tümünü tahliye etmektir. Yanıcı elementler ve yakıt bileşiklerinin oksijenle bileşimi parçaları ateşleyecek yeterince yüksek derecede sıcaklık, iyi türbülans karışımı ve tam yakma işlemi için yeterli süre gerektirir.

(Hiçbir mekanik çalışmanın yürütülmediği) buhar kazanı fırınında, yanıcı maddelerin oksijenle girdikleri tepkimeden kaynaklanan ısı yanma prosesinin nihai ürünlerine bağlı olup nihai neticeye ulaşmada ortaya çıkabilecek ara kombinasyonlara bağlı değildir.

Bu yasanın basit bir kanıtı spesifik bir ısı miktarı üretmek için 1 kg karbonun oksijenle tepkimesidir. Tepkime CO<sub>2</sub> oluşturacak tek aşamada veya belirli koşullar altında öncelikle daha az miktarda CO<sub>2</sub> oluşturmak ve ikinci olarak da CO<sub>2</sub> oluşturacak CO tepkimesi yoluyla iki aşamada oluşabilir. Ancak iki aşamada tahliye olan ısı miktarı karbon CO<sub>2</sub> oluşturacak tek aşamada yakıldığında yayılan 32800 kJ/kg ile aynıdır.

Karbonun oksijen ile iki yolla tepkimeye girebileceği olgusu yakma ekipmanının tasarımında en fazla öneme sahiptir. Ateşleme metodları komple yakıt ve oksijen karışımının CO değil CO<sub>2</sub> yakmasını temin etmesi gerekir. Bu gerekliliğin sağlanamaması; CO<sub>2</sub>den ziyade CO oluşması halinde karbonda mevcut ısının sadece yaklaşık %28'i tahliye olduğundan yakma verimliliğinde dikkate alınmaya değer kayıplara neden olur.



## 2.2 Yaygın teknik yakma süreçleri

Bu bölüm endüstriye ilişkin genel bir fikir edinmeyi amaçlayanlar ile daha sonraki kısımlarda açıklanan konular ile endüstriyel süreçler arasındaki karşılıklı ilişki ile ilgilenenler için tasarlanmıştır.

### 2.2.1 Genel yakıt ısı dönüşümü

Bu kısımdaki bilgiler farklı yakma tekniklerine ilişkin genel bir açıklama vermek amacıyla özet şeklinde sunulmuştur. Gerekli hallerde ilgili yakıt bölümlerinde spesifik yakma süreçleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Yakma teknikleri genellikle yaklaşık atmosfer basıncında uygulanır ancak daha yüksek basınçlar için de geliştirilebilir. Tüm yakma süreçlerinde, yakıt enerjisi (kalorifik değer değildir) %100'e yakın oranda ısıya dönüştürülür. Bu dönüştürme verimliliğine 'yakıt kullanımı' denir ve tüm süreçlerin genel verimliliğini sınırlar.

Genellikle çoğu uygulamada, salınan bu net yakıt ısı buhar süreçlerine nakledilir ve burada uygulamaya alınır. Kül, CO ve VOC'deki yanmamış karbon, yakma prosesi sırasında yakıt enerjisi kayıpları içerir.

Katı ve sıvı yakıtlara yönelik gazlaştırma süreçlerinde ısı, ilki yakıt gazlaştırıldığında ikincisi ise ürün gazı yakıldığında olmak üzere iki aşamada tahliye edilir. Basınçlı sistemlerde tahliye olmuş tüm ısı gaz temizleme işleminden sonra doğrudan gaz türbinlerine ve yakma motorlarına uygulanabilir.

Özel gazlı (veya likit) yakıtların ekstraksiyonu örneğin LCP'lerde değil de rafinerilerde uğraşılan spesifik ürünlere yol açar.

Bir tesiste işe koşulan sistemin seçimi yükler, yakıtların elverişliliği ve elektrik enerjisi üretim tesisinin enerji gereksinimlerine dayanır. Bu sistemleri kullanan tesisler ayrıca elektrik enerjisini desteklemek üzere gerçekleştirilecek diğer yardımcı süreçlere de ihtiyaç duyarlar. Bu yardımcı süreçler örneğin kömür işleme ve kirlilik kontrolü gibi destekleyici işlemleri de kapsayabilir. [21, US EPA, 1997].

### 2.2.2 Pülverize katı yakıt ateşlemesi

Katı yakıt yakma sistemleri kapasitesinin %90'dan fazlasında yakma işleminde önce yakıt pülverize edilir. İki genelyol bulunur:

- **Kuru kazanaltı külü fırını:** Bu fırın kül niteliğine yönelik olarak külün erime noktasının çok daha altındaki sıcaklıklarda çalışır. Cüruf üretimi önlemek amacıyla, kül duvara yapışmaması için yeterince düşük sıcaklıkta olmalıdır. Tabanda toplanan kül katı halde kalır. Kömür yakma işlemlerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'de verilmiştir.
- **Cüruf musluğu fırını:** Bu fırın yeterli akışkanlık kazanmış sıvı külün korumalı duvarlara akmasını sağlamak amacıyla külün erime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda çalıştırılmalıdır. Sıvı kül su ile doldurulmuş bir kolektörde su ile soğutulur. Bu tür çoğunlukla yakma özellikleri zayıf olan yakıtlar için kullanılır ve uçucu külün geri kazanımını kapsar. Atıkların birlikte yakılması cüruf musluğu fırınlarında çoğunlukla daha kolaydır. Yakıtta özgül yakma sistemlerine yönelik ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'de verilmiştir.

### 2.2.3 Akışkan yatak yakma fırınları

Bu FBC türü fırınlar için katı yakıtın genellikle kabaca haddelenmesi zorunludur. İnce partiküller sıvılaştırılmış yatağın dışına üflenirken büyük partiküller ise sıvılaştırmayı durdurur.

Küçük üniteler atmosfer basıncında ve statik sıvılaştırma düzeyinde çalışır. Buhar kazanı boyutunun büyümesi ile birlikte dolaşımli akışkan yatak tekniği ile yakma işleminin uygulanması daha çok tercih edilir. Fırının tamamını kullanmak amacıyla, hacim partikül ekstraksiyonu, siklon ayırımı ve işlenmemiş partiküllerin yatağa geri kazanımı kavramın bütüleşik parçalarıdır. Birkaç pilot FBC tesisi baca gazı genişlemesine yönelik gaz türbini ile bütüleşerek yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Bu sistemler PFBC olarak adlandırılır. PFBC teknolojisi halen gelişme aşamasındadır. Kömür veya biyomas yakma sistemlerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler Bölüm 5’de verilmiştir.

### 2.2.4 Izgara ateşleme

Izgara ateşlemede, kullanılan yakıt ızgara sisteminden daha düşük ebatlara sahip olmalıdır. Aşırı küçük olan yakıt partikülleri yanmamış olarak ızgara arasından düşerken çok büyük partiküller ise hareketli ızgaradan çıkarken tamamıyla yanmaz. Kömür veya biyomas yakma sistemlerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler sonraki bölümlerde verilmiştir.

### 2.2.5 Petrol ve gaz ateşleme

Petrol ve gaz ateşleme sistemleri pülverize yakıt yakma işleminin ana tasarımını oluşturur. Gazlı yakıtlar hava ile birlikte doğrudan yanarken sıvı yakıtlar ise yüksek basınçlı buhar ile atomize olan çok küçük zerrelere oluşturup çok miktarda uçucu gaz üreterek püskürtücü başlıklar ile fırına püskürtülür. Sadece ağır fuel oiler önemli miktarda kül içerirler. Tüm temiz gaz ve likit yakıtlar fırının tabanındaki brülörler ile ateşlenebilir. Petrol ve gaz yakma sistemlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler daha sonra verilecektir.

### 2.2.6 Gazlaştırma/Sıvılaştırma

Atmosfer basıncında çalışan küçük gazlaştırma üniteleri çoğunlukla biyomas toplama sahalarının yakınlarındaki biyomas için kullanılır. Buna ek olarak, atık gömme sahalarındaki doğal gazlaştırma süreçlerinden üretilen gazlar bu tür sahalarından gazların toplanması ile kullanılır. Her iki durumda da gaz küçük yakma motorlarında veya farklı uygulamalar ile yakılır.

Katı yakıtların sıvılaştırılması daha karmaşık olup nakil uygulamalarına yönelik ikincil yakıt üretmek üzere rafinerilerde uygulanır.

Gazlaştırma süreçlerinde, gazlı, likit veya geri kalan katı yakıtlar birincil ürünlerdir.

Büyük elektrik santralleri için, gaz türbinlerinde ısının doğrudan elektriğe dönüşümü veya buhar türbinleri veya bunların her ikisi yoluyla (kombine çevrim) ısının dolaylı olarak elektriğe dönüşümü mümkün olduğundan gazlaştırma basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında daha ilginçtir. Bu tür sistemlerin büyüklük ve fiyatları genellikle kömür veya ağır fuel oil ile elektrik üretimi için rekabetçi nitelikte değildir. Yakıtta özgü gazlaştırma sistemlerine yönelik daha ayrıntılı bilgiler Bölüm 5 ile Bölüm 8’de verilmiştir.

Prensip olarak, tüm katı yakıt yakma fırını türleri gazlaştırma süreçleri ile ilgili ilave önlemler ile birlikte kullanılabilir. Kaçınılması gereken temel risk yakıt ve hava karışımının patlayıcı ölçülerde üretilmesidir. Yanıcı gaz ve buharlaştırılmış sıvı ikincil yakıt biçimindeki ara ürünler gaz türbini veya yakma motorlarında kullanılabilir. Gazlaştırılmış katı yakıtların gaz türbinlerinde doğrudan yakılması için yüksek verimliliği toz sökme ve gaz kükürt giderme gereklidir. Rafinerilerde gerekli olan pahalı ayırma süreçlerine gerek yoktur. Bu süreçler, gazlı ve sıvı yakıt fiyatları katı yakıtlara kıyasla yüksek olduğunda ticari anlamda ilgi konusudur. Her iki durumda da gazlaştırma prosesi genel verimliliği düşüren büyük miktarda yakıt enerjisine ihtiyaç duyulur. Verimlilikteki bu düşüş gazlaştırıcıdan gelen atık ısı kullanılarak buhar üretimi ile azaltılabilir. Ancak gazlaştırılmış yakıtların yakılması gaz türbinlerinde veya kombine çevrimlerdeki doğal gazdan daha az elektrik üretir.

## 2.3 Doğrudan dönüşüm

### 2.3.1 Genel

Sıcak basınçlı (baca) gazın gaz türbinleri ve yakma motorlarında doğrudan genişmesi önce mekanik ve ardından elektrik enerjisi üretimine olanak sağlar. Bu tür sistemler mobil sistemlerden geliştirilmiş olup gaz dağıtım şebekelerindeki gaz türbinleri ile ada gibi uzak sahalarda sıklıkla uygulanır. Yüksek sıcaklıkta yakma ısısının sınırlı sıcaklıkla buhara nakli ekserjetik kayıplarla ilişkilidir. Bu nedenden dolayı daha yüksek elektrik verimliliği sağlayan yüksek ısı sistemlerine duyulan ilgi gittikçe artmaktadır. Bu teknolojiler çok hızlı bir şekilde başlatılıp daha sonra yüksek taleplere karşılık vererek frekans veya besleme voltajını dengeleyebilirler. İlave olarak bu teknolojiler soğutma için mutlaka suya ihtiyaç duymazlar. Ancak yine de toplam verimliliği arttırmak için kombine çevrim gibi buhar süreçlerine bağlanabilirler.

Elektrik enerjisi ortam sıcaklığı ile birlikte değişiklik gösterdiğinden, ısıyı elektriğe dönüştüren tüm sistemlere yönelik veriler standart koşullarda hesaplanır.

### 2.3.2 Yanma motorları

Yanma motorları içerisinde yakıt yanma prosesinin gerçekleştiği bir veya daha fazla silindire sahiptirler. Motorlar yakıtların kimyasal enerjisini otomobil motorlarındakine benzer bir tasarımla mekanik enerjiye dönüştürürler. Motor jeneratörün miline bağlanır ve jeneratörü elektrik üretmek üzere harekete geçirmek için mekanik enerji sağlar. Elektrik santrallerine yönelik içten yanmalı üretim birimleri tipik olarak iki veya dört zamanlı çevrimlerde çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Yanma motorları 2 MW'den 50 MW ve üstü arasında değişen kapasiteler ile ya küçük veya orta ölçeklidirler. Gaz türbinlerinden daha verimlidirler. Ayrıca sermaye maliyetleri düşük olup, kolaylıkla taşınabilir ve çalıştırılır çalıştırılmaz hemen elektrik üretebilirler. Bu nedenle içten yanmalı jeneratörler küçük yükler ve acil durum enerjisi sağlamak üzere sıklıkla kullanılır. [21, US EPA, 1997].

Bazı motorlar ('düşük hız iki zamanlı') 40 MW'den daha fazla kapasiteye erişebilir. 30 MW'e artık bir ayrıcalık değildir. Bu motorlar kamyon, tren ve gemi gibi taşıma uygulamalarına yönelik mekanik enerji üreten mobil sistemlerden üretilmiştir. Elektrik sağlama endüstrisinde bu mekanik enerji bir jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu teknik çoğunlukla acil durum kaynağı için uygulanır. Gaz türbinleri ile karşılaştırıldığında, yanma sürekli olmamakla birlikte kapalı yanma odalarında gerçekleşir. Yanma işlemi süresince sıcaklık ve basınç artışı çok yüksek olup bu durum küçük üniteler için yüksek dönüştürme verimliliğine olanak sağlar. Çoğu sistemler sıvı yakıt olarak mazot veya ağır fuel oil kullanır; ancak gazlı yakıtlar da kullanılabilir. Ağır fuel oil ile çalışan yanma motorları ada gibi uzak sahalarda taban yükü elektrik kaynakları için masrafsızdır.

### 2.3.3 Gaz türbini

Gaz türbini sistemleri, türbin pervane kanatlarını döndürmek üzere buhar yerine yanma gazlarının kullanılması durumu hariç olmak üzere buhar türbini sistemlerine benzer bir tarzda çalışırlar. Elektrik jeneratörüne ek olarak türbin ayrıca daha sonra yanma odasında ya gaz ya da sıvı yakıt ile karışacak olan havaya basınç vermek üzere dönen kompresörü harekete geçirir. Kompresör ne kadar büyük olursa, gaz türbininde erişilebilecek sıcaklık ve verimlilik o kadar yüksek olur. Egzoz gazları türbinden atmosfere yayılır. Buhar türbini sisteminden farklı olarak, gaz türbin sistemlerinde buhar kazanı veya buhar kaynağı, kondansatör yada atık ısı boşaltım sistemi bulunmaz. Bu nedenle gaz türbini sisteminde sermaye maliyetleri buhar sistemindekinden çok daha düşüktür. Elektrik enerjisi uygulamalarında gaz türbinleri tipik olarak, hızlı başlatma ve kısa çalıştırma gereken durumlarda en yüksek talep dönemleri için kullanılır [21, US EPA, 1997].

Fırınlarla karşılaştırıldığında gaz türbinleri yükseltilmiş basınçta çalışır. Gaz türbinlerinde sadece temiz yakıtlar doğrudan kullanılabilirken çoğunlukla doğal gaz mazotla birlikte destek olarak kullanılır. Kül içeren yakıtlar PFBC'ye benzer girişlerde baca gazı temizleme sistemlerine veya gazlaştırma ile birlikte gaz temizlemeye ihtiyaç duyarlar. Gaz yakma sistemlerine yönelik ayrıntılı bilgiler Bölüm 7'de verilmiştir.

Gaz türbinleri ayrıca büyük ızgaralarda acil durumlar ve yüksek talep dönemleri için de kullanılır. Ada durumunda gaz türbinleri orta ve taban yükte çalışma koşullarında sıvı yakıt, çoğunlukla mazotla çalışırlar.

## 2.4 Yaygın teknik buhar süreçleri

### 2.4.1 Genel

Çoğu elektrik santrali, her ikisi de yüksek verimlilik için gerekli olan yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar üretmek üzere yakıt enerjisi kullanan buhar prosesinden faydalanarak çalışır. Yakıttan ısı aktarımı buhar kazanındaki suyu buharlaştırmak ve buharı aşırı ısıtmak amacıyla kullanılır. Buhar türbininde, buhar türbindeki basınç düşme noktalarına yayılır. Basınç düşme hızı soğutma aracı sıcaklığına bağlıdır. En düşük basınç azami elektrik verimliliğini ifade eder. Buharı yoğunlaştırmak için soğutma gereklidir.

Sıkıştırma sıvısı olarak su en az enerji harcadığından, buhar kazanı kaynak suyu su-buhar çevrimine dönmek üzere sıkıştırılır. Yoğunlaştırma elektrik santrallerine yönelik veya birlikte üretim elektrik santralleri yada kombine ısı ve elektrik santralleri için buhardan yoğunlaşma enerjisini almak üzere soğutma teknikleri uygulanır.

### 2.4.2 Vakum yoğunlaşmalı elektrik santrali

Yoğunlaşmalı olarak adlandırılan elektrik santralleri buharı mevcut en düşük sıcaklıkta ve vakum koşullarında yoğunlaştırmak amacıyla ortam soğutma kaynaklarını kullanırlar.

Bu nedenle deniz suyu ile soğutma en yüksek verimliliği sağlarken bunu nehirden direkt soğutma işlemi izler. Bir ara soğutma çevrimi veya kuru soğutucu kuleler kullanarak soğutma genellikle en az etkili tekniktir. Nakil enerji tüketimini sınırlamak amacıyla buhar ile çevre arasında bir değişim ölçüsü gereklidir. Elektrik verimliliği ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden veriler standart koşullara göre hesaplanır.

### 2.4.3 Kojenerasyon /kombine ısı ve elektrik

Maliyeti düşük ısı üretimi için, vakum yoğunlaştırıcı elektrik santrali sıcaklığı ile kıyaslandığında daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. İlk olasılık yüksek basınç buharının çıkarılmasıdır. Bu buhar düşük basınçlı buhar türbininde elektrik üretimi için kaybolur ancak sıcaklık bölge ısıtması sistemini besleyecek kadar yüksektir. Kombine ısı ve elektrik için ikinci olasılık ise elektrik üretiminde daha küçük kayıpla buharı düşük basınç buhar türbininden çekmektir. Geri basınç sistemindeki yoğunlaşma (bir atmosfer yukarıda) suyu 100 °C'den daha fazla sıcaklıkta buhar yoğunlaşmasından geri getirir. Tipik bölge ısıtması sistemleri 80 ile 120 °C arasında sıcaklıklar gerektirir. Her durumda optimize bir su buhar döngüsünden ısı çıkarımı elektrik verimliliğini düşürür. Geri kazanılan ısı miktarı arttıkça kaybolan elektrik de kullanılabilir ısı olarak uygulanabilir. Geri kazanılan semt merkezi ısısının elektrik kaybetmesine ilişkin tipik çarpan yedidir. Daha düşük çıkarma sıcaklıkları ile birlikte bu çarpan artar. Ancak teknik ve sağlık kriterleri bölge ısıtma sistemlerine ilişkin en düşük sıcaklığı sınırlar. Tipik yakıt kullanım oranları yüksek derecede elektrik ve ısının basit enerji olarak birleştiği hallerde % 75 ile 90 arasında değişir.

Kombine ısı ve elektrik ve/veya kojenerasyon belediyeye ait semt merkezi ısı kaynağı ve endüstrisinde iki benzer süreçtir. Isının endüstri bazında uygulanması ortam sıcaklığının üzerinde düşük ve yüksek sıcaklık arasında değişiklik gösterir. Buhar prosesinde mevcut sıcaklıklara bağlı olarak sanayide kullanılan ısı buhar prosesinin veya hatta gaz türbini çıkış sıcaklığının üzerinde olabilir. Böyle bir durumda endüstriyel ısı kaybı daha düşük kalitede ısı kaynağına yönelik buhar üretecek ısı geri kazanım buhar jeneratöründen geri getirilebilir.

Gaz türbininden atık gaz ısısı kullanan buhar süreçleri, yakma motoru veya atmosfer basıncının üzerinde arka basınç yoğunlaşmalı bir buhar türbininden gelen 'atık' yoğunlaşma ısısı düşük sıcaklık uygulamaları için geri getirilebilir. Semt merkezi ısı uygulamalarına yönelik olarak verilen aynı koşullar yoğunlaşma ısısının bu tür kullanımı için de geçerlidir. Genel anlamda endüstriyel uygulamalar bölge ısıtmasına ilişkin yüksek talepli kış periyotları ile sınırlı değildir. Bu nedenle endüstriyel uygulamalar aynı tesis durumunda daha düşük maliyetlidir

Endüstride kojenerasyona yönelik düşük kalitede ısı kaynağının bulunmaması durumunda sadece vakum yoğunlaştırıcı elektrik santrali ile elektrik üretimine yönelik geri kazanım mümkündür. Böyle bir durumda, yakıt enerjisi kullanımı, ısı geri kazanım buhar jeneratörlü (HRSG) doğrudan elektrik üretimine benzer şekilde sınırlıdır. Bu elektrik üretimi için, birincil proses ısı talebi yakıtın tümüne ihtiyaç duyduğundan ilave herhangi bir yakıt gerekli değildir. Ancak ilave ateşleme yoluyla artırılmış buhar sıcaklığı ile elektrik üretimi daha verimli olması için optimize edilebilir. Bu ise tek başına yakıt kullanımının CHP prosesi kalitesini ölçmediğinden iyi bir verimlilik ölçüsü olmadığını gösterir.

Güvenilir tek ölçü tüm enerji türlerine yönelik genel kalite ölçüsü olarak endüstride uygulanan ekserji olabilir.

Tablo 2.1'de AB-15 Üye Ülkesindeki CHP ile 1998 yılında termal ve toplam elektrik üretimi yüzdesi olarak CHP'ye ilişkin bilgiler verilmektedir.

Üye Ülke	CHP elektriği (GW/s)	Termal elektrik oranı (%)	Toplam elektrik oranı (%)
Belçika	3410	9.6	4.1
Danimarka	25591	66.9	62.3
Almanya	41770	11.3	7.5
Yunanistan	981	2.3	2.1
İspanya	21916	22.2	11.2
Fransa	12660	22.7	2.5
İrlanda	404	2.0	1.9
İtalya	44856	21.6	17.3
Lüksemburg	329	87.7	22.5
Hollanda	47835	55.4	52.6
Avusturya	14268	76.2	24.8
Portekiz	3288	12.8	8.4
Finlandiya	25128	75.6	35.8
İsveç	9544	95.5	6.0
Birleşik Krallık	18644	7.4	5.2
Toplam AB-15	270624	21.0	10.9

**Tablo 2.1: AB-15'deki CHP ile 1998 yılında termal ve toplam elektrik oranı olarak CHP [186, Eurostat, 2001], [187, Eurostat, 2002]**

## 2.5 Kombine çevrim

### 2.5.1 Genel

Gaz türbinlerinin kamu amaçlı şirketlerce kullanılması artık endüstriyel anlamda kabul edilmiş olup gaz sıcaklığı yaklaşık olarak 500 °C veya daha fazladır. Bu sıcaklık ilave bir buhar çevrim prosesi uygulanma olasılığını yaratır. Bu gibi sistemler elektrik verimliliğini optimize eden gaz ve buhar süreçlerini en uygun düzeye getirir. Kombine çevrim ilkeleri ayrıca yakma motorları için de geçerlidir.

Günümüzde kombine çevrim sistemleri, yoğunlaşma enerjisinin geri basınç ısı geri kazanımı ile birlikte ko-jenerasyon veya CHP için de kullanılır. Elektrik verimliliği ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden veriler standart koşullar için hesaplanır.

### 2.5.2 Kombine çevrim gaz türbinlerinin ilave ateşlemesi ve mevcut elektrik santrallerinin yeniden ateşlemesi

Kombine çevrim gaz türbinleri tam yükte maksimum elektrik verimliliğinde çalışır. Isı geri kazanım buhar jeneratörünün (HRSG) %10 ile 20 arasında ilave ateşlemesi ile genel verimlilik düşmeye başlar ancak ayrı bir buhar kazanı ilavesinden daha yüksek kalır. Bu nedenle HRSG ilave ateşlemesi çoğunlukla endüstriyel ve bölge ısıtmasında küçük ölçekli zirve yükü ısı işlemleri için kullanılır.

İlave gaz türbinli bir buhar prosesi işleten kömür/petrol/gaz ile çalışan mevcut elektrik santrallerinin yeniden çalıştırılması günümüzde daha az tartışma konusu olmaktadır. Bu tür bir düzenin temel faydası gaz türbini için gerekli olan alanın küçüklüğü ile bu gibi sistemlerin yüksek esnekliğidir.

Bilinen uygulamalar, gaz türbini egzoz gazının buhar kazanına yönelik yakıt olarak gaz veya kömür ile havanın buhar jeneratöründe yakılması şeklinde kullanıldığı 'Kombianlagen' (kombi-tesisler) adı verilen süreçler ile birlikte başlamıştır. Buhar kazanına yönelik kömür ve gaz türbinine yönelik gaz ile birlikte mevcut bir sistem biçiminde birleştirilen gaz türbini esnek kalır.

Gaz türbini veya vargel motorları ile mevcut elektrik santrallerinin yeniden çalıştırılması elektrik verimliliğini artıracaktır. Buradaki amaç elektrik üretmek ve türbinde doğal gaz yakım işlemi sırasında ortaya çıkan egzoz gazlarının ısısından faydalanmak ve bu suretle yakıtın enerji verimini artırmaktır. Mevcut bir termal santralin yeniden çalıştırılması vargel motorları tesis edilip besleme suyu kombine çevrimi kullanımı ile üretilen egzoz gazlarının ısısından faydalanılarak da gerçekleştirilebilir. Ayrıca, bu tesisin elektrik çıkışında da bir artışı gerektirir. Yeniden çalıştırma mevcut ana ekipman ve bileşenleri ile birlikte mevcut yardımcı ekipman ve altyapıdan da tam olarak faydalanır. Elektrik santralleri verimliliği arttırmak amacıyla egzoz gazı kullanarak ön ısıtmalı hava tatbik eder. Kombi santrallerde gaz türbinlerinden gelen atık ısı bu amaçla kullanılır ve sıkıştırılmış havaya yönelik hava ön ısıtma işlemi adibatik sıkıştırma ısısı ile sınırlıdır.

Yeniden çalıştırma mevcut bir buhar kazanının verimliliğini yükseltmek amacıyla kullanılabilir (örneğin % 40'dan 45'e). Kapasite fazlalığı yeni donanımların inşa edilmesini engellediği durumlarda mevcut tesislerin enerji verimliliğini geliştirmek için yararlı olabilir. Gaz türbini veya buhar kazanı fiili duruma bağlı olarak farklı yollarda birleştirilebilir.

## 2.6 Buhar çevriminin tipik unsurları

Buhardan elektrik enerjisi üretme prosesi dört bölümden ibarettir: ısıtma alt sistemi (buhar üretmek için yakıt), buhar alt sistemi (buhar kazanı ve buhar tevzi sistemi), buhar türbini (Şekil 2.1), ve bir kondansatör (kullanılan buharın yoğunlaştırılması için).

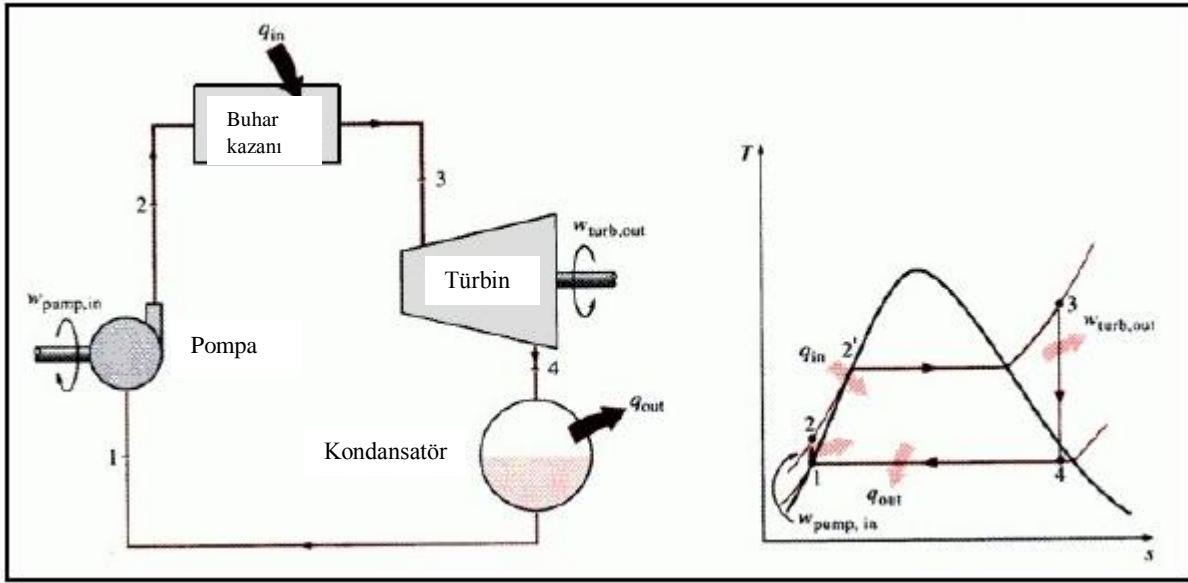


**Şekil 2.1: Kömürle çalışan bir elektrik santralinin modern buhar türbini**  
[165, NWS, 2001]

Sisteme için gerekli olan ısı genellikle kömür, doğal gaz veya petrol yakılarak sağlanır. Yakıt buhar kazanının fırınına pompalanır. Buhar kazanları modern tesis ve endüstriyel buhar kazanlarındaki küçük buhar kazanları veya su katmanı tüp sisteminde (Şekil 2.4) basınç uygulanan kanal içerisinde buhar üretir. Süper ısıtıcı, yeniden ısıtıcı, ekonomizer ve hava ısıtıcı gibi buhar kazanı içerisindeki veya buhar kazanı ile ilişkili ilave unsurlar buhar kazanı verimliliğini artırır.

Yakma prosesinden gelen atıklar egzoz gazı ve kömür veya petrolün yakıt olarak kullanılması durumunda kül de içerirler.

Yüksek sıcaklık yüksek basınçlı buhar buhar kazanında üretilir ve daha sonra Şekil 2.2'deki taslakta gösterildiği gibi buhar türbinine girer. Buhar türbininin diğer ucunda düşük sıcaklık ve basınç altında tutulan kondansatör bulunur. Yüksek basınçlı buhar kazanından düşük basınçlı kondansatöre akan buhar elektrik jeneratörüne güç veren türbin pervanelerini harekete geçirir.



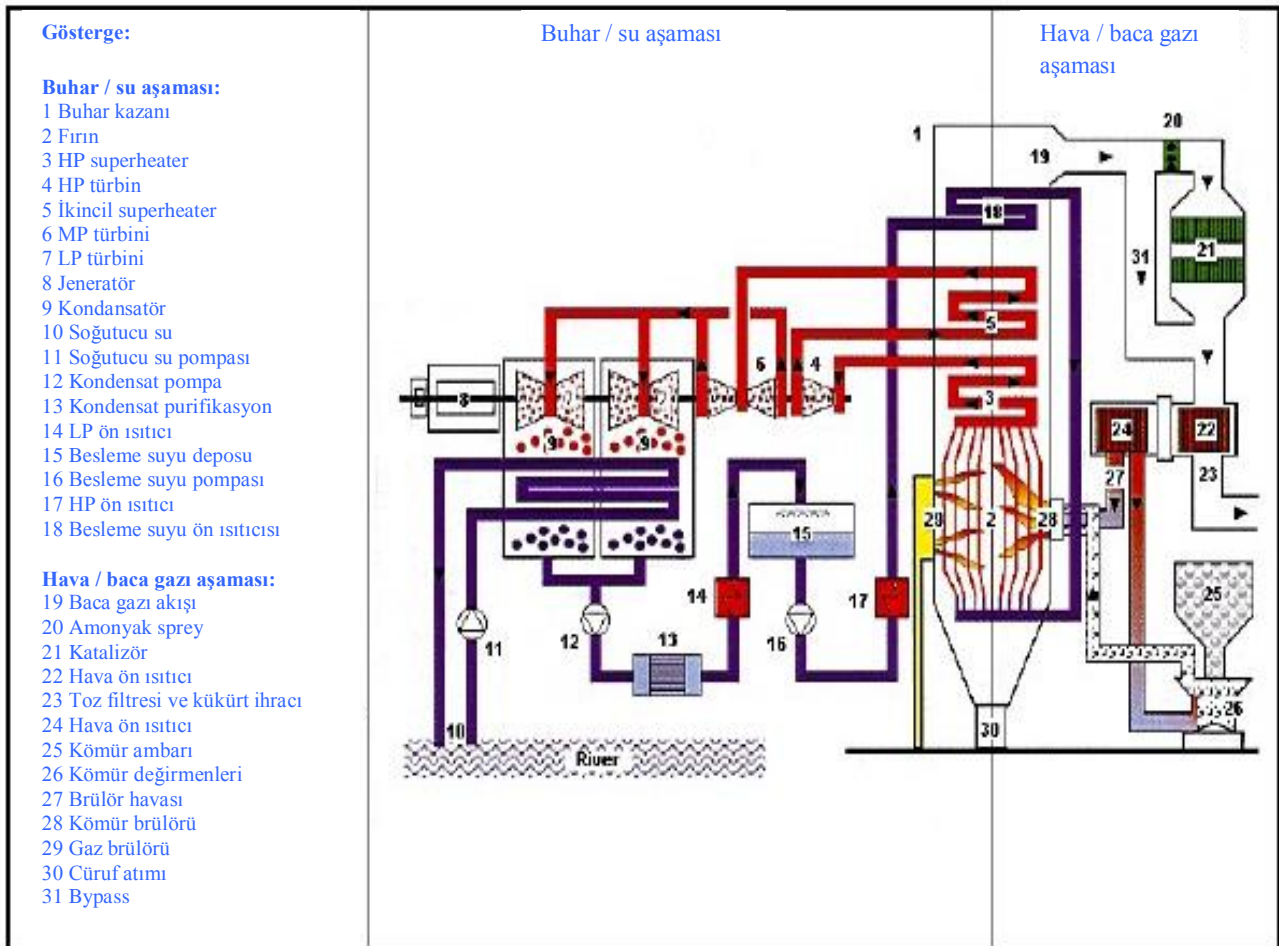
**Şekil 2.2: İdeal yakma çevrimi şematığı**

[54, Cortés and Plumed, 2000], [55, Çengel and Boles, 1994], [56, Rogers and Mayhew, 1967]

Türbin çalıştıkça buhar yayılır; bu nedenle türbin buhar çıkış ucunda daha geniştir. Ünitenin teorik termal verimliliği buhar kazanındaki yüksek sıcaklık ve basınç ile kondansatördeki düşük sıcaklık ve basınca bağlıdır.

Gaz türbin prosesini açıklayan Brayton çevrimini gösteren bir şematik Şekil bu belgedeki Ek 10.1.3'de görülebilir





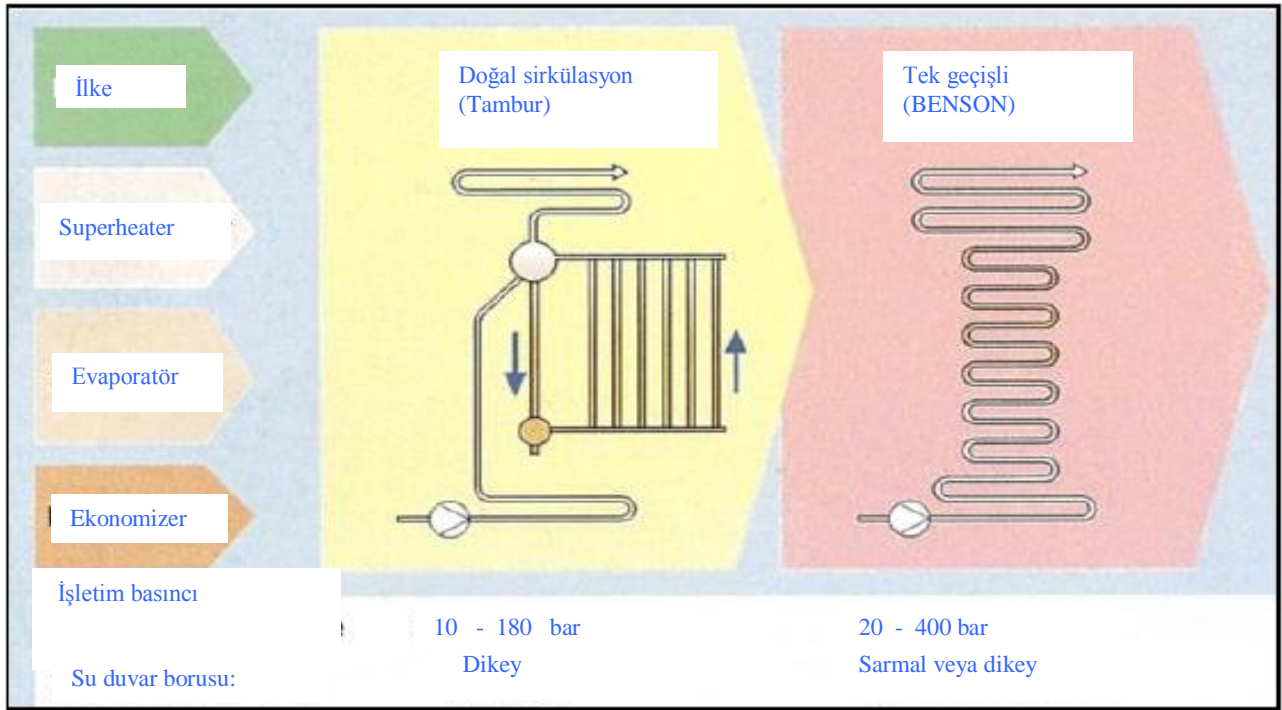
**Şekil 2.3: Olası elektrik tesisi kavramı**  
[113, Verbundkraft, 2002]

Türbinden çıkan düşük basınçlı buhar kondansatör kovanına girer ve kondansatör tüplerinde yoğunlaşır. Kondansatör tüpleri soğutucu su akışı ile düşük sıcaklıkta muhafaza edilir. Kondansatör, egzoz sistemi için düşük basınçlı bir tekne sağlanarak verimli çalışma olanağı sağlama açısından gereklidir. Buhar yoğunlaşmak üzere soğutulduğunda nem buhar kazanı besleme suyu sistemi tarafından tekrar kullanılmak üzere buhar kazanına yeniden taşınır. Düşük hacimli inkompresibl sıvı olan yoğuşma suyu yeniden yüksek basınçlı buhar kazanına etkili bir şekilde pompalanabilir.

Kondansatör tüplerindeki düşük sıcaklıkta soğutma suyunun sabit ve yeterli düzeyde akışı kondansatör kovanını (buhar tarafı) gerekli basınçta tutmak ve yeterli elektrik üretimi sağlamak için gereklidir. Yoğunlaştırma prosesi ile soğutma suyu ısıtılır. Şayet soğutma sistemi açık veya tek geçişli bir sistem ise ısıtılan bu su kaynak suyu bünyesine yeniden tahliye edilir. Kapalı bir sistemde ısıtılan su, ısının buharlaşma ve/veya makul ısı transferi yoluyla havaya tahliye olduğu göl, havuz ve soğutucu kuleler ile yeniden sirkülasyonu ile soğutulur. Yeniden dolaşimli soğutucu sistem kullanıldığında, katı birikimini kontrol üzere belirli aralıklarla tahliye edilmesi gereken buharlaşma veya soğutucu kule blowdown ile kayıpları dengelemek için sadece çok az miktarda ilave su gereklidir. Tek geçişli sistem ile karşılaştırıldığında yeniden sirkülasyona giren sistem suyun yaklaşık yirmide birini kullanır. [21, US EPA, 1997].

### 2.6.1 Buhar kazanı

Genel olarak, yaygın kullanılan üç tip buhar kazanı vardır: doğal sirkülasyon, cebri sirkülasyon ve tek geçişli buhar kazanları ki bugün dünya pazarının yaklaşık % 70'ini kapsamaktadır. Şekil 2.4'de doğal sirkülasyonlu veya tek geçişli buhar kazanı konsepti arasındaki ana farklar gösterilmektedir.



**Şekil 2.4: Doğal sirkülasyon ve tek geçişli buhar kazanı kavramı**  
[80, Siemens, 2000]

Doğal sirkülasyonlu buhar kazanlarında yüksek sıcaklık buharı ile düşük sıcaklık buhar/su arasındaki yoğunluk farkı doğal sirkülasyon üretmek için kullanılır. Cebri sirkülasyon buhar kazanlarında yoğunluk farkına ilave olarak sirkülasyon pompaları ile desteklenir. Tek geçişli buhar kazanlarında su akışı besleme pompası ile belirlenir ve su tek geçiş sırasında buharlaşır. Tek geçişli buhar kazanının avantajları şunlardır:

- Herhangi bir basınçla olası buhar üretimi
- Kritik ötesi buhar parametreleri ile erişilebilir en yüksek verimlilik
- Parça yükleri ile birlikte yüksek tesis verimliliği
- Kısa çalışma süreleri
- Yüksek geçici yükler ile değişen basınç işletimi
- Dünya pazarında mevcut tüm yakıtlara uygunluk.

### Buhar kazanı bileşenleri

Buhar kazanı veya buhar jeneratörü bir ekonomizer, evaporatör, süper ısıtıcı ve yeniden ısıtıcı kombinasyonudur

- **ekonomizer:** Su/buhar döngüsünden sonra besleme suyu doyma noktasının altında 10 °C sıcaklıkta ekonomizer içerisinde ısıtılır. Ekonomizer, buhar kazanının çıkış noktasında düşük sıcaklıkta baca gazından gelen ısıyı toplayan buhar kazanının ilk ısı eşanjörüdür
- **evaporatör:** Yanma odasında, yakıtın kimyasal olarak bağlı enerjisi buhar kazanı ile ısı eşanjörü duvarlarına tahliye olur ve su/buhar döngüsüne iletilir. Isıtılan su daha sonra en azından kritik düzeyin altındaki basınç/buhar koşullarına yönelik olarak doymuş buhar düzeyinde buhar kazanı evaporatöründe veya kritik ötesi koşullar için aşırı ısıtılmış buhar düzeyinde buharlaştırılır. Genellikle evaporatör tüpleri yakma odası duvarlarını oluşturur ve dikey veya spiral düzende hizalanır. Birkaç modern tesis kritik ötesi su/buhar basıncı yani su-buhar diyagramında kritik noktanın üzerindeki basınçla çalışır. Kritik ötesi basınçta dönüşüm herhangi bir geçiş evresi olmaksızın gerçekleşir; bu nedenle buharlaşma enerjisi sıfırdır ve ısı kapasitesindeki sadece bir zirve sürekli akışandaki değişimi temsil eder

- **superheater:** superheater aşırı ısıtılmış buhar üretmek amacıyla buhar kazanının en yüksek sıcaklıktaki baca gazı alanını kullanır. Aşırı ısıtılan buhar basınçla bağlı yoğunlaşma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa sahiptir. Bu sıcaklık buhar türbininde yüksek basınç düşüşünü kolaylaştırmak ve bu suretle yüksek basınç buhar türbininde buhar yayılması sırasında yoğunlaşmayı önlemek için gereklidir. Buhar yayılımı basınç düşüşü ve buhar sıcaklığının adiabatik düşüşü ile bağlantılıdır. Yayılan buharın bir kısmı sızar ve besleme suyu yeniden ısıtıcısına ısı naklinde kullanılır
- **yeniden ısıtıcı:** Buharın çoğunluğu müteakip orta basınçlı buhar türbininde daha yüksek verimliliğe erişmek üzere yeniden ısıtıcı sistemlerindeki baca gazı ile yeniden ısıtılır. Verimliliği en uygun düzeye getirmek amacıyla kritik ötesi santraller buhar düşük basınç buhar türbinine girmeden önce çoğunlukla çift yeniden ısıtma aşaması kullanırlar.

## 2.6.2 Buhar türbini

Buhar türbininde buharın termal enerjisi mekanik işe (örneğin türbin milinin döndürülmesi) dönüştürülür. Bu, tahrik gücü olarak kullanılan buhar genişmesi ile birlikte buhar giriş noktası ile kondansatör arasında meydana gelir. Adiabatik buhar yayılımı sırasında modern LCP'lere yönelik basıncın 300 bar'dan 0.03'e düşmesi ile ilişkili olarak buhar sıcaklığı da düşer. Basıncıdaki büyük farklılık nedeniyle buhar yayılımı normalde üç aşamada gerçekleşir: buhar türbinlerinin yüksek basınç (HP), orta basınç (MP) ve düşük basınç (LP) aşamaları. Çoğu durumda bu aşamalar buhar türbininde bir sonraki en düşük basınç aşamasına yeniden girmeden önce buharın yeniden ısıtıcılarda tekrar ısıtılmasına olanak sağlar.

## 2.6.3 Kondansatör

Son olarak, türbinin alçak basınç kısmında buhar yeniden suya yoğunlaştırılır (yoğuşma). Buhar türbinindeki genişmeden sonra bir miktar yoğunlaşma ve kinetik enerji buharda kalır ve mekanik enerjiye aktarılamaz. Verimli yoğunlaşma sistemleri buhar türbini basıncının atmosfer basıncından oldukça aşağıya düşmesine olanak verir. Bu durum türbindeki buharın genişmesinden çıkan mekanik enerjiyi azami mertebeğe eriştirir.

## 2.6.4 Soğutma sistemi

Soğutma teknikleri yoğunlaşma enerjisini yani prosesin termodinamik olarak kullanılamayan enerjisini buhardan atmak için uygulanır. Soğutma tekniklerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler için soğutma BREF'e referans verilmiştir

## 2.6.5 Farklı elektrik santrali konseptlerinin spesifik maliyetleri

Elektrik santrallerine ilişkin farklı konsept ve tasarımlarla ilgili spesifik maliyet bilgileri [166,Müller-Kirchenbauer, 1999], [163, Müller-Kirchenbauer, 2001]'de verilmiştir. Sunulan konsept ve tasarımlar günümüzün dünya çapındaki elektrik üretimi ihtiyaçları için önemli olan veya gelecekteki kullanımlar için potansiyele sahip olan tasarımlara tekabül eder (yani halihazırda piyasada olan veya yakında piyasada olacak tasarımlar ile yüksek verimliliğe sahip olmakla birlikte uygulanabilirliği teknik olarak kanıtlanmış tasarımlar). Baca gazı temizlemeye yönelik olarak, maliyet Şekilleri toz arındırma ile kükürt giderme (FGD) tesisine yönelik maliyetleri de dikkate alır. Baca gazı temizlemeye yönelik maliyet payı günümüzde işletilen çok sayıda tesiste uygulanan standart uygulama olan NO<sub>x</sub> emisyonu azaltılmasına ilişkin (SCR gibi) uygun tedbirlerin uygulanması ile birlikte daha yüksektir. Şekil 2.5'de dokuz elektrik santraline ilişkin toplam yatırım maliyetleri ile (ABD doları olarak) kalemlere ayrılmış maliyet dökümü gösterilmektedir.

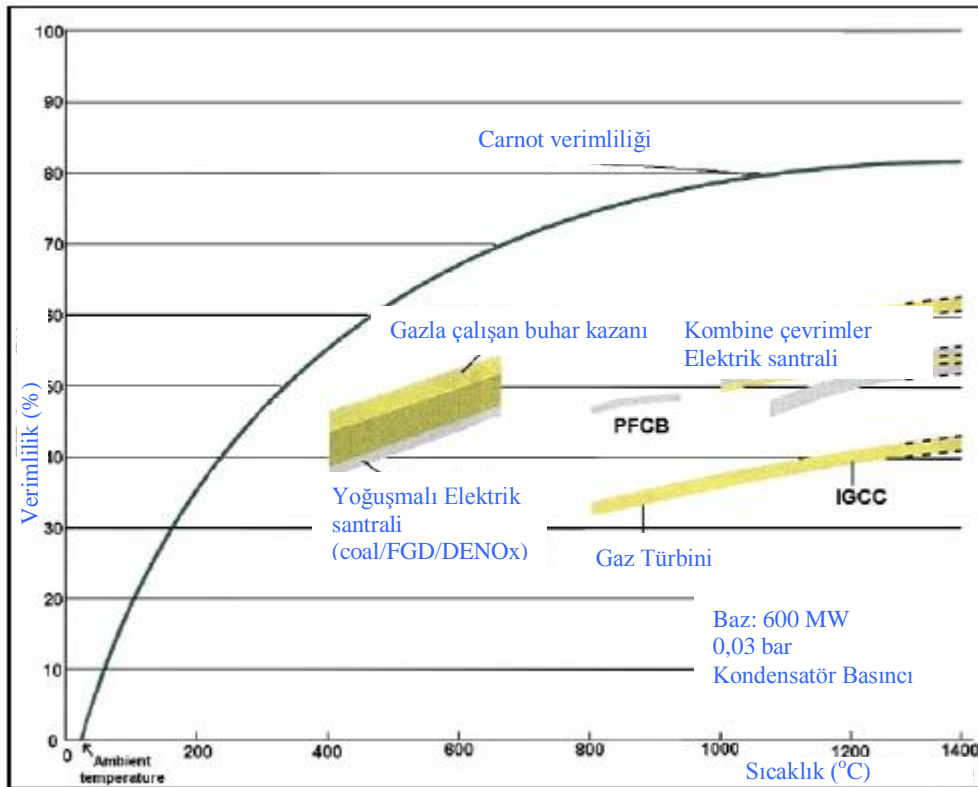


### 2.7.1 Carnot verimliliği

Termal bir prosesin ideal verimliliği veya ‘Carnot’ verimliliği iki ısı seviyesi arasında ısının işe dönüşme kalitesinin ölçümüdür. Carnot verimliliği şu şekilde yazılabilir:

$$S_c = 1 - T_0/T$$

Burada,  $T_0$  ortam sıcaklığı ve  $T$  ise ısının elde edildiği veya tutulduğu, her ikisi de Kelvin olarak ifade edilen sıcaklıktır ( $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$ ). Şekil 2.6’da ideal (Carnot) verimliliği ile halihazırda kullanımda olan yakma (termal) teknikleri ile elde edilen verimlilikler karşılaştırılmaktadır.



**Şekil 2.6: Halihazırda kullanılmakta olan termal enerji üretim teknikleri ile fiilen sağlanan verimliliklere kıyasla ideal (Carnot) verimliliği**

### 2.7.2 Termal verimlilik

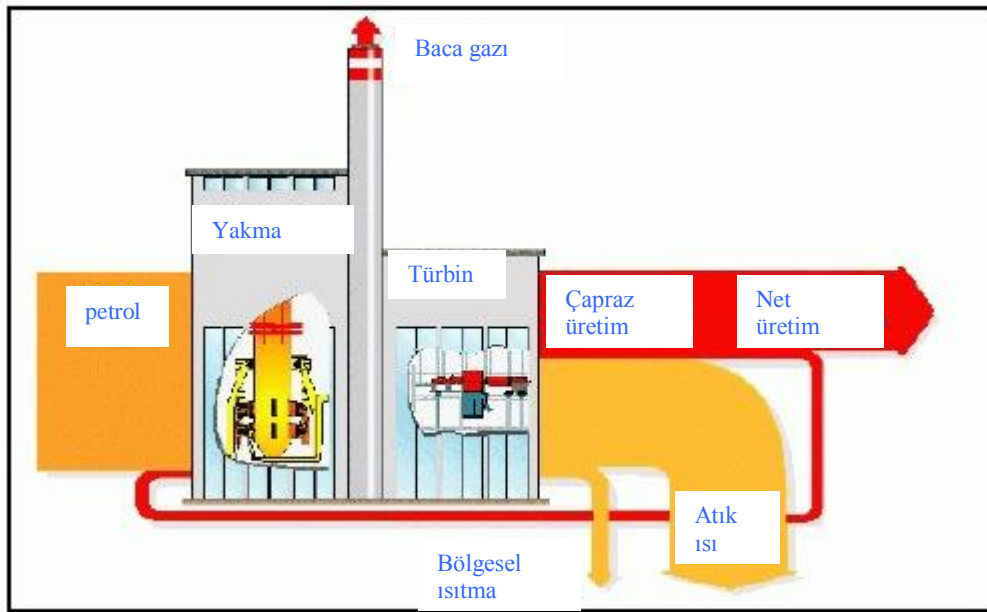
Termal verimlilik tanımı elektrik santralinde kullanılan yalnızca fiili çevrim prosesini dikkate alır. Verimlilik faydalı mekanik çıktının çevrim prosesi ortamına (kural olarak su veya hava) aktarılan ısı akışına oranıdır.

Bu bağlamda faydalı mekanik çıktı besleme pompası ana türbinden gelen buhar ile çalışan türbin ile harekete geçtiğinde türbinden gelen mekanik çıktıdır. Yoğuşma pompası da basıncın yükselmesine katkıda bulunduğu için, termodinamik bakış açısından besleme pompasının bir parçası kabul edilir. Mekanik çıktısı bu nedenle türbinin mekanik çıktısından çıkarılmalıdır. Termodinamik anlamda türbinin mekanik çıktısı bu durumda buhar akışından ve entalpi farkından kaynaklanan çıktıdır. Besleme pompası elektrik motoru ile harekete geçirildiğinde faydalı mekanik çıktı türbinin mekanik çıktısı eksi besleme pompasının tahrik çıktıları artı yoğuşma pompası arasındaki farka eşittir. Bu durum besleme pompası doğrudan türbin mili ile harekete geçirildiğinde de geçerlidir. Sürece aktarılan ısı akışı su/buhar çevrimine aktarılan ısı akışıdır.

Kombine gaz/buhar türbini prosesi durumunda faydalı mekanik çıktı, besleme pompasının çıkarılan buhar ile çalışan türbin ile harekete geçmesi durumunda buhar türbininin mekanik çıktısı artı gaz türbinin mekanik çıktısıdır. Ancak yoğuşma pompasının çıktısı bundan çıkarılmalıdır. Besleme pompasının elektrik motoru ile harekete geçirilmesi halinde faydalı mekanik çıktı türbinin mekanik çıktısı ile besleme pompası artı yoğuşma pompası tahrik çıktısı arasındaki farka eşittir. Gaz/buhar türbin prosesindeki devre prosesine transfer edilen ısı akışı gaz türbininin yakma odasındaki hava artı yakma ile buhar jeneratöründeki su/buhar çevrimine transfer edilen ısı akışına eşittir. Saf bir atık ısı buhar kazanı ünitesinde su buhar çevrimine transfer edilen ısı akışı sıfırdır [48, VDI, 1998].

### 2.7.3 Ünite verimliliği

Ünite verimliliği tanımı Şekil 2.7’de sunulan tüm elektrik santrali ünitesini göz önünde bulundurur. Buna göre ünite verimliliği net elektrik çıktısının yakıt ile tedarik edilen enerjiye oranıdır. Bu tanıma göre elektrik çıktısı ana transformatörün yüksek voltaj kısmındaki çıktıdır.



Şekil 2.7: Termal elektrik santralinde enerji aktarımı  
[64, UBA, 2000]

### 2.7.4 Buhar çekilmesine yönelik ünite verimliliği

Şayet herhangi bir elektrik santrali ünitesinde ısıtma veya proses amaçları ile buhar çıkarıldığında bu buhar artık elektrik üretimi için elverişli değildir. Bu durumda ünite verimliliğini saf elektrik üretimi verimliliği ile karşılaştırabilmek için kondansatör basıncına yayılması gerektiği hallerde çıkartılan ısı buharından elde edilebilen elektrik çıktısı elektrik çıktısına ilave edilmelidir.

Isı buharının çıkarılmasına yönelik olarak güç kaybı için bir düzeltme kullanılır. Bu düzeltme [48, VDI, 1998]’de sunulan diyagramlarda görülebilir. Bu diyagramlarda güç kaybı özelliği tek aşamalı, iki aşamalı ve üç aşamalı ısıtma için bir parametre olarak geri dönüş ısı ile birlikte akış ısına bağlıdır. Diyagramlar 30, 40, 70 ve 80 mbar’lık kondansatör basınçlarına bağlıdır.

Buhar çıkarma prosesinde yoğuşma döngüye sadece sınırlı bir oranda geri döner. Bu ise diyagramlarla birlikte çok fazla parametreyi beraberinde getirir. Ancak geri dönen yoğuşmanın etkisi çıkarılan buharın etkisinden ayrılabilir. Buhar çıkarma prosesine yönelik düzeltme de ayrıca [48, VDI, 1998]’de sunulan diyagramlarda gösterilmiştir.

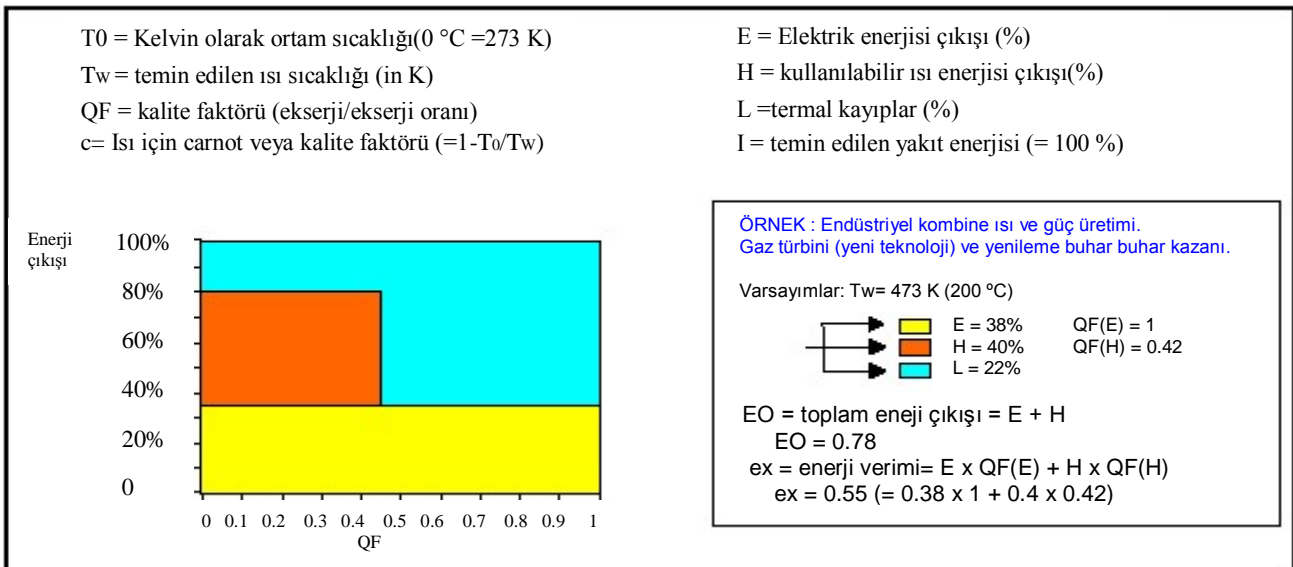
### 2.7.5 Ekserji kavramı ve ekserji verimliliği

Elektrik ısıya dönüştürülebildiğinden (bu işlemin tersi elbette tamamiyle mümkün değildir) elektrik ısıdan daha yüksek bir değere sahiptir. Isı yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklıklara göre daha büyük dönüştürülebilir enerji payına sahip olduğundan yüksek sıcaklıkta ısı kalitesi düşük sıcaklıktaki ısı kalitesinden daha yüksektir. Bu konular enerji dönüştürülebilirliğini nitelik bağlamında ifade eden ekserji kavramı ile açıklanır. Buna kalite faktörleri (QF) kullanılarak ulaşılabilir. Bu kalite faktörleri toplam enerji miktarında ekserji fraksiyonunu verir. Elektrik ve mekanik enerjinin kalite faktörü 1'dir (elektrik saf ekserjidir). Ancak ısının kalite faktörü ısının mevcut olduğu sıcaklığa bağlıdır. T sıcaklığında işe dönüşen bir birim ısının açıklaması uzun zamandır bilinmektedir. Buna 'Carnot faktörü' denilmekte birlikte önceki 2.7.1 nolu Kısımda ele alınmıştır. Carnot faktörü, en basit anlamda, ısıya yönelik akalite faktörüdür. Bu faktör her zaman 1'den az olmakla birlikte ortam sıcaklığında 0'dır [49, Electrabell, 1996].

Bu gibi basit kalite faktörlerinin enerji girdisi ( $E_{\text{energy input}}$ ) ve prosesin faydalı enerji çıktısına ( $E_{\text{useful energy output}}$ ) uygulanması ile bir yakma prosesinin ekserjetik verimliliği hesaplanabilir ve yakıt verimliliği ile karşılaştırma yapılabilir. Ekserjetik verimlilik ( $\eta_{\text{ex}}$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilir (bakınız Şekil 2.8):

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{U(QF \cdot E_{\text{faydalı enerji çıktısı}})}{U(QF \cdot E_{\text{enerji girdisi}})}$$

Bu metodoloji kullanılarak enerjetik ve ekserjetik verimlilik karşılaştırılması aşağıdaki örnekte gösterildiği yapılabilir.



Şekil 2.8: Ekserjetik verimliliğin hesaplanmasına yönelik metodolojiyi gösteren örnek [49, Electrabell, 1996]

Farklı yakma tekniği türlerinden alınan sonuçlar Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Yakma tekniği	Sağlanan Yakıt enj. (=100%)	Elektrik enerjisi çıkışı (%)	Kullanılabilir Isı enj. Çıkışı (%)	Harici kayıtlar (%)	Tw Sağlanan ısı sıcaklığı (K)	Isı kalite faktörü (QF= 1-T <sub>0</sub> /T)	Elektrik Kalite faktörü	Toplam enerji çıkışı EO (yakıt verimliliği)	Ekserjetik verimlilik
Isı üretimi Tip: aralık ısıtmaya yönelik ısıtıcı buhar kazanı, Tw=70°C (343 K)	100	0	90	10	343	0.2	-	0.90	0.18
Elektrik üretimi Tip: kombine çevrim (en son yüksek Verim kombine çevrim teknolojisi)	100	55	0	45	-	-	1	0.55	0.55
Endüstriyel CHP tesisi Tip: buhar kazanı + geri basınç Buhar türbini, (Tw=200 °C (473 K) endüstriyel prosese yönelik buhar)	100	20	60	20	473	0.42	1	0.80	0.45
Endüstriyel CHP tesisi Tip: buharlı kombine çevrim Çekme, burada Tw=200 °C (473K) (endüstriyel prosese yönelik buhar)	100	50	12	38	473	0.42	1	0.62	0.55
Endüstriyel CHP tesisi Tip: gaz türbini (yeni teknoloji) Yenileme buhar kazanı ile, Tw=200 °C (473 K)	100	38	40	22	473	0.42	1	0.78	0.55
Endüstriyel CHP tesisi Tip: yenileme buhar kazanlı gaz türbini, Tw=200 °C (473 K)	100	32	48	20	473	0.42	1	0.80	0.52
Endüstriyel CHP tesisi Tip: geri basınç buhar türbinli yenileme buhar kazanlı gaz türbini Tw= 200 °C (473 K)	100	35	45	20	473	0.42	1	0.80	0.54
Küçük ölçekli CHP tesisi Tip: ısı eşanjörlü gaz motoru Tw= 70 °C (343 K) (aralık ısıtma ve küçük ölçekli endüstriyel uygulamalar)	100	35	55	10	343	0.20	1	0.90	0.46

Tablo 2.2: Farklı türde yakma tesislerinin enerjetik ve ekserjetik verimlilik örnekleri [49,Electrabel,1996]



### 2.7.6 İklim koşullarının verimlilik üzerindeki etkisi

Islak ve kuru termometre sıcaklığı bağlamında ifade edilen iklim sahaya özgü son derece önemli bir koşuldur. Hem soğutma tipi seçimini hem de prosesin olası uç sıcaklığını etkiler. Hava ve/veya su ile soğutma çelişkisi soğutma talebinin çok yüksek olduğunda gereklilikleri sağlamanın daha zor hale gelmesidir. Özellikle yılın belli bir kısmında yüksek hava sıcaklıkları ile yüksek su sıcaklıklarının daha düşük su elverişliliğine rastladığı bölgelerde soğutma sisteminin belirli bir işletimsel esnekliği çok önemli olabilir ve hava ile su soğutma işlemlerinin birleştirilmesi ile sağlanabilir. Ancak bazen verimlilikte belirli bir kaybın da kabul edilmesi gerekir.

Gerekli uç sıcaklığa erişmek için soğutma ortamının soğutulacak ortamdan daha düşük sıcaklığa sahip olması gerekir, ancak bu durum ise ıslak ve kuru termometre sıcaklıklarına bağlıdır. Islak termometre sıcaklığı her zaman kuru termometre sıcaklığından düşüktür. Islak termometre sıcaklığı atmosferin ölçülen sıcaklığı, nem ve hava basıncına bağlıdır. Gizli (evaporatif) ısı transferine yönelik olarak ıslak termometre sıcaklığı uygun sıcaklıktır. Suyun buharlaştırma yoluyla soğutulacağı teorik olarak en düşük sıcaklıktır. Makul ısı transferine yönelik olarak havanın soğutucu ortamı oluşturduğu kuru termometre sıcaklığı (kuru hava) uygundur.

Soğutucu sistemin türü ve tasarımı seçimine yönelik olarak tasarım sıcaklığı önemlidir ve genellikle ıslak termometre ve kuru termometre sıcaklığının yaz seviyeleri ile ilgilidir. Bu sıcaklıklar arasındaki fark ne kadar büyük olursa ve kuru termometre sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa kuru hava soğutmalı sistemler ile düşük uçlu sıcaklıklara erişmek o kadar zor olacaktır. Daha önceden bahsedildiği gibi bu durum verimlilik kayıplarına neden olabilir. Bu kaybı bertaraf etmek amacıyla tedbirler alınmalıdır ancak bu tedbirler de belirli bir yatırım gerektirir.

Örnek olarak Tablo 2.3'de Avrupa'daki farklı iklim koşullarına yönelik olarak kuru veya ıslak soğutma sistemi seçiminin Carnot çevrimi nedeniyle proses verimliliği kayıplarını nasıl etkilediği gösterilmektedir. Örnekte, ıslak soğutma yönteminin 4 K olduğu kabul edilir ve bu soğutucunun minimum uç sıcaklığını bulmak için ıslak termometre sıcaklığına eklenmelidir. Kuru soğutma yöntemi ise kuru termometre sıcaklığına eklenecek 12 K'ya ayarlanır. Islak ve kuru uç sıcaklıkları arasındaki fark ne kadar büyük olursa verimlilik kaybı da o kadar yüksek olur (bu örnekte) K başına ortalama % 0,35 kayıp. Aynı zamanda örneğin % 5'lik bir verimlilik kaybı ile konvansiyonel elektrik tesisinin verimliliği %40 yerine % 38.6 olacaktır.

Ülke ve istasyon <sup>1</sup>	Parametre						
	Kuru temo. Sıcaklık (1%) <sub>2</sub> (°C)	Yaş temo sıcak. (1%) <sub>2</sub> (°C)	Sıcaklık farkı (K) (°C)	Son sic.. Kuru sistem <sup>3</sup>	Son sic Yaş sistem (°C)	XT yaş-kuru (K)	Verimlilik kaybı <sub>s</sub> (%)
Yunanistan Atina	36	22	14	48	26	22	7.7
İspanya Madrid	34	22	12	46	26	20	7.0
Fransa Paris	32	21	11	44	25	19	6.7
İtalya Roma	34	23	11	46	27	19	6.7
Avusturya Viyana	31	22	9	43	26	17	6.0
Almanya Berlin	29	20	9	41	24	17	6.0
Hollanda Amsterdam	26	18	8	38	22	16	5.6
Fransa Nice	31	23	8	43	27	16	5.6
UK Londra	28	20	8	40	24	16	5.6
Almanya Hamburg	27	20	7	39	24	15	5.3
Norveç Oslo	26	19	7	38	23	15	5.3
Belçika Brüksel	28	21	7	40	25	15	5.3
İspanya Barselona	31	24	7	43	28	15	5.3
Finlandiya Helsinki	25	19	6	37	23	14	4.9
Danimarka Kopenhag	26	20	6	38	24	14	4.9
Portekiz Lizbon	32	27	5	44	31	13	4.6
UK Glasgow	23	18	5	35	22	13	4.6
İrlanda Dublin	23	18	5	35	22	13	4.6

Notlar:

- 1) Tabloda sunulan veriler Avrupa'daki iklimsel değişiklikleri gösterir. Diğer referanslar biraz farklı veriler sunabilir. Tam veri veya saha meteoroloji kurumu tarafından analiz edilebilir.
- 2) istatistiki olarak sadece %1 azami sıcaklık bu verilerin üzerindedir
- 3) 12 K yöntemi
- 4) yaş sistem yöntemi: 4K
- 5) verimlilik kaybı 0.35 % per ]T K ortalama

**Tablo 2.3: Avrupa'daki iklim şartlarının elektrik santrallerinin verimlilik kayıplarına etkisine örnekler [45,Eurovent,1998]**

### 2.7.7 Verimlilik ile çevresel konular arasındaki ilişki

[64, UBA, 2000]'e göre verimlilikteki artışlar yakıt tüketimi, atık ısı ve emisyonlar üzerinde aşağıdaki etkilere sahiptir:

Yakıt tasarrufu	$\Delta e = 1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}$
Atık ısı azaltımları	$\Delta a = \frac{\Delta e}{1 - \eta_1}$
CO <sub>2</sub> emisyon azaltımları	$\Delta C = 1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}$
Kirletici gaz emisyon azaltımları	$\Delta \varepsilon = \frac{3.6 \cdot V_R \cdot x}{H_u} \cdot \left( \frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\mu_2} \right) (mg / kWh)$
Değişkenler:	
η <sub>1</sub>	Gelişme öncesi verimlilik
η <sub>2</sub>	Gelişme sonrası verimlilik
V <sub>R</sub>	Hava hacmi/kg yakıt (m <sup>3</sup> /kg)
X	Eşik limit değeri (mg/m <sup>3</sup> )
H <sub>u</sub>	Düşük kalorifik değeri (MJ/kg)

### 2.7.8 Yakma tesislerinde verimlilik kayıpları

Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan ısı enerjisi çalışma ortamına (buhar) transfer edilir. Bu proses sırasında enerjinin bir kısmı baca gazında kaybolur. Buhar üretiminden toplam kayıp yakıt (kül ve su içeriği, kalorifik değeri); buhar jeneratörünün kapasite ve çalışması, hava-yakıt karışımı, baca gazının nihai sıcaklığı ve operasyon moduna bağlıdır. Buhar jeneratörünün çalışması sürekli gözetim gerektirir. Buhar jeneratöründen kaynaklanan ısı kayıpları şu şekilde kategorize edilebilir:

- Atık proses gazı yoluyla ortaya çıkan kayıplar. Bunlar baca gazı sıcaklığı, hava karışımı, yakıt terkihi ile buhar kazanı bozulma seviyelerine bağlıdır
- Yanmamış yakıt, dönüşmemiş yakıtın kimyasal enerjisi yoluyla ortaya çıkan kayıplar. Tamamlanmayan yakma işlemi baca gazında CO ve hidrokarbon oluşumuna sebebiyet verir
- Kazanaltı külü ve uçucu küldeki karbon gibi tortulardaki yanmamış materyal yoluyla ortaya çıkan kayıplar
- DBB'den kaynaklı kazanaltı külü ve uçucu kül ile WBB'den kaynaklı cüruf ve uçucu küllerden ortaya çıkan kayıplar
- Kondüksiyon ve radyasyon yoluyla ortaya çıkan kayıplar. Bu kayıplar temelde buhar jeneratörünün izolasyon kalitesine bağlıdır.

Isı kayıplarına ilave olarak yardımcı makinelerin (yakıt iletim ekipmanı, kömür haddehaneleri, pompa ve fanlar, kül temizleme sistemleri, ısıtma yüzeylerinin temizlenmesi vb.) çalıştırılması için gerekli olan enerji tüketimi de dikkate alınmalıdır.

Kötü yakma işlemi ekonomik bakımdan gelecek vadeden kapasiteyi düşürürken çevresel etkileri artırır ve bununla birlikte tesisin emniyeti içinde zararlı unsurlar içerir. Aşağıdaki parametreler tesisin finansal kapasitesini etkiler ve bu nedenle tesisin verimliliğini mümkün mertebe yüksek tutmak adına izlenmelidir:

- Yakıt tertibi
- Öğütme işleminin inceliği
- Baca gazı tertibi (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO)
- Hava karışımı ve baca gazı hacim akışı
- Yakıcı ekipmana sızan hava
- Buhar kazanı problemleri
- Yakma havası ve baca gazlarının sıcaklığı
- Isıtma yüzeyleri içerisindeki sıcaklık tutumu
- Çekişin azalması
- Alev profili
- Tortunun yakılabilir oranı (tavlama kaybı).

### 2.7.9 LCP verimliliğini geliştirecek türe özgü teknik önlemler

#### Kojenerasyon (CHP)

Isı (proses buharı veya bölge ısıtması) ile elektrik enerjisi yakıt verimliliğini (yakıt kullanımı) yaklaşık % 70 ile 90 civarında artırır.

#### Yakma

Yakıt hava ile karıştırılır ve buhar kazanında yakılır. Yakıt ile hava arasında ideal bir karışım elde etmek mümkün değildir, bu nedenle stoikiyometrik yakma işlemi için buhar kazanına gereğinden fazla hava verilmelidir. Bununla birlikte yakıtın çok az miktarı tamamen yakılmaz. Baca gazı sıcaklığı ısıtma yüzeyleri üzerindeki asit maddelerinin yoğunlaşmasını önlemek amacıyla yeterince yüksek tutulmalıdır.

#### Küldeki yanmamış karbon

Yakmanın optimizasyonu kül içeriğinde daha az yanmamış karbon olmasına yol açar. Yakma modifikasyonu kullanan (birincil tedbirler) NO<sub>x</sub> azaltma teknolojilerinin artmış yanmamış karbon eğilimi gösterdiği dikkate alınmalıdır. Artma eğilimi gösteren yanmamış karbon ayrıca kömürdeki uçucu kül kalitesini kötü yönde etkiler ve ilgili ulusal standartlar ve Avrupa standartlarında belirlenen şartname ve gerekliliklere uymama riski taşımakla birlikte belirli uygulamalarda kullanılmalarını zorlaştırıp engelleyebilir.

#### Hava fazlalığı

Kullanılan fazla hava miktarı buhar kazanı türü ile yakıtın niteliğine bağlıdır. Tipik olarak, % 10 ile 20 oranında fazla hava kuru tabanlı pülverize kömürle çalışan buhar kazanları için kullanılır. Yakma kalitesi (CO ile yanmamış karbon oluşumu ile ilgili) ile korozyon ve emniyet nedenlerine (örneğin buhar kazanında patlama riski) yönelik olarak çoğunlukla fazla hava seviyelerinin daha da azaltılması mümkün değildir.

#### Buhar

Verimliliğin artırılmasında en önemli faktörler çalışma ortamının mümkün olan en yüksek sıcaklık ve basıncıdır. Modern tesislerde kısmen yayılan buhar bir veya daha fazla yeniden ısıtma aşamalarıyla yeniden ısıtılır.

#### Baca gazı sıcaklığı

Temiz buhar kazanını terkeden baca gazı sıcaklığı (yakıt tipine bağlıdır) sülfürik asit yoğunlaşması ile asit korozyonu riski nedeniyle genelde 120 ile 170 °C arasındadır. Ancak bazı tasarımlar kimi zaman bu sıcaklığı 100 °C altına düşürmek için ikinci bir hava ısıtıcı aşaması ilave ederler. Bacasız tasarlanan elektrik santralleri ile baca gazı sıcaklığı 65 ile 70 °C arasında değişir.

### Kondansatördeki vakum

Buhar türbininin düşük basınç kısmından ayrıldıktan sonra buhar kondansatörlerde yoğuşur ve ısı soğutma suyuna tahliye olur. Buhar türbinlerinde maksimum basınç düşüşünü temin etmek amacıyla vakumu minimuma düşürmek gerekir. Genel olarak vakum, tek geçişli soğutma sistemleri ile soğutma kulelilerden daha düşük olan soğutma suyu sıcaklığı ile dikte edilir. En iyi elektrik verimliliği deniz suyu ve taze su soğutma ve yaklaşık 3.0 kPa'lı kondansatör basıncı ile mümkündür. Tercih edilen seçenek elverişli olması halinde deniz suyu veya nehir suyu kullanmaktır.

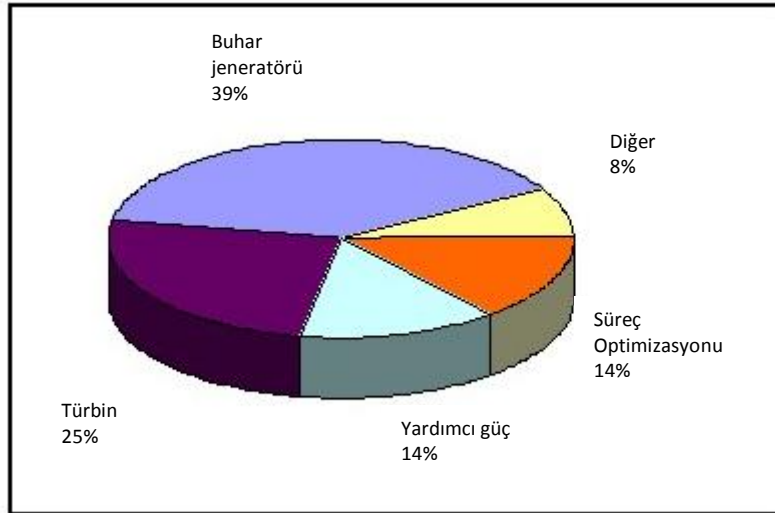
### Değişken basınç ve sabit basınç işlemi

Sabit basınç işlemlerinde türbinlerden önceki tüm yük seviyelerindeki basınç türbin girişinde akış kesitindeki değişiklikler ile aşağı yukarı sabit tutulur. Maksimumdaki türbin giriş kesiti ile birlikte değişken basınçlı işlemlerde güç çıkışı türbinlerden önceki basınçta meydana gelen değişiklikler ile ayarlanır.

### Kondensat ve besleme suyu ön ısıtma

Kondansatörden gelen kondensat ve buhar kazanı besleme suyu çıkarılan buharın doyma sıcaklığının hemen altındaki sıcaklığa kadar buhar tarafından ısıtılır. Bu nedenle yoğunlaşma prosesinden gelen termal enerji kondansatörden başka yollarla tahliye olan ısı miktarını düşürüp bu suretle verimliliği artırarak sistemi yeniden besler.

Yılda 11.0 milyon ton CO<sub>2</sub> azaltımı ile sonuçlanan 1993 ile 2000 yılları arasında elektrik santrallerinin verimliliğini arttırmak üzere alınan optimizasyon tedbirleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: 1993 – 2000 arasındaki elektrik santrallerinin verimlilik gelişimleri [134, Hourfar, 2001]

### 3 BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARI AZALTACAK YAYGIN SÜREÇ VE TEKNİKLER

Enerji üretimine yönelik yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonları azaltabilecek çeşitli proses, ekipman değişikliği ve teknik mevcuttur. Çok sayıda teknik çoğu fosil yakıtla çalışan yakma tesisleri için yaygındır ve bu nedenle yakıtta özgü bölümlerde tekrarlardan kaçınmak için bu teknik ve süreçler bu bölümde açıklanacaktır.

Bu bölümde aşağıdaki ilgili teknik, proses ve konulara ilişkin ayrıntılı bilgi ve açıklamalar verilmektedir:

- Birincil tedbirler
- Partikül madde emisyonlarını azaltacak teknikler
- Sülfür oksit emisyonlarını azaltacak teknikler
- Nitrojen oksit emisyonlarını azaltacak teknikler
- Sülfür oksit ve nitrojen oksit emisyonlarını azaltacak kombine teknikler
- Ağır metal emisyonlarını azaltacak teknikler
- Fosil yakıtların yakılmasından ortaya çıkan diğer kirletici maddeleri azaltacak teknikler
- Suya tahliyeleri kontrol edecek teknikler
- Toprağa tahliyeleri kontrol edecek teknikler
- Soğutma teknikleri
- Emisyon izleme ve raporlama
- Yönetim sistemleri.

Teknik Çalışma Grubu tarafından tanımlanan spesifik yakıtların (kömür ve linyit, biyomas ve turba, likit yakıtlar, gazlı yakıtlar ile atık ve yenilenen yakıtların birlikte yakılması) yakılmasına ilişkin Mevcut En iyi Teknikler (MET) tespiti sırasıyla 4,5,6,7 ve 8. Bölümlerde ele alınmıştır.

Bu bölümlerde MET tespitinde dikkate alınacak tekniklerin farklı bölümleri örneğin tekniklerin geliştirilme biçimi ve türe özgü açıklamalardan ayrılma şekli gibi daha ayrıntılı yakıtla ilişkin bilgileri içerir. Bu bölümler ayrıca yakıtta özgü alanlarda erişilebilir emisyon seviyelerine ait verileri de sunarlar. Bu yaklaşım aynı açıklamaların tekrar tekrar verilmesini asgariye indirmek bilgi ve tekniklerin diğer bölümlere nakledilmesine olanak sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Çevresel Yönetim Sistemi (EMS) hariç olmak üzere MET bu bölümde açıklanan yaygın süreçlere yönelik olarak tayin edilmemiştir ancak çeşitli yaygın proses ve teknikler MET tespiti için dikkate alınması gereken unsurlardır ve bu nedenle 4 ile 8arası Bölümlerde açıklanan MET'ye katkıda bulunurlar. İlave olarak, bu bölümde açıklanan teknikler genel emisyonların azaltılması için de uygun olduğundan mevcut tesislerin geliştirilebilme biçimini de etkilerler.

Fosil yakıt ile çalışan yakma tesisatına ilişkin tam bir tablo sunmak ve çevre üzerindeki etkilerin bir bütün olarak azaltma yollarını vurgulamak üzere Bölüm 3 Bölüm 4,5,6,7 ve 8 ile bir arada kullanılmalıdır.

Emisyonların azaltılması (özellikle havaya ve suya yönelik) ve atık üretimi ile tortuları yeniden kullanma seçeneklerine ilişkin bir dizi rapor, kitap ve başka belgeler halkın kullanımına sunulmuştur. Büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik olarak halihazırda kullanılan tekniklere ilişkin olarak Avrupa Komisyonu (DG Ulaştırma ve Enerji) baca gazı temizlemeye yönelik ayrıntılı teknik bir belge yayımlamıştır [33, Ciemat, 2000]. Bu belge 'Thermie-Programme' çerçevesinde oluşturulmuş olup emisyonları azaltma tekniklerinin değerlendirilmesine ilişkin geriplan materyali sunmaktadır. Daha ayrıntılı teknik bilgiler için orijinal belgeye bakılmalıdır.

Büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların azaltılması farklı yollar kullanılarak yürütülebilir ancak genel anlamda tedbirler birincil ve ikincil olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Bu tedbirler:

**Birincil tedbirler:** Kaynağında veya yakma prosesinde emisyonları azaltacak bütünlük tedbirler. Buna aşağıdakiler de dahildir:

- yakıt-kaynak tedbirleri
- yakma modifikasyonları.

**İkincil tedbirler:** Hava, su ve toprak emisyonlarını kontrol edecek boru sonu tedbirleri.

### 3.1 Emisyonları azaltacak bazı birincil tedbirler

#### 3.1.1 Yakıt değişimi

Yakıt değişiminin teknik, politik ve ekonomik uygulanabilirliği büyük ölçüde yerel şartlar tarafından tayin edildiğinden yakıtı katıdan sıvıya veya gaza ve sıvıdan gaza değiştirme olanağı bu belgede ele alınmamıştır. Ancak genel anlamda daha düşük sülfür, nitrojen, karbon, civa vb. içerikli yakıtların kullanılması değerlendirilmesi gereken bir seçenektir.

Kömür yakma tesisleri halen hem kül emisyonları hem de sülfür dioksit emisyonlarını azaltmada kullanılan bir tekniktir. Daha da önemlisi işletme sahibinin emisyonları geliştirmesi için düşük maliyetli bir seçim olabilir. Ancak yakıt hazırlama teknikleri çoğunlukla besleme kaynağında uygulanır ve bu nedenle BREF kapsamı dışında olduğundan daha fazla açıklanmayacaktır.

#### 3.1.2 Yakma modifikasyonları

Yakma sistemine sokulan katkı maddeleri komple yakma işlemi destekler ancak toz, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve yakıtta özgü iz element emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbir olarak kullanılabilirler.

Yakma işlemi ile ilgili tedbirler yakma modifikasyonları ile de mümkündür. Bu modifikasyonlara aşağıdakiler de dahildir:

- Kapasite indirimi
- Brülör modifikasyonları
- Fırın içi yakma modifikasyonları
- Hava ve yakıt modifikasyonları (örneğin baca gazı yeniden işleme, yakıt hava ön karıştırma işlemi, katkı maddesi kullanımı, kurutma, ince öğütme, gazlaştırma, pirolisis).

Yakma modifikasyonlarına uygulanacak olası tedbirler Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu birincil tedbirlere yönelik ayrıntılar yakıt ve uygulanan yakma sistemine özgü olup 4 ile 8 arası Bölümlerde verilmiştir. Vargel motor birincil tedbirler Bölüm 6 ile Bölüm 7’de açıklanmaktadır.

Yakma modifikasyonları	Kapasite indirimi	Hava ve yakıt modifikasyonları	Brülör modifikasyonları	Fırın içi yakma modifikasyonları
Katı yakıtlar, PM kontrolü	Daha düşük hacim akışı ve yüksek oksijen artışı sıcaklık ve cüruf oluşumunu azaltır	Ön kurutma, gazlaştırma, yakıt pirolizi, yakıt katkı maddeleri, yani likit kül ihracı ile birlikte cüruf musluğu fırınına yönelik düşük erimeli katkı maddeleri (gaz türbinleri için basınçlı kömür yakma için test edilmiştir)	Likit kül ihracı, cüruf musluğu fırınında siklon brülörü	Likit kül ihracı, cüruf musluğu fırını; akışkan dolaşimli yatak yakma, kaba kül kontrolü
Katı yakıtlar, SO <sub>2</sub> kontrolü	Azalan sıcaklık kükürt volatilizasyonunu azaltır	Düşük kükürlü yakıt ile sorbent yakıt katkı maddelerinin, yani akışkan yatak için kireç ve kireçtaşı kullanımı	Ayrı katkı maddesi enjeksiyonlu brülör	Aşırı yakma havası Kireçtaşı gibi absorbanların enjeksiyonu
Katı yakıtlar, NO <sub>x</sub> kontrolü (Nox üretiminin azaltılması)	Azalan sıcaklık	Yakıtın daha ince öğütülmesi ve karıştırma, baca gazı yeniden çevrimi NO <sub>x</sub> üretimini azaltır	Düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	Aşamalı yakma ve yeniden yakma
Likit yakıt, PM kontrolü	Azalan sıcaklık cüruf oluşumunu azaltır	Gazlaştırma, yakıt pirolizi ve düşük kurum yakmaya yönelik katkı maddeleri	-	Optimize yakma
Likit yakıt, SO <sub>2</sub> kontrolü	-	Absorpsiyona yönelik düşük kükürlü yakıtlar ve katkı maddelerinin kullanımı	-	-
Likit yakıt, NO <sub>x</sub> kontrolü (Nox üretiminin azaltılması)	Azalan sıcaklık	Baca gazı yeniden çevrimi	Düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	Aşamalı yakma* Yeniden yakma Su ve buhar enjeksiyonu**
Gazlı yakıt, PM kontrolü				Optimize yakma

Notlar:  
\* mevcut gaz türbinlerine uygun değildir  
\*\* sadece gaz türbinlerine yönelik uygulanmıştır  
\*\*\* Aşamalı yakma gaz türbinleri ile fırınlarda farklı uygulanmıştır

**Tablo 3.1: Emisyon kontrolüne ilişkin birincil önlemler [58, Eurelectric, 2001]**

Yakıtta katkı maddelerinin kullanılması küçük yakma sistemlerine yönelik bir yakıt besleme tedbiri veya LCP sahasında birincil yakma tedbiri olabilir. Yakıt karıştırma, yakıt katkı maddeleri, katı maddelerin ezme ve öğütülmesi gibi optimize edilen yakma için gerekli olan LCP entegre yakıt modifikasyon tedbirleri 4,5,6 ve 8. Bölümlerde mümkün oldukça ele alınmıştır. Halihazırda gelişmekte olan kimi LCP entegre yakıt kısmı tedbirleri özel entegre yakıt hazırlama teknikleridir. İlave olarak, kombine çevrim uygulamalarına yönelik gerekli yakıt gaz temizleme ile birlikte katı ve sıvı yakıtların pirolisis veya gazlaştırılması, katı yakıt ön kurutma gibi verimliliği artıracak tedbirler de buna dahildir.

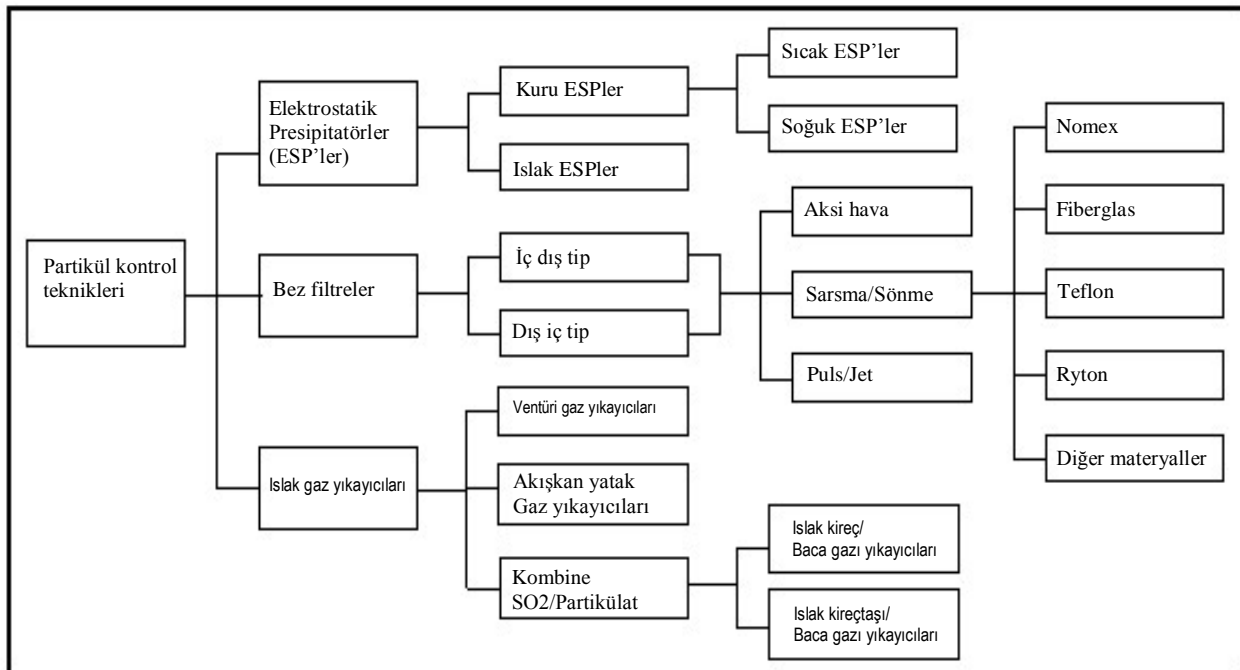
Gazlaştırma veya pirolisis uygulandığında kömür gazı ve petrol koku gibi ara ürünler ayrıca ikincil yakıtlardır ve bu nedenle bu yakıtlar Bölüm 4 ve 6'da gazlı ve katı yakıtlar ile birlikte ele alınacaktır.



### 3.2 Partikül emisyonlarını azaltacak teknikler

Fosil yakıtların yakılması sırasında mineral madde (inorganik katışkıları) küle dönüşür ve baca gazı boyunca uçucu kül olarak buhar kazanını kısmen terk eder. Baca gazında uçucu kül olarak asılı kalan partiküller partikül kontrol cihazına giren birincil partikül maddeyi oluştururlar. Uçucu külün nitelik ve miktarı kullanılan yakıtta örneğin kömürün mineral bileşimine ve yakma türüne bağlıdır. Partikül kontrol cihazının performansı uçucu külün direnç ve kaynaşmasında meydana gelen değişikliklerden etkilenir ki bu direnç ve kaynaşma yakıt olarak kömürün mineralojisi ile uçucu küldeki yanmamış karbon içeriği miktarına bağlıdır. Yakma tipi uçucu küldeki partikül büyüklüğü dağılımını etkiler ve bu nedenle partikül emisyonlarını da etkiler. İnce partikül madde de nispeten daha kaba partiküllerden daha yüksek ağır metal elementi yoğunlaşmaları ihtiva edebilir. Bunun nedeni ince partiküllerin civa gibi iz elementlerin (ağır metaller) üzerinde yoğunlaşabileceği daha büyük toplam yüzey alanına sahip olmasıdır.

Elektrostatik presipitatörler (ESP), bez filtreler ve ıslak gaz temizleyiciler gibi farklı teknolojiler baca gazından partikül madde temizlemede yaygın olarak kullanılır. Siklon ve SO<sub>3</sub> enjeksiyonları gibi mekanik toz tutucular tek başına kullanılamayacağından, bu teknikler bu belgede ele alınmamış veya açıklanmamıştır. Şekil 3.1'de halihazırda kullanılan partikül madde kontrol cihazlarının genel görünümü sunulmaktadır.

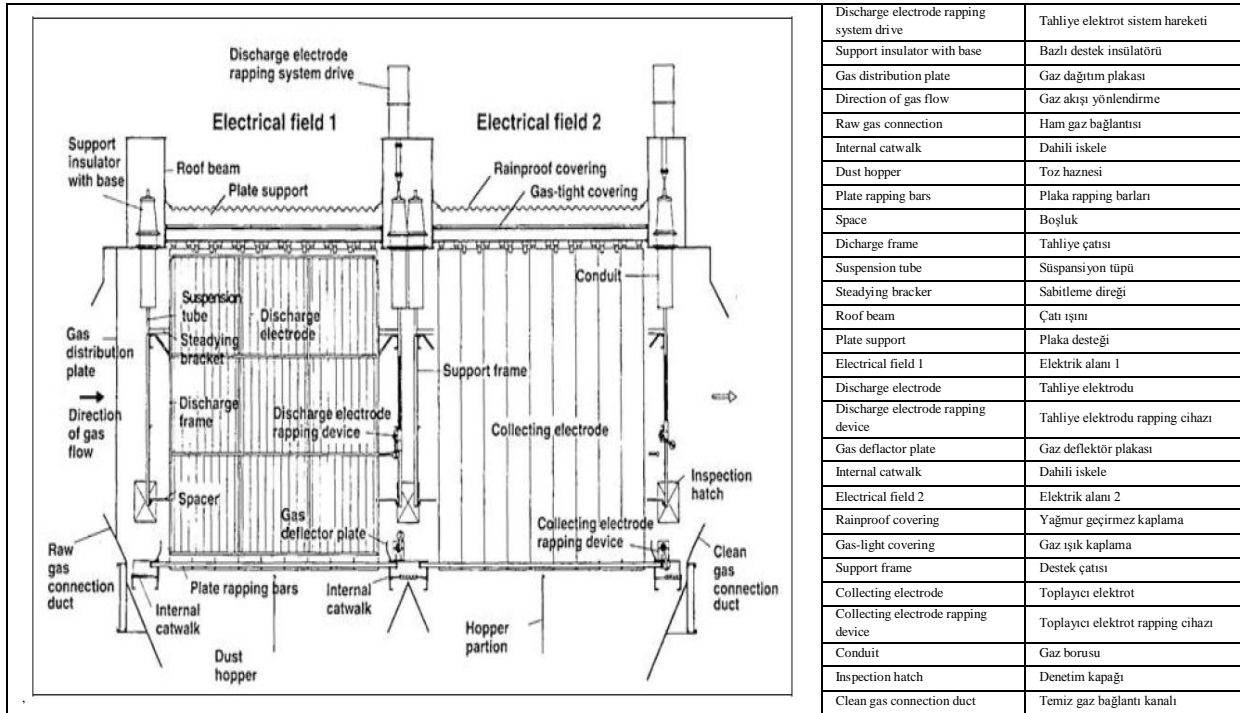


Şekil 3.1: Halihazırda kullanılan partikül madde kontrol cihazlarının genel görünümü

Sabit /katı elektrotlu ESPlar günümüz itibariyle kullanılan en önemli teknolojidir. Soğuk kısım ESPlar hava ön ısıtıcısının arkasına yerleştirilir ve 80 – 220 °C sıcaklık ranjının üzerinde çalıştırılır. Sıcak kısım ESPlar çalışma sıcaklığı ranji 300 – 450 °C olarak hava ön ısıtıcısının önüne yerleştirilir. Ancak genellikle 120 - 220 °C sıcaklık ranjının üzerinde çalışan bez filtreler de geçtiğimiz on yılda gittikçe daha fazla önemli hale gelmiştir. Bez filtrelerin ömrüne ilişkin olarak kömürle çalışan bir elektrik tesisinden sonra uygulanan FF için 5000 – 18000 saat arasında ömür biçilmiştir. ESP için ise 50000 saatten sonra yayma elektrotlarında küçük çatlaklar meydana gelebilir. ESP veya bez filtreleme uygulama arasında yapılacak seçim genellikle yakıt tipi, tesis büyüklüğü, buhar kazanı tipi ve konfigürasyona bağlıdır. Her iki teknoloji de daha sonra baca gazı havalandırması ile geliştirilebilecek partikül madde ihracına yönelik son derece etkili cihazlardır. Kül ihracına yönelik olarak bez filtre tekniği sadece Güney Afrika, ABD, Avustralya ve Polonya'daki bazı tesislerde uygulanır. ESP artı FF de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve civayı azaltmak için uygulanabilir. Spesifik kömürlere yönelik olarak SO<sub>3</sub> enkesiyonu ve bununla birlikte ESP partikül emisyonlarını azaltmak için kullanılabilir. Örneğin toz kontrolü gibi ıslak yıkayıcılar ESP ve bez filtrelerden daha az ve en çok Birleşik Devletler'de kullanılır. Enerji tüketimleri yüksek olabilir ve bununla birlikte genellikle ESP ve bez filtreler ile karşılaştırıldığında daha az partikül ihraç verimliliğine sahiptirler. Toz emisyonlarında ilave bir ihraç etkisi olan kükürt gidermeye yönelik olarak kullanılan ıslak yıkayıcılar için durum böyle değildir.

### 3.2.1 Elektrostatik presipitörler (ESPler)

Elektrostatik presipitör (ESP) büyük yakma tesislerinde geniş çapta kullanılır ve çok çeşitli sıcaklık, basınç ve toz yükü koşullarında çalışabilme kapasitesine sahiptir. Sadece partikül büyüklüğüne özel olarak duyarlı değildir ve hem ıslak hem de kuru koşullarda toz toplar. Korozyon ve aşınma dayanıklılığı tasarıma eklenmiştir [27, Theodore and Buonicore, 1992], [28, Soud, 1993], [29, Soud, 1995], [30, VDI, 1998], [33, Ciemat, 2000]. Tipik ESP düzeni Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: ESP'nin tipik şematik düzeni

**Not:** Sadece iki alan gösterilmiştir ancak LCP'lerde, yakıt özelliklerine bağlı olarak ESP'ler genellikle üç ile beş arasında alana uygulanır [36, Lurgi, 1999]

Bir elektrostatik presipitör (ESP) arasından baca gazının aktığı geçitleri oluşturan plaka sıralarını kapsayan huni tabanlı bir kutudan ibarettir. Her bir geçitin merkez kısmına yerleştirilmiş yüksek gerilim doğru akım ile çalışan elektrotlar bulunur ve bu elektrotlar bir transformatör/redresör (T/R) seti ile sağlanır. Elektrik sahası yüksek gerilimde (100 kV) küçük bir doğru akım ile elektrot çevrelerine uygulanır. Uygulanan gerilim elektrotlara yakın olan gaz moleküllerini iyonlaştırmaya yetecek kadar yüksektir ve bu 'visible corona' ile sonuçlanır. Topraklanan toplama plakalarına gaz geçidi çevresinde yayılan elektrotlardan gelen gaz iyon akışı corona akımı adı verilen akımı oluşturur.

Baca gazından geçerken yüklü iyonlar gazda asılı kalan uçucu kül partikülleri ile çarpışırlar ve kendilerini bu küllere tuttururlar. Elektrik sahası yüklü partikülleri bir katmanda toplandıkları topraklı plakalara doğru gaz akışının dışına iter. Plakalar belirli aralıklar ile katmanı toplu bir kütle halinde kül hunilerine yollamak üzere bir rapping sistemi tarafından temizlenir. Uygulamada ESP bir dizi ayrı zonlara ayrılır (beş zona kadar kullanım yaygındır). Çoğu durumda ESP hava ısıtıcısının veya ekonomizerin arkasına yerleştirilir ve buna cold-side kurulum denir. Özel durumlarda ise daha yüksek sıcaklıktan faydalanmak amacıyla hava ısıtıcısının önüne yerleştirilir. Bu durumda hot-side kurulum adını alır.

Partiküller gaz akışından dört aşamada temizlenir:

- Toza elektrik yükü uygulanması yoluyla
- Elektrik sahasına yüklü toz yerleştirilmesi yoluyla
- Tozun toplayıcı elektrot üzerinde tutulması (toplama) yoluyla
- Tozun elektrot yüzeyinden temizlenmesi yoluyla.

ESP'nin performansı, verimliliği toplayıcı elektrodun toplam yüzey alanı, gazların hacimsel akış hızı ve partiküllerin hareket hızı ile ilişkilendiren, Deutsch Formülü'nü izler. Bu nedenle, ilgili bir toza yönelik olarak, toplayıcı elektrotların yüzey alanını en yüksek seviyeye çıkartmak çok önemlidir, böylece mevcut uygulama geniş elektrot aralıklama kullanmak olacaktır. Bu uygulama sırasıyla iyi redresör tasarımı ve kontrolüne dayanır.

Sanayi ESP alanının her bir kısmı ve alanı için farklı redresör bölümünün kullanımını içeren iyi redresör tasarımları kullanır. Bu ise uygulanan voltajın çıkışa doğru toz yükleniminin azaltılmasını karşılamak üzere giriş ve çıkış alanlarında çeşitlenmesine olanak sağlar ve kıvılcım saçmadan sürekli yüksek voltajda alanları yönetme yeteneği verir. İyi bir tasarım ayrıca otomatik kontrol sistemlerinin kullanımıyla da geliştirilebilir. Bunlar belirli bir alanda kıvılcım saçmadan elektrotlara uygulanan en uygun yüksek voltajı (YV) temin eder. Otomatik izleme kıvılcım saçmadan maksimum voltajı uygulamak için kullanılır ve sürekli olarak YV'i çeşitlendirir. Sabit YV güç kaynaklarının optimal toplama verimliliğini sağlayabilmeleri olası değildir.

Tozun özdirenci (iletkenliğin tersi) özellikle önemlidir. Eğer çok düşükse, elektrot toplayıcısına ulaşan partiküller şarjını kolaylıkla kaybeder ve toz geri sürüklenebilir. Toz çok fazla bir özdirence sahip olduğunda ise normal koronanın deşarj olmasını engelleyen elektrot üzerinde bir yalıtımsal tabaka oluşabilir ve toplama verimliliğinde bir azalmaya neden olabilir (ters korona etkisi).

Partikül boyutu dağılımı partikül hareket hızını etkiler. 1Vm'den büyük partiküller için; hareket hızı ,1Vm'den küçük partiküller için partikül ebatından bağımsız bir hal alarak, partikül çapıyla ters orantılı olur. Buna ek olarak, ince partiküllerin fazla yüklenmesi ESP'deki elektriksel durumlarda önemli bir değişikliğe neden olabilir. ESP içinde, baca gazı içindeki partiküller madde iyonik şarj boşluğu bulutunda şarj edilebilir. Şarj boşluğunun yapısı partikül ebatının dağılımı ve baca gazının yüklenmesiyle değişebilir. Partikülat şarj boşluğu ESP'ye giren baca gazının her hacim biriminde partiküllerin sayısı artar. İnce partiküllerde bir artış ve buna bağlı olarak daha fazla baca gazı yüklenimindeki yüksek partikül hareketi hızı şarj boşluğunda bir artışla sonuçlanabilir, ve bunun ardından bir kısa devreye yol açabilir. Giriş bölgesindeki korona akımı arttırılmış şarj boşluğuyla bastırılabilir. Daha yüksek bir şarj boşluğu ise korona akımının ESP boyunca bastırılmasıyla sonuçlanabilir.

Baca gazı akım dağılımı elektrostatik presipitatörlerin genel performansını etkiler. Tekbiçimli bir baca gazı hızı dağılımı, birimin maksimum toplama verimliliğini artırır ettiğinden bütün kesit boyunca caziptir. Bir presipitatörden en iyi performansı elde etmek için; birimler boyunca gaz akışı, elektriksel alana gaz geçişini önleyecek şekilde tekbiçimli bir akım vermek üzere en uygun seviyeye getirilir. Giriş kanallarının doğru tasarımı ile akım dağılım aletlerinin giriş ağızlığı içinde kullanımı presipitatör girişinde tek biçimli bir akım sağlanmasına yardımcı olur.

Uçucu kül (toz hamuru) tabakasını toplama elektrodundan siloların içine itmekte kullanılan rapping de ayrıca geri sürüklenmeye yol açabilir. Partiküller uçucu kül tabakasından ayrılır ve baca gazına yeniden sürüklenir. Geri sürüklenme performansı önemli ölçüde azaltır. Aslında, ESP performansı büyük ölçüde birim ebatına bağlıdır. Verimlilikte herhangi bir artış yüksek maliyetler doğurur. İnce partiküllerin azaltılmış emisyonuna yönelik yasal talepler bu teknolojinin verimini arttırmayı hedefleyen çeşitli araştırma projelerine yol açmıştır.

Baca gazındaki orta şiddetli sülfür içeriği partiküllerin özdirencini düşürür ve daha ince bir partikül azaltımı sağlar. Buna rağmen, presipitatördeki düzensiz gaz dağılımı orada aletin içerisinde daha soğuk parçaların olmasına neden olur. Ayrıca yakıtın içindeki sülfür içeriği ne kadar fazla olursa daha yüksek bir çiyleşme noktası da mümkün olur. Eğer bu iki durumun, yani düzensiz ısı dağılımı ve daha yüksek ö sülfürik asit çiyleşme noktasının eş zamanlı meydana gelmesi halinde, daha yüksek bir maddi zarar riski oluşabilir ve böylece aletin bozulma riski de artar.

Uçucu gazlar partikülleri kapladığı ve bunların etkili presipitatörünü engellediği için uçucu gazlar oluşturan yakıtlar yanarken de problemler ortaya çıkabilir. Bu düşük kalorili yakıtlarla ve buhar kazanı işlemi sabit olmadığında olasıdır.

Elektrostatik presipitatörün maliyeti elektrik tüketimine, bakım masraflarına (ağırlıklı olarak buhar kazanı işlemi ve yakıt özellikleri) çöktürülmüş küllerin nakledilmesine bağlı maliyetleri içermektedir, fakat genellikle bunlar partikül emisyonunu azaltmak için uygun maliyetli aletlerdir.

Başlangıç yatırım maliyeti kullanılan yakıtla bağlı olarak bez filtre gibi mevcut diğer tekniklerden daha fazla ya da daha düşük olabilir. Buna rağmen, işletim maliyetleri diğer tekniklere karşılık olarak daha az olabilir, ve modern kontrol sistemlerinin kullanımı bu masrafları daha da azaltmaktadır. İşletim maliyetleri uçucu küllerin değişik özelliklerine bağlı olarak geniş bir şekilde çeşitlenmektedir. Bakım maliyetleri sıradan uçucu küller işleminden geçirildiğinde gayet makuldür. Bu aletler geniş bir güç donanımına ve buhar kazanı işlemi çeşitliliğine sahip olan güçlü fabrikalarda rekabetçi yapıdadır.

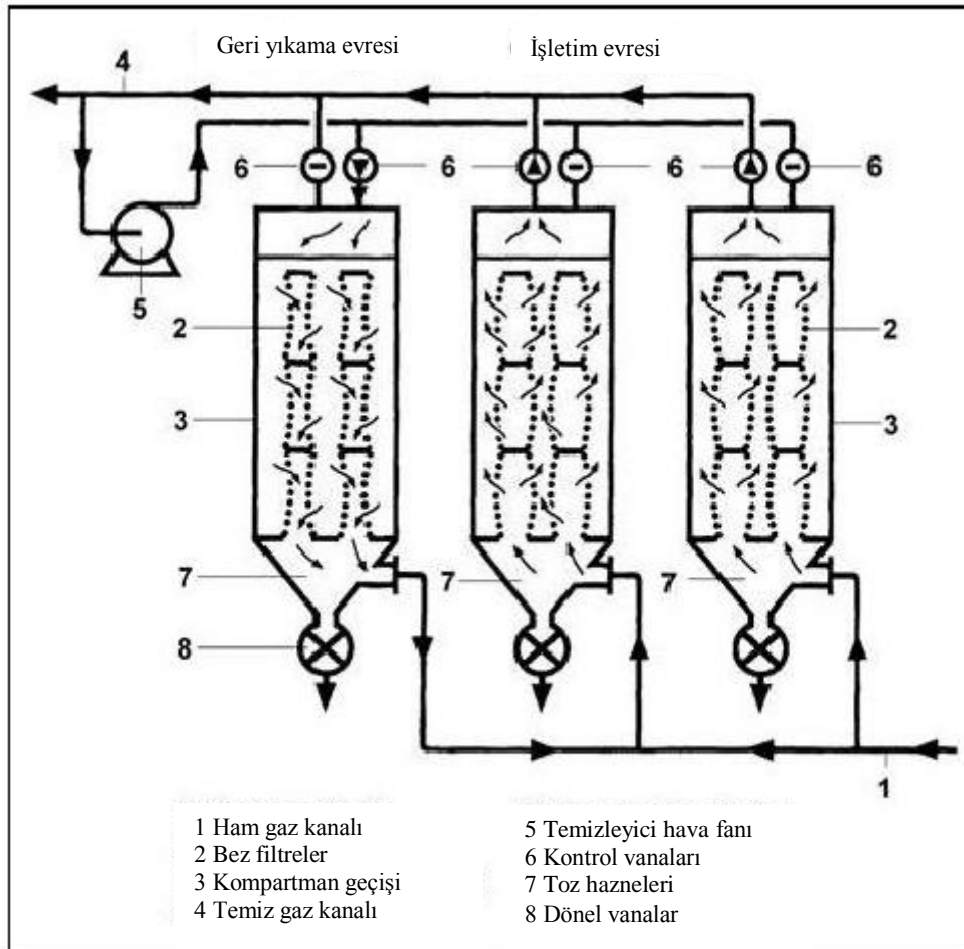
### 3.2.2 Sulu Elektrostatik Presipitatörler (Çöktürücüler)

Sulu elektrostatik presipitatörler ESP'ler ile aynı ilkelerle çalışmaktadır. Bu durumda, toplanan toz toplama plakalarından uygun bir sıvıyla, ki bu genellikle sudur, aralıklı olarak ya da sürekli sprey sulamasıyla akıtılarak atılmaktadır. Bunlar sıradan plakalara yapışan bazı tozlar için ya da gaz akışı içindeki diğer bileşikler işlemi engellediğinde, örneğin; serin, nemli gaz durumunda, avantajlı olabilir. Sıvı atık su üretilir ki bu daha sonra başka işlemler gerektirir. Sulu ESP sadece ağır fuel-oil kullanan yeni LCPlerde uygulanmaktadır ve aerosol testleri için kullanılan aletler olarak test edilmektedir.

### 3.2.3 Bez filtreler (ek odacıklar)

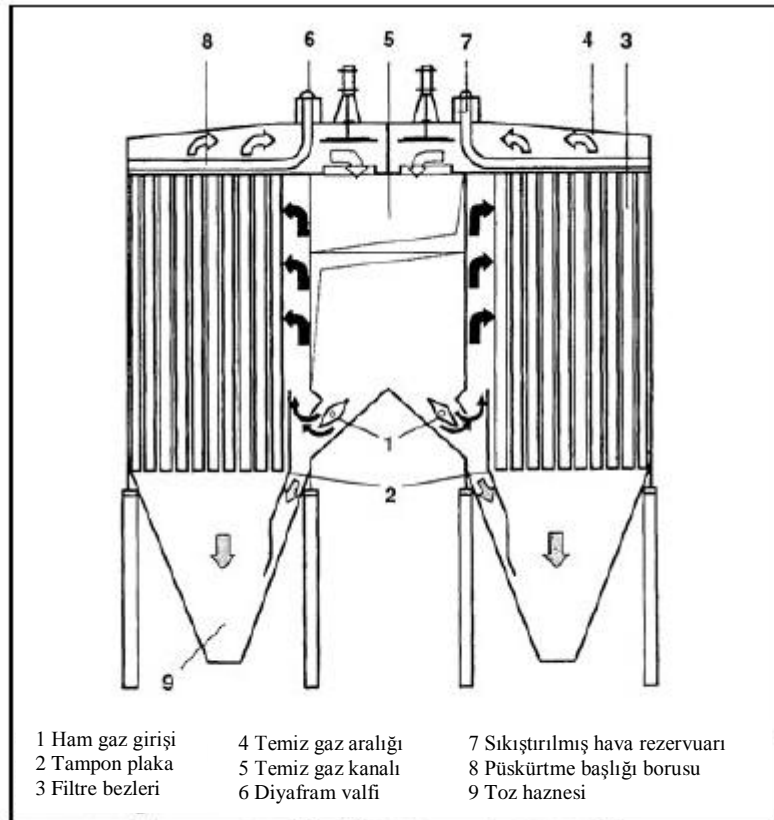
Bez filtreleme endüstriyel ve daha küçük fabrikaların baca gazından çıkan partikülleri (özellikle uçucu külleri) yok etmek için dünya çapında yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte, yeni bir eğilim ise bu teknolojinin daha büyük çaplı fabrikalarda da geniş bir şekilde kullanımınıdır. Uçucu külleri toplamanın yanı sıra, bez filtrelerin sulu ya da toz haline getirilmiş sülfür dioksit absorbanın (kireç ve sodyum bikarbonat gibi) kuru gaz yıkama enjeksiyonuyla birlikte sülfürdioksit ve uçucu kül emisyonunu aynı zamanda kontrol etmek amacıyla kullanılmakta olduğu bir çok uygulama vardır.

Bir bez filtre birimi bir dizi bez filtre paketi ya da tüpü içeren bir ya da daha çok yalıtılmış bölmelerden oluşur. Partikül yüklü gazlar (genellikle) paketlerin yüzeyi boyunca yukarı çıkar ve ışınal bir şekilde bezin içinden geçer. Yeni temizlenmiş gaz buharı atmosfere bırakılırken, partiküller paketin akış yüzeyinde kalır. Filtre devirli olarak ve buna bağlı olarak uzun filtreleme ve kısa temizleme prosesi arasında değişerek işler. Temizleme boyunca, paketlerde biriken toz bez yüzeyinden atılır ve daha sonra imha edilmek üzere silolarda saklanır. Bez filtreleri diğer gaz filtrelerinden ayıran temel işlem özelliği temizleme sırasında filtre yüzeyini belirli aralıklarla kontrol etme imkanına sahip olmasıdır.



Şekil 3.3: Bir bez filtrenin genel düzeni (temizleme döngüsünde bir kompartman ile) [36, Lurgi, 1999]

Tozun bezlerden düzenli temizlenmesi etkili çıkarma verimliliğini sürdürmek adına önemlidir, fakat bu ayrıca bezin işlem ömrünü de etkilemektedir. Bez filtreler genelde filtre aletlerinin temizlendiği yöntemlere göre sınıflandırılır. En yaygın temizleme yöntemleri 'tersine hava akışını, mekanik silkeleme/havasını boşaltma, titreşim ve sıkıştırılmış hava basınçlaması'ni içerir. Akustik borular da paketleri temizlemede kullanılır. Normal temizleme mekanizmaları bezde bozulmamış duruma dönme olayı yaratmaz ve bezin derinliklerinde nüfuz etmiş partiküller, lifler arasındaki gözeneklerin boyutunun azalmasına yardımcı olur. Bu ise alt-mikron partiküllerle yüksek verimlilik sonucu verir.



**Şekil 3.4: Düşük basınçlı püskürtme bez filtresi [36, Lurgi, 1999]**

Bez seçiminde gazların bileşimi, tozun doğal ve partikül boyutu, uygulanacak temizleme metodu, gerekli yeterlilik ve ekonomi de hesaba katılır. Gazın derecesi de gazın soğutulma metodu hatta mümkünse sonuç olarak ortaya çıkan su buharı ve asit nem noktası ile birlikte dikkate alınmalıdır.

Filtre paketlerinin takılması, performansta aşamalı fakat ölçülebilir bir azalma ile sonuçlanır. Aşındırıcı bir materyal filtrelendiğinde ya da yangın tehlikesi durumunda bir aşınma gerçekleşirse birçok paketin felakete neden olan arızası ya da zarar görme riski de olabilir. Basınç düşürme sinyallerini ya da tozları gösteren aletler gibi çevrim içi basit izleme sistemleri sadece yaklaşık göstergelerini verebilir.

Triboelektrik ya da optik aletler, olası bir arızayı tanımak için bez filtreden toz emisyonunu ölçmek amacıyla kullanılır. Ayrıca temizleme döngüsü sırasında toz parçalarını ortaya çıkarmak için de kullanılır. Bu tedbirler temizleme sisteminin bölgesiyle uyum sağladığında, zarar görmüş filtre paketi içeren her bölge tanınacak ve böylelikle yerel tamirleri de yapılabilecektir.[37, Robson, 1998].

Gore-Tex® ve Tefaire® (teflon/fiberglas) gibi sentetik filtre kumaşları, bez filtrelerin daha geniş çapta uygulamalarda kullanılabilmesine ve filtrenin ömrünün uzun olmasına olanak sağlamıştır. Modern filtre materyallerinin performansı, yüksek derecede ve aşındırıcı şartlar altında dahi gelişmesini sürdürmüştür. Kumaş imalatçıları, özel amaçlı uygulamalara en çok uygun olan materyalleri önerebilir.

Gaz ve silkeleme/hava boşaltma sistemlerinin aksine, havayı kumaş oranına yükseltmek ve basıncın düşmesini azaltmak amacıyla yeni metodlar geliştirilmiştir. Baca gazının giriş ve açığa çıkma modifikasyonları, baca gazının açığa çıktığı yolda tıkanmaları azaltmak için üst kısmı temizleyerek uçucu kül partiküllerini bez filtrenin alt kısmında bırakmayı hedefler.

Bazı ülkelerde basınçlı püskürtme teknolojisi, endüstriyel ve kamu amaçlı buhar kazanlarına yönelik birincil partikül kontrol cihazı olarak tercih edilen bez filtre sistemi olmaya başladı. Sistemin anlaşılmasını ve böylelikle de performansını geliştirmek üzere araştırmalar devam etmektedir.

Piyasada çok çeşitli filtre materyalleri olduğundan, kullanıcı kendi ihtiyacına göre en uygun olanı seçebilecektir. Filtre materyali, proses parametrelerinin değişmeye uğraması halinde çıkabilecek problemlerden kaçınmak için itina ile seçilmelidir.

Bazı yakıtlar, prosesin çalışmasını komplike hale getirebilecek tıkanmalara sebep olabilir. Tıkanma problemleri örneğin programı başlatma sırasında benzinin yakılmasıyla ortaya çıkabilir. Filtre materyali genellikle kül ve baca gazlarının derecelerine oldukça duyarlıdır. Bu yüzden yanmamış karbon sıcak uçucu kül yığınları filtre materyaline zarar verebilir.

Ayrıca, bez materyalde çatlaklar da oluşabilir. Bunları işlem sırasında belirlemek zordur. Bu çatlaklar partiküllerin emisyonunu arttırlar. Bez filtre modüler bir tasarım ise ve birimler ayrılmışsa; bakım, proses durdurulmadan devam ettirilebilir.

Bakım masrafları çok yüksektir, çünkü filtre materyali 2 ile 5 yıl arasında değiştirilmelidir. Filtre değişiminin minimum masrafı yatırım maliyetinin yaklaşık %10'una eşittir. Çökeltilmiş materyalin geri dönüşümü kolaydır ve örneğin tepkimeye girmemiş bir sorbent tekrar işleme sokulabilir ve ekonomik değeri sağlanabilir.

### 3.2.4 Merkezkaç presipitasyonu (siklonlar)

Bu türde bir toz kontrol sistemi yerçekimsel kuvvetlerden yararlanır ve kuru koşullarda tüm baca gazlarını işlemde geçirebilir. Ancak, performans özellikleri onu küçük ya da orta boydaki donanımlarda ve toz kontrolünde diğer aletlerle sadece ön toplama tekniği olarak kullanılmak üzere kısıtlandırmıştır.

Bir mekanik ayırıcı bir ya da birkaç ek odacıkta bir araya gelen bir dizi siklondan meydana gelir (örneğin; 130 °C'de 700000 m<sup>3</sup>/h baca gazını işlemek için yaklaşık 240mm tek çaplı 31x24.). Arındırılacak gazlar, uygun olarak tasarlanmış çemberler yoluyla siklonlar arasında paylaşılır. Merkezkaç kuvvetine maruz kalan toz siklonun dış sınır çizgisinde yığılır ve aletin en alt tabakasına, atıkların depolandığı yere sürüklenir. Her bir siklonda, arınmış hava merkezi bir kanal aracılığıyla dışarıya verilir, çıkış çemberinde toplanır ve taşıma kanallarına akar.

Mekanik ayırıcılar ince tozları tutmaz. Çünkü kapasiteleri normal şartlarda %85 – 90 ile sınırlıdır. Mekanik ızgaralarda parça kömürü yakan buhar kazanları ile, siklon teknolojisi hala kullanılmaktadır. Çünkü uçucu kül miktarı oldukça azdır (kömür külünün %20'si pülverize edilmiş yakıtın %80'ine denktir.). 5 – 10 mikron boyutunda toz %100 oranında tutulabilir. Daha küçük boyutlarda tutulma sağlanmaz, 1 mikrona kadar fakat azaltılmış tutum kapasitesi ile sağlanabilir. Siklon 'aşağı üfleme' teknolojisi, özellikle bir çok küçük siklon hücrelerinin paralel olarak çalıştırıldığı LCP'lere hizmet veren siklonlarının yüksek kapasiteye ulaşmalarına destek olur.

Mekanik ayırıcılar, tüm toz ayırma aletleri arasında en küçük yatırımı gerektiren ayırıcılardır. Bu teknik uçucu kül kontrol ölçümü olarak tek başına kullanılamayacağından, yapılacak yatırımın hesaplanmasında kombine bir kontrol tekniği dikkate alınmak zorundadır. İşletim maliyetleri toplanan külün hidrolik ve pnömatik ihracı için gerekli olan enerji ile ekipmanın baca gazı basınç kaybını telafi edecek enerjiyi de içine alır. Bakım masrafları tüm bileşenlerin dayanıklılıkları dikkate alındığında düşüktür. Makinelerin ömrü yüksek aşınım riskine bağlı olarak değişir. [58, Eurelectric, 2001].

### 3.2.5 Islak gaz yıkayıcı

Partikül emisyondan kontrolünde kullanılan ıslak gaz yıkayıcıları son birkaç on yıldan beri kullanılmaktadır. Islak gaz yıkayıcılarının düşük masrafları özellikle ESP ve ek odacıklarınki ile karşılaştırıldığında, endüstriyel ölçüde kullanımında nispeten yüksek basınç düşüşü ve çalıştırma masrafları ile ayrılmalarına rağmen onları endüstriyel ölçüde kullanımda daha cazip hale getirmektedir. Islak gaz yıkama sırasında baca gazı soğutulur ve atmosferde emisyondan önce tekrar ısıtılmayı gerektirir; bu da yüksek enerji sarfıyatı gerektirir. Kısmen böyle çalıştırma masrafları dolayısıyla, partikül emisyondan kontrolünde ıslak gaz yıkayıcılarının kullanımı son 10 yılda azalmıştır. Ancak, ıslak gaz yıkayıcıları bazı yüksek derecelerde, entegre gazlaştırma döngüsü (IGCC) ve basınca maruz kalmış ve basınçlı akışkan yatak yakma (PFBC) gibi yanma uygulamaları kullanılmıştır. Burada, görülen basınç düşüşü çalıştırma basıncına oranla daha az önemlidir ve IGCC’ de tekrar ısıtma problemi; gaz, akabinde yanma ile ısıldığından dolayı başarıyla uygulanmıştır.

Kömürle çalışan kalorifer ocaklarından (endüstriyel ve kamu amaçlı) uçucu kül elde etmekte kullanılan ıslak gaz yıkayıcılarının çoğu Amerika’da kurulur. Bu birimlerin en yoğun olduğu yerler, mevcut düşük kükürt içerikli kömürün ESP’leri ekonomik anlamda daha az cazip hale getirecek kadar yüksek dayanımlı olduğu Batı Amerika’dadır. Bu yıkayıcıların çoğu birleşmiş partikül çıkarımı ve sülfürdioksit emisyondan kontrolü için tasarlanmıştır ve alkali uçucu külden sorbent olarak yararlanır. SO<sub>2</sub>’nin çıkarım kapasitesini arttırmak amacıyla sık sık kireç eklenir.

Islak gaz yıkayıcıları baca gazı partikülünü toplamak için sıvıdan yararlanan partikül kontrol aletlerinden oluşmaktadır. En yaygın olanları venturi ve hareketli yatak yıkayıcılarıdır.

**Venturi yıkayıcı** muhtemelen en yaygın olan partikül yıkayıcıdır. Venturi yıkayıcılarında, yıkama sıvısı aşağıdaki Şekil 3.5’de gösterildiği gibi tekiçemsel olarak venturinin doruk noktasına yönelerek verilir. Toz yüklü baca gazı ve yıkama sıvısı, baca gazının hızı yoluyla yıkama sıvısının atom haline geldiği venturi borusuna girer

Flue-gas inlet: baca gazı girişi

Blowdown liquid: Püskürtme sıvısı

Venturi: Ventüri

Recirculated liquid: Yeniden sirkülasyona giren sıvı

Recirculation pump: Resirkülasyon pompası

Mist eliminator: Buğu temizleyici

Cyclone separator: Siklon seperatörü

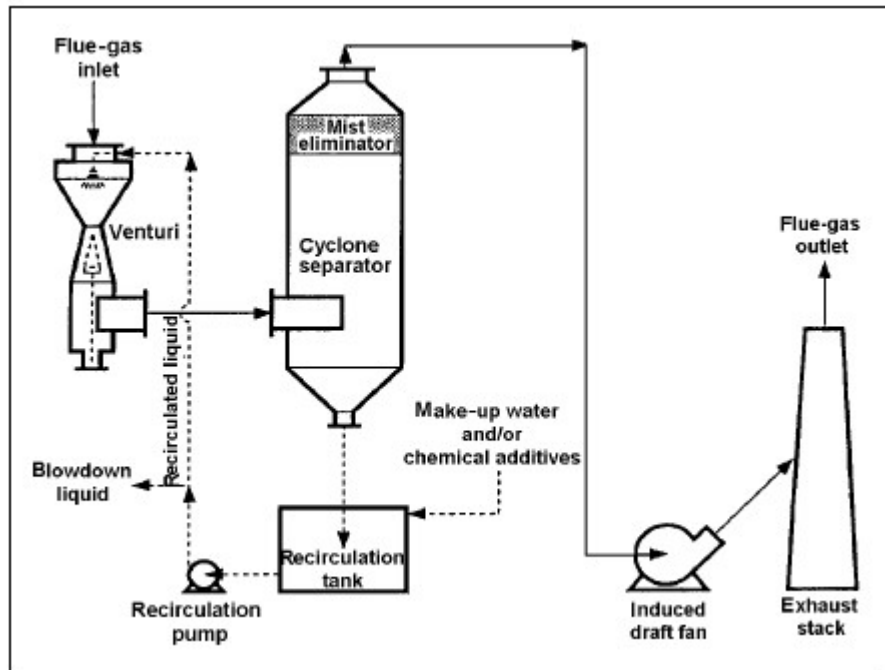
Recirculation tank: Resirkülasyon tankı

Make-up water chemical additives: İlave su kimyasal katkı maddeleri

Flue-gas outlet: baca gazı çıkışı

Induced draft fan: İndüklü çekim fanı

Exhaust stack: Egzoz bacası



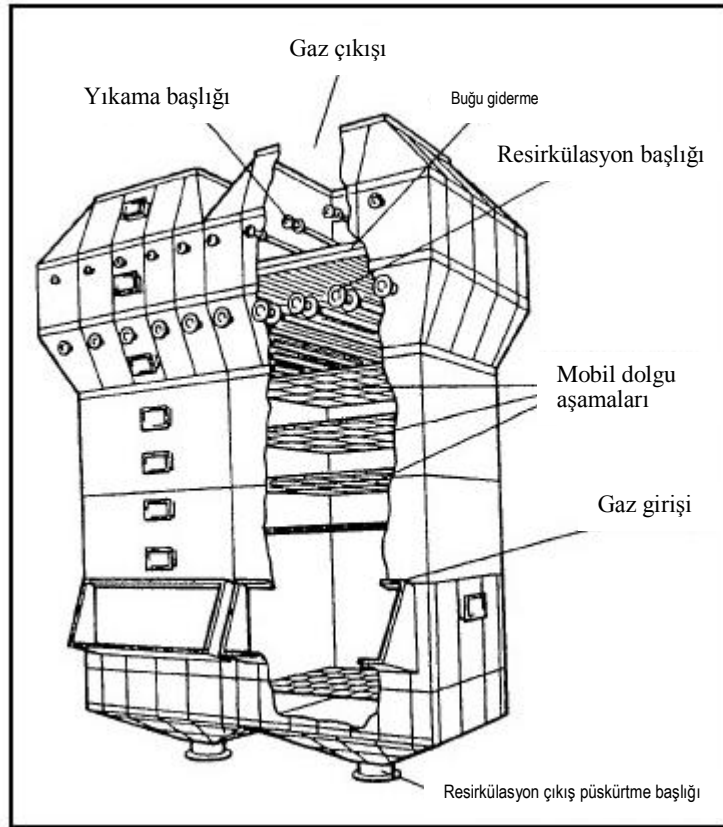
**Şekil 3.5: Venturi sisteminin tipik akış şeması**  
[33, Ciemat, 2000]



Bu yolla baca gazının ıslatılması küçük partiküllerin ayırıcının içinde kolayca yakalanıp daha büyük, daha ağır zerrelere olarak toplanmasına yol açar. Bu, hareketsiz yöntemlerle ince partikülleri ayırma işleminde tecrüb edilen zorlukları da ortadan kaldırır. Zerreler kendi periyodik hızlarına doğru hızlandıklarında, ele geçirilen partiküllerin zerrelere tutulu kalmasını sağlamak için, partiküller ve zerrelere arasında yüksek bir başlangıç bağlantısı gereklidir. Yıkanan gaz ve ele geçirilmiş olan partiküllerden oluşan sürüklenmiş zerrelere, daha ilerde çarpışmanın ve aglomerasyonun meydana geldiği ayırıcı bölüme girerler.

Basınç düşüşü ve venturi performansı, büyük ölçüde venturiden geçen gazın hızına bağlıdır. İndirgenmiş buhar kazanı yüklerinde verimli işlem elde edebilmek için, sabit bir basınç düşüşüne kapalı olarak işleyen, baca gazı akış hızından (buhar kazanı yükü) bağımsız olan çeşitli dar geçitli bazı venturiler tasarlanır. Venturi, sürüklenen zerrelere ayrıştırılması için bir ayırıcı bölüm tarafından takip edilir.

**Hareketli yatak gaz yıkayıcılarda** partikül toplanması, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, paketleme yatak yuvası arasında hareket etmesi serbest olan düşük yoğunluklu plastik kürelerle paketlenir. Partikül toplama, seride birkaç hareketli yatak evresi kullanılarak arttırılabilir. Hareketli yatak gaz yıkayıcıları genellikle mevcut akış sayaçlarını çalıştırır. Paketleme, baca gazı ve sıvı gaz yıkama tarafından sabit bir hareketle tutulu. Yani paketlemenin devam eden hareketi, yatağın takılması için herhangi bir eğilimi hatırı sayılır ölçüde azaltır.



**Şekil 3.6: Hareketli yatak yıkayıcı**  
[33, Ciemat, 2000]

Ölçülü toz yüklemesi gerçekleştirilirken ayırma verimi iyidir. Bununla beraber bu teknik, yüksek kül içerikli yakıtlar için pek uygun değildir.

Eğer dumanı ortadan kaldıran aletler düzgün bir şekilde çalışmazlarsa, uçucu küllerin de dahil olduğu küçük su partiküllerinin gaz yıkamadan sonra bile baca gazında kalma ihtimali vardır. Büyük toz yükleri tıkanmaya sebep olabilir ve işlemsel kullanılabilirlik ile gaz yıkama ünitesinin verimliliğini etkileyebilir.

Yatırım maliyetleri yüksektir ve bunlar arasında reaktör, olası bir sorbent enjekte sistemi ve atık su işlem tesisi sayılabilir. Su tüketimi ve enerji bedelleri ile alakalı işletme masrafları da ayrıca önemlidir.

Yoğuşma yıkayıcıları baca gazını soğutur ve emilen ısı örneğin bölge ısıtması için kullanılabilir.

## 3.2.6 Partiküler madde kontrol cihazlarının genel performansı

Teknoloji	İhraç verimliliği %				Diğer performans parametreleri		Düşünceler
	< 1 µm	2 µm	5 µm	> 10 µm	Parametre	Değer	
Elektronik presipitator (ESP)	>96.5	>98.3	>99.95	>99.95	İşletim sıcaklığı	80 – 220 °C (soğuk ESP) 300 – 450 °C (sıcak ESP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESP, küçük partiküller için dahi çok yüksek verimliliğe sahiptir</li> <li>• Alçak basınç düşüşleri ile çok büyük gaz hacimlerini idare edebilir</li> <li>• Çok yüksek ihraç oranlarında düşük işletim maliyetleri</li> <li>• Herhangi bir pozitif basınç durumunda çalışabilir</li> <li>• ESP tesis edildiğinde işletim koşullarını değiştirecek kadar esnek değildir</li> <li>• Yüksek elektrik dirençli partiküllerde çalışmayabilir</li> </ul>
					Elektrik kapasitesi %'si olarak enerji tüketimi	% 0.1 – 1.8	
					Basınç düşüşü	1.5 – 3 (10 <sup>2</sup> Pa)	
					Tortu	Uçucu kül	
					Atık gaz akış hızı	> 200000 m <sup>3</sup> /s	
					Uygulanabilirlik	Katı ve sıvı yakıtlar	
					Pazar payı	% 90	
Bez filtre	>99.6	>99.6	>99.9	>99.5	İşletim sıcaklığı	150 °C (polyester) 260 °C (fiberglass)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %10'luk Pazar payı CFB yakma ve SDA uygulamasına dayalıdır</li> <li>• filtreleme ivmeleri uygulama, filtre tipi ve torbaya göre genellikle 0.01 ile 0.04 m/s ranjında değişir</li> <li>• elektrik santrali ek odacıklarında kullanılan tipik değerler ters hava için 0.45 – 0.6 m/dk., karıştırıcı için 0.75 – 0.9 m/dk ve pulse-jet uygulamaları için 0.9 – 1.2 m/dk.'dir</li> <li>• kömür kükürt içeriği ve filtreleme ivmesi arttıkça torba ömrü azalır</li> <li>• tek torbalar yerleşik torbaların yaklaşık %1'lik ortalama yıllık hızında başarısız olur</li> <li>• Seçili bir baca gazı çıkışı için partikül boyu azaldıkça basınç düşüşü artar.</li> </ul>
					Elektrik kapasitesi %'si olarak enerji tüketimi	% 0.2 – 3	
					Basınç düşüşü	5 – 20 (10 <sup>2</sup> Pa)	
					Tortu	Uçucu kül	
					Atık gaz akış hızı	< 1100000 m <sup>3</sup> /s	
					Uygulanabilirlik	Katı ve sıvı yakıtlar	
					Pazar payı	% 10	
Siklon	% 85 – 90. Hapsedilen en küçük toz çapı 5 ile 10 µm arasındadır						<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bu nedenle sınırlı performans sadece toz kontrolüne yönelik diğer teknikler ile birlikte kullanılabilir</li> </ul>
Islak gaz yıkayıcı (yüksek enerji ventüri)	98.5	99.5	99.9	>99.9	İşletim sıcaklığı		<ul style="list-style-type: none"> <li>• İkincil etki olarak ıslak gaz yıkayıcıları gazlı ağır metallerin ihraç ve emilimine katkıda bulunurlar</li> <li>• Arıtım ve daha fazla tahliyeye gereksinim duyan atık su üretilir</li> </ul>
					Elektrik kapasitesi %'si olarak enerji tüketimi	% 3'e kadar (5 – 15 (kWs/1000m <sup>3</sup> ))	
					Sıvı gaz oranı	0.8 – 2.0 l/m <sup>3</sup>	
					Basınç düşüşü	30 – 200 (10 <sup>2</sup> Pa)	
					Tortu	Uçucu kül çamuru	

Tablo 3.2: Partiküler madde temizleme cihazlarının genel performansı [35, ERM, 1996]

### 3.3 Sülfür oksit emisyonlarını azaltma teknikleri

Sülfür oksit, yakıtta bulunan sülfürün oksidasyon yoluyla çoğu fosil yakıtın yanmasından yayılır. Yakma sırasında veya yakma işlemi sonrasında sülfür oksit, başlıca SO<sub>2</sub>'yi baca gazlarından ihraç etmeye yönelik önlemler 1970'lerin başından beri ilk olarak Amerika ve Japonya'da ve daha sonra 1980'lerin başında Avrupa'da kullanılmıştır. Günümüzde, fosil yakıtların yanmasından meydana gelen SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasının birçok farklı yolu vardır.

#### 3.3.1 Sülfür oksit emisyonunu azaltmak için kullanılan başlıca tedbirler

##### 3.3.1.1 Dahili kükürt gidermeye yönelik düşük sülfürlü yakıt veya temel kül bileşenli yakıt kullanımı

Düşük sülfür yakıtına geçiş SO<sub>2</sub> emisyonunu önemli ölçüde indirebilecek bir tedbirdir. Stokların mevcut olduğu durumlarda yakıt değişimi uygulanabilir bir seçenektir. Bu, külün kireç taşı (ya da diğer aktif bileşenler) içeriği nedeniyle yüksek dahili desülfürizasyonlu yakıtları içerebilir. Taş kömürü için, kireç taşının %5'i genel olmasa da tipiktir. Yakıt ve yakma sistemine bağlı olarak linyit ve turba için bu oran % 80 S'ye kadar çıkabilir. Ayrıca, birlikte yakıma yönelik biyomas da katkıda bulunabilir. Buna rağmen, bu tedbir güçlü bir şekilde, yakıt çeşitlerine ve kullanılan araçlara bağlıdır, bu nedenle 4. Bölüm ile 8. Bölüm aralığında ele alınacaktır.

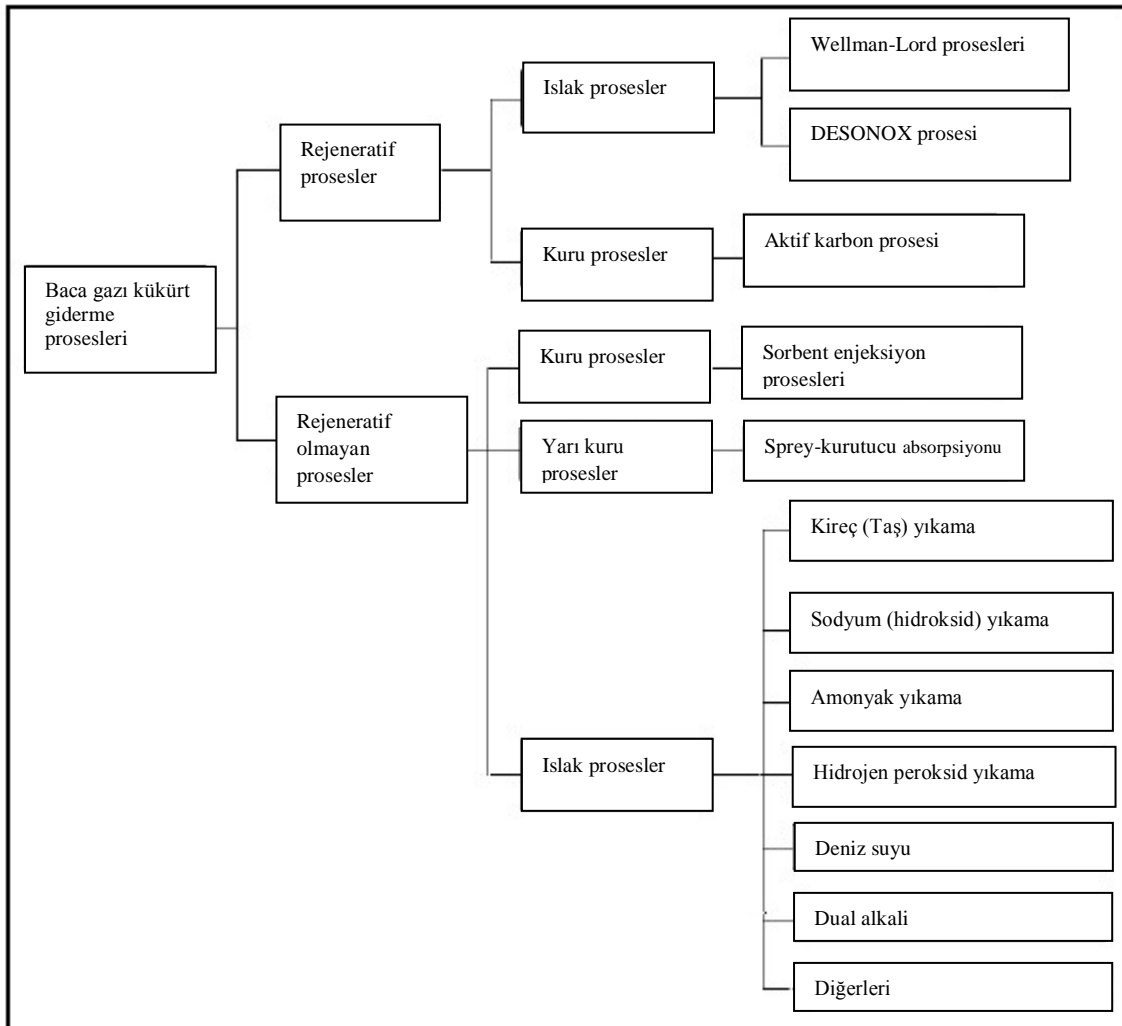
Doğal kükürt giderimi yaygın ikincil tekniklerin uygulanması ile sağlananlarla kıyaslanabilen, çok düşük SO<sub>2</sub> emisyonları şeklinde sonuçlanan yüksek alkalın kül içeriği ve düşük sülfürle biraz düşük kaliteli linyit ve turba yakarak meydana gelen %90'a kadar yüksek SO<sub>2</sub> emisyonunu azaltan bir etken olarak görülebilir.

##### 3.3.1.2 Akışkan yatak yakma sistemlerinde adsorbanların kullanımı

Akışkan yatak yakma sistemlerinde adsorbanların kullanımı entegre kükürt giderme sistemleridir. Bu yanma derecesi 850 °C civarında sınırlanır. Yararlanılan adsorbanlar aynı CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> ya da CaCO<sub>3</sub> gibidir. Tepkime yakıtı dayanan 1.5'ten 7'lik bir sitokiyometrik oranıyla adsorban fazlasına gereksinim duyar. Klor aşınması etkileri nedeniyle, desülfürizasyon oranı %75'le sınırlıdır. Bu teknikten temel olarak kömürle çalışan LCP'lerde yararlanılır ve 4. Bölümde açıklanmaktadır.

### 3.3.2 Sülfüroksit emisyonunu azaltmak için ikincil tedbirler

Yaygın baca gazı kükürt giderme (FGD) teknolojileri Şekil 3.7 de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 3.7: Sülfür oksit emisyonlarını azaltmak için kullanılan teknolojilere (ikincil önlemlere) genel bakış

2000 yılına kadar dünya çapında 27 ülkede kurulu 680 FGD sistemi ve 9 ülkede planlanmış ya da yapım aşamasında olan 140 FGD sistemi vardı. [38, Soud, 2000]. 1996'ya kadar ELECTRIC, VDEW ve VGB tarafından toplanan bilgiye göre, 1999 yılının sonuna kadar ileriki uygulamalara yönelik kestirimlerle birlikte kükürt gidermeye ilişkin genel açıklamalar Tablo 3.3'te sunulmuştur.

Tesis ve teknik	Saha sayısı ve elektrik enerjisi		FGD ve kontrollü elektrik enerjili tesisler	
	Ülke	Saha no	MW <sub>e</sub>	Saha no
Avusturya	18	4852	133415	
Belçika	31	5867	21480	
Danimarka	13	8447	105389	
Almanya	960 (N2)	91090	18542000	
Yunanistan	10	6138	1300	
Finlandiya	94	8900	463970	
Fransa	17	18218	32400	
İrlanda	10	2955	--	
İtalya	79	41873	156660	
Lüksemburg	-	-	--	
Hollanda	15	9632	52690	
Portekiz	6	4514	--	
İspanya	41	19357	112373	
İsveç	41	5303	61164	
Birleşik Krallık	26	37718	109996	
AB-15 (1996)	1361	264864	30781837	

Notlar:  
N1 akışkan yatak dahil  
N2 >50 MW<sub>th</sub>) Alman endüstriyel elektrik santralleri dahil  
FGD sistemlerinin mevcut uygulaması belirli S- içerikli yakıt yakan (örneğin kömür, fuel oil) elektrik santralleridir  
Doğal gazla çalışan elektrik santrallerinde FGD gereksinimi duyulmaz power plant.

**Table 3.3: FGD at Büyük Yakma Tesisleri in EU-15**  
[58, Eurelectric, 2001], [192, TWG, 2003]

### 3.3.3 Islak gaz yıkayıcıları

Islak gaz yıkayıcıları, özellikle kireçtaşı – alçıtaşı işlemi, önde gelen FGD teknolojileridir. Piyasadaki payları %80 civarındadır ve büyük kamu amaçlı buhar kazanlarında kullanılmaktadırlar. Bunun nedeni yüksek SO<sub>2</sub> ihraç verimlilikleri ile yüksek güvenilirlikleridir. Kireçtaşı, ülkenin birçok yerinde bulunabileceğinden ve işlenmesi diğer sorbentlerden daha ucuz olduğu için, çoğu durumda sorbent yerine kullanılır. Yan ürünler oksitlenme moduna bağlı olarak ya alçıtaşı ya da kalsiyum sülfat/sülfatin bir karışımıdır. Eğer alçıtaşı satılabilirse, toplam genel işletim maliyetleri azaltılabilir.

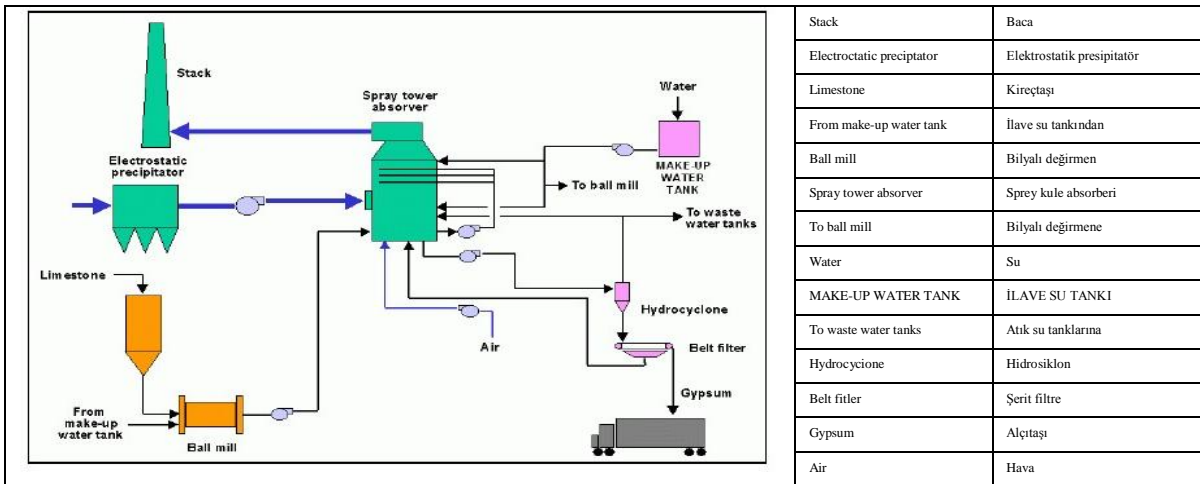
Sodyumlu gaz yıkama 1960'ların sonunda Japonya'da popülerdi. Yan ürün olan sodyumsülfat ürünü kağıt endüstrisine satılırdı. Sodyumlu gaz yıkama işlemi basittir ve çok sayıda petrole çalışan küçük buhar kazanlarında uygulanmıştır. Birkaç magnezyumlu gaz yıkama sistemi düşük sermaye ücretleri yüzünden nispeten küçük endüstriyel buhar kazanlarında da kullanılmaktadır. Magnezyumlu gaz yıkama sistemlerinde, magnezyum sülfat zaten bir deniz suyu bileşeni olduğu için, magnezyum sülfat içeren atık su, tozun ve toz emmiş ağır metallerin ihracından sonra denize atılabilir. Eğer kıyıya yakın bir tesis varsa, bu işlemin diğer sistemlere göre bir avantajı vardır. Islak amonyaklı gaz yıkayıcıları tarımsal gübre olarak kullanılabilir.

Dual alkali süreçleri 1970'lerin ortasından beri Amerika'da ticari olarak işletilmiştir. Islak kireçtaşı gaz yıkayıcıları proses tasarımı gereksinimleri ve gaz yıkama kimyasının anlaşılmasının eksikliği nedeniyle 1970'lerden 1980'lerin başına kadar gelişmeleri süresince alçıtaşının ölçülme sorunundan kötü yönde etkilendiler. Sistem üreticileri ve operatörler ölçülme problemini çözerlerken, dual alkali kullanıldı. Pahalı kireç sorbentin yerine kireçtaşının kullanımını mümkün kılan dual alkali işlemindeki yeni gelişmeler ve alçıtaşının üretimi bu sistemin kullanımını canlandırabilir.

### 3.3.3.1 Islak kireç/kireçtaşı gaz yıkayıcıları

İlk ıslak kireç gaz yıkama tesisi Japonya'da 1972'de Mitsui Miike Mühendislik Şirketi (MMEC) tarafından Mitsui Alüminyum'un kömürle çalışan Omuta tesisinde kurulmuştur. Tesis kireç çamur sıvısı kullandı ve bir havuz içinde imha edilen uçucu kül ve kalsiyum sülfat/sülfat çamuru üretmiştir. O zamandan beri ıslak kireç gaz yıkayıcıları Amerika'da popüler hale geldi, fakat diğer ülkelerde hemen popüler olmadı. Bunun nedeni, çamur imhası için geniş toprak parçalarına olan gereksinimdir. Kömürle çalışan kamu amaçlı buhar kazanları için alçıtaşı üreten ilk ıslak kireçtaşı gaz yıkama tesisi MMEC tarafından EPDC'nin (Elektrik Enerjisi Geliştirme Şirketi) 1975'de çalışmaya başlayan Takasago elektrik santralinde kurulmuştur. Başlangıçta tesis problemler yaşamaktaydı, fakat prosesin güvenilirliği 1977'den itibaren %99'u aşmış bulunuyor.

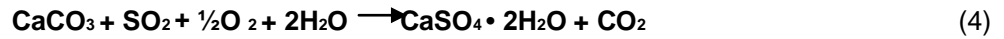
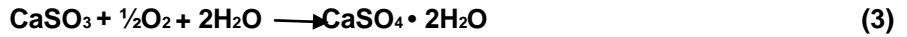
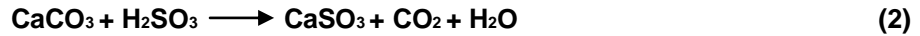
Bugün ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcıları FGD'nin kurulmuş kapasitesinin tamamının %80'i gibi bir oranla bütün FGD sistemlerinde en yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil 3.8 ıslak kireç/kireçtaşı FGD sistemlerinin yeni şeklinin tipik akış diyagramını göstermektedir. Kireçtaşı genellikle bir ayraç olarak kullanılır, çünkü birçok ülkede çok miktarda bulunur ve değer ayraçlardan yaklaşık 3 ya da 4 kat daha ucuzdur. Kireç  $SO_2$  ile daha iyi bir tepkime gösterdiğinden genelde daha önceki tesislerde ayraç olarak kullanıldı. Buna rağmen, kireç yoğun maliyetli ve düzeltilmesi için zaman gerektiren bir enerji olan kireç tozlaşması riskini azaltmak için kireçtaşıyla yer değiştirmiştir. Yine de bazı durumlarda kireç FGD alçıtaşı kullanıcılarının beyazlık gereksinimine bağlı olarak kireçtaşının yerine kullanılmaktadır. Her halükarda, kireçtaşı kullanan FGD kireçle neredeyse aynı  $SO_2$  imhasını elde edebilir. Kireçtaşı tepkimesi bir FGD sisteminin veriminde önemli bir etkiye sahiptir: buna rağmen, şu anda tepkimeleri test edecek Standard ya da normalleştirilmiş bir yöntem bulunmamaktadır. Magnezyum ağırlıklı kireç gibi diğer ayraçlar da ayrıca kullanılmaktadır.



Şekil 3.8: Kireç/kireçtaşı ıslak gaz yıkayıcısı FGD prosesinin şematik akış diyagramı

Partikül kontrol sistemini terk eden baca gazı genellikle bir ısı eşanjöründen geçer ve kireçtaşının %95'den daha fazla  $CaCO_3$  ihtiva edecek yerde ince toz haline getirilen kireçtaşının sulu süspansiyonuyla direk teması yoluyla  $SO_2$ 'nin atıldığı FGD absorberlerine girer. Yeni kireçtaşı çamuru absorberlerin içinde sürekli şarj edilir. Yıkılmış baca gazı duman dağıtıcılarından geçer ve bir bacadan veya soğutma kulesinden atmosfere bırakılır. Tepkime ürünleri absorberlerden alınır ve dehidrasyon ve ileriki aşamalar için yolları.

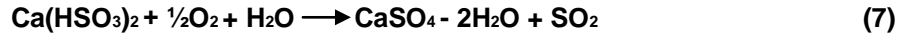
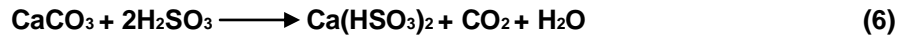
Islak kireçtaşı gaz yıkayıcıları oksitlenme türüne göre yapay oksitlenme ve doğal oksitlenme olarak genellikle 2 gruba ayrılır. Oksitlenme modu kimyasal tepkimeler, araç çamurunun PH'ı veya yan ürünlerin sonuçlarıyla belirlenir. 5 ila 6 arasındaki PH dağılımıyla ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcılarında yaygın olan yapay oksitlenme modunda kimyasal tepkimeler aşağıdaki gibidir:



Tepkime (1) ve (2) bütün ıslak FGD sistemlerinde yaygındır. Tepkime (3) kalsiyum sülfidin havayla yapay oksitlenmesini ve kuru kalsiyum sülfatın oluşumunu (kristalleştirme) gösterir. Yapay oksitlenme modunda hava %95'lik bir oksitlenme elde ederek kalsiyum sülfiti kalsiyum sülfata oksitlendirmek için absorberin tabanına gönderilir

Doğal oksitlenme modunda kalsiyum sülfid baca gazında bulunan oksijenle kısmen oksitlenir. Ana ürün yarı sulu kalsiyum sülfittir. Elde edilen yarı sulu kalsiyum sülfid ve alçıtaşı ürünü çamur halindedir.

4.5 ila 5.5 arası düşük PH dağılımında, tepkime farklıdır. SO<sub>2</sub> emiliminden sonra (1), kireçtaşıyla nötrleşmenin ana ürünü kalsiyum sülfid değil kalsiyum bisülfittir Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.



Kalsiyum bisülfid, kalsiyum sülfitten daha çok çözünür. Bu nedenle, düşük PH dağılımında işlem daha az tıkanma ve ölçekleme riski taşır. Kalsiyum bisülfid alçıtaşı ya da kuru kalsiyum sülfat formuna oksitlendirilebilir ya da kristelleştirilebilir.(7).

Tablo 3.4, ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcısında, doğal ve yapay oksitlenmelerin kıyaslamasını göstermektedir. Yapay oksitlenmede, dehidrasyon kolaydır, çünkü alçıtaşı kristalleri bayağı geniştir. İlk dehidrasyon filtrelerdeki veya santrifujlardaki 2. dehidrasyonu takip eden hidrosiklonlarla genellikle gerçekleşir. %90 oranında katı içeren son ürünün kullanılması kolaydır ve arazi dolunda ve madenleri doldurmada kullanılan doğal alçı taşının yerini alarak genellikle çimento, duvar panosu ve sıva için alçı taşı olarak satılır. Alçıtaşı satımı toplam işlem maliyetinin tamamını indirmeye katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, satılabilir alçıtaşının klorid gibi çözünebilen tuzları yok etmek için 2. dehidrasyon aşaması boyunca yıkanması gerekir.

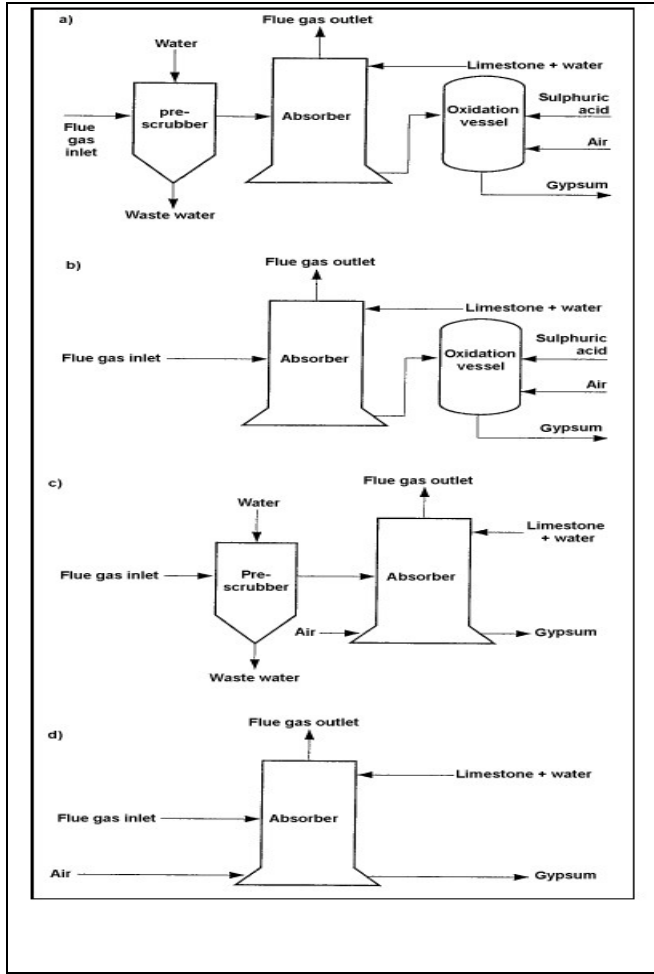
Mod	Yan ürün	yan ürün kristali boyutu	Yan ürün	Dehidrasyon	Güvenirlilik	Kullanıldığı bölge
Yapay	Alçıtaşı 90 %	0 – 100 µm	kullanımı	Kolay	>99 %	Avrupa
oksitlenme	su 10 %	1 – 5 µm	duvar kaplaması,	hidro-	95 – 99 % ölçekleme problemleri	ve

**Tablo 3.4: Doğal ve yapay oksitlenmenin karşılaştırılması**



Doğal oksitlenme modunun yan ürünü dehidrasyonu zor bir karışımdır. Bu karışım yarı sulu kalsiyum sülfid ve kuru kalsiyum sülfattır. İlk dehidrasyon, bu yüzden, bir incelticiye ihtiyaç duyar. 2. dehidrasyon ise filtreler ve sentrifüjlerle halledilir. Son yan ürün %40 – 50 oranında sulu kalır. Çoğu durumda, havuzlanır veya gömülür, fakat tiksotropik yapısından dolayı ilk önce uçucu kül ve kireçle karıştırılması gerekir. Doğal oksitlenme prosesi genellikle Amerika’da uygulanır. Güvenilirliği kanıtlanmıştır, fakat hala alçıtaşı ölçekleme problemine bağlı olarak %95 - %99 arasındadır. Doğal oksitlenmeyi yapay oksitlenmeye dönüştürme eğilimi vardır, çünkü alçıtaşı daha kalitelidir, hatta bu durum arazi dolun amaçları için bile geçerlidir.

Islak kireçtaşı gaz yıkayıcılarının düzeni genel olarak Şekil 3.9’da gösterildiği gibi 4 gruba ayrılabilir (a,b,c ve d). C ve d’nin her ikisi de burada yapay oksitlenme modunda gösterilmiştir, fakat oksitlenme kabına havanın girmesini önleyerek doğal oksitlenmeye ve böylece çamur tortusuna dönüştürülebilir.



Flue gas inlet	Baca gazı girişi
Water	Su
Pre-scrubber	Ön gaz yıkayıcı
Waste water	Atık su
Flue gas outlet	Baca gazı çıkışı
Absorber	Absorber
Limestone + water	Kireçtaşı + su
Oxidation vessel	Oksidasyon kanalı
Sulphuric acid	Sülfürik asit
Air	Hava
Gypsum	Alçıtaşı

Şekil 3.9: Kireç /kireçtaşı ıslak gaz yıkayıcılarının farklı türleri [38, Soud, 2000]

(a) tipi ve (b) tipi ilave bir oksitlenme kabı kullanmakta olup; oksitlenme kapları araştırma geliştirme amacıyla kullanılıp artık uygulanmadığından ele alınmamıştır.

(c) **tipi** ise ayrı bir oksitlenme kabına sahip değildir. Burada, oksitlenme havası alçıtaşı oluşturmak için absorberlerde ayıklanır. Bu oksitlenme methodu genellikle *yerinde* oksitlenme olarak adlandırılır ve şu anda en yaygın yöntemdir. Oksitlenme a ve b çeşitleriyle oksitlenme kabında meydana geldiğinde, işlem *harici* oksitlenme olarak adlandırılır. Ön yıkayıcı ilk olarak HCl ve HF'yi yok etmesine rağmen, düşük PH ön yıkayıcısı da hem daha çok cıva hem de diğer küçük elementleri taşıma olasılığı olan ince partikülleri yok eder. Japonya'da yeni büyük FGD tesisleri ön yıkayıcı olmadan oluşabilecek olası sorunlardan kaçınarak c çeşidini benimsemiştir, bunun nedeni elde edilen alçıtaşının yüksek kalitesi ve bunun yüksek işlemsel güvenilirliğidir.

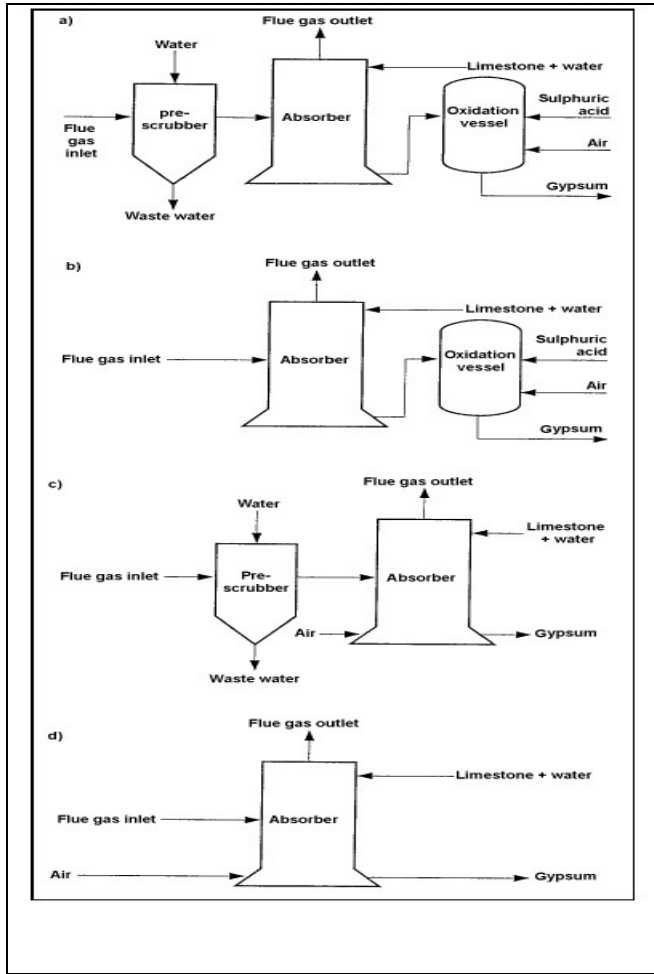
Oksitlenme kabını kaldırmak ya da *harici* oksitlenmeyi yerinde oksitlenmeye dönüştürmek FGD teknolojisinde büyük bir gelişmedir. *Yerinde* oksitlenme *harici* oksitlenmeyle kıyaslandığında daha çok avantaja sahiptir.

- ilk olarak, *yerinde* oksitlenme ölçekleme ve tıkanma problemlerini işlemin yüksek güvenilirliğiyle sonuçlanarak, absorberdeki ürünün tamamen oksitlenmesi yoluyla engeller. Baca gazındaki oksijene bağlı olarak ürünün kısmi oksitlenmesi absorberde alçıtaşının ölçeklenmesine neden olur.
- İkinci olarak, *yerinde* oksitlenme *harici* oksitlenmeye kıyasla daha yüksek bir SO<sub>2</sub> ihraç performansı elde eder
- Üçüncü olarak ise, düşük PH değerlerinde bile SO<sub>2</sub> imha randımanını arttırdığının farkına varmak önemlidir, çünkü hava enjeksiyonu yoluyla H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>'ün oksitlenmesiyle üretilen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hızlı bir şekilde kireç taşıyla tepkimeye girer. Buna ek olarak, kireçtaşının kullanımı düşük PH değerlerinde kireçtaşının yüksek çözünürlüğünden dolayı harici oksitlenmedekinden daha yüksektir. Ca/S molar oranı 1.01 ile 1.05 arasında yer almaktadır.

Yerinde oksitlenmenin başka bir avantajı da S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün oluşumunu azaltma olasılığıdır. Bu SO<sub>3</sub> oksitlenmesinin yan reaksiyonunun yan ürünüdür ve Kimyasal Oksijen Talebi (COD) maddelerinin bir ürünüdür. COD'u atık suda 5'te birden 10'da bire kadar düşük seviyeye getirmek atık su işleme kapasitesini azaltabilir. A ve b çeşitlerinin aksine oksitlenme için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> takviyesine de ihtiyaç yoktur. Yerinde yapay oksitlenmenin aciliyeti ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcısını daha çekici kılmıştır.

(d) **tipi** ise ıslak kireç taşı gaz yıkayıcısının en basit düzenidir ve FGD sisteminde lider hale gelmiştir. Bütün kimyasal tepkimeler bütünleşik tek absorberlerde uygulanmıştır. Bu sermaye maliyetini ve enerji sarfiyatını azaltabilir. D çeşidi yüksek bir işlem güvenilirliği elde etmiştir ve 1980'lerin sonlarından bu yana makul bir alçıtaşı kalitesi yaratmıştır. Ayrıca bütünleşik tek kule var olan kaynatma kazanlarının iyileştirilmesini kolaylaştırarak daha az boş alan gerektirir. Almanya'da en yeni FGD kurulumları d çeşididir. Amerika'da d çeşidi düşük maliyeti ve yüksek randımanı nedeniyle popülerdir..

Absorberlerin tasarımı ıslak FGD sistemlerinde çok önemlidir. Şekil 3.10 bütün FGD kimyasal tepkimelerinin bir arada gerçekleştirildiği absorberlerin farklı çeşitlerini göstermektedir.



Flue gas inlet	Baca gazı girişi
Water	Su
Pre-scrubber	Ön gaz yıkayıcı
Waste water	Atık su
Flue gas outlet	Baca gazı çıkışı
Absorber	Absorber
Limestone + water	Kireçtaşı + su
Oxidation vessel	Oksidasyon kanalı
Sulphuric acid	Sülfürik asit
Air	Hava
Gypsum	Alçıtaşı

Şekil 3.10: Farklı absorber tipleri [33, Ciemat, 2000]

**1. Tip** sprey kule absorberidir ve en yaygın olarak dünya çapında ıslak FGD sistemlerinde kullanılır. Sprey kule sıvı süspansiyon yoluyla normalde ince kireç taşı atom haline getiren ve aynı dağılım ile spreylenen birçok sprey ağızlığına ve 4 ana sprey başlığına sahiptir. Absorber içine verilen baca gazı serbestçe hareket eden zerreler ile yakın temas halinde ve çoğunlukla gaz akışını sınırlandırıcı hiçbir aletin bulunmadığı düzendedir. Etkisi süren sıvı puslar, pus eliminatörü sayesinde tutulur. Bu tasarım, FGD'nin dahili yapıları absorberler ile donanmış ilk jenerasyonunda karşılaşılan problemleri önlemek için geliştirilmiştir.

**2. Tip** plastik ağ paketi kullanan kule absorberidir ve ilk olarak Japonya'da geliştirilmiştir. Dolu kuleler yüksek oranda SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesi sağlayan sıvı-gaz teması için direnç zamanını uzatır. Dolu kule geliştirilen FGD süreçleri sayesinde şu anda ölçüde herhangi bir problem yaşamadan çalıştırılabilmektedir. Dahası, yüksek hızdaki yardımcı gaz akım düzeninin önemli bir özelliği de, geniş ölçülü absorberler için yoğunlaştırılmış bir tasarım oluşudur.

**3. Tip** türbülans kabarcıklı yatak reaktörü olarak bilinir. Baca gazı sulu bir karışıma çok sayıda suya batmış borular yoluyla enjekte edilir; o sırada kireç taşı çamuru çalkantılı hava kabarcığı yatak reaktörüne verilir ve oksidasyon için hava, çamurun içine akar. Bu absorber türü, basitleştirilmiş FGD türüne iyi bir örnektir. Geri dönüşüm pomolarına, sprey ağızlıklarına ve başlıklarına, ayrı oksidasyon tanklarına ve kalınlaştırıcılarına gereksinimi azaltır. Ve böylelikle güç tüketimini olduğu kadar karşılaşılan zorlukları da azaltır.

**4. Tip** çift sarmallı bir konsept olup ilk olarak Amerika’da kullanılmıştır. Bu absorberlerin suya doygun hale getiren ve absorber olarak tanımlanan iki halkası vardır ve her birinin ayrı fonksiyonu olan ayrı PH değerlerine sahiptir. Bu türde absorberler üreten tesisler Kanada, Almanya ve ABD’de kurulmuştur.

Islak kireçtaşı FGD sistemleri genel olarak paslanmalara, aşınmalara ve çizilmelere yol açan zarar verici çalışma ortamı yaratabilir. Baca gazı yolu, absorberlerin girişinden bacanın boşaltılmasına kadar korunmalıdır, örneğin kauçuk ya da küçük parçaların sıralanarak adiabatik soğutma ve gazın doygunluğundan kaynaklanan asit hücumuna karşı kullanılabılır. Özel amaçlı kullanım içerikleri ise giriş kanalı, absorber, çıkış kanalı, ısıtma sistemi ve baca hattıdır. Tüm çamur işleme bölümleri aşındırıcı ve çürütücü akınlara maruz kalabilir. Bu absorberin spreyci bölgeleri, tankları, agitatorları, pompaları, boruları, vanaları ve tüm sulama aletlerini içerir.

Baca gazı derecesi, ıslak FGD birimlerinin arasından geçerek yaklaşık 45 – 80 °C arasında azaltılır. Temiz baca gazının dağılımını kolaylaştırmak ve görülebilen baca dumanını azaltmak için bacanın çıkışında baca gazının minimum derecesinin düzenlenmesi gerektirir. Örneğin Birleşik Krallık’ta 80 °C gibi. Bu koşulları sağlamak için baca gazı tekrar ısıtılmalıdır. Rejenere edilen gazdan gaza ısı eşanjörü en yaygın baca gazı ısıtma tekniğidir. Bazı yeni uygulamalar artık minimum sıcaklık değerini gerektirmiyor. Üstelik, temiz baca gazının ıslak bir baca yoluyla boşaltımı, görülebilen bir duman etkisi yaratmasına rağmen, daha az elektrik kullanımı gerektirir.

Dağılımı sağlayan modeller baca yüksekliğinin baca gazı dağılımı için havada durabilen gazın boşaltımından çok daha önemli olduğunu göstermektedir ve baca gazının tekrar ısıtılmadan, havanın kalitesinde düşük etki yarattığını kanıtlamaktadır. Havada durabilen gazın boşaltımı (ve dağılımı) baca gazının ısıtılması gerekiyorsa arttırılabilir fakat dağılım daha yüksek baca çıkışı hızıyla da sağlanabilir.

Islak FGD sisteminin uygulanması önemli derecede boş alan gerektirir. FGD’nin işlem prosesinin bir bölümünde yer almasının mümkün olmadığı çıkış tesislerinde daha fazla yatırım masrafı gerektirecek uygun boş alan eksikliği ve extra kanala ihtiyaç duyulabilir.(bu yüzden sistemin durum bazında tasarlanıp uygulanması gerekir.)

Üstelik, çıkış kurulumu üzerine işlem uygulanması sırasında yeni bir bacanın kurulumu gerekebilir çünkü FGD’den dışarı çıkan gaz, FGD uygulaması yapılmadan çıkan gazdan daha aşındırıcıdır (çiylenme noktası gaz yakıcıya ulaşmıştır.) ve çıkış bacası bu amaç için tasarlanmamış olabilir. Bu yeni bacalar, hem asit yoğunlaşmasını azaltan hem de başlatma sırasında hızlı şekilde ısıtmayı tamamlayarak dağılımı kolaylaştıran modern baca hatlarından yararlanabilir. Çalıştırma tesislerinde elektrik piyasasının daha çok isteğe bağlı olması, onu çok önemli hale getirmektedir.

Islak gaz yıkama işlemi son birkaç on yılda, geliştirilen güvenilirlik ve imha kapasiteleri kadar az masrafı sayesinde önemli derecede gelişme göstermiştir. Güvenilirlik, normal şartlarda yapay oksitlenme ile %99 ve normal oksitlenme ile % 95- 99 arasındadır. Uygulanabilirliği, hem yıkayıcı içeriklerinden hem de absorber işlemine bağlı yardımcı işleminden etkilenebilir.

Hidroksit ve sülfid presipitasyonu içeren bir proses, arındırma ve çamur dehidrasyonunun, ağır metallerin ve bekletilmiş katı maddeyi imha etmekte FGD tesisinden sonra atık su uygulamasında kullanmak için iyi bir ölçü olduğu tespit edilmiştir.

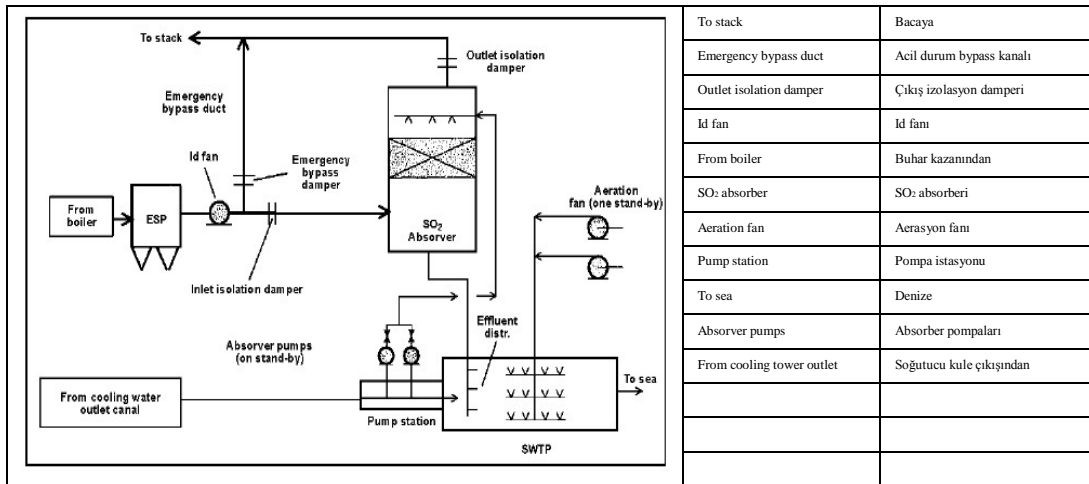
Islak gaz yıkayıcı kurulumlarının gerçek fiyatları üzerine imalatçılardan ve kullanıcılardan elde edilen çok az sayıda veri yayınlanmıştır. Yayınlanan bu yetersiz sayıdaki mevcut verinin tam bir değerlendirmesi de fiyatların nasıl hesaplandığı konusunda bilgi eksikliğine bağlı olarak zordur.

Islak kireçtaşı yıkayıcısının sermaye bedeli nispeten daha yüksektir, fakat, diğer yandan çalıştırma bedelleri, ileri makineleşme, güvenilebilirlik ve satılabilen yan ürünler sayesinde makuldür. Sermaye bedelleri geniş ölçüde farklılıklar gösterebilir. Yer özelliklerine; tesis boyutu, SO<sub>2</sub> giriş konsantrasyonu, SO<sub>2</sub> emisyon limiti, fazlalık stratejisi, yıllık çalıştırma saatleri, çalıştırma yolları, alçıtaşının işlenmesi veya tortusu, ilgi oranı, sahadaki birim sayısı, FGD piyasa durumu gibi teknik ve ekonomik şartlara bağlıdır. Islak kireçtaşı yıkama ücretinin sermaye bedeli her kW<sub>el</sub>, için 35- 50 euro arasında değişir; operasyon ve bakım masrafları kWh (enerji alımı) başına 0.2 ile 0.3 Euro arasındadır. Tipik SO<sub>2</sub> imha bedelleri, çıkarılan SO<sub>2</sub> 'nin tonu başına 750- 1150 euro ve elektrik fiyatlarına bağlı olarak MWh (üretilen elektrik) başına 3-6 Euro arasındadır..

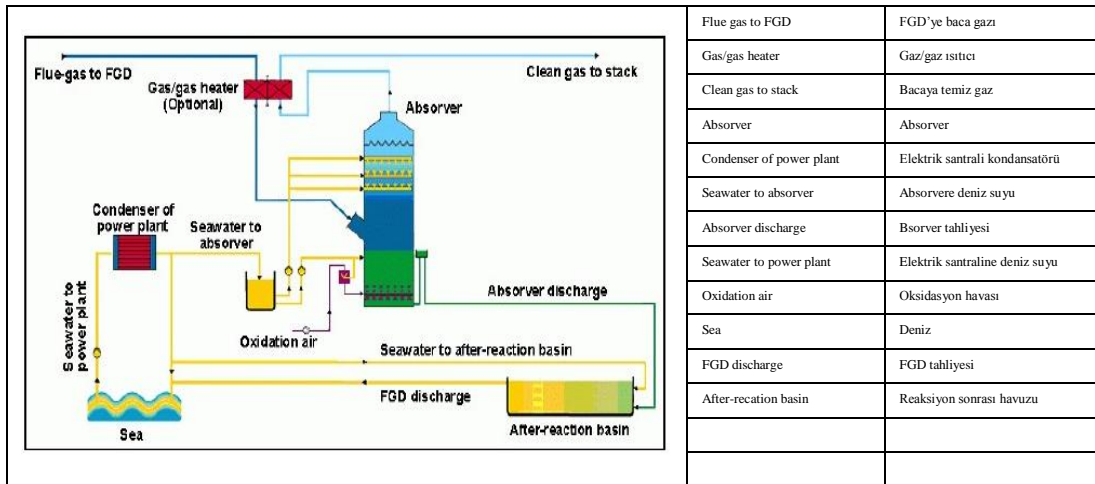
Baca gazından, sıvı yakıtla çalışan motorun desülfürizasyonu dikkate alındığında, daha geniş bir dizel motor, örneğin, baca gazında 13 – 15 vol-% O<sub>2</sub> oranında oksijen içerir. (hava faktörü 2.7- 3.5) Bir buhar kazanı tesisi belirgin biçimde, kullanılan yakıtı bağlı olarak 3 – 6 vol-% O<sub>2</sub> (hava faktörü 1.2- 1.4) Daha yüksek oksijen içeriği, dışa verilen daha geniş bir gaz akımı ve daha geniş FGD reaktör sistemine gereksinim anlamına gelir ki bu da kW<sub>el</sub>, başına yukarıda bahsedilenden daha yüksek bir yatırım demektir.

### 3.3.3.2 Deniz suyu yıkayıcısı

Deniz suyu yıkama işleminde deniz suyunun yapısında varolan özelliklerden, baca gazında bulunan sülfürdioksidi absorbe etmek ve nötrleştirmek için yararlanır. Eğer bir güç tesisinin yakınında çok miktarda deniz suyu mevcutsa, bunun yoğunlaştırmada soğutucu olarak kullanılması muhtemeldir. Yoğunlaştırıcıların aşağıya doğru akımında deniz suyu, FGD için tekrar kullanılabilir. Deniz suyunu yıkama prosesinin temel özellikleri, Şekil 3.11'de görülebilir



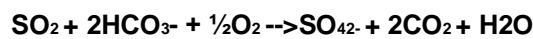
Şekil 3.11: Deniz suyu yıkama prosesinin temel ilkeleri [39, ABB, 2000]



**Şekil 3.12: Deniz suyu yıkama prosesi**  
[192, TWG, 2003]

Temel proses Şekil3.11 ve 3,12'de görülebilir. Elektrik santrali baca gazı , normalde kumaş bir filtre ya da elektrostatik bir presipitatör olan toz toplayıcıyı bırakır. Baca gazı daha sonra , buhar tırbünü sıvılaştırıcının soğutma suyu akışından alınan , kontrol edilmiş orandaki deniz suyuyla bağlantıya geçtiği SO<sub>2</sub> absorberini besler. Deniz suyu bikarbonat ve karbonatlar olduğu için , baca gazının sülfürdioksiti emilir. Oksitleme prosesi için Ph 'ın en ideal seviyede olmasını sağlamak amacıyla,asitlenmiş absorber atığı ilave deniz suyu ile karıştırılır. İçeri verilen hava emilen sülfürdioksitin bisülfitten bisülfata oksitlenmesini zorlaştırır ve erimiş CO<sub>2</sub>'yi uzaklaştırır. Su oksijene doymun hale gelecektir ve deniz suyu denize boşaltılmadan önce pH değeri nötr durumana dönecektir. Deniz suyu prosesi yan ürünün katı ya da ayrıçaların ithalat ya da ihracatını kapasamaz. Sadece, zaten buhar tırbünü sıvılaştırıcısının soğutma suyu olarak enerji sağlama prosesinde kullanılmış olan deniz suyunu kullanır.

Süreç aşağıdaki kimyasal tepkimeye dayanır:



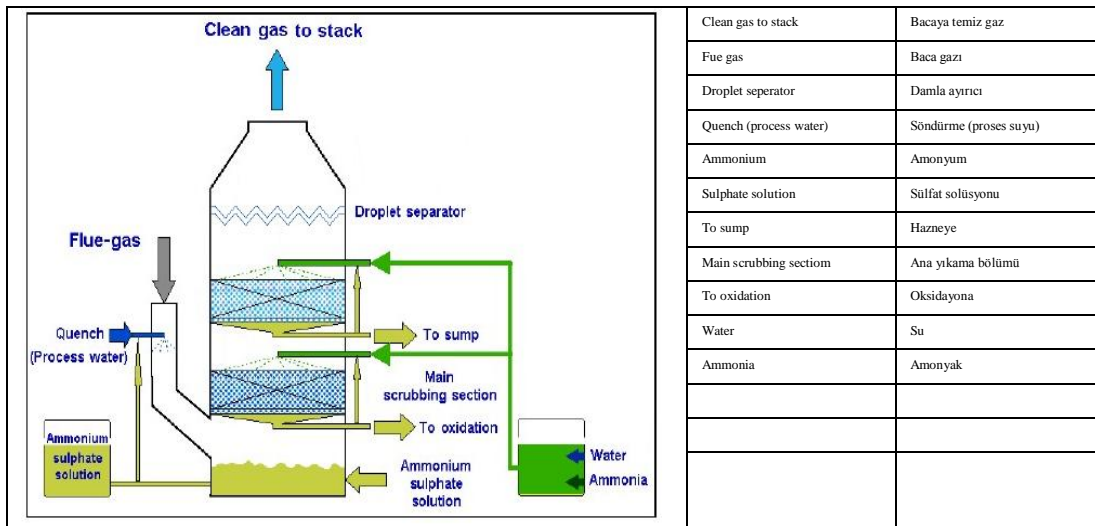
Deniz suyu gaz yıkayıcı prosesi elektrik santrali sıvılaştırıcılarının soğutma suyu akıntı yönünü kullanır. Deniz suyunun bir kısmı , SO<sub>2</sub> 'nin emildiği , paketlem boyunca akan absorber üst kısmına pompalanır. Asitlenmiş deniz suyu absorber sump ta toplanır ve deniz suyu işleme tesisine(SWTP)yer çekimiyle akar. Asitlenmiş absorber atık, oksitlemeden sonraki adımdan önce , SWPT'nin ön bölümdeki özel bir karıştırma ünitesinde soğutma suyun kalaniyla karıştırılır. Bu bölümde atmosferik hava , ağır-ış endüstri fanları tarafından deniz suyuna doğru üflenir. O zaman, SO<sub>2</sub> sülfata (SO<sub>42-</sub>) dönüşecek, su nerdeyse oksijene doymun hale gelecek ve pH 6 seviyesi normale ayarlanacaktır. Çünkü bu, deniz suyu denize geri boşaltılmadan önceki Dünya Bankası yönergelerinin en düşük sınırındır.

### 3.3.3.3 Magnezyumlu ıslak gaz yıkayıcı

Magnezyumlu gaz yıkayıcılarındaki ayıraç baz elde edebilmek için deniz suyuna sönmüş kireç eklenerek üretilen magnezyum hidroksittir. Ayıraç olarak magnezyum hidroksit ,sodyum hidroksite ya da karbonata göre daha ucuza mal olduğu için,bu işlem 1980'lerin başından beri sodyumlu gaz yıkamanın yerini alarak popüler oldu. Atık sülfat alkol üretir. Asıl olarak endüstriyel kömürle çalışan buhar kazanları için olmak üzere , bu işlemle bir dizi üniteler inşa edildi. Magnezyumlu ıslak gaz yıkayıcıları daha küçük tesislerde ,örneğin 50MW'den küçük, uygulanmaktadır ve bu belgede daha fazla açıklanmayacaktır. Bu prosesin bir tarafı da magnezyum sülfatın bir deniz suyu olması nedeniyle magnezyum sülfatın denize boşaltılabilmesidir. Sermaye bedeli düşüktür fakat işlemsel bedeller yüksektir. Bu sadece kıyıya yakın olan tesisler için uygundur.

### 3.3.3.4 Amonyaklı ıslak gaz yıkayıcı

Şekil 3,13'de gösterildiği gibi, amonyaklı ıslak gaz yıkayıcılarında, SO<sub>2</sub> yan ürün gübre olan amonyak sülfat olarak ortaya çıkan sulu amonyak tarafından emilir. Buna rağmen, sanayileşmiş ülkelerde başka kaynaklardan bu gübrenin fazlası bulunmaktadır. Yani, Çin 'de ki benzinle çalışan buhar kazanlarında 1987'den beri toplamda yaklaşık 200MW e kurulmuş olan bu süreçli 3 üniteye rağmen, proses nadiren kullanılır.



+

**Şekil 3.13: Islak amonyak proses**  
[126, Lurgi Lentjes Bischoff, 2001]

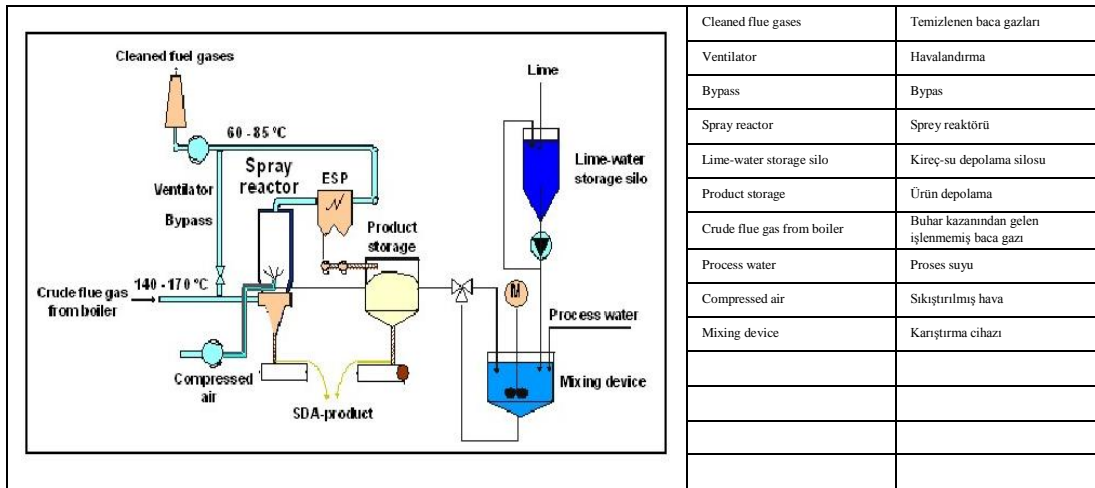
Süreç Almanya'da kömürle çalışan 191 MW<sub>e</sub> yakma kapasitesinin ıslak tabanlı buhar kazanında uygulanmıştır. Takibindeki gelişmeleri ve aerosolların üretimi gibi ilk problemlerin çözümünü yani 1  $\mu$  kadar basınçlı amonyak tuz partiküllerini güvenilir bir şekilde uygulamaktadır.proses 200 mg/Nm<sub>3</sub> 'ten daha az sınırların emisyon kriterlerini tatmin etmek için seçildi. Bununla birlikte , ıslak amonyak işleminin uygulaması için kuvvetli güç satılabilir bir ürün gerksinimidir. Bu çok kısıtlı alan kullanılabilirliği ve ekonomik sınırlamaların göz önünde bulundurulması kadar atık düzenlenmesini gerektirecek başka materyallerin ya da atık su oluşturmayan (özel yerel şartlar, toplum kanalına atık su boşaltılmasına izin vermez) gereksinimidir.



### 3.3.4 Sprey kuru gaz yıkayıcılar

Dünya çapındaki hiyerarşide uygulanan FGD sistemlerinde , sprej kuru gaz yıkayıcıları , ıslak gaz yıkayıcılarının arkasında ikinci sırada bulunmaktadır. Kireç çamuru genellikle, FGD'nin bu modelindeki baca gazından  $SO_2$ 'yi uzaklaştırmak için kullanılır.  $SO_2$  kaldırılması verimliliği ve işlemsel güvenilirliği bu teknoloji olgunlaştıkça , hep gelişmişlerdir. Sprej kuru gaz yıkayıcıları , asıl olarak daha pahalı sorbent kireci kullanımı yüzünden genellikle ıslak gaz yıkayıcılarından daha yüksek işlemsel bedellere sahip daha düşük sermaye bedelli olarak tanımlanırlar. Sprej kuru gaz yıkayıcıları çoğunlukla, orta sülfür (%1,5) kömürü kullanan orta kapasiteli buhar kazanlarına göre nispeten küçük olanlar için kullanılır. Aynı sebeple, onlar uyarılma ve tepe yükü işlemi için de tercih edilebilirler. Kalıntı normal olarak, kalsiyum sülfid, kalsiyum sülfat ve ticari olarak daha az çekici olan uçucu külün bir karışımıdır. Kalıntının endüstriyel kullanımının olasılığını araştırmak için tesisler yapıldı. Bazı kurulumlar, uçucu külün ayrı toplanması için sprej kuru gaz yıkayıcıdan önce , tanecikli bir kontrol aleti kullanırlar.

Sprej kuru gaz yıkayıcı 1970'lerin başından ortalarına kadar Avrupa'da ve Birleşik Devletler'de geliştirilmiş olan bir ortak FGD teknolojisidir. Yakma tesislerinde ilk ticari kullanımı, 1980'de teknolojinin kömürle çalışan buhar kazanlarına uyguladığı Birleşik Devletlerde başladı.

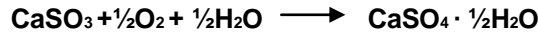


Şekil 3.14: Sprej kuru gaz yıkama prosesinin akış şeması [58, Eurelectric, 2001]

İşlem temel olarak sprej kuru gaz absorberidir; bir ESP ya da kumaş filtre gibi bir tanecikli kontrolü ; ve tepkime ürünleri için geri dönüşüm düzenlemesi aletlerini kapsar. Birkaç tane sprej kuru gaz yıkayıcı işlemleri günümüzde ticari olarak uygulanmaktadır. Bu işlemler işlem şekli, bileşenler ve kullanılan sorbent yönünden birbirlerine benzerler fakat tek fark , kireç çamurunun dispersiyon sisteminin sprej kuru absorberde kullanılmasıdır.

$SO_2$  emilimi için sorbent aynen kireç ya da kalsiyum oksittir. Kireç , aynı zamanda kireç sütü olarak da adlandırılan kireç çamurunun üretilmesi için aşırı miktarda suyla karıştırılır ya da söndürülür. Kireç çamuru atomlaştırılarak  $SO_2$  'nin baca gazından çıkarıldığı sprej kuru absorberlerindeki ince zerre bulutu haline getirilir. Su kalsiyum sülfid/sülfat ve kalsiyum klorür oluşturmak için hidratlanmış kireçle aynı anda hareket etmek için  $SO_3$  ve HCl gibi diğer asit gazları ve  $SO_2$  için yeterli bir konaklama süresi (yaklaşık 10 saniye)'yle , baca gazının ısı tarafından buharlaştırılır. Atık su uygulaması bu işlemlerde gerekli değildir çünkü suyun tamamı sprej kuru absorberde buharlaştırılır.

Baca gazından SO<sub>2</sub> ihracıyla bağdaştırılan işlem kimyası, SO<sub>2</sub> ve sulu kireç arasındaki basit asit/baz emilimi reaksiyonudur ve aşağıdaki gibidir:



Emme kimyası bacagazı sıcaklığı, gaz nemliliği, baca gazındaki SO<sub>2</sub> yoğunluğu ve atomlaştırılmış çamur zerrelere boyutu gibi faktörlerden güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Yan ürün kalsiyum sülfat, sülfat, uçucu kül ve tepkimeye girmemiş kirecin kuru karışımıdır. Sprey kuru yıkayıcı işlemi kireç çamuru (su ve kireç karışımı) kullandığından, bazen yarı sulu işlem olarak adlandırılabilir da tortu ESP ya da bez filtrelerden toplanan kuru tozdur. Bu tortu bir kısım tepkimeye girmemiş kireç içerdiğinden, parçaları genelde yeniden işlenir ve kireç kullanımını sağlamak için yeni kireç çamuruyla karıştırılır.

Uçucu küllerin çoğunu absorbere girmeden kaldıran ön toplayıcıların kullanımı Avrupa'nın birçok sprey kuru yıkayıcı tesislerinin yaygın özelliğidir. Bu absorber ve hava ısıtıcının arasına kurulmuştur. Ön toplayıcıların kurulumu ilk sermaye ve işletme masraflarını dengelemeye yardımcı olabilecek bazı avantajlara sahiptir. ÖR:

- verilen bir desülfürizasyon ürünü için, (verilen T'de) kireç tüketimini azaltabilir ya da SD işlem sıcaklığının (verilen Ca/S oranında) artmasını mümkün kılabilir, böylece toz depolanması riski azalır.
- Daha çok ESP randımanı ve buna bağlı olarak düşük bitiş emisyonları elde etmeye yardımcı olur.
- Uçucu külden kaynaklanan ekipman downstream aşınmasını durdurur.
- Yok edilecek atıkların miktarını azaltır.
- Pazarlanabilir bir ürün (uçucu kül) biriktirebilir: iyi tesis edildiğinde uçucu külün pazarlanması yararlıdır.

Ön toplayıcılar normalde basit bir tek alanlı ESP'dir. Buna rağmen, uyarlamalarda varolan partikül kontrolü sık sık ön toplayıcı olarak kullanılır.

Amerika'da, bilyalı değirmen söndürücü genellikle sprey kuru yıkama işlemlerinde kireç söndürme için kullanılmaktadır. Avrupa'da sprey kuru yıkayıcıların çoğunluğu tespit tipi depo söndürücüler ile donatılmıştır. Basit tank söndürücüler sönmemiş pülverize kireç için kullanılır.

Absorberin ana kısmı kireç çamuru sprey püskürtme başlığıdır. Sprey püskürtme başlığı döner atomlaştırıcı türüne ya da dual esnek püskürtme başlığı türüne ait olabilir. Bunlardan birincisi çatının merkezine kurulur ve sulu kirecin ince zerrelerini püskürtür. Baca gazı buharı absorbere girmeden önce dağıtılır, böylece gazın yaklaşık %60'ı çatı gaz dağıtıcısından, diğer %40'ı ise merkezi gazdağıtıcısından absorbere girer. İki akımı ayarlamak ve gaz dağıtıcı pervaneleri doğru yerleştirmek atomlaştırılmış zerrelerin bulutunun şeklini kontrol etmede yardımcı bulunur ve atomlaştırıcının etrafında dar bir alanda baca gazı ve sorbentin verimli karışımını sağlar. 100 MW'e'dan 150 MW'e'a buhar kazanlarından baca gazı işlemesi için absorberin uygun boyutu genellikle 14 ila 15m(çap) x 11 ila 12m'dir (silindirik yükseklik).

Sprey kuru absorberdeki çamur atomlaştırıcının sprey ağızlığı sürekli bir püskürtme kalitesi sürdürmek için yüksek teknik özelliklere uymak zorundadır. Mesela; ağızlıklar baca gazı çürütmesine ve kireç aşınımına dayanabilmelidir. Ayrıca düşük bir basınç düşüşüne ve tıkanma riskinin en düşük seviyesine sahip olmalıdır. Sprey ağızlıklarının birçok çeşidi döner atomlaştırıcı ve sabit dual- esnek püskürtme başlığı gibi çamur atomlaştırıcılarda kullanılmaktadır.

Sprey kuru yıkayıcılarda sorbent kullanımı sorbent enjeksiyonu işleminden daha yüksektir, fakat tepkimeye girmemiş kireç ilave kirecin yaklaşık %10-%40' miktarındadır ve kalsiyum sülfat/sülfatla sistemden atılır. Sorbent kullanımı çamur yapımında sorbent/su oranının sıkı kontrolüyle, absorberdeki doyma noktası ısısını düşürerek ve tortunun parçalarını geri absorberde dolaştırarak geliştirilebilir.

Sprey kuru yıkayıcısı ürünlerinin kullanımı ve imhasının en yaygın yolları stabilize arazi doldurmaktır. Yan ürünler tepkimeye girmemiş kireç içerdiğinden, kullanıldıktan sonra atılan hammaddedir. Çünkü bu toz üretir ve zararlı bileşenlerin kontrolsüz filtrelenmesi riski taşıyabilir. Bu yüzden, tek kullanımlık sabit bir ürün üretmek için uçucu kül ve suyu karıştırarak özel olarak ayarlanır.

Tortu sisteme hem avantaj hem de dezavantaj sağlar. Tortu için bir kullanım oluşturmak sprej kuru yıkayıcısının uygulanmasının ana noktasıdır. Ürün çok miktarda tepkimeye girmemiş kireç içerdiğinden, yeterince düşük kül içeriği sağlayarak yakında yer alan ıslak FGDler için çözücü olarak kullanılır. Yeni araştırmalar tortul ürünü için uygulamanın yeni bir alanını öne sürmüştür, bu da sülfür ihtiyacı duyan gübrelere katkı maddesi olarak kullanılmalıdır.

Sprej kuru absorberler genellikle bacagazının doyma sıcaklığının 45-55°C arasında olduğu doyma ısısının altında 20-30K'da yönetir. Böylece, gerekli baca sıcaklığı bir şekilde elde edilse bile, bir çok tesis temiz baca gazının yeniden ısıtılmasına ihtiyaç duymaz.

Sprej kuru yıkayıcı sülfür içerikli düşük-orta dereceli yakıtlar için ve daha küçük tesislerde kullanım için uygundur. Donanım çamur hazırlama, işleme ve atomlaştırma gereçlerini içerir, ki bunların hepsi çamurdan kaynaklanan aşınmaya karşı dayanabilmek zorundadır. Kuru katı yan ürün bir dizi farklı yapı amaçlarında kullanılabilir.

Sprej kuru gaz yıkayıcı işlemi ticari olarak elverişli bir teknik olarak iyi şekilde tesis edilmiştir. Kuru FGD ile donatılmış dünya çapında toplam kapasitenin, %74'ü (1998'de elektiriğin 18655 MW'u) sprej kurutucu işlemi kullanmaktadır. [33, Ciemat, 2000].

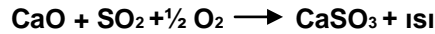
Sprej kuru yıkayıcı sistemin sermaye maliyeti temel olarak tesisin kapasitesine ve sprej absorberi ile enjeksiyon sisteminin türüne ve tasarımına bağlıdır. Bildirilen sermaye maliyeti güç tesisine bağlı olarak çok farklılık gösterir. Sprej kurutucu sistemin sermaye maliyeti aynı ebattaki LCP için ıslak kireçtaşı işleminin sermaye maliyetinden yaklaşık % 30 – 50 daha fazladır, fakat işlem maliyeti daha yüksek sorbent maliyeti nedeniyle daha yüksektir. Sprej kurutucular kireç kullandığından, işlemsel maliyetleri makul sınırlar içerisinde tutmak için tek modüllü sprej kurutucunun kullanımı 700MWth ünitesine 700000m/h'ye ve sülfür içerendüşük-orta dereceli yakıtlar ile sınırlandırılmıştır. Sprej kurutucu sistemler sadece daha küçük birimlerde ve düşük işlemlerde daha ucuzdur.

Buhar kazanı durumu için sprej kuru yıkayıcıların maliyeti; EUR 18 – 25 MW<sub>e1</sub> yatırım maliyeti ve her MWh (ısı girişi) için EUR 0.5 – 0.7 işlem ve bakım maliyeti olarak tahmin edilmiştir. Azaltılmış kirletici madde maliyeti ihrac edilmiş sülfür dioksidin her tonu için EUR 600 – 800'dür. Elektrik fiyatındaki etki her MWh (üretilen elektrik) için yaklaşık EUR 6'dır. Yüksek turba fiyatları ıslak FGD uygulamalarına kıyasla daha küçük LCP'lere cevap vermektedir.

Daha büyük dizel bir motor baca gazında (hava faktörü 2.7 – 3.5) yaklaşık 13 – 15 vol % O<sub>2</sub> oksijen içeriğine sahiptir. Buhar kazanı genel olarak 3 – 6 vol-% O<sub>2</sub> (hava faktörü 1.2 – 1.4) kullanılan yakıtı bağlıdır. Daha yüksek oksijen içeriği daha büyük bir egzoz gazı akımı demektir ve daha yüksek yatırım maliyetlerine vb... neden olan daha büyük FGD tepkime sistemlerine ihtiyaç vardır.

Yan ürünün kullanımı için farklı olasılıklara bağlı olarak, değişik desülfürizasyon methodları arasında kıyaslama yapıldığında yan ürünün kullanımı için farklı olasılıklara bağlı olarak yan ürün işleme ve imha maliyetleri sprej kuru işlemler için hesaba katılmalıdır.





Buhar kazanının enjeksiyonu, SO<sub>3</sub>'ün imhasını da gerçekleştiren ek bir yarar da sağlar.

Buhar kazanı enjeksiyonunda kireç taşının tepkimeye girmesi için kritik ısı değeri 980 - 1230 °C arasındadır. Tepkimeye girebilen kireç (CaO) üretildiğinde, ısı derecesinin dağılımı için yeterli zaman( en az yarım saniye) gereklidir. Hidratlanan kireç, iki tepkime penceresine sahiptir: 980 -1230 °C ve yaklaşık 540 °C. Bu çok kısa zaman önce keşfedilmiştir.

Termokimyasal olarak, 1260 °C'nin üzerinde yakıtla çalışan tipik sülfür fosili yakma ürünlerinin olduğu bir ortamda, CaSO<sub>4</sub> sabit değildir. Örneğin; kömürün yanması için 2000 – 4000 ppm SO<sub>2</sub> gerekmesi gibi. CaSO<sub>4</sub> 'ün oluşumu için daha düşük ısı değeri, sülfasyon kinetikleri, kristal büyümesi ve katılaştırma ve reaktif CaO yüzeyi üzerindeki CaSO<sub>4</sub> 'ün bariyer katmanındaki artışı arasındaki karmaşık uyuma bağlıdır.

4-5 oranında (Ca/S) molar sorbent, kireçtaşı buhar kazanına en yakın ve elverişli operasyonda enjekte edildiğinde, yaklaşık %50 oranında SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesine ulaşılabilir. SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesi ve kireçtaşından yararlanma kapasitesi, diğer FGD sistemlerinde olduğundan daha düşüktür. SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesinin düşük bir sermaye bedeliyle yapılmasını sağlayan birçok tedbir vardır. Örneğin, buhar kazanının sorbent enjeksiyon birimlerine bazı aletler eklenmesi gibi.. En basit tedbir, presipitatörün önündeki kanala su spreylemektir. Bu yöntem SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesinde %10 oranında artış sağlayacaktır.

Tepkime ürünlerinin geri dönüşümü, etkili ve yardımcıdır; hem SO<sub>2</sub> 'nin azaltılması, hem de kireç taşından yararlanma kapasitesini arttırmak için incelenmiştir. Partikül kontrol aletleri (ESP veya bez filtre) yoluyla toplanan tepkime ürünleri, fırına veya kanala tekrar enjekte edilebilir ve birkaç kez devirdaim edilebilir. Bazı işlemlerde ürünlerin, birkaç tavlama sonrasında geri dönüşümleri yapılabilir. Bu ölçümlerin %70- 80 arasında SO<sub>2</sub> çıkarım kapasitesine ulaşması bekleniyor.

Fırının sorbent enjeksiyonunda kül tutumu ve çıkarımı, işlemde geçecek tepkime ürünlerinin salt miktarına bağlı olarak, sorun yaratır. %10'u kömür külü ve Ca/S molar oranı 2.0'da çalıştırma, partikül kontrol aleti tarafından toplanması ve külün çıkarıldığı yere aktarılması gereken oranı neredeyse 3'e katlar. Geliştirilen bazı tesislerin bu miktarları temin edebilmek için ESP sistemlerini geliştirmeleri gerekmektedir.

Tepkime ürünlerinden yararlanabilmek için araştırma projeleri hala yapım aşamasında olmasına rağmen, fırın sorbenti enjeksiyonunun donanımına yardımcı birçok aletin, alçıtaşı gibi satılabilen yan ürünleri üretebilen ıslak gaz yıkayıcılarının aksine, özel olarak hazırlanmış çıkarım yerleri olması şarttır.

Bu işlem düşük sülfür içeren yakıtlarda ve küçük tesislerde kullanılmak üzere uygun olabilir. 'Sıvılaştırılmış Devirdaim Yatak Yakma' (CFBC) ile bu teknik, elverişli ısı derecesi şartlarında, 800 – 950 °C arasında düşük yakma derecesi kullanarak, 2.'nin faktörü üzerine artık sorbentin daha yüksek emilim (absorbsiyon) kapasitesi ile çalışır.

İşlem başlı başına oldukça basittir bu yüzden daha az operasyona ve bakıma ihtiyaç duyar. Bu işlem, arazidoluma ya da yapı materyali olarak kullanılma geçmek üzere boşaltılmadan önce ayrı bir işlemi gerektirmeyen katı, kuru tortular üretir.

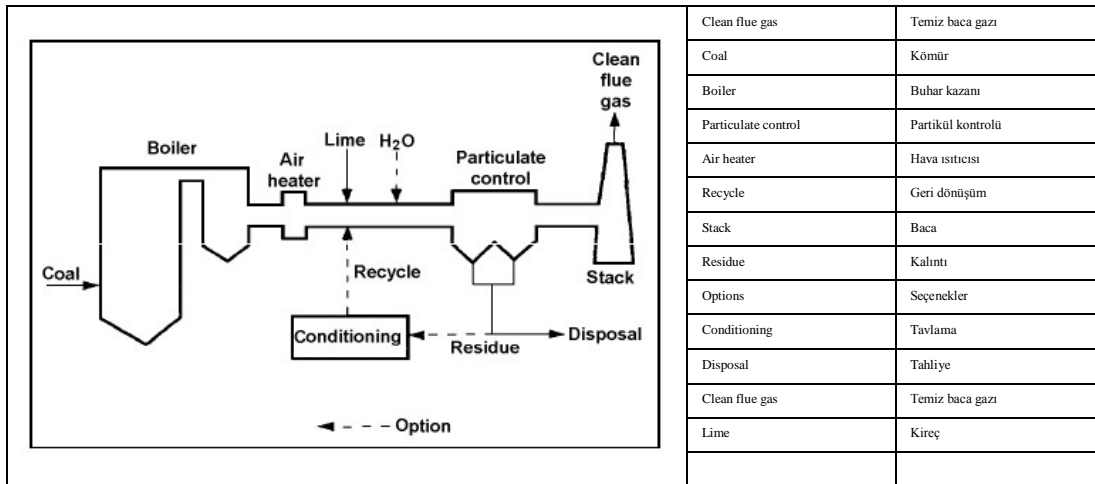
Fırın sorbenti enjeksiyonu, cüruf yığını oluşuma ve ısı eşanjörlerinin arızalanmasına sebep olabilir, bu nedenle kurum üfleme artırılmalıdır.

Bu tedbirle ilgili son referanslar, ölçülü SO<sub>2</sub> emisyonu için gerekli olanlar, yerel kömür sülfür içeriği ve prosesin basitliği dolayısıyla işlenin uygun olduğu kanıtlanan Çin'den elde edilmiştir.

Enerji üretiminde fırın sorbenti enjeksiyonu işlemi için sermaye maliyetleri sprey kurutma sistemlerinde ve ıslak gaz yıkayıcılarda olduğundan daha düşüktür. Örneğin tepkimeli bir 350 MW<sub>th</sub> birimi, ıslak kireç taşı işleminin sermaye bedelinin yaklaşık %25'i değerindedir. Kireç taşının bedeli, tepkimeye giren ürünün fiyatına bağlı olarak genelde düşük olan çalıştırma bedellerinin aşağı yukarı yarısına eşittir. Bu basit işlemin bir yararı da, çalıştırılması veya bakımı için exrta personele ihtiyaç duyulmamasıdır. Yan ürünün tekrar kullanımı mümkündür fakat ekonomik değeri yoktur.

### 3.3.5.2 Kanal Sorbenti Enjeksiyonu ( kuru FGD)

Şekil 3.17 de gösterildiği gibi kanal sorbenti hava ısıtıcısı ve varolan ESP ya da bez filtre arasına enjekte edilen baca gazı içerisine kalsiyum – sodyum sorbenti enjeksiyonu anlamına gelir.



**Şekil 3.17: Kanal sorbent enjeksiyonu**  
[33, Ciemat, 2000]

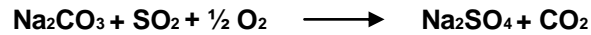
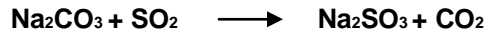
Kanal sorbenti enjeksiyonunun en yaygın olan türleri :

- tavlama gerektiren kuru, hidratlanmış kireç
- tavlama gerektirmeyen kuru, sodyum enjeksiyonu
- ayrı bir tavlama aşaması gerektirmeyen kireç çamuru enjeksiyonu ya da kanal içi gaz yıkama

Tavlama suyu iki amaca hizmet eder: ilk olarak SO<sub>2</sub> çıkarımını genişletmek için sorbenti aktif hale getirir ve ikinci olarak da etkili ESP performansı temin etmek üzere partiküler maddeyi tavlandırır.

Kanal sorbenti enjeksiyonu görünüşte basit bir işlem olsa da, kontrolünü arttırmakta kullanılan bazı anahtar olgular: a)- sorbent temelli kalsiyum ya da sodyum tarafından baca gazının desülfürizasyonu ürünün tepkimeye girmeyen yüksek miktarda absorbenti ile çok bükümlü geri dönüşümdür. b)- varolan bir ESP ile birleşme, ısı dereces,n, azaltarak ve daha yüksek nemlilik sağlayarak kapasiteyi artırır. Hala ESP'nin kanal enjeksiyon işlemine basit bir hammadeden 100 kat daha fazla ürün ve uçucu külü nasıl topladığı anlaşılmalıdır. Aşınma riskine karşı ESP'lerin ve duvarların suyla direk temasından kaçınmak için geri dönüşümü yapılan ürünlerin bir şekilde tavlama sağlanan yardımcı parametreler vardır.

Enjekteden sonra, sodyum karbonat oluşturmak için sodyum bi karbonat termik olarak çürür. Sodyum karbonatın ilk sorbent yüzeyi, sodyum sülfat ya da sülfid oluşturmak için SO<sub>2</sub> ile tepkimeye girdikten sonra, gözenek tıkanması (SO<sub>2</sub> nin gaz yayma evresine karşı koyar) yüzünden tepkime yavaşlar. Reaksiyonun devam etmesi için, sorbent partikülü daha fazla çürümelidir. Bu çürüme, H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> gazları partikül boyunca boş aralıkların bir şebekesini yaratan, saran atmosferin içine doğru gelişir. Bu proses taze reaktif sorbentine maruz kalır ve SO<sub>2</sub>'nin bir kez daha dahili partikülde yayılmasına izin verir. Yüzey alanındaki bu artış, incelenen özel sorbente bağlı olarak, orijinal yüzey alanının 5-20 seferlik sırasındadır. Reaksiyonların aşağıdaki serileri SO<sub>2</sub>'nin çıkarımı amacıyla sodyum karbonat üretmek için bulunduğu düşünülür:



Dekompozisyon ve sonradan meydana gelen sodyum bileşeni partikülünün sülfasyonu gaz sıcaklığı, ısının partiküle aktarım hızı, baca gazı H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>, kısmi basınç ve diğer baca gazı bileşenlerinin komplike fonksiyonlarıdır.

Kanal sorbent enjekteleri teknolojilerinin özellikleri, düşük sermaye bedelleri işlemin basitliği ve zor uyarlama durumlarına uyum sağlayabilmeleridir. Buna rağmen, nispeten düşük SO<sub>2</sub> ihracat verimliliğine sahiptirler. Bu dezavantaj ve düşük sorbent kullanımının verimliliği, ticareti zorlaştırmıştır. Bununla birlikte, kanal sorbent enjekteleri nispeten eski ve küçük buhar kazanları için büyük potansiyele sahiptir, yani SO<sub>2</sub>'nin ihracatını ve güvenilirliğini ilerletmek için günümüzde çeşitli kanal sorbent enjekteleri işlemleri geliştirilmektedir. Kanal sorbent enjektelerinde SO<sub>2</sub>'nin ihracatının verimliliği hedefi, eskiden genellikle en az %50'di. Meydana gelen işlemler, kayda değer ek sermaye maliyetleri ve işlemsel zorluklar olmaksızın SO<sub>2</sub> ihracatının verimliliğini %70 - 95 oranında başarılmayı hedeflemektedirler.

Harcanmış sorbent geri dönüşümü, kanal sorbent enjektelerinin ekonomisinde özellikle önemlidir, çünkü daha kısa sorbent ikame süreleri (0.5-3.0 saniye) geleneksel sprey kuru gaz yıkayıcılarına kıyasla düşük sorbent kullanımına yol açmıştır. Kilo olarak sadece Ca(OH)<sub>2</sub>'nin %15'ten 30'a kadarı harcanmış sorbent geri dönüşümü olmaksızın genellikle SO<sub>2</sub>'yle tepkimeye girer. Bu ESP'de toplanan tepkimeye girmemiş Ca(OH)<sub>2</sub>'nin %70'ten 85'e kadarının, kuru uçucu kütle birlikte boşaltıldığı anlamına gelir. Düşük sorbent kullanımı, kanal sorbent enjekte işlemlerinde bir dezavantajdır. Son zamanlarda, harcanmış sorbent geri dönüşümü sorbent kullanımını geliştirmek ve SO<sub>2</sub>'nin çıkarımı performansını arttırmak için birçok işleme uyumlu hale getirildi.

Bir sorbent geri dönüşüm sisteminde toplanmış olan bu katıların bir bölümü Ca(OH)<sub>2</sub>'nin SO<sub>2</sub>'yle tepkimeye girmesi için başka bir fırsat yaratmak amacıyla kanal'a geri dönüştürülür. Bu katıların geri dönüştürmek, taze kireç ilavesinin oranını arttırmaksızın sistemdeki toplam Ca(OH)<sub>2</sub> miktarını artırır. Yani, SO<sub>2</sub> çıkarımındaki herhangi bir artış, taze sorbent bedellerini yükseltmeden gerçekleştirilir.

Kanal sorbent enjekte işleminin uygulanması çok basit ve kolaydır, yani işlemin bozulmasına dair büyük riskler yoktur.

İşlem, özellikle enjekte kanalın soğutma kısmına ayarlandığında, çeşitli yakıtlar ve yakma teknikleri için uygundur. Sorbent baca gazı kanalın daha soğuk kısmına temin edildiğinde, sorbent katılaştırılması ve/veya erimesinden kaçınmak mümkündür.

İşlem, özellikle enjekte kanalın soğutma kısmına ayarlandığında, çeşitli yakıtlar ve yakma teknikleri için uygundur. Sorbent baca gazı kanalın daha soğuk kısmına temin edildiğinde, sorbent katılaştırılması ve/veya erimesinden kaçınmak mümkündür.

Prosesin kontrolünü uygulamak çok kolay olduğundan, buhar kazanı yüklemesindeki ya da diğer parametrelerdeki değişiklikler verimliliği etkilemez.

Kuru FGD teknolojisiyle donanmış, dünya çapındaki kapasitenin % 23'ü (1998'deki elektriğin 5929MW'si) kuru kanal enjekteleri ve sorbent fırın enjekteleri işlemlerini kullanır.

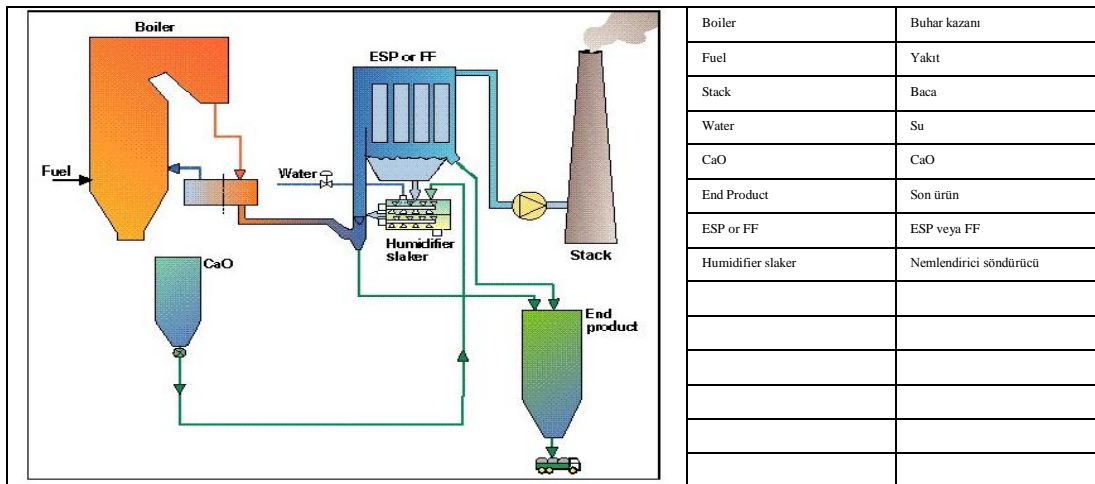
Kuru sorbent enjektisi işlemleri küçük güç tesislerinde ekonomik olarak rekabete dayalıdır. Yatırım maliyetleri düşüktür ve bu tedbirin var olan bir enerji tesisine inşa edilmesi oldukça kolaydır. Kanal sorbent enjektisi işleminin bildirilen sermaye bedelleri , tesisin büyüklüğüne ve yakıtın sülfür içeriğine bağlı olarak değişmektedir

Gerekli tepkiyen fırın enjektisi gibi kireçtaşı işlemlerinde olduğundan daha pahalıdır, ki bu daha küçük bir Ca/S-mole oranı mümkün olsa bile işlemsel bedellerin daha büyük olmaya eğilimli olduğu anlamına gelir. İşlemin azaltma oranı yüksek sorbent bedelleri ve yardımcı güç arzı anlamına gelen Ca/S-oranı'nın artmasıyla geliştirilebilir. Yan ürün her zaman yeniden kullanılamaz ve bu operatöre daha fazla masrafa yol açar.

### Modifiye kuru FGD prosesi

Bir buhar kazanından ya da ön kolektörden (aşağıdaki resimde ön kolektör gösterilmemektedir) sıcak, işlenmemiş baca gazı, bir gaz dağıtıcıyla kuru FGD reaktörüne verildiğinde, uçucu kül ve kirecin serbest akışlı nemli tozuyla bağlantıya geçer. Tepkisel bileşenleri , tozun bazı bileşenlerinin içine hızlı bir şekilde emilir. Su, SO<sub>2</sub>'nin verimli toplamı için gerekli baca gazı derecesine ulaşmak için eş zamanlı olarak buharlaştırılır. Gaz dağıtımının kontrolü , toz akış oranı, dağıtım ve nemlendirici su miktarı ideal SO<sub>2</sub> ihraç verimliliğinin elde edilmesini sağlar.

Uygulanan egzoz gazı baca gazındaki partiküllerin çıkarıldığı partikül toplayıcı (bez filtre ya da elektrostatik presipitator)'e doğru akar. Gazın çıkış yeri indüklenen fan yardımıyla partikül toplayıcıdan bir yığına transfer edilir. Toplanan katılar bir nemlendirici sistemde kuru FGD reaktörüne geri dönüştürülür. Silo seviyesi boşaltım için yan ürün deposuna tozun aşağı üflenmesini kontrol eder.[135,Alstom Power,2003].



Şekil 3.18: Modifiye kuru FGD prosesi  
[135, Alstom Power, 2002], [162, Notter, et al., 2002]



Bununla birlikte, karmaşık özel teçhizata duyulan ihtiyaç modifiyeli kuru FGD işleminde en aza indirgenir. Ne dönel ya da yüksek hızlı makineye bağlı sıvı püskürtücü vardır, ne de sıkıştırılmış havaya olan ihtiyaçla bağlantılı dual akışkan püskürtme başlığı vardır. Mikserlerde geri dönüşüm /ayırıcın karıştırılması için enerji gereksinimleri , geleneksel kuru baca gazı temizleme sistemindeki uygun parçalardan daha düşüktür:kıyaslamayla, dönel sıvı püskürtücüler ve dual akışkan ağızlıklar mixerden çok daha karışık görünürler. Dönel sıvı püskürtücüleri ya da ağızlık kullanmaktansa mixer kullanımının daha önemli bir sonucu da operatörün dikkatini gerektiren tüm teçhizatın zemin seviyesine yakın baca gazı akışının dışında ve kumaş filtresiyle mahfaza boyunca yerleştirilmiş olmasıdır. Bu ayarlama daha düşük fiyatları ve kolay bakımı sağlar.

### 3.3.5.3 Hibrid sorbent enjektisi

Melez sorbent enjektisi SO<sub>2</sub> ihraç verimliliğini sağlamak için fırın sorbent enjektisi ve kanal sorbent enjektisinin birleşimidir. Kireç taşının sorbent olarak kullanılması, hibrid sorbent enjektisinin bir özelliğidir. Kireçtaşı genellikle sprey kuru gaz yıkayıcılarında kullanılan kireçten daha ucuz olduğu için bu arzu edilir bir özelliktir. Bazı hibrid sorbent enjektisi işlemleri aşağıdaki temel özellikler nedeniyle ticari statüye ulaşmıştır:

- Nispeten yüksek SO<sub>2</sub> ihraç oranı
- Düşük sermaye ve işletim maliyetleri
- Kolay ayarlama
- Çamur taşımaksızın kolay işlem ve bakım
- Ekipmanın kompakt boyutları sayesinde daha az kurulum alanı gereksinimi
- Atık su tesisine ihtiyaç olmaması.

### 3.3.5.4 Dolaşimli akışkan yatak (CFB) kuru gaz yıkayıcıları

Dolaşimli akışkan yatak (CFB) prosesi bir çeşit kuru gaz yıkayıcıdır fakat sprey kurutucu gaz yıkayıcıdan da sorbent enjektisinden de ayrıdır. Buna rağmen, bu belgede kendi türünün tek prosesi ve sorbent enjekte işleminin altında CFB kuru gaz yıkayıcı olarak sınıflandırılır.

CFB işlemi 1987'den beri Almanya'da 5 tane kömürle çalışan kamu amaçlı buhar kazanları üzerinde ticari olarak işletilmiştir. Hidratlanmış kireç doğrudan CFB reaktörüne enjekte edilir. Yanmış kireç, ayrı bir işlemden sahada söndürülebilir.

Baca gazı, buhar kazanı ön ısıtıcısından, dipteki CFB reaktörüne girer ve venturi bölümü boyunca yukarı doğru dikey olarak artar. Venturi kabın işletici alanı boyunca düzgün akış dağıtımını elde etmek için tasarlanır. Venturinin içinde, gaz önce hızlandırılır ve daha sonra üst silindirik kaba girmeden önce yavaşlatılır. Kabın üst yüksekliği istenilen Ca ve SO<sub>2</sub> iletişim zamanı için gereken yatak materyalinin kütlesini yerleştirmek için tasarlanır. Yeniden sirkülasyona giren materyal taze ayıraç ve gaz tavlama su gibi tüm harici girdiler venturinin ayırıcı duvarı üstünde tanımlanırlar. Kap dahili mekanik ya da yapısal bileşenlere sahip değildir..

İşlem uygulama açısından karışık değildir ve öğütücü değirmenler aşınmaya dayanıklı çamur pompaları, agitatorlar, dönel atomizerler ve sulu çamur dehidrasyonu gerektirmediğinden bakımı daha kolaydır. Bunun yanı sıra, dolaşimli yatağın artan verimli yüzey alanı, kondensat SO<sub>3</sub> aerosol dumanından gaz yolu korozyonunun olasılığını bertaraf ederek gazdaki neredeyse tüm SO<sub>3</sub>'ün başarıyla elde edilmesine izin verir.

### 3.3.6 Yenilenebilir süreçler

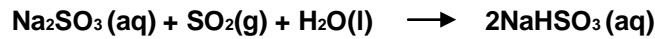
Yenilenebilir yöntemlerde, harcanan sorbent termal ya da kimyasal işlem sonrasında çoğunlukla elemental sülfüre dönüştürülecek olan SO<sub>2</sub> konsantrasyonu üretmek üzere tekrar kullanılır. Yenilebilir ilk işlem, 1970'lerin başında ticari kullanıma konulmuştur. Bu işlemler, çalıştırabilmesi için daha fazla enerji ve yüksek sermaye bedelleri gerektiren karmaşık süreçler olduklarından, yakma tesislerinde geniş çapta kullanılmazlar.

Geniş ölçekli FGD uygulamasından önce, sülfür pahalı bir kaynaktı ve günümüzde birçok endüstriyel işlem bu uygulamanın yerini aldı ve buna bağlı olarak fiyatı da düştü. Bu yüzden şu anda çok düşük bir ticari değere sahiptir. Bu süreçler çoğunlukla sadece ürün geri ödemesi ile ekonomik olduğundan, düşük sülfür fiyatları bu süreçlerin rekabet yeteneğine sahip olmadığı anlamına gelir. Bazı uygulamalar, değişik yöntemlere dönüştürülebilir. Sadece rafineri ya da kimyasal tesislerin içinde ya da yakınında bulunan LCP'ler endüstriyel bölgede geniş ölçüklü rejenerasyon uygulandığında bu yöntemlerden faydalanabilir.

#### 3.3.6.1 Sodyum sülfid bisülfid prosesi

Sodyum sülfid bisülfid sistemi rejenera edilebilen en yaygın yöntemdir. Bu yöntemi kullanan kimyasal tesisler taş kömürü, linyit, benzin ve kok kömürü petrolü kullanan endüstriyel buhar kazanları ve güç istasyonları için çalıştırılır. Toplam tesis sayısı, 6 adet kömürle çalışan buhar kazanı dahil 38'dir. (yaklaşık 23 milyon m<sup>3</sup>/h baca gazı ile birlikte) Bu tesislerin çoğunluğu Almanya, Japonya ve ABD'de yer alır. Ancak birçok durumda LCP operatörleri, kullanılan teknikleri değiştirmiştir ya da daha makul FGD yöntemleri için değiştirebilir.

Bu yöntem sodyum sülfid/bisülfid dengesi üzerine kurulmuştur. Baca gazı ilk aşamada gazı doymun hale getiren soğutan; halojenürlerden ve kalan partikülatlardan ayıran gaz ön yıkayıcısı birimlerinden geçer. Çeşitli gaz ön yıkayıcı sistemler kullanılabilir ancak her biri klorid ve katı yoğunlaşmalarını kontrol etmek üzere iyi temas artı temizleme akımı sağlayacak devirdaim su akımı ihtiva eder. Absorberlerde aşağıdaki tepkime gerçekleşir:



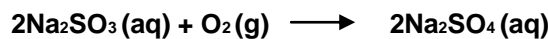
Emilim karşıtıdır ve sıvı madde sütunda aşağıya doğru indikçe sıvı madde sütunundan ayrılana kadar daha fazla sülfid, bisülfite dönüşür. Gaz ön yıkayıcısından geçen az miktardaki uçucu kül de çözelti içinde ve temiz sıvı madde rejenerasyonu için ara depolama bölgesinden geçmeden önce filtreleme ile dışarı atılır.

Rejenerasyon alanında ana tepkime şöyledir



Absorber ürün sıvısı cebri buharlaştırıcı döngülerde rejenera edilir. Ardından sodyum sülfid, çözelti halinden kristalleşir ve absorber besleme sıvı maddesi üretmek üzere yoğunlaştırıcıda tekrar çözülür.

İşlem sırasında biri absorpsiyon diğeri ise rejenerasyon sırasında olmak üzere 2 yan tepkime meydana gelir. Absorpsiyon bölgesinde baca gazındaki oksijene bağlı olarak SO<sub>2</sub> absorpsiyonunun sıvı kapasitesini düşüren az miktarda sodyum sülfat üretilir:



Rejenerasyon sırasında orantısız tepkime sebebiyle az miktarda sodyum tiyosülfat meydana gelir:

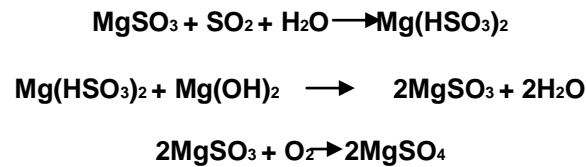


Bu tepkime, otokataliktir bu yüzden tiyosülfat konsantrasyonu arındırma ile düşük derecede tutulabilir. Çoğunlukla sodyum sülfidin absorberdeki sülfata oksidasyonu sırasında ortaya çıkan sodyum kaybını yerine sodyum hidroksit eklenir. Ayrıca oksidasyonu engellemek için etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) eklenir.

Bu işlem 1987 yılından beri Almanya'da baca gazını 350 MWe ve 325 MWe üreten iki komşu güç tesisinin desülfürizasyonunda kullanılmaktadır. Birleşik tesisler 80000 – 90000 t/yr arasında yüksek kalite sülfür ve 15000 – 20000 t/yr saf sodyum sülfat üretmiştir. sodyum sülfid bisülfid yönteminin karmaşık bir tasarımı vardır ve yetenekli uygulama personeli gerektirir.

### 3.3.6.2 Magnezyum oksit prosesi

Magnezyum oksit yöntemi; sorbent olarak magnezyum oksit çözeltisini kullanan, rejenere edilebilen ıslak gaz yıkayıcı yöntemidir. Aynı şey harcanan sorbent için rejenerasyon aşaması dışında kireçtaşı ıslak gaz ön yıkayıcı için de geçerlidir. Baca gazında bulunan HCl ve HF gaz ön yıkayıcısı yöntemiyle SO<sub>2</sub> absorpsiyonundan sonra magnezyum tuzunun kirlenmesini önlemek amacıyla dışarı verilir. Böylelikle baca gazı SO<sub>2</sub> nin sıvı magnezyum sülfat çamuru tarafından absorbe edilip, magnezyum hidroksit sorbenti oluşturduğu yıkayıcıya gider:



Tepkime ürünü magnezyum sülfid/sülfat, sürekli olarak absorberlerden sızan kurutucuda kurutulmuştur. Magnezyum sülfid/ sülfat absorpsiyon sistemine geri dönen ve magnezyum oksiti rejenere etmek üzere karbonla birlikte yaklaşık 900 °Cde kireçleşir:



İşlem sırasında yan ürün olarak elemental sülfür, sülfürik asit ya da sülfür dioksit konsantrasyonu elde edilir. Bunlar tüm işletim masraflarını azaltmak için satılabilen yan ürünlerdir. Aksi takdirde, magnezyum oksitin rejenerasyonu yüksek miktarda termal enerji gerektirir.

Magnezyum oksit yöntemi ile bugün Amerika'da kömürle çalışan 3 tesis 900 MWe total kapasite ile çalıştırılmaktadır. 1982 yılında hepsi varolan tesislerle birleşmiştir ve hepsi % 3.5'in üzerinde sülfür içeren kömürle çalışmaktadır. Yapılanmakta olan magnezyum oksit tesisi bulunmamaktadır ve planlanması beklenen tesis de yoktur.

## 3.3.7 Baca gazı kükürt giderme (FGD) tekniklerinin genel performansı

Teknik	Genel SO <sub>2</sub> azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Islak kireç / Kireçtaşı gaz yıkayıcısı	% 92 – 98 (absorber tipine bağlı olarak)	İşletme sıcaklığı	45 – 60 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bazı FGD ünitelerine yönelik SO<sub>2</sub> azaltım oranı %85 ile başlar,</li> <li>Toplam kurulu FGD kapasitesinin %80'i ıslak gaz yıkayıcılardır, bunun % 72'si ayıraç olarak kireçtaşı kullanır, % 16'sı kireç ve % 12'si ise diğer ayıraçlar kullanır</li> <li>Kireçtaşı seçimi (yüksek kalsiyum karbonat içeriği, düşük Al, F ve Cl içeriği) iyi SO<sub>2</sub> ihraç oranını temin etmede önemli bir noktadır</li> <li>kireçtaşını tesise getirme uzaklığı ve kireçtaşı reaktivitesi hesaba katılması gereken önemli hususlardır</li> <li>bazen yıkama solüsyonunun pH değerini korumak amacıyla organik tamponlar kullanılır</li> <li>baca gazının yeniden ısıtılmasından kaynaklanan enerji kaybı genellikle baca gazı yeniden ısıtmasına gereksinim duymayan kuru FGD sistemleri ile kombine SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ihraç sistemleri kıyasla büyüktür</li> <li>Yaklaşık 150 °C'de çalışan dönel gaz-gaz ısı eşanjörü ile ilişkili sorun SO<sub>2</sub> içeriği azaltılmaksızın doğrudan bacaya girenham baca gazının % 1 ile 3 oran ile dahili baca gazı sızıntısıdır</li> <li>Birkaç tesis soğutma kulesi veya ıslak baca tahliyesi ile ıslak FGD sistemlerini kullanır. Temizlenmiş baca gazının ıslak baca tahliyesi veya soğutma kulesi masraflı yeniden ısıtma gereksinimini ortadan kaldırır, yeniden ısıtma enerjisinden tasarruf sağlar ve büyük ölçüde düşük seviyede emisyon yoğunlaşmaları ile seonuçlanır</li> <li>Atık su üretimi ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcısının bir dezavantajıdır</li> <li>Yüksek su tüketimi</li> <li>Yüksek enerji tüketimi (ortalama olarak, süspansiyon pompası yaklaşık 1 MW tüketir) nedeniyle genel tesis verimliliğinde düşüş</li> <li>Satılabilir bir yan ürün olarak alçıtaşı.</li> </ul>
		Sorbent	Kireçtaşı kireç	
		Elektrik kapasitesinin %'si olarak enerji tüketimi	% 1 – 3	
		Basınç düşüşü	20 – 30 (10 <sup>2</sup> Pa)	
		Ca/S molar oran	1.02 – 1.1	
		Güvenilirlik	(işletim süresinin) % 95 - 99	
		Tortu/yan ürün	Alçıtaşı	
		Alçıtaşı saflığı	% 90 – 95	
		İkame süresi	10 saniye	
		Plastik astar ömrü	> 10 yıl (taş kömürü)	
		SO <sub>3</sub> azaltım oranı	% 92 – 98	
		HCl azaltım oranı	% 90 – 99	
		HF azaltım oranı	Absorberdeki % 90 – 99	
		Partikülata	Partikül boyutuna bağlı olarak > % 50	

Tablo 3.5: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik ıslak kireç/kireçtaşı yıkama işleminin genel performansı

Teknik	Genel SO2 azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Deniz suyu gaz yıkayıcısı	% 85 - 98	İşletim sıcaklığı (örnek)	145 °C (baca gazı girişi örneği) 30 – 40 °C (= denizsuyu çıkış sıcaklığı)	<ul style="list-style-type: none"> <li>deniz suyu elverişli olmalıdır</li> <li>elektrik santrallerinde sadece birkaç ünite çalışır</li> <li>bir yakma tesisine deniz suyu gaz yıkama prosesi uygulayarak gaz yıkayıcı su çıkışına yakın olan deniz suyu koşulları, gelgit akıntıları, deniz (akuatik) ortam gibi yerel koşulların olumsuz çevre ve ekolojik etkileri önlemek amacıyla dikkatlice incelenmesi gereklidir. Etkiler elektrik santralının genel çevresindenki pH değerindeki azalmadan kaynaklanabileceği gibi geriye kalan metaller (apır metaller bazen iz elementler olarak adlandırılır ve uçucu kül girişinden de kaynaklanabilir. Bu özellikle halihazırda konumlanan bir tesis için uygulanabilir</li> <li>deniz suyu gaz yıkama işleminin uygulanabilirliği proses basit olduğundan ve çamur taşıma gerektirmediğinden çok yüksektir</li> <li>ıslak FGD sistemine kıyasla işletim maliyetleri düşüktür</li> <li>baca gazının öncelikle tozdan arındırılması gerekir</li> <li>sadece düşük kükürlü yakıtlar için uygulanabilir</li> </ul>
		Sorbent	Deniz suyu/hava	
		Aeratördeki deniz suyunun ikame süresi	15 dak. (örnek, ikame süresi proses tipine bağlıdır)	
		Absorber başına azami baca gazı akışı	Gaz akışında sınırlama yok	
		Güvenilirlik	% 98 – 99	
		Tortu/yan ürün	Yok	
		Elektrik kapasitesinin %'si olarak enerji tüketimi	% 0.8 – 1.6	
		HCl azaltım oranı	% 95 – 99	
		HF azaltım oranı	Absorberde % 95 – 99	
		Su tüketimi (örnek)	15000 m <sup>3</sup> /s (denizsuyundaki bikarbonat konsantrasyonuna bağlı)	
		Atık su	Yok (ancak sülfat iyonları denizsuyunda çözülmüştür)	
		Basınç düşüşü	10 – 20 (10 <sup>2</sup> Pa)	

Tablo 3.6: Kükürt oksit emisyonlarını azaltacak deniz suyu gaz yıkamanın genel performansı

Teknik	Genel SO2 azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Sprey kuru gaz yıkayıcı	% 85 – 92	İşletim sıcaklığı	120 – 200 °C (baca gazı girişi) 65 – 80 °C (baca gazı çıkışı)	<ul style="list-style-type: none"> <li>SO3'ün ıslak gaz yıkayıcılara göre sprey kuru gaz yıkayıcılarda daha etkili bir şekilde ihraç edildiğine dikkat edilmelidir</li> <li>Söndürme için kule değirmenlerinin kullanılması söndürülmüş kirecin reaktivitesini artırabilir</li> <li>Sprey kuru gaz yıkayıcıları ıslak gaz yıkayıcılara göre daha fazla SO3 ihraç edebileceğinden, ıslak gaz yıkayıcıları ile tesise yakın çevrede daha az H2SO4 sorunu olması olasıdır</li> <li>NOX ve partikül kontrol cihazlarında güç tüketimi genellikle % 0.1'den daha azdır, kirlilik kontrolüne yönelik toplam güç tüketimi sprey kuru gaz yıkama tekniğini benimseyen bir tesiste genellikle % 1.0'ın altındadır. Bu durum, % 1.0 ile 1.5 arasında güç tüketimi gerektiren ıslak gaz yıkayıcılar ile karşılaştırıldığında büyük bir avantajdır</li> <li>Dominant ıslak gaz yıkayıcılara yönelik kireçtaşıma ilişkin olarak sprey kuru gaz yıkayıcılarda kullanılan kireç taşı sorbentinin dört veya beş kat yüksek maliyeti sprey kuru gaz yıkayıcılarının en büyük dezavantajıdır</li> <li>Araştırmalar göstermiştir ki gaz yıkayıcının gaz evresi üst akışında mevcut civanın yaklaşık % 35 ile 85'inin ihraç edilmiştir</li> <li>sprey kuru absorpsiyon prosesleri taş kömürü ile çalışan yakma ünitelerinde halihazırda işletilmektedir. Ancak prosesin pilot çalışmalarında petrol, linyit veya turba gibi diğer fosil yakıtlara da uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır</li> <li>% 3'ü aşan kükürt içeriği ile ihraç verimliliği çok az düşer</li> <li>sprey kuru gaz yıkayıcı verimliliği, kükürt gidermenin belirli oranda örneğin bez filtrenin filtre kekinde gerçekleşmesi nedeniyle, kullanılan toz arındırma cihazlarına bağlıdır (örneğin bez filtre veya ESP)</li> <li>tortu olarak CaSO4.</li> </ul>
		Sorbent	Kireç, kalsiyum oksit	
		İkame süresi	2 – 10 saniye	
		Ca/S molar oran	1.3 – 2.0	
		Absorber başına azami baca gazı akışı	700000 m <sup>3</sup> /s	
		SO3 ihraç oranı ve HCI	% 95	
		Kullanılan sorbentin resirkülasyon oranı	% 0 - 15	
		Enjekte edilen sıvıdaki katı içeriği	% 10 - 35	
		Güvenilirlik	% 95 - 99	
		Tortu/yan ürün	Uçucu kül, tepkimeye girmemiş katkı maddesi ile CaSO3	
		Elektrik kapasite %'si olarak enerji tüketimi	% 0.5 – 1	
		Su tüketimi	20 – 40 l/1000 m <sup>3</sup> baca gazı (gaz sıcaklığına bağlıdır)	
		Atık su	Yok	
		Toz arındırma cihazı olmaksızın sprey kurutucunun basınç düşüşü	30 (10 <sup>2</sup> Pa)	

Tablo 3.7: Kükürt oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik sprey kuru gaz yıkayıcının genel performansı

Teknik	Genel SO <sub>2</sub> azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Fırın sorbent enjeksiyonu	% 30 - 50 tepkime ürününün yeniden çevrime alınması ile % 70 - 80	İşletim sıcaklığı	950 – 1150 °C (üst fırın) 540 °C (ekonomizer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>SO<sub>2</sub> kontrol verimliliği temelde Ca/S molar oranı, sorbent tipi, humidifikasyon derecesi, mevcut katkı maddeleri, enjeksiyon noktası ve buhar kazanı yükünün fonksiyonudur</li> <li>SO<sub>2</sub> ihraç verimliliğini arttırmak için, presipitatörden önce kanala su spreylenebilir. Bu ise SO<sub>2</sub> ihraç verimliliğinde yaklaşık %10'luk bir gelişme sağlar</li> <li>Buhar kazanında arıza, cüruf üretme ve yakıt dengesi sorunları</li> <li>Fırın sorbent enjeksiyonu küldeki yanmamış karbon miktarını artırabilir</li> </ul>
		Sorbent	Kireçtaşı, hidrat kireç, dolomit	
		Güvenilirlik	% 99.9	
		Buhar kazanı verimlilik düşüşü	% 2	
		Elektrik kapasitesi %'si olarak enerji tüketimi	% 0.01 – 0.2	
		Tortu	Ca tuz karışımı	
Kanal sorbent enjeksiyonu (Kuru FGD)	% 50 - 80	İşletim sıcaklığı		<ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük sermaye maliyetleri ile son derece basit kurulum</li> <li>Uyarlama kolaylığı (küçük alan ve kısa yapım süresi)</li> <li>Atık su yok</li> <li>Islatma sonrası külün sertleşmesine neden olan, kül tepkimeye girmemiş kireç ile zenginleştiğinden kül taşınımı daha zordur</li> <li>Kanal duvarı birikme eğilimi artar</li> </ul>
		Sorbent	Kireçtaşı, hidrat kireç, dolomit	
		Güvenilirlik	% 99.9	
		Buhar kazanı verimlilik düşüşü	% 0.2	
		Elektrik kapasitesi %'si olarak enerji tüketimi	Ca tuz karışımı	
Hibrid sorbent enjeksiyonu	% 50 – 80 (tepkimeye girmemiş CaO'nun nemlendirme yoluyla reaktivasyonu ile % 90)	İkame süresi	3 saniye	<ul style="list-style-type: none"> <li>Birleşik Devletler'de bazı tesislerde kullanılır</li> </ul>
CFB kuru gazı yıkayıcı	% 90 - 99	İşletim sıcaklığı	70 - 80 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>CFB kanalı, temiz gaz resirkülasyonu ile % 30 ile 100 arasında değişen buhar kazanı yüklerine yönelik 1.8 m/s ile 6 m/s arasında dahili gaz ivme ranjı ile birlikte tasarlanır</li> <li>Sadece birkaç kez uygulanmıştır</li> <li>Yüksek ağır metal ihracı</li> </ul>
		İkame süresi	3 saniye	
		Ca/S	1.1/1.5	
		Kullanılan sorbentin resirkülasyonu	10 – 100	
		Enerji tüketimi	% 0.3 – 1	
		Sorbent	Ca(OH) <sub>2</sub>	
		Güvenilirlik	% 98 – 99.5	
		Toz arındırma olmaksızın basınç düşüşü	7 – 15 hPa	
Tortu	CaSO <sub>3</sub> /CaSO <sub>4</sub> /uçucu kül			

Tablo 3.8: Kükürt oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik farklı sorbent enjeksiyon tekniklerinin genel performansı

Teknik	Genel SO2 azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Sodyum sülfid bisülfid prosesi	% 95 - 98	Absorberdeki baca gazı sıcaklığı	45 – 70 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sodyum sülfid bisülfid prosesi kömürle çalışan ünitelere yönelik olarak Avrupa’da artık fiili olarak uygulanmamaktadır</li> <li>Proses SO2 absorbe etmek için bir solüsyon kullandığından, valf tablaları veya paketlenmiş yataklar gibi yüksek verimlilik temas cihazları ölçekleme problemleri olmaksızın kullanılabilir</li> <li>Bazı hallerde örneğin bir elektrik santralının bir şehir merkezinde veya yakınında olması durumunda büyük miktarda malzemelerin santrale ve santralden dışarıya taşınması (kiraçtaşı ve alçıtaşı) gürültü ve trafik hareketleri nedeniyle rahatsızlık yaratabilir. Aksine, sodyum sülfid bisülfid prosesi için, kaustik soda ve sülfüre yönelik daha az trafik mevcuttur</li> <li>Sodyum sülfid bisülfid prosesi yüksek sermaye maliyeti ve işletim personelinin sayı ve vasıf bakımından yüksek talep ve yüksek güç tüketimi gerektirir</li> </ul>
		Yakıttaki azami S içeriği	% 3.5	
		Azami baca gazı akışı	600000 m <sup>3</sup> /s	
		Enjekte edilen sıvıdaki katı içeriği	% 20 – 50	
		Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	% 3 – 5.8	
		Su tüketimi	70 – 200 m <sup>3</sup> /s (sadece ön gaz yıkama)	
		Güvenilirlik	> % 95	
Magnezyum oksit prosesi	Mevcut değil	Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	Mevcut değil	
		Yan ürün	Elemental kükürt, sülfürik asit veya konsantre sülfür oksit	
		Güvenilirlik	Mevcut değil	
Notlar: n.a = mevcut değil				

Tablo 3.9: Sülfür oksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik rejeneratif tekniklerin genel performansı



### 3.4 Nitrojen oksit emisyonlarını azaltma teknikleri

Bu bölüm yakma tesisatlarından genel olarak nitrojen dioksit emisyonunun azaltılmasında kullanılan yöntem ve tekniklerin genel bir tanımını sağlamaktadır. Nitrojen dioksiti azaltma teknikleri temel ve ikinci yöntem olarak ayrılmıştır. Temel yöntem; buhar kazanında NO<sub>x</sub> oluşumunu ve/veya azaltımını kontrol etmek için geliştirilmişken, ikinci yöntem ise NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmakta kullanılan boru çıkışı teknikleridir

LCP gibi sabit kaynaklardan hava emisyonunun azaltılması ile ilgili birçok kitap, rapor ve belgeler yayınlanmıştır. Nitrojen oksitlerin azaltılması hakkında ayrıntılı bilgi [32, Rentz, et al., 1999] ve [33, Ciemat, 2000]'da bulunabilir ve ikisi de BREF'in bu bölümü için arka plan materyali olarak kullanılabilir.

Fosil yakıtların yanması sırasında oluşan nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) başlıca NO, NO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>O'dur. Çoğu yakma türleri arasında NO, total NO<sub>x</sub> 'e %90 oranında katkı sağlar. 1.bölümde bahsedildiği gibi teoride NO<sub>x</sub> için 3 farklı oluşum mekanizması vardır. Termal NO oluşumu; ani NO ve yakıt içeriği olarak nitrojenden NO oluşumu. Çok sayıda temel yöntem, bugün bu mekanizmalarla NO<sub>x</sub> oluşumunu en aza indirmek için LCP'lerde kullanılmaktadır.

Tablo 3.3'te EURELECTRIC, VDEW ve VGB'den 1996 yılına kadar toplanan veriler ve 1999 yılı sonuna kadarki dönemde yapılan uygulama tahminleri ile denitrifikasyon incelemesi sunulmuştur.

Santraller ve teknik	Saha sayıları ve elektrik enerjisi		DENOX'lu santraller ve kontrollü Elektrik enerjisi	
	Ülke	Saha no	MW.	Saha no
Avusturya	18	4852	17	4178
Belçika	31	5867	-	-
Danimarka	13	8447	4	1754
Almanya	960 (N <sub>2</sub> )	91090	166	35249
Yunanistan	10	6138	-	-
Finlandiya	30	5054	2	600
Fransa	17	18218	6	1850
İrlanda	10	2955	-	-
İtalya	79	41873	27	15690
Lüksemburg	-	-	-	-
Hollanda	15	9632	2	1270
Portekiz	6	4514	-	-
İspanya	41	19357	-	-
İsveç	41	5303	25	2534
Birleşik Krallık	26	37718	-	-
AB-15 (1996)	1297	261018	250	63325
Notlar: N1 akışkan yatak yakma dahil N2 >50 MWth Alman endüstriyel enerji santralleri dahil				

**Tablo 3.10: AB-15'deki büyük yakma tesislerindeki DENOX (birincil tedbirleri içermeyen ikincil tedbirler) [58, Eurelectric, 2001]**



Düşük hava fazlalığı yakımı için, ilave havaya ihtiyaç yoktur ve düzenli uygulanırsa, bu temel emisyon azaltma tedbirleri güç tesislerinin elverişliliğinde herhangi bir düşüğe neden olmaz. Buna rağmen, oksijen seviyesi düşürüldüğünde yakma tamamlanmayabilir ve küldeki yanmamış karbon artabilir. Ayrıca buhar sıcaklığı düşebilir. Temel alanlardaki oksijeni çok düşük seviyeye indirerek ayrıca yüksek seviyede karbon monoksit neden olabilir. Bu değişikliklerin sonucu buhar kazanındaki randımanın düşüşü, mıcırlandırma, buhar kazanı üzerinde ters kapsamlı bir etki olabilir. Bu tekniğin başka bir etkisi sadece NO<sub>x</sub>'in azaltılması değil hava ısıtıcılarda partikül kontrol sisteminde aşınma ve bozulmaya yol açan SO<sub>3</sub>'ü de azaltmaktır. Bu sistemin sıkı bir güvenlik sistemi olmadan kullanımından kaynaklanabilecek opaklıkta ve su-duvar atıklarının oranındaki artışlar gibi potansiyel güvenlik problemleri ön hava ısıtıcılarını ve kül silolarını içerir

### 3.4.1.2 Hava aşamalandırma

Hava aşamalandırma NO<sub>x</sub> emisyonu ikiye ayrılmış yakma alanlarının oluşumuna bağlıdır; bunlar oksijensiz bir ilk yakma alanı ve tamamen yakmayı sağlamak için aşırı oksijenli 2. bir yakma alanıdır. Hava aşamalandırma ilk yakma alanında var olan oksijenin (ilk havanın %70 – 90'ında) miktarını azaltır. İlk yakma alanındaki alt-sitokiyometrik koşullar nitrojen bağlı yakıtların NO<sub>x</sub>'e dönüşmesini bastırır. Ayrıca termal NO<sub>x</sub>'in oluşumu düşük turba sıcaklığıyla sonuçlanarak bir yere kadar azaltılmıştır. 2. alanda yakma alanına yakma havasının %10 – 30'u enjekte edilmiştir. Yakma bu artırılmış miktarda tamamlanır. Böylece, nispeten ikinci aşama düşük sıcaklığı termal NO<sub>x</sub>'in üretimini sınırlar

Buhar kazanlarında ve fırınlarda, aşamalandırmayı elde etmek için aşağıdaki seçenekler vardır:

- **Tarafli brülör yakma (BBF):** tarafli brülör yakma mevcut tesislerde (sadece dikey buhar kazanları için) uyarlama önlemi olarak sıklıkla kullanılır, çünkü yakma kuruluşunun temel değişikliğine ihtiyaç duymaz. Daha düşük brülörler bol-yakıt uygularken, yüksek brülörler hava fazlalığı ile sağlanır.
- **Servis dışı brülörler (BOOS):** Bazı brülörleri servis dışı bırakmak yakma kuruluşunun temel değişikliğine ihtiyaç duyduğundan, bu tedbir genellikle var olan dikey buhar kazanında uyarlama önlemi olarak kullanılır. Burada, düşük brülörler yakıt bakımından zengin koşullar altında uygulanırken yüksek brülörler sadece hava enjektisiyle kullanımda değillerdir. Bu tedbirin etkisi aşırı-ateşleme havasına benzerdir, fakat BOOS tarafından NO<sub>x</sub> emisyonu o kadar verimli değildir. Problemler yakıt girişinde ortaya çıkabilir, çünkü aynı termal enerji miktarı daha az işletilen brülörlü fırınlara depolanmalıdır. Bu yüzden, bu tedbir genellikle gaz ve benzinle yakma işlemlerine sınırlıdır.
- **Aşırı yakma havası (OFA):** Aşırı yakma havası işlem için, hava geçişleri (rüzgar kutuları) var olan brülörlere ek olarak kurulmuştur. Yakma havasının bir kısmı brülörlerin üst sırasının yukarısına yerleştirilmiş olan ayrı geçişlerden enjekte edilmektedir. Brülöler daha sonra tamamen yakma sağlayarak aşırı yakma havasıyla, NO<sub>x</sub> oluşumunu bastıran düşük hava fazlalığıyla işletilmektedir. Genel olarak normalde brülörlerden geçen toplam yakma havasının %15 – 30'u aşırı yakma hava geçişlerine ayrılmıştır. Aşırı yakma havasını var olan buhar kazanına uyarlamak ikinci hava ağızlıkları ve kanalların, sürgü ve rüzgar kutusunun ilavesi için geçişler oluşturmak amacıyla su-duvar kanalları değişikliği uygulamayı içerir.

Fırında hava aşamalandırma yakma tesisinin enerji tüketimini arttırmaz ve düzenli bir şekilde uygulanırsa işlemsel elverişliliği üzerinde kötü bir etkisi olmaz.

Hava aşamalandırma NO<sub>x</sub> ihrac tekniği olarak kullanılmasının 2 dezavantajı vardır. Birincisi hava ağızlıklarının iyi yerleştirilmemesi durumunda oluşabilecek CO'nun genel olarak önemli bir miktardır. Diğer etkisi yakma alanının sonu ve ilk ısı eşanjörü arasındaki miktar düşüşüne bağlı olarak uyarlama durumunda artabilecek yanmamış karbonun miktardır.

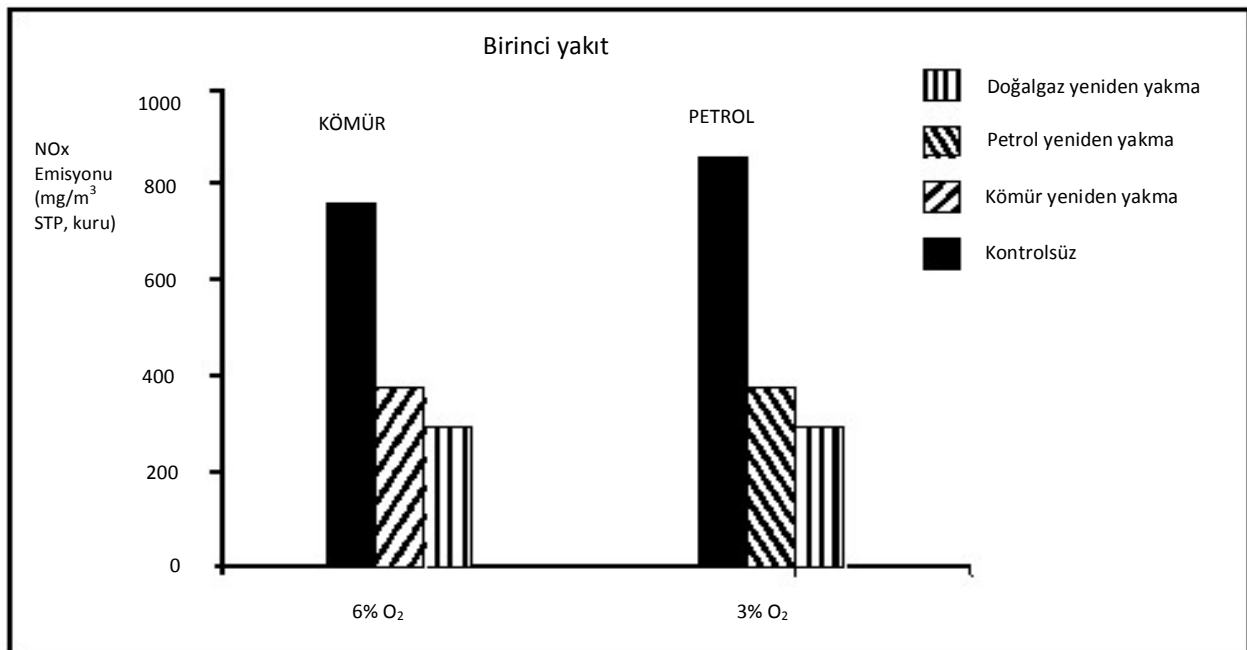




Yeniden yakma, yakma eylemini üç bölümde kapsar:

- Başlangıç yakma bölümünde (birincil tedbirlerle donatılmış olabilir) yakıtın %80 den 85'e kadarı oksitlenen ya da hafif indirgenmiş atmosferde yakılır. Bu birincil burn out alanı yeniden yakma alanındaki fazla hava aktarımını önlemek üzere gereklidir ki böyle bir aktarım olası NO<sub>x</sub> oluşumunu destekleyecektir.
- İkinci yakma alanında (sıklıkla yeniden yakma bölgesi olarak adlandırılır) ikincil veya yeniden yakma yakıtı indirgenmiş atmosfere enjekte edilir. Hidro karbon radikalleri, zaten başlangıç bölgesinde meydana gelmiş nitrojen oksitlerle tepkimeye girerek amonyak gibi diğer istenmeyen değişken nitrojen bileşenleri de üretilir,
- üçüncü bölgede burnout alanına son hava ilavesi ile yakma nihayet tamamlanır.

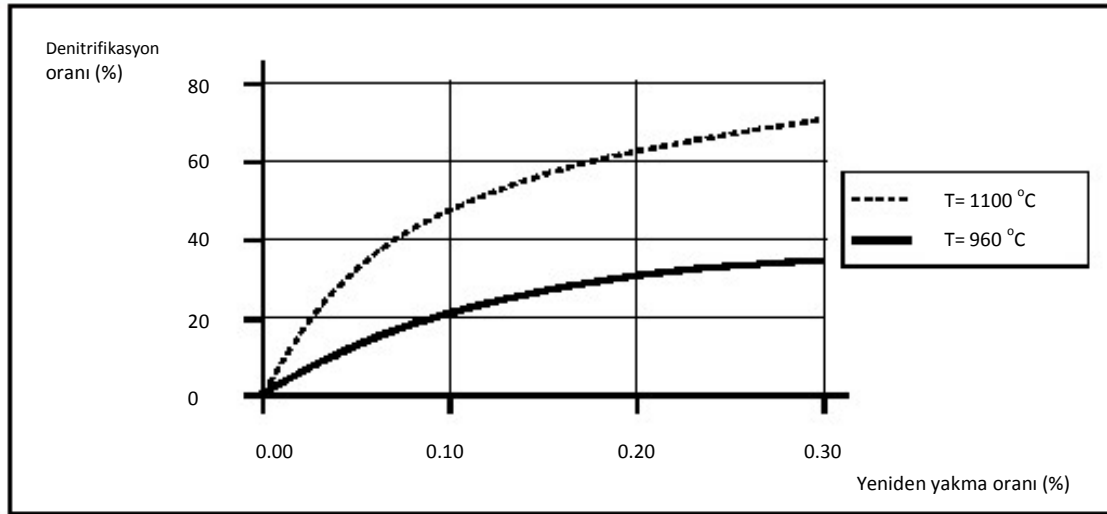
Farklı yakıtlar yakıcı yakıtlar (toz haline getirilmiş kömür, benzin, doğal gaz v.b.) olarak hizmet verebilir fakat doğal gaz genellikle doğal özelliği yüzünden kullanılır. Şekil 3,22 doğal gazın kömür ve petrol üstündeki avantajını gösterir. Kömür ya da petrol kullanıldığında belli miktardaki reburn yakıttan nitrojen açığa çıkar ki bu, kaçınılmaz olarak burnout bölgede NO<sub>x</sub> oluşumuna yol açar. Bu dezavantaj, doğal gaz kullanımıyla saf dışı bırakılır.



Şekil 3.22: Kömür, petrol ve doğal gaz yeniden yakma yakıtlarının karşılaştırılması [32, Rentz, et al., 1999]

Yeniden yakma işleminin verimliliği çeşitli parametrelere bağlıdır. Bunlar arasında:

- Sıcaklık: düşük NO<sub>x</sub> değerleri elde etmek için, yeniden yakma bölgesindeki derece olabildiğince yüksek olmalıdır. (1200 °C). Şekil 3.23'de yeniden yakma oranının farklı derecelerdeki bir işlevi olarak denitrifikasyon oranını verir.
- İkame süresi: yeniden yakma bölgesinde ikame süresini arttırmak NO<sub>x</sub> azaltımını destekler.
- Uygun zaman: 0.4 ve 1.5 s arasındadır.
- Yeniden yakma bölgesindeki havalandırma oranı: stokiyometri'nin olması gereken aralık = 0.7 - 0.9
- Yakıt tipi
- İlave yakıt ve birincil yakma alanı ile üretilen baca gazı arasındaki karışımın kalitesi.
- Başlangıç yakma bölümündeki aşırı hava: stokiyometri yaklaşık olarak = 1.1.



**Şekil 3.23: Yeniden yakma oranı fonksiyonu olarak denitrifikasyon oranı**  
[32, Rentz, et al., 1999]

Prensip olarak, yeniden yakma tekniği yakıtla çalışan buhar kazanlarının tüm fosil çeşitleri üzerinde ve düşük NO<sub>x</sub> yakma tekniklerinin (başlangıç yakıtı için) bileşiminde uygulanabilir. Yeni buhar kazanları için çok çekici olan bu azalma tekniği, eğer yüksek miktarda yanmamış karbondan kaçınılıyorsa, büyük bölüm hacmi gerektirir. Yani reburning inşa edilmiş kurumlarda bulunuyor olabilen kısıtlı alanlar nedeniyle uyarılma durumları için daha uygundur. Yeniden yakma Birleşik Devletler, Japonya, Hollanda, Almanya, İtalya ve Birleşik Krallıklarda büyük enerji tesislerine kurulmuşlardır. İtalyada yeniden yakma (azaltıcı etmen olarak petrolle beraber) bir çok büyük petrolle çalışan ünitelerde başarıyla uygulanmıştır.

Daha öncede bahsedildiği gibi, büyük sorunlar eksik yakma nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu tedbir, yeterince uzun ikame süresine sahip olan ve makul fiyatla uygun yeniden yakma yakıtının bulunduğu buhar kazanlarına en çok yarar. Yanması kolay olup, içinde ne partikül ne de sülfür ihtiva etmediğinden doğal gazın en iyi yeniden yakma yakıtı olduğu kanıtlanmıştır.

Yeniden yakmanın maliyeti buhar kazanının yapısına ve kullanılan yakıtı bağlıdır. Doğal gaz gibi yardımcı yakıt kullanımı da ücrete tabir tutulur fakat diğer tarafta, işlemi ısıya yayar ve yararlı bir yakıt olarak göz önünde bulundurulabilir. Yani buhar kazanı örneğinde olduğu gibi olası değişiklikleri kapsayan bütün bir enerji tesisi ekonomisi için hesap yapılmalıdır.

Deney yeniden yakmanın OFA'lı düşük NO<sub>x</sub> yakıcıları kadar bedel –verimli olmadığını göstermektedir, fakat hala NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltmak için uygun bir tedbirdir. Bir tahmin 250 MW<sub>th</sub> 'lik buhar kazanı için yeniden yakma masraflarının 2.5 eur 'ya yakın olduğunu bildirmektedir. yeniden yakma kurulumunun işlemsel bedellerinin OFA'lı düşük NO<sub>x</sub> yakıcılarının bedeline göre 2 kat daha yüksek olduğunu gösteren hesaplamalar da vardır.

### 3.4.1.6 Düşük NO<sub>x</sub> brülörü

Düşük NO<sub>x</sub> brülörler olgun gelişme aşamasına ulaşmıştır ancak daha fazla ilerleme devam eden prosesi kapsar ve önemli miktardaki araştırma işi hala var olan düşük NO<sub>x</sub> yakıcı sisteminin artmasına adanmıştır. Düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların tasarım ayrıntıları üreticiden üreticiye önemli ölçüde değiştiği için, burada sadece genel ilkelere değinilmiştir.

Klasik yakma donanımlarında, birleşik yakıt ve hava /oksijen karışımı aynı yerde tamamen enjekte edilir. Ortaya çıkan alev daha sonra alev kökünde bulunan sıcak ve oksitleyici başlangıç bölgesiyle alev sonunda bulunan daha soğuk ikinci bölgenin birleşimidir. İkinci bölgenin katılımı oldukça mütevazı iken, başlangıç bölgesi taraflı bir şekilde dereceyle yükselen NO'nun çoğunu meydana getirir.

Düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin (LNB) karıştırmayı ertelemek, oksijen elverişliliğini azaltmak ve tepe alev sıcaklığını düşürmek üzere giriş hava ve yakıt araçlarını değiştirir. LNB'ler yüksek yakma verimliliğini sürdürürken, yakıtı bağlı nitrojenin NO<sub>x</sub>'e dönüşümünü ve termal NO<sub>x</sub> oluşumunu geciktirir. Hava kanallarında düşen basınç daha fazla işlemel bedellere yol açarak artar. Kömür ezilmesi örneğin genellikle geliştirilmelidir ve bu daha yüksek işlemel ve bakım bedellerine yol açar. Özellikle eğer işlem düzgün olarak kontrol edilmezse, bazı korozyon problemleri de olabilir.

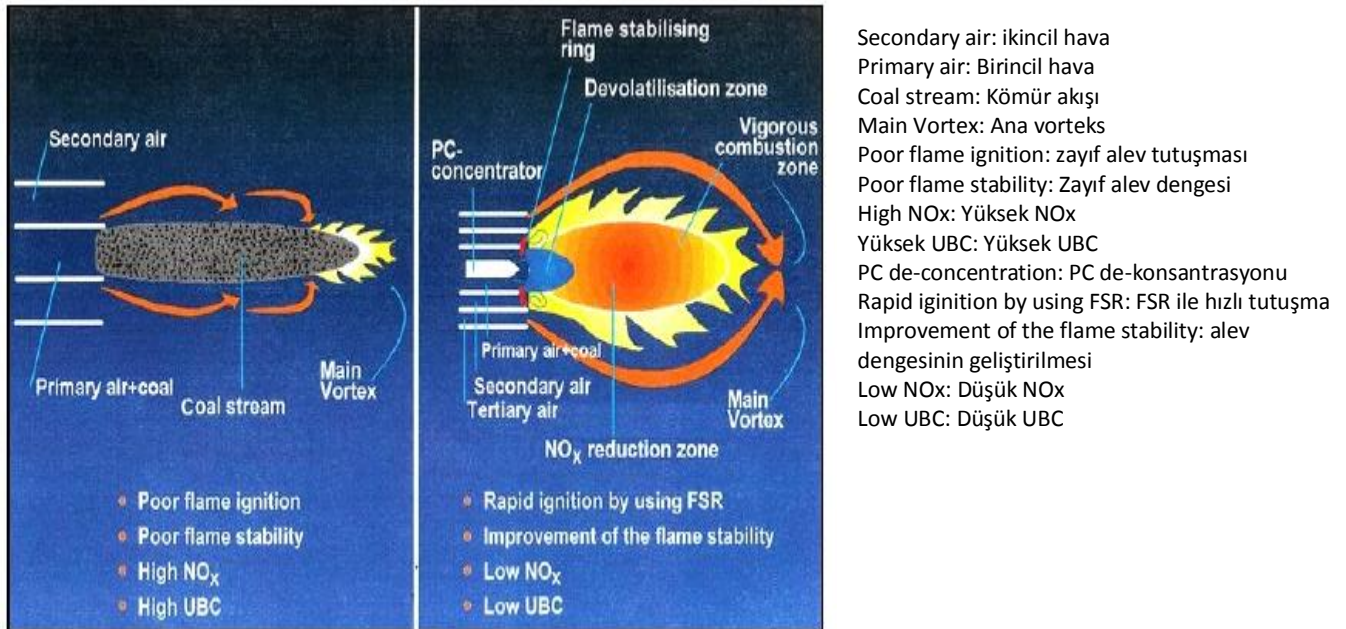
Düşük NO<sub>x</sub> yakma teknikleri en azından yakıcıların değiştirilmesini ve aşırı yanma havasının (OFA) kurulmasını gerektirir. Eğer brülörler ertelenmiş yakma düşük NO<sub>x</sub> brülörleri ise (eski tip) hızlı enjektörde düşük NO<sub>x</sub> brülörlerine uyarlanma faydaları sadece durum bazında değerlendirilebilir.

250 MW<sub>th</sub> için OFA lı düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların bedeli katı yakıt buhar kazanı için yaklaşık 1.7 milyon EUR'dır. Kömürle çalışan buhar kazanlarında, NO<sub>x</sub>'in fiyatında ki düşük çıkarılan her ton NO<sub>x</sub> için 500 EUR civarındadır.

NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltmak için farklı prensiplere göre, düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların hava aşamalı baca gazı tekrar sirkülasyonu ve yakıt aşamalı brülörler olarak geliştirildi.

### 3.4.1.6.1 Hava aşamalı düşük NO<sub>x</sub> brülörü

Hava aşamalandırma prosesinde başlangıç havası nitrojen oksit oluşumunun engelli olduğu nispeten serin ve oksijen eksikliği olan yakıt –zengin alev üreten toplam yakıt miktarıyla karıştırılır. Yakıt –hava karışımı ve şekil 3,24'te gösterilen "ikinci hava" alt-sitokiyometrik bir yakam bölgesi (başlangıç alevi) meydana getirirler. Dahili yeniden sirkülasyon bölgesi yakıtı hızlıca ısıtan yakıcının koni şeklinde açılması ve "ikinci hava"nın girdapı nedeniyle yaratılır. İkinci alevin girdapı alev istikrarı için gereklidir. Değişken bileşenler, nitrojen bileşenlerinin büyük bir kısmıyla birlikte başlangıç alevine serbest bırakılır. Oksijen atmosferi ve yüksek CO konsantrasyonu nedeniyle, nitrojen bileşenlerinin NO'ya oksitlenmesi sınırlıdır. "ikinci hava"yla birlikte, yanmamış yakıtın yavaş yakılmasının nispeten düşük derecelerde gerçekleştirildiği bir burnout alanı oluşturulur. Düşük O<sub>2</sub> konsantrasyonu bu aşamada NO<sub>x</sub> kontrolünü öngörür.



Şekil 3.24: Konvansiyonel hava aşamalı ve ileri hava aşamalı düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin karşılaştırılması

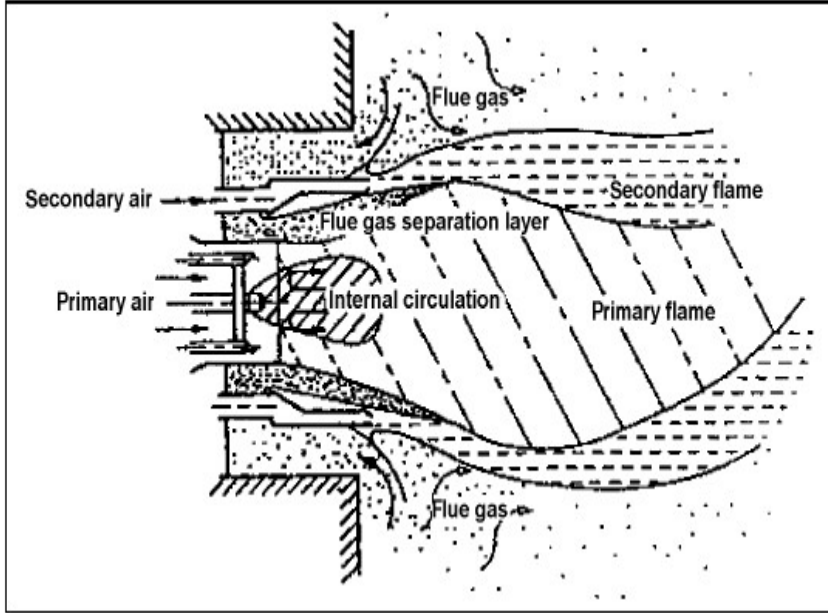
Not: UBC: yanmamış karbon

[136, Fortum, 2002]



### 3.4.1.6.2 Baca gazı yeniden sirkülasyonu düşük NO<sub>x</sub> brülörü

0.3 ve 0.6 wt-% nitrojen içerikli katı ve sıvı yakıtlar için, NO yakıtı termal NO'yu kontrol eder. Bu yüzden, termal NO üzerinde aktif olan alev sıcaklığı azaltımının yanı sıra, oksijen içeriğinin ayrıca daha fazla yanmamış karbon üretmeden azaltılması gerekir. Çözüm baca gazının dahili geri dönüşümüyle ayrılmış alevleri içeren bir tekniktir. Yakma alanına ya da hava yakma deposuna baca gazının bir miktarını enjekte ederek, hem alev sıcaklıkları hem de oksijen yoğunluğu NO<sub>x</sub> oluşumunun azaltımını sağlayarak düşürülebilir.



Flue gas: Baca gazı  
 Secondary air: ikincil hava  
 Primary air: Birincil hava  
 Flue gas separation layer: baca gazı ayırma tabakası  
 Internal circulation: dahili sirkülasyon  
 Primary flame: birincil alev  
 Secondary flame: ikincil alev

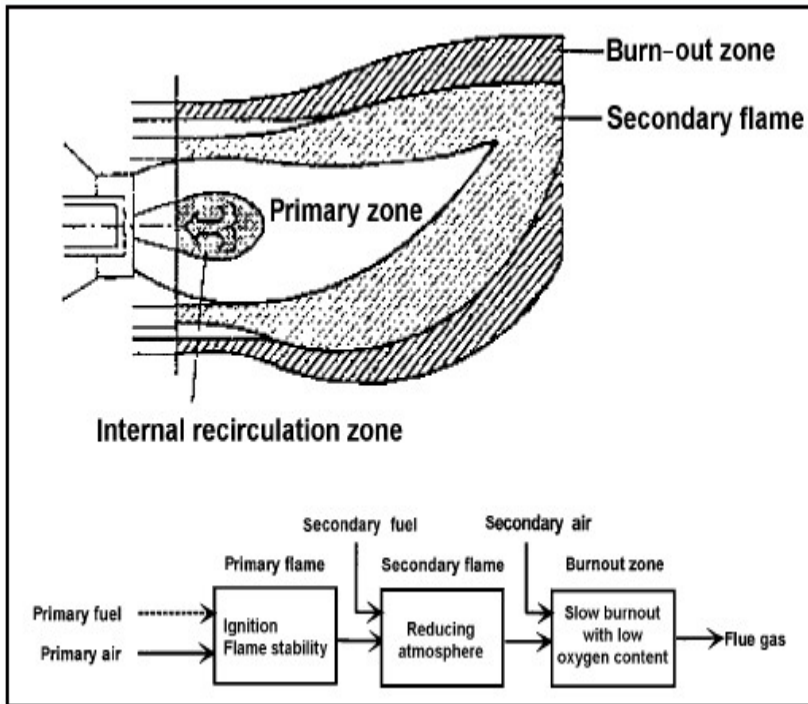
**Şekil 3.25: Gaz/petrol baca gazı resirkülasyonu düşük NO<sub>x</sub> brülörü**  
 [32, Rentz, et al., 1999]

Ana fonksiyonu, hava aşamalandırma düşük NO<sub>x</sub> brülörüne benzemektedir, fakat ilk ve ikinci ağızlıklar arasındaki mesafe daha fazladır, bu yüzden baca gazı katmanı oluşur. Bu brülörlerde, sıcak baca gazının %15 – 25'i dahili olarak yakma havasıyla beraber yanmış havaya geri döndürülür. Baca gazı, oksijenin kısmi basıncını ve alev sıcaklığını azaltarak, bir inceltici gibi işlemde bulunur, böylece NO<sub>x</sub> oluşumu azalır. Dahili geri dönme genellikle sıvı yakıtla çalışan ve birleştirilmiş gaz ve benzin LNBlerin en son kuşağında uygulanmaktadır.

### 3.4.1.6.3 Yakıt aşamalı düşük NO<sub>x</sub> brülörü

Yakıt aşamalı brülör, 2. bir aşamada yakıtın ilave edilmesiyle önceden oluşturulan NO<sub>x</sub>'i azaltmayı amaçlar. Aşamalandırılmış yakıt LNB çoğunlukla gaz uygulamaları için kullanılmaktadır.

Bu teknik nitrojen oksitlerin oluşumunu kontrol eden, hava aşamalandırma yoluyla yakıtın bir kısmını yakmayla düşük alev sıcaklıklarını olası yaparak başlar. Dahili yeniden dönme alanı ve yakın sitokiyometrik yakmalar alev sabitliği sağlar. Yakma birinci alanda bitmeye doğru giderken, ilave yakıt (en uygun oran %20 ve 30 arasında) 2. alevi oluşturmak için birinci alevin aşağı hareket uzaklığına enjekte edilir ki bu aşırı derecede sitokiyometriğin altındadır. İçinde, NO<sub>x</sub>'in NH<sub>3</sub>, HCN, ve CO kökleri aracılığıyla önceden oluşturulan N<sub>2</sub>'ye azaltılabileceği bir atmosfer oluşturulmuştur. Yanmış alan, bu üçüncü aşamada oluşturulmuştur. Bu tür brülörün alevi standard gaz brülörinkinden yaklaşık %50 daha uzundur.



Şekil 3.26: Brülördeki yakıt aşamalandırma [32, Rentz, et al., 1999]

#### 3.4.1.6.4 Yeni nesil düşük NO<sub>x</sub> brülörler

LNB'nin son tasarımı (karma düşük NO<sub>x</sub> brülörü olarak adlandırılır) ultra düşük NO<sub>x</sub> emisyonu sağlamak için yeni tekniklerle birlikte hava aşamalandırma, yakıt aşamalandırma ve yakıt-gaz geri dönüşünün bir kombinasyonunu kullanır. Bu ilk kuşak düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin dezavantajı alev ayrımını sağlamak için yeterli boşluğa ihtiyaçtır: düşük NO<sub>x</sub> brülörün çapı klasik brülörlerden yaklaşık %30 – 50 daha büyüktür. Bu kısıtlama kadar NO<sub>x</sub> emisyonunu da azaltmak için, yeni bir brülör dağılmış alevler ve hava aşama birleştirilerek geliştirilmiştir. Bu hava aşamalandırma yakma havasının %30 – 40'nın ağızlıklar vasıtasıyla her bir temel alevde edilmesiyle fark edildi. Daha önce alev patlamaları arasından daha önce geçmiş olan “kayıp” yakma havasından kaçınmak için ekipman türbülansı dikkate alınmalıdır, fakat şu anda gerekli olduğu yere yöneltilmiştir. Bu yanmamış karbonda artış olmaksızın gelişmiş bir NO<sub>x</sub> azalmasına katkıda bulunmuştur. Üstelik, ikinci hava jetleri alev çapını klasik ya da kompakt bir alevin çapına yakın bir değere düşürerek, brülör aksında her alevi kapatan büyük bir itişe sahiptir. Bu yüzden, bu tür düşük NO<sub>x</sub> brülörü ayrıca var olan kuruluşlara uyarlanabilir.

Düşük NO<sub>x</sub> brülörü bir çok sektörde son teknoloji ürünüdür, buna rağmen, uygulamalarının bilgileri ve işlemsel tecrübeleri oldukça nadirdir, bu yüzden şu anda sadece genel bilgiler verilebilir. Üstelik, yeni kuruluşlar için klasik bir brülöre kıyasla düşük NO<sub>x</sub> brülörü için ilave yatırım anlamsız gelebilir. Uyarlamalara yönelik olarak, çoğunlukla santrale özgü olan ve bu nedenle genel ifadelerle nicelenemeyen tesis üzerindeki nihai modifikasyonlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri çalıştırmak için gerekli ilave işlem maliyetleri, büyük ölçüde ek enerji tüketimine bağlıdır, ki bu aşağıdakilerden dolayı gereklidir:

- Daha büyük basınç düşüşleri brülörlerde gerçekleştiğinden daha büyük hava fanlarına ihtiyaç
- Brülörlerde gerçekleşen azaltılmış hava koşulları altında verimli yakma elde etmek için geliştirilmiş kömür pülverizesini sağlama ihtiyacı

Son zamanlarda, kuru düşük BO<sub>x</sub> yakıcıları doğal gazı yakan büyük boyutlu gaz tribünleri için son teknoloji ürünüdür [32, Rentz, et al., 1999]. Bunlar Bölüm 7'de daha ayrıntılı verilmiştir.

3.4.1.7 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel performansı

Birincil tedbir		Genel NO <sub>x</sub> azaltım oranı*	Genel uygulanabilirlik	Uygulanabilirlik sınırlamaları	Düşünceler
Düşük fazla hava		% 10 - 44	Tüm yakıtlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>eksik yakım</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NO<sub>x</sub> azaltımı kontrolsüz tesisin emisyon seviyesine bağlıdır</li> <li>Düşük fazla hava ateşlemesine olanak sağlamak adına fırın, değirmen, hava ön ısıtıcısının kapatılması gerekebilir</li> </ul>
Fırında hava aşamalandırma	Hizmet dışı brülör (BOOS)	% 10 - 70	Genellikle, sadece uyarılma amaçlı gaz ve petrolle çalışan tesisler ile sınırlıdır	Eksik yakma (ve bu nedenle yüksek CO ile yanmamış karbon seviyeleri) 'BOOS', 'BBS' ve 'OFA' için geçerlidir	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aynı termal enerji miktarı daha az işletme brülörlü fırına verilmek zorunda olduğundan yakıt girişini korumada sorunlar oluşabilir</li> </ul>
	Tarafli brülör ateşleme (BBF)		Uyarılma amaçlı tüm yakıtlar		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut bir buhar kazanı üzerine aşırı yakma havasının uyarlanması ikincil yakıtı yönelik port oluşturacak suduvar tüp modifikasyonlarını içerir</li> <li>% 10 – 40 arasında NO<sub>x</sub> azaltımı OFA kullanan set ateşlemeli fırınlar için mümkündür</li> </ul>
	Aşırı yakma havası (OFA)		Tüm yakıtlar		<ul style="list-style-type: none"> <li>mevcut buhar kazanına baca gazı resirkülasyonu uyarlaması brülör ve buhar kazanı verimlilik kayıpları nedeniyle bazı adaptasyon zorlukları ortaya koyar</li> <li>Bu NO<sub>x</sub> azaltım tedbiri uyarılma için kullanılabilir</li> <li>Baca gazı resirkülasyonu resirkülasyon fanı nedeniyle ilave enerji tüketimine neden olur</li> </ul>
Baca gazı resirkülasyonu		% 20 – 50 Kömürle çalışan buhar kazanları için < % 20 ve aşırı yakma havası ile kombine gazla çalışan tesisler için % 30 - 50	Tüm yakıtlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>alev dengesi</li> </ul>	
Azalan hava ön ısıtma		% 20 - 30	Kömürler çalışan yaş taban buhar kazanlarına uygun değildir		<ul style="list-style-type: none"> <li>erişilebilir emisyon azaltım oranı başlangıç hava ön ısıtma sıcaklığı ile bu tedbirin uygulanmasından sonra erişilen sıcaklığa bağlıdır</li> </ul>
<p>* Notlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nitrojen oksit emisyonlarını önlemek üzere farklı birincil tedbirlerin birleştirilmesi durumunda, azaltım oranı ne eklenir ne de çarpılır. Kombine azaltım oranı bir dizi sahaya özgü faktöre bağlı olup tesis bazında güncelleştirilmesi gerekir</li> <li>Birincil tedbirlerin tümü, yakma konfigürasyonu ve yakıtı bağlı olarak mevcut tüm buhar kazanlarına uygulanamaz</li> <li>Temel tasarımlarının bir parçası olarak yeni tesisler zaten birincil tedbirlerle donatılmıştır.</li> </ul>					

Tablo 3.11: NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel performansı [33, Ciemat, 2000]

Birincil tedbir		Genel NOx azaltım oranı*	Genel uygulanabilirlik	Uygulanabilirlik sınırlamaları	Düşünceler
Yakıt aşamalandırma (yeniden yakma)			Tüm yakıtlar		<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeniden yakma diğer birincil NOx emisyon azaltım tedbirlerine uyumluluk, tekniğin basit kurulumu, azaltım etmeni olarak standart yakıt kullanımı ve çok küçük ilave enerji miktarı gibi avantajlar sunar</li> <li>Birincil alanın yakma aşağı akımı da ayrıca nitrojen oksit üretir</li> <li>Yeniden yakma yakıtı olarak doğal gaz kullanıldığında, değiştirilen kömür oranında SO2 ve CO2 üretilir.</li> </ul>
Düşük-NOx brülörü (LNB)	Hava aşamalı LNB	% 25 -35	Tüm yakıtlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yakıt dengesi</li> <li>Eksik yakma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük NOx brülörleri aşırı yakma havası veya baca gazı resirkülasyonu gibi diğer birincil tedbirlerle birlikte kullanılabilir</li> <li>Aşırı yakma havalı düşük NOx brülörleri % 35 – 70 azaltım oranlarına erişebilir</li> <li>İlk nesil düşük NOx brülörlerinin sakıncası alev için gerekli boşluktur. Düşük NOx brülörlerinin çapı konvansiyonel alevlerden yaklaşık % 30 ile 50 daha büyüktür.</li> </ul>
	Baca gazı resirkülasyonu LNB	% 20'ye kadar	Tüm yakıtlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yakıt dengesi</li> </ul>	
	Yakıt aşamalı LNB	% 50 - 60	Tüm yakıtlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yakıt dengesi</li> <li>Eksik yakma</li> </ul>	

Tablo 3.12: NOx emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin genel performansı [33, Ciemat, 2000]

### 3.4.2 NOx emisyonunu azaltmak için ikincil tedbirler

İkincil tedbirler önceden oluşturulan nitrojen oksitleri (NOx) azaltmak için boru çıkışı teknikleridir. Bağımsız bir şekilde ya da düşük NOx brülörü gibi birincil tedbirlerle kombinasyon içinde uygulanabilirler. NOx emisyonunu azaltmak için bir çok baca gazı teknolojisi, moleküler nitrojene indirmek için baca gazında NOx ile tepkimeye giren amonyak, üre ve bileşiklere güvenmektedirler. İkincil tedbirler 2'ye ayrılabilir:

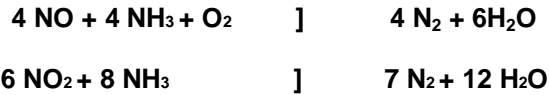
- Selektif katalitik azaltım (SCR)
- Selektif katalitik olmayan azaltım (SNCR)

#### 3.4.2.1 Selektif katalitik azaltım (SCR)

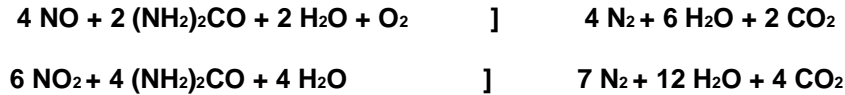
Selektif katalitik azaltım işlemi dünya genelinde Avrupa'da ve Japonya, Amerika gibi diğer ülkelerde büyük yakma kuruluşlarından çıkan egzoz gazlarındaki nitrojen oksitlerin azaltımı için geniş çapta uygulanan bir işlemdir.

SCR işlemi katalizör varlığında üre ve amonyakla nitrojen oksitlerin selektif azaltımına dayanan katalitik bir işlemdir. Azaltma etmeni katalizörün baca gazı yukarı hareketine enjekte edilir. NOx değışimi, sonraki ana tepkimelerin biri tarafından, 170 ile 510 °C arası sıcaklıkta katalizör yüzeyinde gerçekleşir. Yukarıda bahsedilen sıcaklık kuşağında işleyen baz metal oksit SCR katalizörü piyasada bulunabilir ve bir çok uygulamada kullanılır.

1. Azaltım etmeni olarak amonyakla:



2. Azaltım etmeni olarak üre ile:



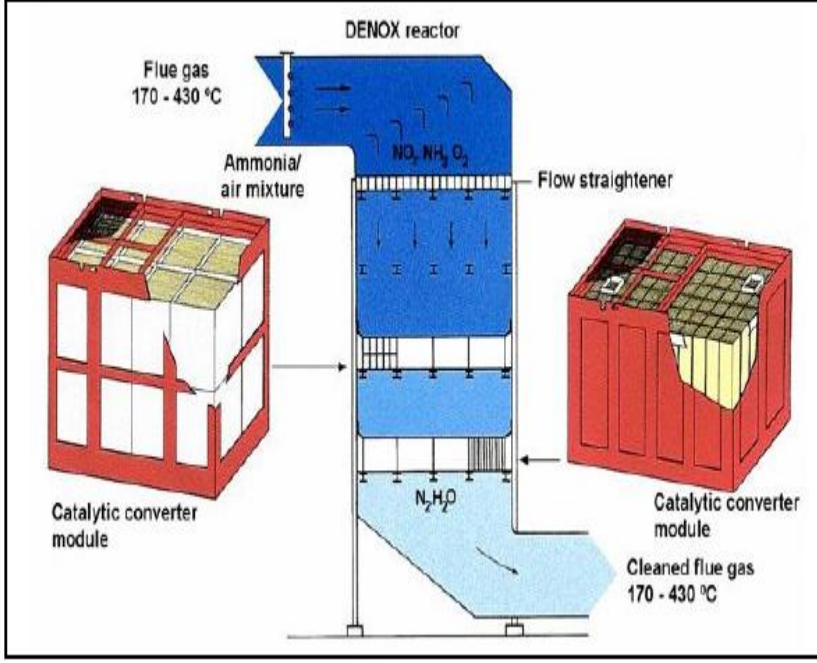
Amonyak azaltım etmeni olarak kullanıldığında, genellikle sulu bir solüsyon olarak ya da 20 °C'de yaklaşık 1.7x 10<sup>6</sup> Pa (17 bar) basınçta sıvılaştırılmış bir durumda saklanır. Daha küçük bazı uygulamalarda (Ör; <50 MW) üre, enjekte edilmeden önce suda çözünen beyaz kristal granülleri şeklinde kullanılır.

Sıvılaştırılmış amonyak kullanan kuruluşların sayısı diğer etmenleri kullanan kuruluşların sayısını aşmıştır, çünkü amonyağın her bir kilosunun maliyeti daha düşüktür, böylece düşük işlem maliyetine olanak sağlanır. Buna rağmen, özellikleri eylemsiz sıvı amonyak solüsyonuna kıyasla, işlemden geçirmeyi daha zor kılar. Amonyak uygulaması içme suyu kaynaklarının bir miktarında ya da nehir kaynaklarında ve merkezi şehir yerleşimlerinde (Ör; en yakın yerleşme alanlarında) gereklidir ve ayrıca güvenlik tedbirleri de dahil olmak üzere amonyak depolarına yatırım daha düşük olduğundan kullanılır.

Kullanmak için, sıvılaştırılmış amonyak gaz amonyağa buharlaştırılmalıdır. Bu elektrikle ısıtılmış buharlaştırıcıda buhar ya da sıcak su ile gerçekleştirilir. karışım egzoz gazına enjekte edilmeden önce, amonyak sonradan hava ile sulandırılır. Enjeksiyon amonyağın baca gazıyla homojen karışımını elde etmek için ağızlıkların sistemi boyunca yer alır. Statik bir karıştırıcı, daha sonra karışımı geliştirmek için egzoz gazı kanallarında yer almalıdır. Yüksek NOx ihracatını elde etmek ve NH<sub>3</sub>-slip'i en düşük seviyeye getirmek için, baca gazında NH<sub>3</sub>/NOx homojen oranını elde etmek özellikle önemlidir. Fakat kömürle çalışan yakma tesislerinde amonyak-slipten (2 ppm'nin üzerinde) kaçınmak için en güçlü iddia, uçucu külün inşaat endüstrisine satılmayacağıdır.



Katalizörler birçok farklı kanal çaplarında üretilirler. Kanal çapı seçimi egsoz gazındaki toz miktarı, tozun özellikleri ve SCR reaktörüne karşı uygulanabilir basınç düşüşünün bir incelemesinden sonra , kanal çapı seçimi geliştirilir. Toz stoğu en düşük seviyede olmalıdır ve katalizör üzerindeki basınç düşüşü, düşük tutulmalıdır. Gereken katalizör hacmi , aktivite özellikleri gibi katalizör özelliklerine ve baca gazı hacmi gerekli  $\text{NO}_x$  azaltılması, gaz düzenlemesi , baca gazı derecesi, katalizör zehirlirinin varlığı gibi işlemsel şartlar bağlıdır. Bireysel katalizör elementleri bir katalizör modülünde hep birlikte paketlenir. Bu, daha sonra şekil 3.28’de de görülebileceği gibi SCR reaktöründe katalizör tabakalarını oluşturur.



DENOX reactor: DENOX reaktörü  
 Flue gas: Baca gazı  
 Ammonia/air mixture: Amonyak/hava karışımı  
 Catalytic converter module: Katalitik konverter modülü  
 Cleaned flue gas: Temizlenen konverter modülü

Şekil 3.28: Katalizör reaktörü, element, modül ve katmanlarının konfigürasyonu [33, Ciemat, 2000]

Katalizör ömrünün mevcut tahminleri kömürle çalışan ünitelerde 6-10 yıl arasında ve benzinle ya da gazla çalışan ünitelerde 8-12 yıl arasında değişmektedir. Katalizör yenileme oranları, teçhizat tipi , yakıt özellikleri, kapasite, tesis operasyonu , $\text{NO}_x$  giriş konsantrasyonu,  $\text{NO}_x$  azaltma oranı,  $\text{NO}_x$  oranına amonyak/üre ve uygulanabilir amonyak slip gibi bazı özel bölge etkenlerine bağlıdır. Son yıllarda termal ve mekanik zarar ile kirleticilerden gelen zehirlere karşı daha dayanıklı katalizör oluşumları ticarete dökülmüştür. Rejenerasyon katalizörün ömrü uzatmak için yeni bir ticari uygulamadır. Buna rağmen tüm durumlarda başarılı bir rejenerasyon beklenmeyebilir

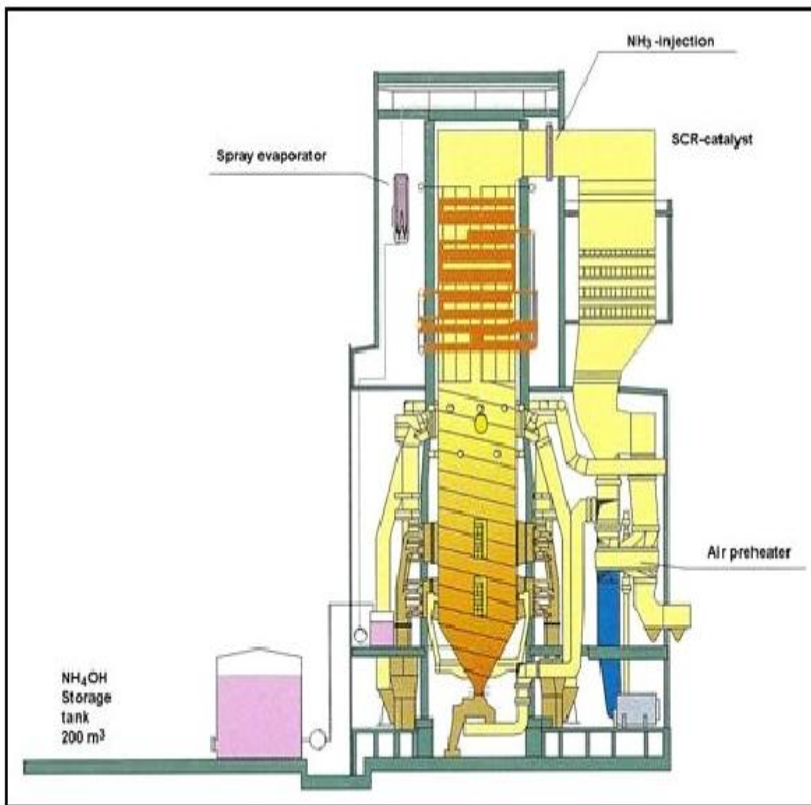
SCR reaktörünü baca gazı temizleyici zincire koymak için 3 temel şekil vardır, temel etkenin baca gazı derecesi gibi olduğu durumlarda kullanılan katalizör için doğrudur. Katalizör için kullanılan pozisyonlar şekil 3.29’da gösterilmektedir.





Yüksek toz, düşük toz ve kuyruk ucu olmak üzere 3 şekildedir:

- **Yüksek toz düzeni** çok yaygın olarak uygulanır ve katalizörün yüksek işlemsel derecesi yüzünden baca gazının yeniden ısıtılmasından kaçınılır (Şekil 3.30) katalizörün aşınmaya olan dayanıklılığı kadar ömrü de uzatılmıştır. Buna rağmen, kullanımının iki dezavantajı vardır: birincisi, baca gazı uçucu kül ve katalizör zehirlerini kapsayabilir ve bu NOx azaltma verimliliğinde bir düşüş tarafından takip edilen katalizörün, pasifleştirilmesiyle sonuçlanır. Bu , örneğin: cüruf musluğu fırınlarında, özel yakıtlar için ya da birlikte yakma işlemlerinde meydana gelebilir. İkinci olarak yüksek toz konfigürasyonunda bir SCR ile uyarlama için , buharlı kazanın yanında ek alan gerekmektedir. Yüksek toz düzeni birçok kurulum ve çok yaygın uygulamalar için uygun maliyetlidir.
- **Düşük toz düzeni**, yüksek toz konfigürasyonunun dezavantajlarını içermez. En büyük avantajı ise katalizör üzerindeki düşük mekanik zorluktur , ki bu avantajın katalizörün ömrünü uzatacağı beklenebilir. Buna rağmen, işlem ek ısıtıcı olmaksızın çalıştığı için , yüksek dereceli toz presipitatörlerinin kurulumu gerklidir. Bu şekil , eski güç tesislerine uyarlandığında , genellikle ekonomik olmadığı ortaya çıkar. Üstelik , hava ısıtıcı amonyum bisülfatın depolanmasına daha bağlıdır.
- **Kuyruk ucu düzeni** katalizörün aşınmaya, çürümeye ve deaktivasyona maruz kalması nedeniyle, mevcut tesislere uygun bir çeşittir ayrıca katalizör hacmi, yüksek toz konfigürasyonundan daha küçüktür, çünkü küçük alanlı bir katalizör kullanılabilir. Buna rağmen, gelen baca gazı katalizörün çalışma sıcaklığına ulaşmak için başka doğal gazı kullanarak ek yakıcılar tarafından yeniden ısıtılmalıdır. Aktifleştirilmiş bir kok katalizörü için, ham gazdan temiz gaz dönüşüm sıcaklığı yeterlidir.



Spray evaporator: Sprey evaporatör  
 SCR catalyst: SCR katalizörü  
 Air preheater: Hava ön ısıtıcısı  
 NH<sub>4</sub>OH Storage Tank: NH<sub>4</sub>OH Depolama Deposu

Şekil 3.30: Yüksek toz SCR katalizör örneği  
 [34, Verbund, 1996]

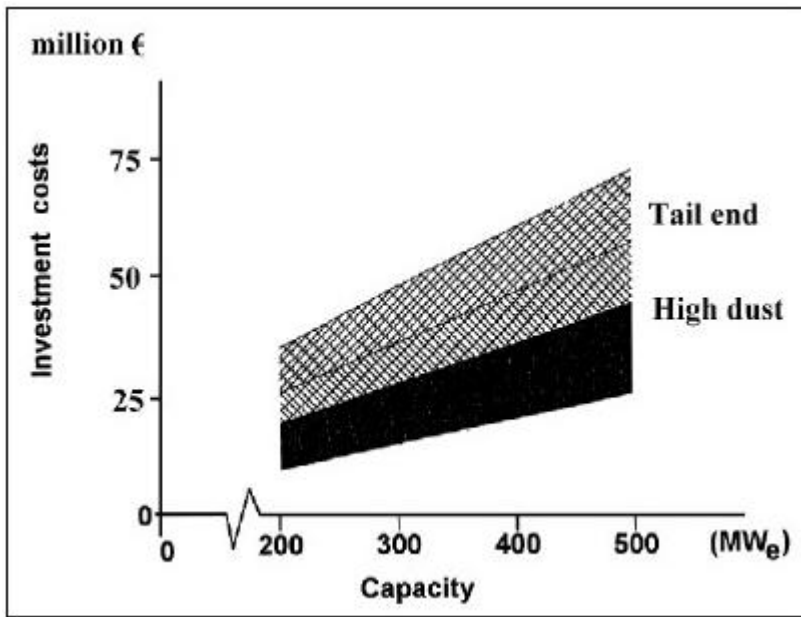
SCR'nin olası bir dezavantajı amonyak-slip e bağlıdır. Küçük miktarlardaki  $\text{NH}_3$  baca gazıyla reaktörden ayrıldığında,  $\text{NO}_x$ 'li tamamlanmamış  $\text{NH}_3$  reaksiyonu yüzünden bu dezavantaj meydana gelir. Bu etki amonyak-slip( $\text{NH}_3$ -Slip) olarak bilinir. Yüksek  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$  oranı ve düşük katalizör aktivitesiyle amonyak-slip artar. Yüksek amonyak-slip ( $\text{NH}_3$  geçişi) aşağıdakilere yol açabilir:

- Katalizör ve hava ön ısıtıcı gibi, aşağı akan imkanlar üzerinde depo edilebilen amonyum sülfat oluşuma
- Baca gazı kükürtünün giderilmesi atık sularında ve hava ısıtıcı temizleyici suda  $\text{NH}_3$  ile
- Uçucu külde yüksek  $\text{NH}_3$  konsantrasyonuna

SCR teknolojisinin ana avantajları:

- Yakma işleminde kullanılan yakıtın çoğu için SCR işlem kullanılabilir. Örneğin: Gaz ve kömür işleminde olduğu kadar doğal gaz ve light benzinde
- $\text{NO}_x$  dönüşümü herhangi bir kirlilik bileşeni yaratmaz
- $\text{NO}_x$  emisyonu %90 ya da daha fazla azaltılabilir
- Toplam  $\text{NO}_x$  azaltımı SCR ve temel tedbirlere bağlıdır
- Hava kalitesi gereksinimlerini karşılamak için  $\text{NH}_3$  etkisini azaltmak ve katalizör ömrünü uzatmak için uyumlu  $\text{NH}_3$  tüketimiyle SCRye başvurulabilir.

SCR aletinin maliyetleri oldukça ciddi rakamlardadır. (Şekil 3.31) azaltılmış  $\text{NO}_x$  in her bir tonunu fiyatı buhar kazanı çeşitleri arasında değişmektedir. Yüzeysel olarak çalışan buhar kazanlarının azaltılmış  $\text{NO}_x$  in her bir tonu için daha fazla masrafları vardır., çünkü daha düşük orijinal emisyon seviyeleri var. Tepkime elemanı maliyetleri SCNC tesislerine olduğundan nispeten daha düşüktür.



Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi için ayrılmıştır

Million: Milyon  
Investment costs: yatırım maliyetleri  
Tail end: Kuyruk ucu  
High dust: Yüksek toz  
Capacity: Kapasite

Şekil 3.31: Bir yakma tesisinde SCR prosesine yönelik yatırım maliyetleri [58, Eurelectric, 2001]

SCR ünitesinin yatırım bedelleri, ulaşılması  $\text{NO}_x$  değişim oranı, amonyak slip ve baca gazı hacmi tarafından sabitlene katalizörün hacmine bağlıdır. Katalizör güç tesislerinin maliyetleri için yürütülen maliyet tahminleri her metreküp için 10000 EUR ile 15000 arasında tahmin edilir. Verilen 1milyon hacimli bir baca gazı için SCR ünitesinin yatırım bedeli 15 milyon EUR olarak tahmin edilmiştir. (katalizör hariç, planlama, inşa ve musluk, fan, boru v.b. çevreyelen tüm teçhizatın dahil olduğu, ham toz düzenlemesi. İşlem maliyetinin temel etkeni yakıt özelliğinden ve SCR şeklinden (düşük toz, yüksek toz, kuyruk ucu) azaltım etmeniyle olan arzdan, basınç kaybı yüzünden olan enerji tüketiminden ve son olarak yeniden ısıtma enerjisinden etkilenir.

Operatör verileri ve piyasa fiyatlarının SCR birimi için son 5 yıldaki temelleri üzerine yapılan yatırım maliyetleri (Avusturya ve Alman tesisleri) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır

x million m<sup>3</sup>/h hacimli baca gazı işleyen bir SCR ünitesinin yatırım maliyeti (I.C.):

$$I.C. = (x \text{ milyon m}^3 \text{ baca gazı hacmi} / 1 \text{ milyon m}^3)_{0.7} * \text{EUR 15 milyon}$$

İnşa ve elektronik masraflara, izleme ve kontrol aletleri de dahildir. EUR 15.000/m<sup>3</sup> olarak hesaplanan katalizörler, fiyatlara dahil değildir. Ayrıca fiyatlar sadece ham gaz planlamasına göre hesaplanmıştır. Harcamalar ve bakım masrafları içerisinde fiyatları en çok etkileyen faktörler, katalizör displasmanı, araç azaltımı (amonyağın sıvı çözeltisi) ve elektrik enerjisidir. Yatırım maliyetlerine tüm baca gazı kanallarının fiyatları da dahildir. (borular, katalizör kutusu, aşma borusu, NH<sub>4</sub>OH birimi taşıyan tank, depolama sistemi, doz aleti, buharlaştırma ve karıştırma sistemi)

Tabloda fiyatlar, 200000 m<sup>3</sup>/h, 500000 m<sup>3</sup>/h ve 1000000 m<sup>3</sup>/h baca gazı hacmi, 500 mg/Nm<sup>3</sup> ham gaz konsantrasyonu, (temel yöntemler kullanılarak ulaşılmıştır) ve 350 mg/Nm<sup>3</sup> (temel ölçümler ve sırasıyla SNCR kullanılarak ulaşılmıştır.) üreten SCR birimlerine göre hesaplanmıştır. her iki durumda da temiz gaz konsantrasyonu 100 mg/Nm<sup>3</sup> varsayılmıştır.

Parametre	Ünite	Baca gazı hacmi (Nm <sup>3</sup> /s)		
		200000	500000	1000000
Düşürülecek NO <sub>x</sub> -konsantrasyonu	g/Nm <sup>3</sup>		0.25-0.4	0.25-0.4
İşletim saatleri	h/yr	5000	5000	5000
Azaltılmış yük	t/yr	250-400	625-1000	1250-2000
Yatırım maliyetleri	EUR million	4.86	9.23	15.0
Yıllık yeniden ödeme ı	EUR million/yr	0.50	0.95	1.54
İşletim saatleri (elekt. Enerji, katalizör Azaltma elemanları, bakım, aşınma, Yıpranma dahil)	EUR million/yr	0.25-0.29	0.60-0.69	1.17-1.34
Yıllık masraflar	EUR million/yr	0.75-0.79	1.56-1.64	2.72-2.88
Yıllık spesifik masraflar	EUR/t NO <sub>x</sub>	1968-3016	1638-2488	1442-2175
Not 1: %6 faiz oranı ile 15 yıl bazında				

**Tablo 3.13: Baca gazı hacmi fonksiyonu olarak elektrik santrallerinden sonra SCR ünitelerine yönelik maliyet hesaplamaları**

Kuyruk-ucu aletleri ile baca gazlarının bacadan önce tekrar ısıtılması gerekebilir. Bu da tesisin elektrik kapasitesinin yaklaşık %2'sini haralayabilir. Tekrar ısıtılmayı gerektirmeyen uygulamalarda işlem maliyetleri genel olarak araç masraflarına göre değişmektedir.

% 60-90 arasında NO<sub>x</sub> ihraç eden uyarlamalı uygulamalar için sistemin sermaye bedelleri, daha geniş tesislere yapılan harcamaların listenin daha altlarında ve küçük tesislerin masraflarının da listede üstte yer aldığı EUR 50/kW ve EUR 100/kW oranları arasında değişir. Hedef (target) NO<sub>x</sub> emisyon seviyesinin 185 mg/Nm<sup>3</sup> olduğu kömür tesisleri için SCR sistemlerinin tüm uyarlama bedellerine etki eden temel faktör, birim boyutundadır. NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarını ve uyarlamanın zorluk derecesine bağlı, çapıtlı yapıları gerektirir. Örneğin, NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun ana hat girişinde meydana gelen 615 mg/Nm<sup>3</sup> 'den 1230 mg/Nm<sup>3</sup> 'lık artış, SCR sermaye bedellerinde %50'lik artış sağlayacaktır. Birim boyutu 1000 MW<sub>e</sub> 'den 200 MW<sub>e</sub> 'e düştüğünde, başlangıçtaki SCR sermaye bedelleri %30 oranında düşüş gösterebilir. Uyarlama kapsamı, belirlenen fan yükseltmeleri, kanal işi, yapısal çelik ve kurum değişikliği maliyetleri % 20 - 35 arasında etkililer. İndirgeme elemanının çalıştırma masrafları susuz amonyağın her NO<sub>x</sub> tonu için yaklaşık EUR 75 yada % 40 üre çözeltisini her NO<sub>x</sub> tonu için 125 euro değerindedir. SCR kullanılan 800 MW'lik güç tesisinde NO<sub>x</sub> azaltımı için tüm masraflar(harcama ve çalıştırma masrafları) azaltılan NO<sub>x</sub>'in her tonu için 1500/2500 EUR arasında değişmektedir.

Gaz türbinleri ya da dahili yakma motorları için kullanılan SCR'nin sermaye bedelleri EUR ile 50/kw arasındadır. (elektrik üretimine bağlı). Bu fiyatlar SCR'nin kömürle çalışan tesislerinde uygulanmak üzere oldukça düşüktür.

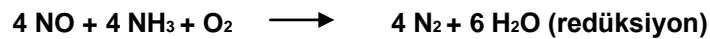
Rejenere edilmiş SCR katalizörlerinin fiyatı, yeni katalizörlerin yaklaşık %50'sine eşittir. Ciddi aşınma etkilerinin dışında deaktif hale getirilmiş yüksek toz SCR katalizörlerin sınırlı ömrü, çalıştırma maliyetlerine etkisi ile yeni katalizörlere oranla rejenerasyon yöntemi ile uzatılabilir.

### 3.4.2.2 Selektif olmayan katalitik azaltım (SNCR)

Bu yöntem (SCNR) yakma ünitesindeki baca gazında oluşan nitrojen oksiti azaltmak için bir başka yöntem olarak kullanılabilir. 850-1110 °C arasında, katalizör kullanılmadan çalıştırılır. Sıcaklık penceresi etkili şekilde, kullanılan ayrıca bağlıdır (amonyak, üre ya da aşındıran amonyak)

Ayrıca olarak amonyak kullanıldığında , aşağı yukarı aynı zamanda aşağıdaki kimyasal tepkimeler meydana gelir. Daha düşük sıcaklık derecesinde , her iki tepkime de çok yavaştır fakat yüksek derecede NO<sub>x</sub> emisyonundaki artış ile istenmeyen yan tepkime hakim olabilir.

Ana tepkime:



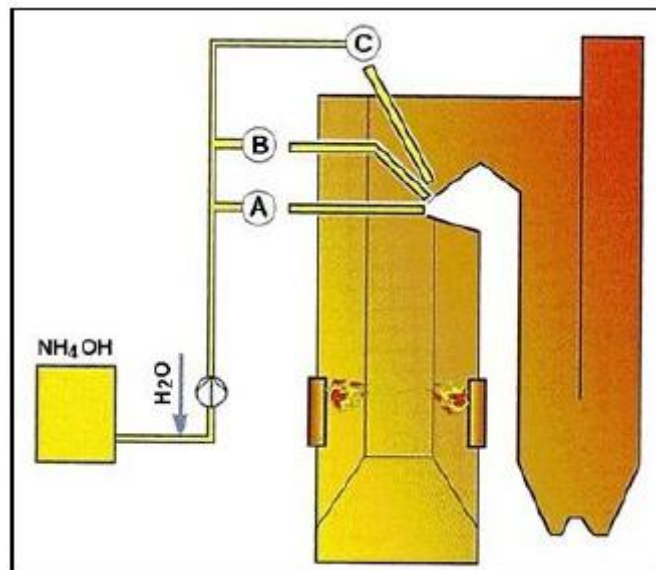
İstenmeyen yan tepkime:



SCNR tesisi 2 işletim ünitesinden oluşur:

- Ayrıca reaksiyonu ve nitrojen oksitin , nitrojen ve su meydana getiren tepkimesinin yer aldığı,
- SCNR biriminin depolama ,soğutma ve buharlaştırma içeren ayrıca depolama ünitesi.

Sıcaklık penceresi ciddi bir öneme sahiptir. Yukarıda amonyak oksitlenir ve daha fazla NO<sub>x</sub> üretilir, aşağıda ise dönüşüm oranı oldukça düşüktür ve amonyak oluşturulabilir. Üstelik, yükleme değişiklikleri ile, buhar kazanının istenilen derece aralığında iniş çıkışlar meydana gelebilir. Amonyak enjeksiyonu ile istenilen derece aralığına ayarlamak için çok sayıda enjekte seviyesi gerekmektedir. Amonyakın farklı enjeksiyon seviyelerinin verildiği SCNR işlemi , şekil 3.32 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32: SNCR prosesi  
[34, Verbund, 1996]

Yüksek azaltım oranına ve düşük  $\text{NH}_3$  slip'ine ulaşabilmek için, baca gazındaki ayıraç ve  $\text{NO}_x$  yeterli bir karıştırma işleminden geçmelidir. Dağıtım ve karıştırmanın yanında, uygun başka parametre de, ayıraç tanelerinin boyutundadır. Küçük taneler çok hızlı şekilde buharlaşır ve  $\text{NO}_x$  azaltma oranı içeren yüksek sıcaklıkta reaksiyon gösterir. Dolayısıyla çok büyük taneleri yavaşça buharlaşır ve artan  $\text{NH}_3$  slip'ıyla sonuçlanan çok düşük sıcaklıkta reaksiyon gösterirler.n

İndirgeme elemanı için muhtemel taşıyıcılar basınçlı hava, akım ya da sudur. Aşırı yakma hava veya baca gazı devirdaimi gibi temel ölçümler, SCNR işlemi için taşıyıcı ayıraç olarak kullanılabilir.

Ayıraç seçimi azotlu oksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oluşumunu da etkiler. Amonyak ve kostik amonyak kullanımı az miktarda  $\text{N}_2\text{O}$  oluşmasına yol açabilir. Buna karşılık buhar kazanına doğrudan buhar enjekte edildiğinde, nispeten yüksek miktarlar ölçülebilir. Bu problemi çözmek ve  $\text{N}_2\text{O}$  oluşumunu bir bakıma ortadan kaldırmak için, burn out havaya enjekte edilen üre kullanılabilir. Üstelik, ürenin SCNR için ayıraç olarak kullanımı, amonyak ve kostik amonyak ile ortaya çıkandan daha yüksek aşınma problemlerine yol açar. Bu yüzden materyaller özenle seçilmelidir.

SCNR uygulaması ile ilgili birçok problem, yakma çemberi içerisindeki ayıraç tekbiçim olmayan dağılımına bağlıdır. Bu yüzden dağıtım sisteminin geliştirilmesi gereklidir. Amonyak ve baca gazını ideal dağıtım için özel dağıtım sistemleri kullanılır.

Nitrojen oksitlerin ve amonyak/üre'nin su ve nitrojene tepkimesi, amonyak ve nitrojen oksit oranına olduğu kadar, önemli ölçüde dereceye ve istenen sıcaklık değerlerinin korunmasına bağlıdır.bahsedildiği gibi amonyak ve kostik amonyağın, derece aralığı, 850-1000 °C'dir. Karşılaştırılacak olursa, sıcaklık penceresi üre kullanıldığında, ideal sıcaklığı 1000 °C olup, daha geniştir. (800 to 1100 °C)

İstenilen sıcaklık penceresinde muhafaza süresi 0.2 ile 0.5 saniye arasındadır. Bu temas süresi sabit değildir ve bu yüzden amonyağın nitrojen oksit oranı, sitokiyometrik değil, yüksek amonyaklı olmalıdır.  $\text{NH}_3$  ün  $\text{NO}_x$ 'e molar oranı yönünden, geliştirme birkez daha gereklidir.  $\text{NO}_x$  ihraç oranı, artan oranla onaylanır fakat aynı zamanda amonyak slip'i de sonraki birimlerde artan kirlenmeye sebep olan artışı da meydana gelir.bu iki karşı etkiyi nötralize etmek için, 1.5 ile 2.5 arasında  $\text{NH}_3$   $\text{NO}_x$  oranının ideal olduğu saptanmıştır.

SNCR işlemi için donanım kurulması çok kolaydır ve çok yer işgal etmez, etse bile neredeyse her durumda birden fazla enjeksiyon seviyesi gereklidir. SNCR düşük bir azalma oranına sahiptir bu yüzden oldukça düşük emisyon seviyesine sahip olan buhar kazanlarında tek başına kullanılabilir. Ancak bu yükleme varyasyonları ve değişken yakıt nitelikli buhar kazanları için uygun değildir.

Gerçek yapılanma maliyetleri buhar kazanı ve işlem profiline bağlıdır. Bazı tahminlere göre fiyatlar 250  $\text{MW}_{th}$  lik , 4000 h/yr işleyen ve kömürle çalışan buhar kazanında , azaltılmış  $\text{NO}_x$  in her tonu için 2500 EURdur.

### 3.4.2.3 Amonyak depolamaya ilişkin emniyet hususları

Hem SCR hem de SNCR teknikleri azatılım etmeni olarak amonyak ya da üre kullanır. Üre 50 MW<sub>th</sub>'nin altındaki yakma tesislerinde daha büyük SCR veya SNCR uygulamalarındakinden daha yaygın olarak kullanılır. Sağlık üzerinde hiçbir etki katı üre depolamasından kaynaklanmaz.

Amonyak sıvı bir solüsyon olarak ya da 20°C'de yaklaşık 1.7 MPa (17 bar) basınçta sıvılaştırılmış halde saklanabilen yanıcı bir gazdır. Amonyagin insan sağlığına yüksek riskinden dolayı, amonyağın taşınması, işlemden geçirilmesi ve depolanması herhangi bir sızıyından kaçınmak için çok dikkatle gerçekleştirilmelidir. Amonyak deposunun ve işleme alanının etrafında düşük amonyak yoğunluğunu fark etmek için izleme sistemleri kurulmalıdır. Basınçlanmış ve sulu amonyak Seveso II Directive 96/82/EC altında denetimde tutulmaktadır ve ulusal düzenlemelere bağlıdır.

Çelik kapların stres aşımını riski tank bütünüdür düzenli izlenmesini ve eklenmiş sıvı amonyak içerisindeki hidrojen ve oksijen miktarı için kalite kontrolü gerektirmektedir.

3.4.2.4 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil tedbirlerin genel performansı

İkincil tedbir	Genel NO <sub>x</sub> Azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Parametre	
Selektif Katalitik Azaltım (SCR)	% 80 – 95	İşletim sıcaklığı	İşletim sıcaklığı	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amonyak slip sorunlara neden olabilecek artan NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> oranı ile birlikte artar. Bu daha büyük katalizör hacmi kullanılarak ve/veya baca gazında NH<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> oranı karışımı ile çözülebilir.</li> <li>NH<sub>3</sub>'ün NO<sub>x</sub> ile eksik tepkimesi amonyum sülfat oluşumuna neden olabilir ve katalizör, hava ön ısıtıcısı, baca gazı kükürt giderimi atık sularındaki artan NH<sub>3</sub> miktarı gibi aşağı akımlarda birikir. Bu eksik reaksiyon tüm SCR sisteminin yıkıcı hatası durumunda meydana gelir.</li> <li>Katalizör ömrü kömür yakımı için 6 – 10 yıl, petrol yakımı için 8 – 12 yıl ve gaz yakımı için 10 yıldan fazladır.</li> <li>Periyodik yıkama ile 40000 ile 80000 işletim saatlik katalizör ömrüne erişilebilir.</li> </ul>
		Azaltım etmeni	Azaltım etmeni	
		NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	
		NH <sub>3</sub> slip	NH <sub>3</sub> slip	
		Elverişlilik	Elverişlilik	
		SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> -katalizörlü dönüşüm oranı	SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> -katalizörlü dönüşüm oranı	
		Elektrik kapasitesi %'si enerji tüketimi	Elektrik kapasitesi %'si enerji tüketimi	
		Katalizörde basınç düşüşü	Katalizörde basınç düşüşü	
Selektif katalitik olmayan azaltım (SNCR)	% 30 - 50	İşletim sıcaklığı	İşletim sıcaklığı	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bazı imalatçılar % 80'i aşan NO<sub>x</sub> azaltım seviyesi bildirmiş olsa da, genel düşünce SNCR proseslerinin farklı işletimsel koşulları içeren ortalama % 30 – 50 azaltım kapasitesine sahiptir. Daha fazla NO<sub>x</sub> azaltımları iyi koşullara sahip spesifik buhar kazanları ile elde edilebilir [33, Ciemat, 2000].</li> <li>İkame süresi ve sıcaklık penceresi gerektirdiğinden SNCR, gaz türbinlerinde kullanılamaz.</li> <li>SNCR gaz türbinleri veya motorlar için kullanılamaz.</li> </ul>
		Azaltım etmeni	Azaltım etmeni	
		NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	
		Elverişlilik	Elverişlilik	
		NH <sub>3</sub> slip	NH <sub>3</sub> slip	
		Elektrik kapasitesi %'si enerji tüketimi	Elektrik kapasitesi %'si enerji tüketimi	
		Sıcaklık ranjında ikame süresi	Sıcaklık ranjında ikame süresi	

Tablo 3.14: NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil tedbirlerin genel performansı

### 3.5 Sülfür oksit ve nitrojen oksit emisyonlarını azaltmak için kombine teknikler

Kombine SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ihraç işlemleri, sıradan FGD/SCR işlemlerinin yerini tutması amacıyla geliştirilmiştir. Kombine SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ihraç işlemlerinin bazıları ünitelerin sadece küçük bir kısmında uygulanmıştır ya da sadece teşhir tesisleri olarak az çok bulunmuştur ve ticari sebepler (maliyet) için henüz bir pazarlama anlayışı bulamamıştır. Bu tekniklerin her biri SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> 'i aynı zamanda ihraç etmek için tek bir kimyasal tepkime benimsemiştir. Kombine tekniklerin geliştirilmesi, SCR reaktöründeki SO<sub>2</sub>'nin oksitlenmesine bağlı olan FGD teknolojisi tarafından izlenen sıradan SCR'nin ana sorunuyla bastırılmıştır. Genellikle SO<sub>2</sub>'nin %0.2 – 2'si SO<sub>3</sub>'e oksitlendirilmiştir. Bunun baca gazı temizleme sistemi üzerinde çeşitli etkileri vardır. Örneğin süşük bir sülfür kömür için, SO<sub>3</sub> kömür yanlı ESP'nin ihraç verimini artırabilir. Buna rağmen, SO<sub>3</sub> genellikle hava ön ısıtıcısındaki ve gaz-gaz ısı eşanjöründeki çürüme ve birikintileri artırır.

Birleştirilmiş SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ihraç işlemi genel olarak aşağıdaki kategorilere ayrılabilir:

- Katı adsorpsiyon/rejenerasyon (desorpsiyon)
- Gaz/katı katalitik işlemi
- Elektron çekirdeği irradyasyonu
- Alkali enjeksiyonu
- Islak gaz yıkama.

Diğer teknikler çoktan ticari olarak elde edilebilirken ve bir grup tesiste işleme solulmuşken, bu katagoriler içerisinde birkaç işlem hala gelişme aşamasındadır.

#### 3.5.1 Katı adsorpsiyon/rejenerasyon

Bu tür bir işlem baca gazındaki NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> ile tepkimeye giren veya adsorbe eden katı katalizörü ya da sorbenti benimsemiştir. Sorbent ya da katalizör tekrar kullanım için yeniden oluşturulmuştur. Sülfür ya da nitrojen türleri, genellikle yüksek bir sıcaklığı ya da yeterli yerleşim zamanı için gaz azaltımını gerektiren rejenerasyon aşamasında sorbentten ayrılmıştır. İyileştirilmiş sülfür türleri, örneğin bir 'Claus' tesisinde satılabilir bir yan ürün olan doğal sülfür üretmek için işlem görmüştür. Nitrojen türleri, buhar kazanına geri dönerek ya da amonyak enjeksiyonuyla su veya N<sub>2</sub>'ayrıştırılır. Aktifleştirilmiş karbom işlemi, NOXSO, bakır oksit, çinko oksit ve magnezyum oksit-vermikolit gibi diğer işlemler katı adsorpsiyon/rejenerasyonda yer almaktadır.

##### 3.5.1.1 Aktif karbon prosesi

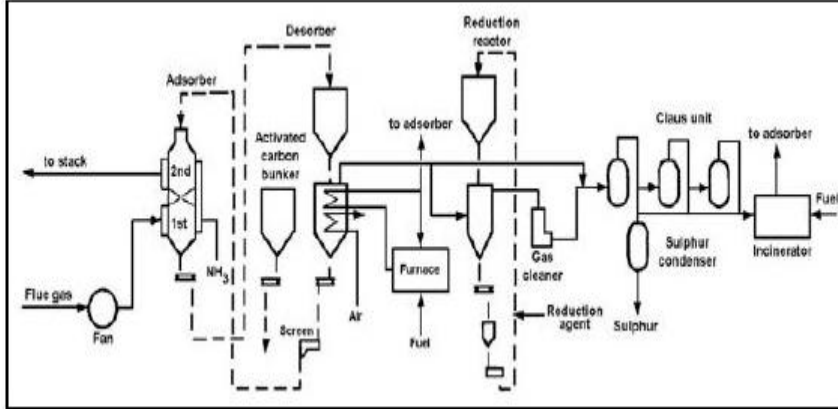
Aktifleştirilmiş karbon çok geniş özel yüzey alanına sahip olduğundan, 19.yy'dan beri yaygın olarak hava temizleme ya da atık su temizleme etmeni olarak kullanılmaktadır. Aktifleştirilmiş karbonun sülfirik asit oluşturmak için SO<sub>2</sub>'yi, oksijeni ve suyu emdiği uzun zamandır bilinmektedir. Eş zamanlı SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> ihracı amonyak eklenerek mümkün kılınır.

Buhar kazanındaki baca gazı ilk önce tozundan arındırılır, ısının aktifleştirilmiş karbon rejenerasyonu için çıkartıldığı hava değiştiriciden geçirilir ve daha sonra sulu önyıkayıcıda soğutulur. Gaz 90 - 150 °C sıcaklıkta aktifleştirilmiş karbon yatağının (kuru gözenekli mangal kömürü) ilk aşamasına girer. Sülfür dioksit aktifleştirilmiş karbondaki emilmiş olan sülfirik asit oluşturmak için baca gazlarındaki oksijen ve su buharı ile (katalitik oksitlenme yoluyla) tepkimeye girer.

2. aşama adsorbana girmeden önce, amonyak karıştırma odasında baca gazlarına enjekte edilir. Nitrojen oksitler nitrojen gazı (N<sub>2</sub>) ve su oluşturmak için 2. aşamada katalitik olarak amonyakla tepkimeye girer. Temizlenmiş baca gazları ile serbest bırakılmış oksijen ve nem boşaltım için bacaya yönelirler. Azatlım işlemi, aktifleştirilmiş karbon taneciklerinin hareketli bir yatak şeklinde baştan sona taşındığı adsorbanda yer almaktadır. Gaz, ilk önce yatağın en düşük kısmına girerek bir tabaka boyunca akmaktadır.



Sülfür yüklü aktifleştirilmiş karbon, yaklaşık 400 – 450 °C sıcaklıkta baca gazından daha önce çıkartılmış gazı kullanarak dolaylı ısıtma yoluyla termal olarak desorpsiyonun yerine getirildiği rejeneratörlere geçer. Karbon tozu ihrac edilmiş ve ilave tanecikler absorbere geri dönmeye önce eklenmiştir. Rejenerasyonun sonucu olarak, zenginleştirilmiş SO<sub>2</sub> gazı desorberden elde edilmiştir. Zenginleştirilmiş gaz Claus ya da başka bir işlem kullanılarak yan ürün olarak satılabilen sülfirik aside veya saf aside dönüştürülebilir. Şekil 3.33 aktifleştirilmiş karbon işleminin şematik diyagramını göstermektedir.



Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi için ayrılmıştır

Adsorber: Adsorber  
 Flue gas: Baca gazı  
 Reduction reactor: Azaltım reaktörü  
 Gas cleaner: Gaz temizleyicisi  
 Furnace: Fırın  
 Sulphur condenser: Kükürt kondansatörü  
 Reduction agent: Azaltım elemanı

Şekil 3.33: Aktif karbon prosesi  
 [33, Ciemat, 2000]

### 3.5.1.2 NOXSO prosesi

NOXSO işleminin %97'lik bir SO<sub>2</sub> ve %70'lik bir NO<sub>x</sub> azaltımına ulaşması beklenmiştir. Baca gazı kanal hattına doğrudan püskürtülen su akıntısının buharlaştırılması yoluyla soğutulur. Soğutulduktan sonra, baca gazı SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> 'in sorbentler tarafından eş zamanlı olarak ihraç edildiği paralel sıvılaştırılmış iki yatağın arasından geçer.

Sorbent sodyum karbonatla doyruan yüksek alümin yüzey alanının küresel çekirdeklerinden oluşur. Daha sonra temiz baca gazı bacaya geçer. Kullanılmış sorbent, 3 aşamalı sıvılaştırılmış bir yatak olan sorbent ısıtıcısına taşınır. 600 °C'deki ısıtma işlemi boyunca, NO<sub>x</sub> desorbe edilir ve kısmen ayrıştırılır. Desorbe edilmiş NO<sub>x</sub> içeren sıcak hava; NO<sub>x</sub>'in, yakma odasının azalan atmosferinde serbest köklerle reaksiyonu yoluyla ya CO<sub>2</sub> ya da H<sub>2</sub>O yayan N<sub>2</sub>'ye dönüştüğü buhar kazanında geri döndürülür. Sülfür, yüksek SO<sub>2</sub> ve hidrojen sülfid (H<sub>2</sub>S) yoğunluklu proses atık gaz üretmek için sülfür bileşiklerinin (genellikle sodyum sülfat) yüksek sıcaklıkta doğal gazla (metan) reaksiyona girdiği hareketli yatak rejeneratöründe yeniden elde edilir. Sodyum sülfatın (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yaklaşık %20'si, daha sonra buhar işlem kabında hidrolize edilmesi gereken sodyum sülfite (Na<sub>2</sub>S) indirilir. Hareketli yatak, buhar işlem reaktörü rejeneratörü izler ve H<sub>2</sub>S'nin yoğunlaştırılmış akıntısı Na<sub>2</sub>S'li buharın tepkimesiyle elde edilir. Buhar işlemi ve rejeneratörden elde edilen proses atık gazları satılabilir bir yan ürün olan saf sülfür üretmek için Claus tesisinde işlenir. Sorbent sorbent soğutucuda soğutulur ve daha sonra adsorbana geri döndürülür.

### 3.5.1.3 Diğer katı adsorpsiyon/rejenerasyon işlemleri

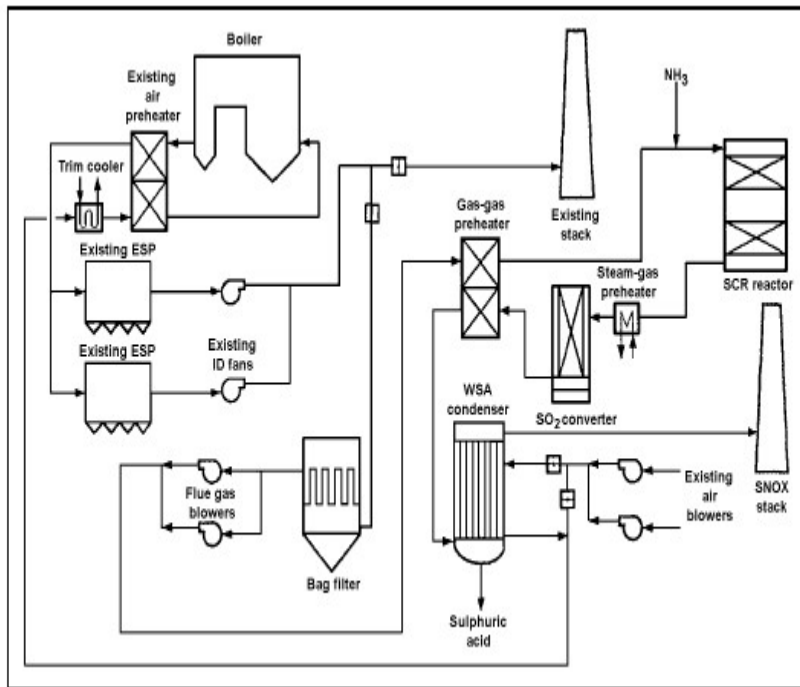
Bakır oksit ve çinko oksit işlemleri gibi diğer işlemler hala geliştirilmekte ve bu yüzden belgenin bu kısmında daha fazla ele alınmamaktadır.

### 3.5.2 Gaz/katı katalitik süreçler

Bu tür işlemler, oksidasyon hidrojenarasyon, ya da SCR gibi katalitik tepkimleri kullanır. Elemental sülfür, yan ürün olarak elde edilir. Atık suyun arındırılmasına gerek kalmaz. Bu kategoride, WSA-SNOX, DESONOX, SNRB, 'Parsons Baca Gazı Temizleme (FGC)' ve 'Lurgi Dolaşimli Akışkan Yatak (CFB)' yer alır. Bazı işlemler ticari hale getirilmeye başlanmıştır.

#### 3.5.2.1 WSA-SNOX prosesi

Bu işlem, SCR yöntemiyle  $\text{NO}_x$  i atmak,  $\text{SO}_2$  'yi  $\text{SO}_3$  'e oksitleştirmek ve  $\text{SO}_3$  'ü satmak üzere sülfürik asit olarak yoğunlaştırmak için, sıra sıra iki katalizör kullanılır. Baca gazından yaklaşık %95 oranında sülfür ve nitrojen çıkarılabilir. Bu işlemde hiç atık su ve ürün üretilmez ya da  $\text{NO}_x$  kontrolü için amonyak kullanımı dışında herhangi bir kimyasal tüketilmez. Şekil 3.34, Danimarka'da kömürle çalışan 300 MW<sub>e</sub> 'lik bir güç tesisinde kurulmuş WSA-SNOX işleminin akış şemasını göstermektedir.



#### Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi için ayrılmıştır

- Boiler: Buhar kazanı
- Existing air preheater: Mevcut hava ön ısıtıcısı
- Existing ESP: Mevcut ESP
- Flue gas blowers: Baca gazı üfleyicileri
- Existing stack: Mevcut baca
- SCR reactor: SCR reaktörü
- WSA condenser: WAS kondansatörü
- Existing air blowers: Mevcut hava üfleyicileri
- SNOX stack: SNOX bacası
- Sulphuric acid: Sülfürik asit
- Bag filter: bez filtre

Şekil 3.34: WSA-SNOX prosesi  
[33, Ciemat, 2000]

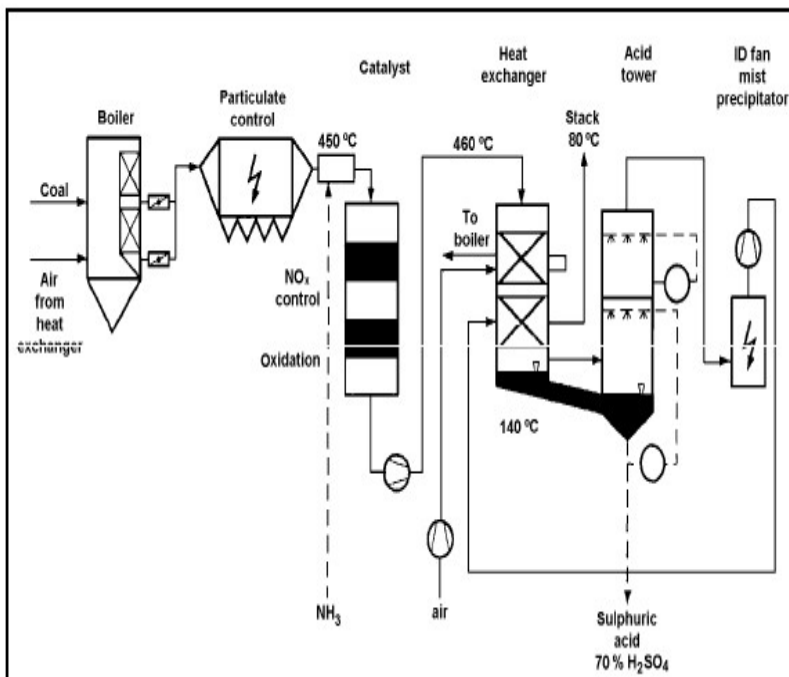
Burada hava ön ısıtıcısından ayrılan baca gazı, partikül kontrol aletinde arındırılır ve gazdan gaza ısı eşanjörünün, gazın sıcaklığını 370 °C'nin üzerine çıkararak soğuk bölmesinden geçer. Amonyak ve hava karışımına nitrojen oksitlerin  $\text{N}_2$  yi ve suya indirgendiği SCR'den önce, gaz eklenir.

Baca gazı SCR'den ayrıldığında, derece hassas bir şekilde ayarlanır ve  $\text{SO}_2$  yi sülfür trioksite oksitleştiren ( $\text{SO}_3$ ),  $\text{SO}_2$  dönüştürücüsüne girer.  $\text{SO}_3$  yüklü gaz, gelen ısınmış baca gazını soğutulduğu gazdan gaza ısı eşanjörünün sıcak bölmesinden geçer. İşlemden geçen baca gazı daha sonra borosilikat için gaz evresinden çıkıp yoğunlaştığı düşen ince tabaka yoğunlaştırıcısının içine girer ve sırasıyla toplanır, soğutulur ve depolanır. Soğutulan hava 200 °C'nin üzerindeki WSA yoğunlaştırıcısından ayrılır ve hava ön ısıtıcısı yoluyla ısı toplandıktan sonra yakma havası olarak kullanılır.

Bu işlemde SO<sub>2</sub> dönüşümünden, SO<sub>3</sub> hidrolizinden sülfürik asit yoğunlaştırılması ve DENOX tepkimesinden termal enerji elde etmek mümkündür. Elde edilen enerji, artan akım üretiminde kullanılır. Bu yüzden, net verimlilikteki salt düşüş, 300 MWe'lik (%1.6 sülfür kömürü ile) bir tesiste %2 oranında düşüktür. Genel olarak, kömürdeki her sülfür yüzdesi, %1 oranında ek akım üretimi ile sonuçlanır. Kömür, %2-3 oranında sülfür içerdiğinde, akım ürününün; WSA-SNOX işleminin güç tüketimini karşıladığı varsayılır.

### 3.5.2.2 DESONOX prosesi

DESONOX işleminde (şekil 3.35) baca gazları ilk olarak partikülatlardan arınmak üzere ESP' den geçer; daha sonra amonyak enjeksiyonu ve SCR işlemleri gerçekleştirilir. Ardından, gazlar ön ısıtıcı yakma havası yoluyla soğutulur ve bütünüyle arındırılmış gazlar atmosfere yayılmadan önce tekrar ısıtılır. Baca gazının sıcaklık derecesi bu yüzden yaklaşık 140 °C azalır ki bu da SO<sub>2</sub>'nin SO<sub>3</sub>'e katalitik oksidasyonunu ve sonraki sülfürik asit yoğunlaşmasını sağlar. (%70) ikinci aşama, devirdaim asit kulesinde tamamlanır. Son olarak baca gazları ıslak elektrostatis presipitatörü aracılığıyla yönlendirilir ve serbest bırakılmadan önce tekrar ısıtılır.



#### Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi İçin ayrılmıştır

Boiler: Buhar kazanı  
 Coal: Kömür  
 Particulate control: Partikül kontrolü  
 Catalyst: katalizör  
 Acid tower: Asit kulesi  
 Stack: Baca  
 Heat exchangers: Isı eşanjörleri  
 Fan mist precipitator: Fan buğu presipitatörü

Şekil 3.35: DESONOX prosesi  
 [33, Ciemat, 2000]

### 3.5.2.3 SNRB prosesi

SO<sub>x</sub>-NO<sub>x</sub>-ROX-Box işleminde (SNRB), kireç yada sodyum bikarbonat gibi kuru bir sorbent, özel olarak tasarlanmış filtre aranjmanının baca gazı akımına enjekte edilir. Bu işlem SO<sub>2</sub>'nin NO<sub>x</sub>'in ve bir üniteye partikülatların –yüksek derecede katalitik seramik ve bez filtrenin- ihracını bir araya getirir. Bu işlem geleneksel baca gazı temizleme teknolojilerinde kullanılanlardan daha az yer işgal eder. SNRB işlemi %90 oranında SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'i; ve en azından partikülatların %99'unu çıkarmayı hedefler fakat bu işlemin gerçekte geniş yakma tesislerinde uygulanabilirliği konusunda mevcut veri bulunmamaktadır. Bu yüzden, SNRB işleminin genel performansı üzerine bilgi verilememektedir.

### 3.5.2.4 Ortaya çıkan gaz/katı katalitik süreçleri

Günümüzde geliştirilen diğer işlemler ise, 'Parsons Baca Gazı Temizleme' işlemi ve 'Lurgi CFB' işlemidir. Bunlar sadece klavuz tesis skalası üzerine kurulmuştur ve bu yüzden de belgenin bu bölümünde yer almamaktadır.

### 3.5.3 Elektron ışını radyasyonu

Bu işlem baca gazını; ESP ya da bez filtre yoluyla partikülata (amonyum sülfat ya da nitrat) toplanması için elektronları amonyak ile yüksek enerji akımına maruz bırakır. Baca gazı, belirlenen bir sıcaklık derecesi (65 – 90 °C) ve nemlilik seviyesinin oluşturulduğu spray soğutucular ve ısı eşanjörlerinin içinden geçer. Elektron dalgası reaktöründe baca gazı, reaktörün baca gazı akımına eklenen yakın sitokiyometrik bir miktarın varlığında, yüksek enerji elektron dalgası tarafından radyasyona maruz bırakılır. Radyasyona maruz kalma bölgesinde, baca gazını nitrojen, oksijen ve su bileşenleri radikal ve iyon oluşturmak üzere yüksek enerji elektronları tarafından harekete geçirilir. Bu türler SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> ile oksidasyon tepkimelerini başlatmaya ve sırasıyla sülfürik asit ile nitrik asit üretmeye hazırdırlar. Bu asitler, amonyak ile nötrale edilir. Salt amonyak partikülleri, partikülata kontrol aleti aracılığıyla baca gazından çıkarılır. Bu yan ürün ise, tarımsal gübre olarak satılabilir.

İşlemler baca gazını enerji akımına maruz bırakılma yöntemleri ile partikülata oluşturulma ve toplanma işlemlerinde kullanılan kontrol ekipmanları yönünden farklılıkları gösterir. Bu, NO<sub>x</sub>'in başka işlemlerle N<sub>2</sub> ve suya dönüştürülürken SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'in de kullanışlı yan ürünlere dönüştürüldüğü tek SO<sub>2</sub> /NO<sub>x</sub> ihraç işlemidir. Ancak bu işlemler çok uzun süredir klavuz tesis skalası üzerinde test edilmektedir ve bu yüzden de belgenin bu bölümünde daha ayrıntılı incelenmemiştir.

### 3.5.4 Alkali enjeksiyonu

Bu işlem sodyum bikarbonat gib bir ya da daha fazla kuru sorbentin baca gazı akımı içerisine doğrudan enjeksiyonunu kullanır. Bazı testler SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> azaltımı için fırına, kanala ya da spray kuru gaz yıkayıcısına alkalinin enjekte edilebilirliğini göstermiştir. Bu mekanizmanın ne yoluyla ortaya çıktığı tam olarak saptanamamıştır fakat bu işlemler NO<sub>x</sub>'i önemli ölçüde azaltabilir. Baca gazındaki SO<sub>2</sub> /NO<sub>x</sub> oranı tepkime derecesi, sorbent granülometrisi ve direnç süresine bağlı olarak %90 oranında azaltımı sağlanmıştır. Alkali enjeksiyonu sırasında ortaya çıkan bir problem ise yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, baca gazına kahverengi-turuncu arası bir renk verebilmesidir. Hala gösterim aşamasında olduğundan bu işlem, bu belgede daha ayrıntılı şekilde incelenmeyecek ve genel performansı üzerine başka bilgi verilmeyecektir.

### 3.5.5 NO<sub>x</sub> ihracı sağlayacak katkı maddeli ıslak gaz yıkayıcı

Bu işlemler genelde, SO<sub>2</sub> (kireçtaşı ya da çamuru) ihracı için varolan ıslak gaz yıkayıcı tekniğini, NO<sub>x</sub> ihracı içinse katkı maddesi kullanımına dayanmaktadır. Fe(II), EDTA ve sarı fosfor gibi katkı maddelerinin laboratuvarlarda ve klavuz tesis skalalarındaki çeşitli NO<sub>x</sub> ihraç verimliliğine ulaştığını göstermektedir. Ticari alanda yaklaşık 10 adet ıslak, birleştirilmiş SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ihraç tesisleri, 10000 - 200000 m<sup>3</sup>/h ünite kapasitesi ile çalıştırılmaktadır. Bu işlemler gaza eklenen ClO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> 'i ; %30-80 oranında NO<sub>x</sub> ve %90'dan fazla SO<sub>2</sub> 'nin çıkarılması için, sodyum ıslak gaz yıkayıcıya maruz bırakılmadan önce oksidasyon ayırıcı olarak kullanılır. Ayrıca katı maddesi olarak NaClO kullanan sodyum yıkayıcı tarafından %95 'ten daha fazla bir oranda cıva ihraç edilir. Bu işlemler oksidasyon ayırıcının yüksek maliyeti ve nitrit/nitrat içeren atık suyun atılmasında ortaya çıkan problemler nedeniyle, geniş hacimli gazların işlenmesi için uygun değildir. Bu işlemin gerçekte geniş yakma tesislerinde uygulanabilirliği konusundaki kaygılar yüzünden, daha geniş bilgi mevcut değildir. Bu yüzden performans üzerine bilgi verilememektedir.

3.5.6 SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> azaltılmasına yönelik kombine tekniklerin genel performansı

Teknik	Genel SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> azaltım oranı	Diğer performans parametreleri		Düşünceler
		Parametre	Değer	
Aktif Karbon prosesi	% 98/ % 60 - 80	İşletim sıcaklığı	90 – 150 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktif karbon prosesi ayrıca SO<sub>3</sub> ile cıva ve dioksinler gibi hava toksik maddelerin ihracına yönelik dikkate değer bir potansiyele sahiptir</li> <li>Atık su ön yıkayıcının çalıştırılması süresince sadece çok az miktarlarda üretilir</li> <li>Başlıca Japonya’da olmak üzere çeşitli ticari sistemler kurulmuştur</li> <li>Proses, kömür ve petrol gibi farklı yakıt tiplerinden baca gazı temizleme yetisine sahiptir.</li> </ul>
		Ayıraç	Aktif karbon/amonyak	
		Güvenilirlik	% 98	
		İhraç edilen diğer maddeler	HCl, HF, dioksin	
		Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	% 1.2 – 3.3	
		Yan ürünler	Elemental sülfür veya sülfürik asit	
NOXSO prosesi	% 97/ % 70 (beklenen)	Ayıraç	Sodyum karbonat ile doyurulmuş alumina küreler	<ul style="list-style-type: none"> <li>NOXSO prosesi gösterim aşamasındadır ve US DOE CCT-3 programı kapsamında 108 MWe siklonda Birleşik Devletler’de test edilmek üzere programlanmıştır [33, Ciemat, 2000 ].</li> </ul>
		Güvenilirlik		
		Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	% 4	
WSA-SNOX prosesi	% 95 / % 95	Ayıraç	Amonyak	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çok düşük partikül emisyonları (5 mg/m<sup>3</sup> altında)</li> </ul>
		Güvenilirlik		
		Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	% 0.2	
DESONOX prosesi	% 95 / % 95	Ayıraç	Amonyak	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atık su, sülfürik asit aerosollarının atılmasına yönelik ıslak ESP kullanımı ile üretilir</li> <li>Teoride, likit SO<sub>2</sub> sülfürik asit ve elemental sülfürün üretilmesi olasıdır ancak bugüne dek hizmete alınmış tesisler sadece sülfürik asit üretmiştir.</li> </ul>
		Güvenilirlik	% 96 – 98	
		Elektrik kapasitesi %’si olarak enerji tüketimi	% 2.0	

Tablo 3.15: Sülfür oksit/nitrojen oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik farklı sorbent enjeksiyon tekniklerinin genel performansı

### 3.6 Metal (ağır metal) emisyonunu azaltma teknikleri

Fosil yakıtların çoğunda bağlı olan metaller (genellikle ağır metaller olarak adlandırılır) yakma işlemi boyunca serbest bırakılır ve duman olarak ya da partiküller üzerinde atmosfere salınabilir. Fosil yakıt kullanımıyla ilgili olan metaller As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, V ve Zn'dir. Özellikle yeterli miktarlarda bulunurlarsa bu metallerin bazıları çok zehirlidir.

Metaller birkaç çıkış akımlarına ayrılır. Temelde bu, uçucu küller ve ayrıca aşağı akım kirliliğini kontrol aletlerine giren baca gazı tortularını yakma işlemidir. (şekil 3.36) enerji üretiminde tüketilen büyük miktarlardaki yakıt yüzünden, büyük miktarlarda zararlı olma ihtimali bulunan metaller çevreye salınabilir. Çoğu metal elementleri partiküllerle bağlantılıdır. Değişken elementler tercihen ,daha büyük yüzey alanı nedeniyle baca gazı akımındaki daha küçük partiküllerin yüzeyinde sıvılaşırlar. Hg , baca gazı kontrol aletinin kontrolünden çıkan ve hem düşük kaliteli kömürlerde hem de güç tesislerinde birlikte yakılan bazı atık parçalarında meydana gelen oldukça zehirli bir metaldir. Hg, büyük ölçüde, gazlı olarak yayılır.(şekil 3.35 'e bakınız)

Yakma ve baca gazı temizliği sırasında ağır metallerin hareketleri ve emisyon değerleri üzerinde bilgi elde etmek için yeterli yöntem, göz önünde bulundurulmuş toplam yakma kurulumuna karşı bir kütle dengesi kurmaktır(şekil 3.36). ağır metalin kütle dengesi araştırmaları, geniş çaplı taş kömürle ve linyitle çalışan güç tesislerinin çeşitleri üzerinde yürütülmüştür [127,Clarke and Sloss, 1992], [129, Maier, et al., 1992], [130, Rentz, et al., 1996], [131, Rentz ve Martel, 1998].



**Şekil 3.36: Kömürle çalışan yakma tesislerinde ağır metal, florid ve kloridin kütle dengesi**

Değişken metal elementlerinin, yakma odasının aşağı akımını taşıyan ince zerrelili partikül materyalinde zenginleştirilmesi nedeniyle, bu elementlerin emisyonu yakıt dönüşümü yönteminden ziyade gaz temizleme sisteminin verimliliğine dayanır.

Teorik olarak baca gazından belirli mataeryallerin büyük bir porsiyonu ihraç kapasitesine sahip olan bazı teknolojiler geliştirildi. Bu sistemler genellikle 2 kategoriye ayrılabilir:

- Genelde partikülat ihracı için kullanılan teknikler , SO<sub>x</sub> ya da NO<sub>x</sub> emisyonları
- Baca gazından açıkça elemnet kalıntılarını çıkarmak için geliştirilmiş olan teknikler.

### 3.6.1 Civa (Hg) emisyonlarının kontrolü

#### 3.6.1.1 Katı yakıtın Hg miktarını azaltmak için başlıca tedbirler

Yakıt temizleme(başlıca, kömürün temizlenmesi) yakmadan önce civayı çıkarmak için bir seçenektir. Kömürün pirit sülfürden, taştan, çamurdan ya da içinde karıştırılan ve ya gömülmüş olan kül üretici katkı maddelerinden daha az yoğun olduğu prensibine dayana temizleme işlemlerinin birçok çeşidi vardır. Su ya da hava akımlarını kullanan mekanik aletler, katkı maddelerini, fiziksel olarak çıkarabilir ve katmanlaştırabilirler . Merkezkaç güç bazen, katkı maddelerinden kömürü ayırmaya yardımcı olmak için, su ve hava akımlarıyla birleştirilir. Başka bir yöntem de, kömürü katkı maddelerinden ayırmak için genellikle manyetit (demiroksitin ince zemin partikülleri) kapsayan ağır sıvı çözeltilerini kullanan yoğun ortam yıkamadır. Daha küçük boyuttaki kömür bazen köpük yüzdürme kullanılarak temizlenir. Bu teknik diğerlerinde farklıdır, çünkü yer çekiminin üstüne daha az; ve kimyasal ayrıştırmanın üzerine ise daha fazla yoğunlaşır [168, US EPA, 1997].

#### 3.6.1.2 Civa emisyonunu azaltmak için baca gazı uygulaması teknolojileri

Partikül maddenin üstünde sıvılaşmanın mümkün olduğu, tipik hava kirliliği, kontrol aletinin çalışma sıcaklığında, metallerin çoğu yeterli düşük duman basıncına sahiptir. Diğer taraftan, cıva tipik kontrol aletinin çalışma sıcaklığında yüksek dumana sahiptir ve partikülat kontrol aletleri tarafından toplama oldukça değişkendir. Kamu amaçlı buhar kazanı üzerindeki, cıva kontrolünü etkileyen en önemli etkenler , baca gazı hacmini , baca gazı derecesi ile klorür miktarını , hava konsantrasyonunu ve yayılan cıvanın kimyasal oluşumunu kapsar. Kamu amaçlı buhar kazanlarından yayılan kimyasal cıva alanları bir tesisten diğerine önemli ölçüde değişmektedir. İhraç verimliliği mevcut cıvanın türlerine bağlıdır.

Cıva kontrolünü arttıran etkenler, kontrol aleti sistemindeki düşük sıcaklıklar (150 °C'den az), etkili bir cıva sorbentinin varlığı ve sorbent toplamak için uygulanan bir yöntemdir. Genelde uçucu küldeki karbon seviyeleri, partikülat kontrol aleti tarafından sonrada çıkartılan partikülat üstündeki cıva soğurmasını artırır. Ek olarak, baca gazındaki hidrojen klorür (HCl) varlığı, karbon içeren partikülat üzerinde absorbe edilmiş olan , cıva klorürün oluşumuyla sonuçlanabilir. Diğer taraftan, baca gazındaki sülfürdioksit (SO<sub>2</sub>) oksitlenmiş civayı toplaması daha zor olan elemental cıvaya dönmüşürmek için redüktör gibi hareket eder.

Cıvadan başka (asit gazları ve partikülat maddesi) kirleticilerin kontrolü için tasarlanan kontrol teknolojileri cıva ihraç edebilirlikleri açısından değişirler, fakat genelde %50'den az azalmaları gerçekleştirebilirler. (ıslak gaz yıkayıcıları tarafından cıva klorür için yüksek ihraç verimlilikleri hariç)

Karbon filtresi yatakları Almanya'da kamu amaçlı buhar kazanları ve belediyeye ait atık yakma fırınlarında cıva kontrolünü başarılı bir şekilde gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Cıva kontrolü için kamu amaçlı baca gazına yapılan aktif karbon ilavesi, boşaltım gerektiren partikülat maddesi miktarını artırır. [168, US EPA, 1997].

### 3.6.2 Partikül kontrol sisteminde metal emisyonlarının azaltılması

Elektrostatik presipitatörler ve bez filtreler genellikle, katı ya da sıvı yakıtlar yakan yakma tesisleri tarafından meydana getirilen baca gazlarından partikül maddesinin çıkarma için kullanılır. Bu sistemler, toplamda %99.9'luk verimlilikle çalışabilirler. Bununla beraber, ihraç verimliliği genellikle daha küçük boyuttaki partikül çeşidi içinde daha düşüktür, örneğin: partiküllerin metal elementiyle zenginleştirildiği boyut çeşitleri bulunabilir.

Bez filtreler ESPlere benzer bir toplam partikülata ihraç verimliliğine sahiptirler (%99.9'dan daha çok) fakat ince partikül maddelerini kontrol etmede daha iyi, partikülata yüklenme ve uçucu kül özelliklerinde ise daha hassastır. Filtrelerin gaz akışının yukarı akımına eklenen küçük miktardaki katkı maddeleriyle baca gazı şartlanmasını kullanarak toplama verimliliği daha ileri dereceye getirilebilir.

Sıvılaşmanın meydana gelmesi için baca gazı yeterince soğutulana kadar, bazı elementler gaz aşamasında kalabilirler. Baca gazları bez filtreye girdiği zaman, soğuk bölmeli ESPye benzeyen bazı Hg sıvılaştırılmasına da imkan sağlamak için yeterli miktarda soğutulurlar. Bazı tahminler yaklaşık ortalama %40'lık bir Hg ihraç verimliliğinin bez filtre sistemleriyle uyum sağlayan güç sistemleri için gerçekleştirilebilir. Hg ihraç verimliliği önemli ölçüde yakıt özelliklerine bağlıdır. (ör. Cl).

### 3.6.3 FGD sistemlerinde metal emisyonlarının azaltımı

**Islak gaz yıkayıcı FGD sistemleri** belli metallerin azaltma emisyonları için etkili bir yöntemdir. Bu büyük ölçüde, daha çok değişken metallerin çoğunun duman aşamasından sıvılaşmasına ve baca gazından ihracına izin veren absorberden geçerek yaklaşık 50 – 60 °C civarına indirilmesi yüzündendir. Sıvılaşmış metaller daha sonra ıslak FGD sisteminden atık suya transfer edilir.

Çeşitli araştırmalar ihraç verimliliğini, baca gazını Hg için %30-50 ve Se için %60-75 olarak belirtmiştir. Bununla beraber, bazı sistemlerde kullanılan kireç As, Cd, Pb, ve Zn için önemli bir kaynak olabilir ve bu elementlerin konsantrasyonları bile FGDnin aşağı akımını yükseltebilirler. Gaz yıkayıcıdan emisyon, özel işleme ve çalışma koşullarına bağlıdır.

% 96.6'lık ortalama bir Hg ihraç verimliliği, örneğin Japonya'da atık saman yakama fırınından baca gazına sodyum hipoklorit katkı maddelerini ekleyerek gerçekleştirilmiştir. Sodyum hipoklorit gaz yıkayıcı suda tutulmasına imkan sağlayarak, baca gazındaki Hg'yi sabitleştirir. Daha sonra Hg, azaltma, volatilizasyon, sıvılaştırma ve Hg ayırma işlemlerini kullanarak atık su sisteminde ihraç edilebilir.

Çeşitli sprey kuru sistemlerindeki toplam Hg ihracı %35-85 arasında değişir. Sprey kuru gaz yıkayıcıdan önce partikülata ihraç sistemiyle konfigüre olan bu sistemler, bu elementlerin büyük bir porsiyonu (değişken çeşitler de dahil) FGD ünitesinden önce ihraç edildiği için, yüksek metal muhafazasına sahiptirler. Özellikle ince partiküller için en yüksek partikülata ihraç verimliliği aşağı akım bez filtreleriyle uyumlu sprey kuru sistemleri tarafından gerçekleştirilir. Bu sistemlerin en yüksek metal ihraç verimliliğini gerçekleştirmeleri de beklenmektedir. Sprey kuru gaz yıkayıcıdan önce partikülata ihraç sistemiyle uyumlu olan tesisler, FGD ünitelerine girmeden önce %70 oranında Hg ihraç verimliliğine sahiptirler.

Aktif karbon teknolojisi Amerika'da sprey kuru gaz yıkayıcı/ESP sistemlerindeki Hg ihracını yükseltmek için kullanılmaktadır. Testler, Hg ihraç verimliliğinin %40 °C'lik çıkış derecesinde %27'den 78'e kadar ve 110 °C'lik çıkış derecesinde %66'dan 86'ya kadar artış gösterirler. Hg ihracında, katkı maddesiz olarak %69'dan ve katkı maddeli olarak %91-95'lik bir gelişmeyle gaz yıkayıcı/bez filtre sistemleri için benzer gelişmelere de dikkat çekildi. Bu teknoloji günümüzde İsviçre'de atık yakma firması olarak kullanılmaktadır.



Kuru enjeksiyon sistemi gibi FGD sistemlerinde katkı maddeleri kullanılarak Hg emisyonunu düşürmek mümkündür. Katkı maddesi için ise örneğin sorbalit kullanılabilir. Bu, kalsiyum hidroksit ile diğer çeşitli organik ve inorganik öğelerden oluşan bir sorbenttir.

### 3.6.4 NO<sub>x</sub> kontrol sistemlerinde metal emisyonunun azaltımı

NO<sub>x</sub> brülörlerinin yakma boyunca metallerin davranışlarına etki ettiği görülmez. Baca gazlarına kimyasalların ilavesini içeren selektif katalitik temizleme sistemlerinde (SCR) metal emisyonu artabilir. Buna rağmen, bir çok NO<sub>x</sub> kontrol sisteminin metal emisyonunu ne azalttığı ne de arttırdığı görülür.

### 3.6.5 Metal ihracı için tasarlanmış sistemler yoluyla metal emisyonu azaltımı

Bir çok sistem çoğunlukla Hg emisyonunu azaltmak için özellikle baca gazı akıntılarında ve atık fırınlarından bazı metallerin ve diğer zehirli metallerin (As, Cd ve Pb gibi) azaltımı amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemler selenyum filtrelerini, aktifleştirilmiş karbon filtrelerini ve çeşitli sorbentleri içermektedir. Bunlar bu bölümde sadece kısaca ele alınacaktır.

Silis, boksit (alümin), kaolinit, ematlit ve kireç gibi farklı sorbentler baca gazından metali ihraç edebilme özellikleri için incelenmektedir. Bunların ve diğer sorbentlerin detaylı listesi [33, Ciemat, 2000]'de bulunabilir, fakat bu işlemlerin bazılarının, düşük işlem sıcaklıkları, zararlı ikincil etkiler ve sorbentlerin bazılarının yüksek maliyeti nedeniyle büyük güç istasyonları için pratik kullanımlarının sınırlandırıldığına dikkat edilmelidir.

**Aktifleştirilmiş karbon yada kok** filtre sistemleri baca gazından Cd,Hg ve Pb gibi metalleri ihraç etmek için kullanılabilirliği amacıyla geliştirilmiştir. Bilgi; asit gaz ihracına ek olarak metal elementleri adsorbe eden linyit kola ve katalizör sistemleri göz önünde bulundurularak [33, Ciemat, 2000]'de bulunabilir. Belediye atık fırınlarına uydurulmuş klavuz dereceli sistemlerde yönetilen testler, neredeyse bütün Hg'nin baca gazından linyit kola maddesi yoluyla ihraç edildiğini göstermektedir.

DeneySEL testler metalik Hg'nin yoğunluğunda azalmanın baca gazına aktifleştirilmiş karbon eklendiğinde elde edildiğini göstermiştir. Bazı filtrelerin aşağı akıntısından toplanan karbon, baca gazında Hg'nin %13 ila 20 arasına tekabül eden 40- 60 ppm Hg içerir.

**Sülfüre doymuş adsorbanları** kullanarak baca gazından Hg buharını ihracı paketlenmiş yatakları kullanarak çalışılmıştır. DeneySEL sonuçlar aktif alümin ve zeolitin sülfür yoluyla doyumunun, birkaç büyüklük sırası ile adsorbsiyon kapasitesinin arttığını göstermiştir. Sorbentlerin yüksek bir Hg adsorbsiyon kapasitesi olmasına rağmen, Hg'nin tamamını ihtiyaç edemezler (çünkü, bunlar zaten gaz geçişinin başlangıcında bile filtrelerden geçerek gazlar için sıfırdan büyük çıkış yoğunluğuna sahiptir.) Baca gazındaki çok düşük Hg yoğunluğu, ikinci bir aktifleştirilmiş karbona doymuş sülfür adsorbanları tarafından takip edilen aktifleştirilmiş alümin ve zeolite doymuş sülfür yatağının kullanılması yoluyla elde edilebilir.

Sistem gaz yıkayıcılardan sonra var olan egzoz kanallarına uyarlanabilen **selenyuma doymuş bir filtre** kullanan Hg ihracı için uygundur. Filtre,çok sabit bir bileşik olan civa selenit (HgSe) oluşturmak için birleşen Se'ye Hg'nin güçlü benzerliğine dayanır. Kullanılmış filtreler yeniden şarj için imalatçılara geri döndürülür.

Gelecekte, metal elementlerin ihracı için olan bu yeni sistemler metal emisyonunu azaltmada önemli bir yöntem haline gelebilirler. Bununla beraber, günümüzde işlemlerin çoğu ticari bir aşamada değildir yada atık ocaklarından emisyon kontrolü için uygun değildir. Böyle sistemlerin büyük yakma tesislerinde uygulanmasına değer biçmek için ek bir araştırma gerekmektedir.

### 3.7 CO ve yanmamış karbon emisyonlarını azaltma teknikleri

Karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon ( $C_xH_y$ ) olarak iki ana gruba ayrılabilen yanmamış gazların emisyonu, gelişmiş yakma teknikleri sayesinde azaltılabilir. CO ve yanmamış hidrokarbonların emisyonları tamamlanmamış yakmanın bir sonucudur ve çok düşük yakma dereceleri; yakma bölgesindeki çok kısa ikame süresi; yada oksijen eksikliğinin sınırlı alanlarına yönlendiren yakma havası ve yakıtın yetersiz karışımı tarafından meydana gelebilir.

Karbonmonoksit en önemli yanmamış gazdır. Eğer oksijen mevcudu yoksa, yüksek derecelerde bile sabit bir bileşendir. Diğer taraftan, hidrokarbonlar az oksijenli bir atmosferde yüksek derecelerde çürüyebilir ve is oluşturabilirler. Genelde düşük bir yakma bölgesi derecesi ve yakıt ile havanın yetersiz karışımı birlikte meydana geldiğinde, yanmamış hidrokarbonların emisyonlarının oluşturulduğu söylenebilir. Buna rağmen, bu tip durumlar büyük modern fırınlarda nadirdir.

Genellikle yakma güzel kontrol ediliyorsa, CO emisyonları  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 'un altında tutulabilir. Modern güç tesisi buhar kazanlarındaki hidrokarbon emisyonları  $5\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 'un altında olduğu zamanki gibi önemsizdir. Gaz türbinlerden emisyonlar için özel olan teknikler ve şekiller ile pistonlu motorlar yakıt özel bölümlerinde tanımlanmaktadır (sıvı/gaz).

Yanmamış gazların emisyonu birkaç parametreden etkilenir. Aynı şekilde, fırındaki yakıt/hava oranını kontrol etmede sorunlar olduğunda yada yakıt kalitesi homojen olmadığında (atık yada biyomas durumundaki gibi), yanmamış gazların emisyonları en yüksektedir. Düşük reaktiviteli ve değişken içerikli (antrasit) kömürler, yanmamış gazların emisyonlarını yükseltmeye meyillidirler. Daha yüksek emisyonlar, düşük kaliteli yakıt kullanımının, kısmi yüklemenin yada yakıcının bozulmasından kaynaklanan düşük yakma derecelerinin bir sonucu da olabilirler.

$\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmak için alınan, düşük hava fazlalığı yakma yada güçlü hava aşamalandırma gibi bazı önlemler, yanmamış gazların emisyonlarını yükseltebilirler. Bu tür durumlarda, yakmadaki hava ve yakıtın etkili bir karışımını garanti etmenin önemi vurgulanmalıdır. SNCR yöntemiyle  $\text{NO}_x$  azaltımı ayrıca daha yüksek CO emisyonlarına da sebep olabilir. Akışkan yatak yakma buhar kazanlarındaki kireç taşı beslemesi artırıldığında, CO emisyonları azalabilir.

$\text{NO}_x$  azaltımının bedellerine benzer şekilde, bu tedbirlerin bedelini toplam yatırımdan ayrı tutmak imkansızdır. Mevcut güç tesisindeki yanmamış gazla ilgili sorunlar varsa, durum ayrı olarak değerlendirilmelidir ve olası masraflara uygulanabilirlik değerlendirmesinde açıkça yer verilmiştir.

### 3.8 Halojen emisyonlarını azaltma teknikleri

Doğal kaynaklar, özellikle deniz, atmosferdeki klor, brom ve iyot'un başlıca kaynağıdır. Özellikle alüminyum üretimi gibi endüstriyel kaynakları olan insan aktiviteleri flor emisyonlarının büyük küresel kaynaklarıdır. Çoğu ülkede, fosil yakıtın yakılması, insan aktivitelerinden gelen klor (HCl şeklinde)'un en büyük kaynağıdır ve ayrıca üstün bir flor kaynağı olabilir. Yakmadan gelen halojen emisyonları, asit yağmurlarına katılabilecek oldukça çözünür asidik gazlar halindedirler.

Halojenlerin emisyonu-yakıtın başlangıçtaki halojen içeriği ve hangi şekilde bulunduğu gibi- birçok faktöre, yakma koşullarına (sıcaklık, yerleşimi, zaman, vb) ve çeşitli kirlilik, kontrol teknolojilerinin kullanımına bağlıdır. Örneğin FGD'ye ve buhar kazanına kireç taşını eklenmesi gibi SO<sub>x</sub> emisyonunu kontrol etmek için tasarlanmış bu teknoloji ve işlemler asidik halojen gazlarının emisyonunu azaltmakta özellikle etkilidir. Döner gaz ısı eşanjörleriyle , HF FGD sistemlerinden %50 ye geçer.

Bu bölüm, en yaygın olarak LCP'lerde kurulmuş olan çeşitli kirlilik kontrol teknolojilerinin (örneğin, partikül ve sülfür kontrol ekipmanı) halojen ihraç verimini ele almaktadır.

### 3.8.1 Partikül kontrol sistemlerinde halojen emisyonu azaltımı

Elektrostatik presipitatörler (ESP) ve ek odacıklar (bez filtreler) yoluyla halojenlerin tutulmasını göz önünde bulundurarak çok az bilgi elde edilebilir. Buna rağmen, sorbent yoğunluğunda gazların yapısı düşünüldüğünde, çok az ya da hiç etkileri olmaması olasıdır. Yakma alanına kirecin eklenmesi gibi sorbent ilaveleri, halojenlerin veya filtreleme sistemleri tarafından tutulabilen partiküllerin tutulmasıyla sonuçlanır. Fırınlarda kuru sorbent enjeksiyonuyla, HCl azaltımı sınırlanmıştır, çünkü SO<sub>2</sub> azaltımı yüksek sıcaklıkta sorbentten HCl yaymaktadır.

### 3.8.2 FGD sistemlerinde halojen emisyonu azaltımı

Islak FGD sistemlerde, baca gazı ilk önce FGD absorber devir döngüsünde kloridlerin potansiyel oluşumunu durduran ön yıkayıcılarda yıkanır. Ön yıkayıcılarda, uçucu külün ve HCl, HF gibi çözünebilir gazların bir çoğu tutulur ve atık su arıtma tesislerine yollanır.

Islak FGD sistemi kullanan yakma tesislerinden çıkan halojen emisyonunun asıl ihraç randımanı çok çeşitlenir. Klorin (HCl) ihraç randımanı %87'den 97'ye, florin (HF) %43'ten 97'ye, bromin %85'ten 95'e ve iyodin %41'den 97'ye uzanmıştır.

Hem kamu amaçlı hem de endüstriyel buhar kazanları için yaygın kuru FGD sistemi, kuru siprey yıkayıcıdır. Baca gazı, atomlaştırılmış kireç çamuru ya da sodyum karbonat solüsyonuyla temas geçer. Sıcak baca gazı, zerreleri kurutur ve ESP ya da ek odacıkta kalan brülör uçucu külüyle birlikte daha sonra toplanabilen çözünmüş kimyasalları çökeltir. [33, Ciemat, 2000]'e göre, kuru FGDlerde klorin ve florin ihraç verimleri ıslak FGDlerden alınanlara eşittir.

### 3.8.3 NO<sub>x</sub> kontrol sistemlerinde halojen emisyonu azaltımı

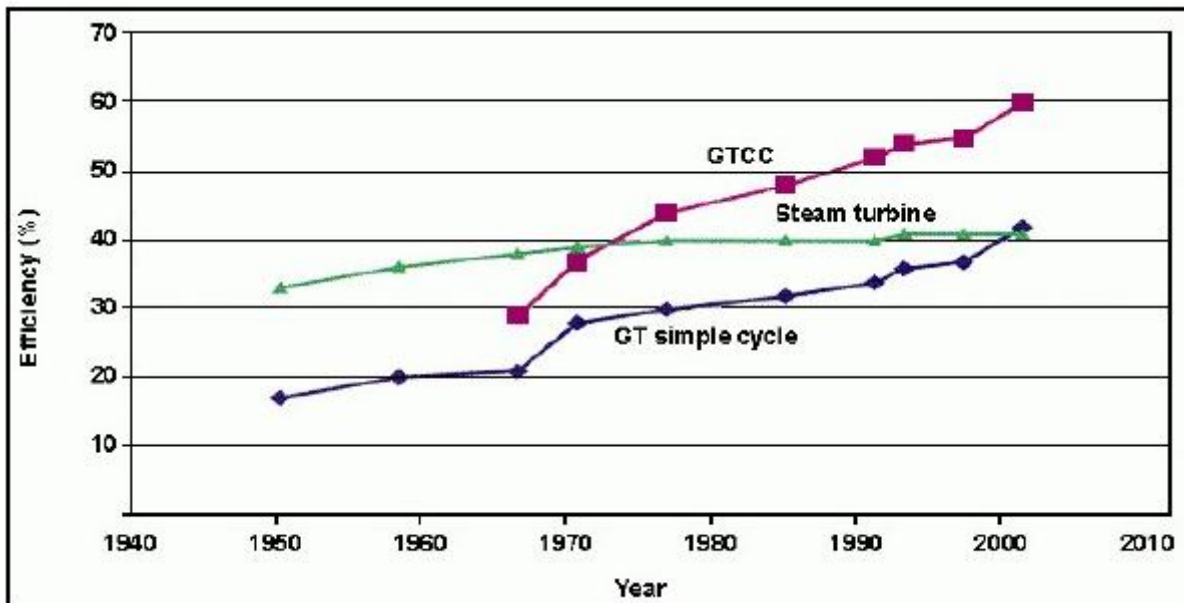
SCR ve SNCR baca gazından NO<sub>x</sub>'i ihraç etmek için tasarlanmış teknolojilerdir. SNCR'de NO<sub>x</sub>'i azaltmak için kullanılan amonyak, amonyum klorid üretmek için uçucu küldeki HCl ile tepkimeye girer. ESP veya diğer partikül sistemler yerinde olsa, bunun HCl'nin asitliğini etkili bir şekilde nötrleştirmesine rağmen, HCl ile hala tepkimeye girebilmesi varsayılabilir. Baca dumanlarındaki amonyum klorid gözle görülür baca dumanı sorunlarına yol açabilir.

### 3.9 Büyük yakma tesislerinden kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması

Fosil yakıtla çalışan yakma tesislerinden sera gazı emisyonlarının azaltılması için, özellikle CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması, çeşitli yöntemler, işlemler ve teknolojiler son yıllarda tartışılmaktadır. Bu bölüm kısaca, günümüzde geleneksel güç tesislerine uygulananlara dikkat çekerek mevcut tedbirleri incelerler. Geniş yakma tesislerinden sera gazı emisyonlarının azaltılması için iki seçenek vardır. Birinci seçenek, bir yakma işleminin etkinliğini, enerji kullanımını ve muhafaza edilmesini geliştirerek CO<sub>2</sub> emisyonundan kaçınmaktır. İkinci seçenek ise, hala çok erken bir gelişme aşamasında olan ve henüz LCP'lerde uygulanmamış olan baca gazı ayrılması ve boşaltımıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarını kontrol etmektir..

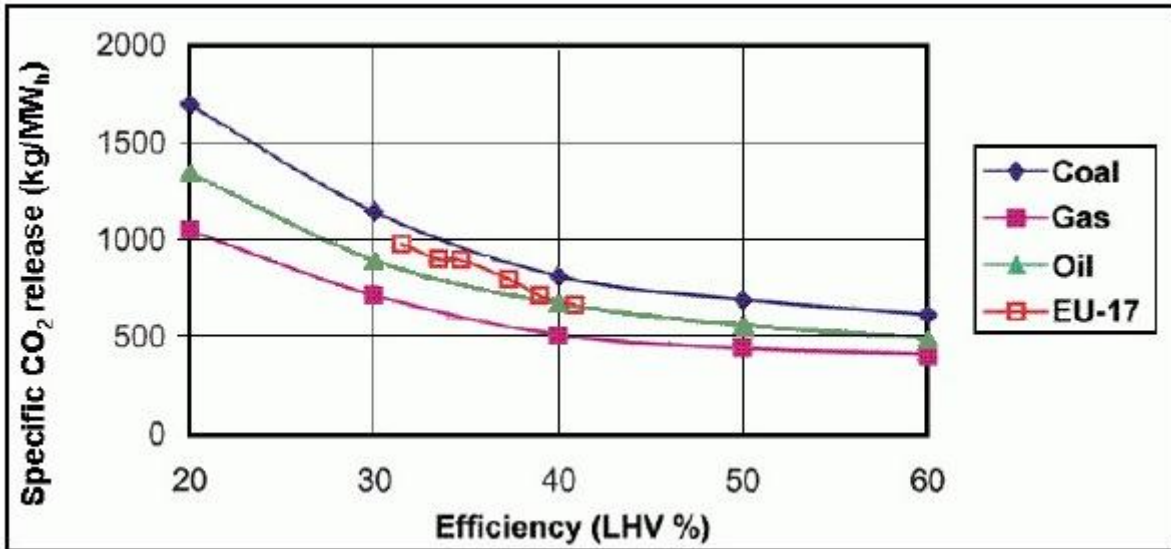
#### 3.9.1 Termal verimliliği artırarak karbondioksit emisyonlarını azaltma

Yakma kurulumunun termal verimliliğini geliştirmek için teknolojiler, sera gazı emisyonlarını azaltmayı da kapsayan ekonomik ve çevresel faktörlerden dolayı son zamanlarda geliştirilmektedir. Bunlar, döngülerle birleştirilmiş gaz türbini (GTCC) gibi daha gelişmiş ve yeni teknolojilerini olduğu gibi geleneksel güç üretme teknolojileri için gelişmeleride kapsar. Teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak şekil 3.37 de gösterildiği gibi güç üretme teknolojilerinin verimliliğinde sabit gelişme meydana gelmiştir.



Şekil 3.37: Son 50 yılda enerji üretim teknolojilerinin verimlilik artışları [105, Steen, 2001]

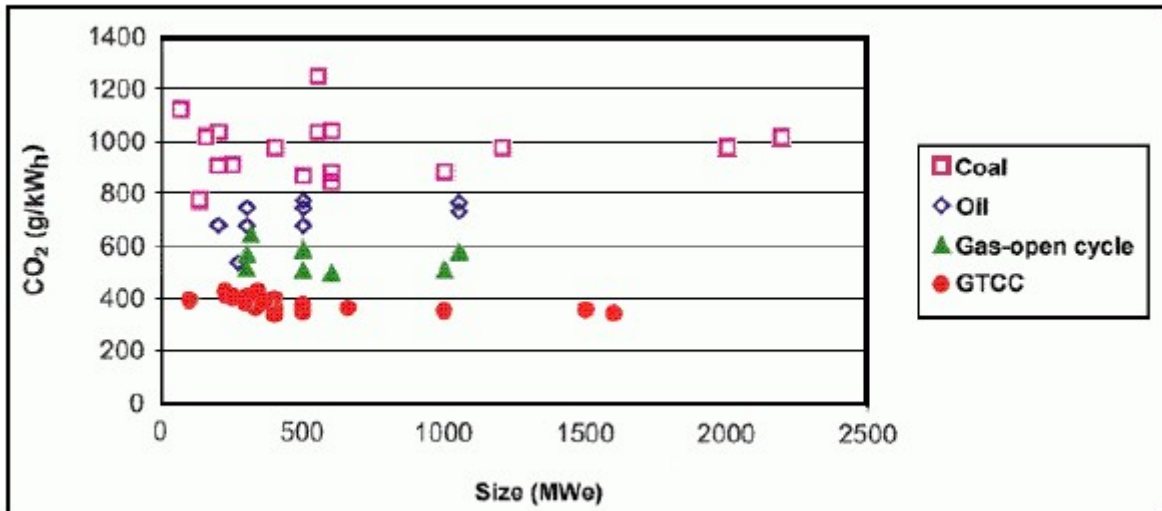
Farklı güç üretme sistemleri için CO<sub>2</sub> salınımları ve verimlilik arasında ilişki, şekil 3.38 de gösterilmektedir. Büyük yakma tesislerinde kullanılan farklı yakıtlara denk gelen dikey pozisyonlu eğriler karbon miktarlarını yansıtır. Tanjant eğiminden eğrilere kadar CO<sub>2</sub> azaltımında salınan her verimlilik artışı hesaplanabilir. Gazla çalışan elektrik santralleri için %40'tan %41'e kadarlık bir verimlilik artışı CO<sub>2</sub> emisyonunu %2.5 oranında azaltır. %85 yükleme etkenli bir 500 MW 'lık tesis için , bu 37000 t/yr<sup>4</sup>. 'lık CO<sub>2</sub> emisyonları bir düşüşe dönüşür.



Şekil 3.38: Verimliliğe karşı CO<sub>2</sub> salınımı [105, Steen, 2001]

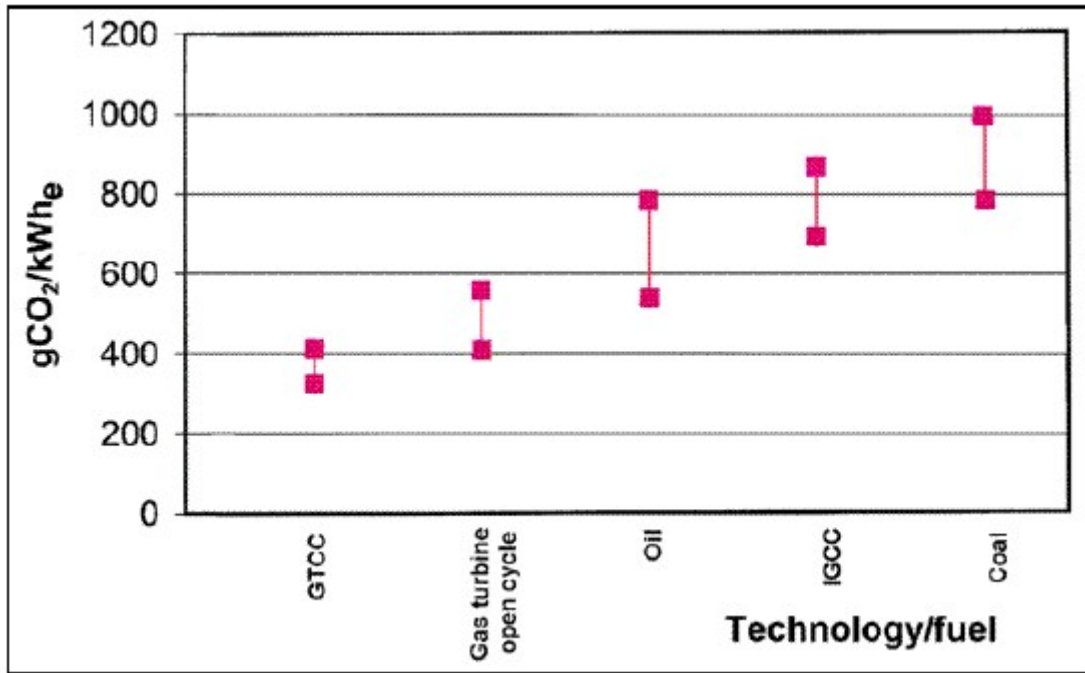
Şekil 3.38 toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki eğilimlerini ve EU-17 (EU-15 + Norveç ve İsviçre)dönemler üzerindeki 1970-1996( ölçülen veri) ve 2000-2010 için projeksiyonlar (son iki noktada)'daki temel güç üretimi için ortalama verimlilikleri gösterir.

Şekil 3.39'da gösterildiği üzere, termal verimliliğinin tesis büyüklüğüne bağımlılığı, CO<sub>2</sub> emisyonlarının tesis büyüklüğüne bağlı olmadığını gösterir.



Şekil 3.39: Tesis büyüklüğüne karşı spesifik CO<sub>2</sub> emisyonları [105, Steen, 2001]

Güncel performansı göstermek için şekil 3.40, farklı güç üretim teknolojilerini özel CO<sub>2</sub> emisyonları açısından sıralar. Şekildeki her teknik için iki nokta , yazından alınmış en yüksek ve en düşük değerleri gösterir [105, Steen, 2001].



Şekil 3.40: Mevcut teknolojilerin CO<sub>2</sub> emisyon performansı [105, Steen, 2001]

Elektrik ve ısı jenerasyonunda verimliliği arttırmak için ilk yol; türbin, pompa ve kirlilik kontrol sistemleri gib temel işlemleri yenilemek ya da geliştirmektir. Geleneksel güç tesislerinde verimliliği arttıran ileri ölçümler arasında ; yoğunlaştırıcı basıncı azaltma, su-besleme ön ısıtma sistemi, atık ısıdan ve kritik ötesi akım döngüsünün koşullarını kullanımından yararlanma yer alır. .

Daha yüksek verimliliklerin ve güç jenerasyonunun çevresel etkileri üzerine artan önemin takibi; birleşik gazlaştırma, birleşik güç döngü tesisleri, basınçlanmış ve pülverize edilmiş kömür yakma teknolojileri gib birçok yeni teknoloji ürününün doğmasına yol açmıştır. Bu teknolojiler, günümüz teknoloji ürünlerinin çok üzerinde verimlilik ve önemli derecede düşük emisyon sağlayabilirler. Fakat ; henüz gelişmenin olgunlaşma aşamasına ulaşmamışlardır.

Kojenerasyon tesisi (CHP) adı verilen elektrik ve ısının birlikte üretimi, kullanılan yakıt verimliliğini arttıracak bir başka imkan sunar. Toplu üretim tesisleri, içerisinde enerji tüketimi, ısı ve elektriğin ayrı jenerasyonu ile karşılaştırıldığında, %50 oranında artırılabilir. Toplu üretim tesisler, hem yüzlerce MW'lik kapasite ile geniş yakma tesisleri olarak, hem de küçük,ticari,kurumsal ve tarımsal binalar olarak inşa edilebilirler. Isı, bölgesel ısıtma ağına ya da ısıtma amaçlı işlemlerşin kullanıldığı endüstriyel tesislerin yakınlarına verilebildiğinde, bu teknolojinin makul ve uygun maliyetli kullanımı mümkündür [32, Rentz, et al., 1999].

### 3.9.2 Baca gazından karbondioksitin ihracı

Günümüz teknolojisinde, enerji üreten işlem ve tekniklerin artan termal verimlilikleri, enerjinin üretildiği her üniteye yayılan sera gazı miktarını azaltmada en önemli tedbirdir. Ancak verimlilikteki artışlar, çeşitli sebeplerle sınırlandırılmıştır. Bu yüzden artan verimlilik de dahil, önemli miktarda CO<sub>2</sub> atmosfere yayılmaktadır. Günümüzde CO<sub>2</sub> emisyonunun daha da azaltılması için, çok sayıda değişik teknikler geliştirilmeye ve araştırılmaya çalışılmaktadır. CO<sub>2</sub> tutumu ve atılması ile ilgili teknik alternatifler, henüz geniş yakma ünitelerinde uygulanmamıştır fakat gelecekte, kullanıma uygun olabilirler. Günümüzde CO<sub>2</sub> hapsetmek için incelenen teknik alternatifler, IEA (uluslar arası enerji ajansı) tarafından açıklanmış ve [41, IEA, 1992] belgesinin 10.2 ekinde kısaca bahsedilmiştir.

### 3.10 Suya salınımı kontrol etme teknikleri

Bölüm 1.3.3 ; büyük bir yakma tesisinde bulunabilecek farklı atık su kaynaklarının incelemesini sunmaktadır. Güç tesislerinde karşılaşılan atık su;çeşitli LCP işlemlerinde ortaya çıkan kirli su ve bölgedeki yağmur sularından oluşur. Bu sular, kirletici konsantrasyonlarının azaltımının yapıldığı atık su arındırma tesislerinde arındırılmalıdır. Bir sonraki bölümde, kirli atık su akımının sıvı ortama bırakılabilir hale gelmeden önce maruz kaldığı genel arındırma teknikleri sunulmuştur.

Atık suyun miktarı, kalitesi ve dolayısıyla LCP'nin belirli atık maddelerinin ihtiyaçlarına uygun olan atık su arındırma tesislerinin düzeni,bölgeye özeldir ve aşağıdaki özellikleri içeren birçok parametreye bağlıdır:

- yakıtın türü ve bileşimi
- yakıt ve kimyasalların depolama alanları
- yakıt hazırlama türü
- yakma süreçlerinin türü
- soğutma sistemlerinin türü
- buhar kazanı suyu ve soğutma suyuna yönelik uygulanan kimyasal tavlama türü
- mevcut ham suyun kalitesi
- su arıtma sistemlerinin türü
- baca gazı arıtma sistemlerinin türü
- yakma yan ürünlerinin (uçucu kül, ıslak kül,FGD alçısı vb) ve
- yönetim uygulamalarının (tahliye; satma) yapısı.

LCP'deki çeşitli işlemler tarafından üretilen bireysel atık su akımları, aşağıdaki özellikleri içerir:

- Proses atık suları, özellikle de FGD ünitesinden çıkan atık sular
- toplanan yağmur suyu ve yangın suları
- temiz atık su

Farklı kalite ve bileşim nedeniyle (kirletici özellik ve konsantrasyonu) yukarıda bahsedilen akımlar çoğunlukla ayrı drenaj sistemleri ile toplanır ve atık su arındırma sistemlerinde bir kez daha arındırılmak üzere farklı yerlere gönderilir (biyolojik atık su arındırma tesislerindeki kirli yağmur suyunun toplanması).

İyi tasarlanmış drenaj sistemleri ile atık su yönetimi en uygun düzeye getirildiğinden LCP sahasında drenaj sistemlerinin tasarımı çok önemlidir.

Atık su, drenaj sistemlerinde yer çekimi yoluyla, atık su arındırma tesislerinin çeşitli bileşenlerine, ara pompalama ve ilgili enerji tüketiminden kaçınmak amacıyla, mümkün olduğu kadar uzağa akıtılmak üzere tasarlanmıştır.

Atık su akımları, akış oranlarında büyük farklılıklar gösterirler ve sürekli ya da periyodik olarak karşılaşırlar. Orijinlere bağlı olarak atık su akımları farklı maddelerden oluşurlar.

- katı maddeler (örneğin askıya alınan katılar)
- sıvı maddeler (örneğin benzin, petrol-su emülsiyonları)
- suda çözünebilir maddeler (organik, inorganik).

LCP’de en çok karşılaşılan atık su akımları aşağıda listelenmiştir:

- su arındırma tesislerinden çıkan atık sular
- soğutucu turne sistemlerinden çıkan atık su
- akım jenerasyon işleminin diğer orijinlerinden çıkan atık su
- baca gazı temizleme sistemlerinden çıkan atık su
- temiz atık su.

### 3.10.1 Su arıtma tesislerinden çıkan atık su

Genelde su, LCP tesislerinin farklı alanlarında kullanıma geçmeden önce ön arındırma aşamasından geçer. Uygulanan ön arındırmanın türü yumuşatıcı ve mineral arındırıcıdır. Bu ön arındırma işlemleri genel olarak aşağıdaki atık suları üretirler:

hafifletici tesislerden :

- Kemer süzgeçlerden çıkan sprey su (yüzey suyunun temizlenmesi)
- tortul atık akıtma filtrelemesi(kimyasal katı maddeleri kullanılmadan)
- tortul atık akıtma filtrelemesi(floggulation ve presipitasyon sonrası)
- kum filtrelerinin arka basınçlı suları

Yumuşatıcı tesislerin çeşitli bölümlerinden çıkan atık suların bu işlemde genellikle geri dönüşümü yapılır.

Demineralleştirme tesislerinden:

- iyon değişim (reçine) rejenerasyonunun atık maddeleri.

### 3.10.2 Soğutucu devre sistemlerinden çıkan atık su

Bunlar temel ıslak soğutucu kuleleri ve soğutucu kule havzalarının boşaltımı ile ara sıra ortaya çıkan drenajları içerirler. Tek geçişli soğutma sistemlerinin yıkama perdesinin filtre girişinde, soğuyan suyun boşaltım derecesi ve biyosit konsantrasyonları ya da diğer katı maddeleri göz önünde bulundurulmalıdır.

LCP’ler dahil tüm soğutma sistemlerinin çevreye emisyonları ,Endüstriyel Soğutma Sistemi BREF ‘te detaylarıyla açıklanmış ve bu LCP BREF’lerin bu alanında yer almamıştır.

### 3.10.3 Diğer buhar üretim prosesi kaynaklarından gelen su

- Yağlı atık maddeler (fuel-oil depolanmasının ve günlük tankların dehidrasyonu ,ağır fuel oil den ve / veya motorin arındırma sistemleri,türbin veya dizel motor firmaları dönüştürücü alanlar vb.).
- varil tipi buhar jeneratörlerinden çıkan üflemler
- atık su laboratuvarı ve numuneleme
- su akım döngüsünün boşaltımı
- bölge ısıtma sistemlerinin boşaltımı
- yoğunlaştırıcı madde parlatma tesislerinin atık madde rejenerasyonları
- kül ve cüruf tutumu ve atık madde ihraç sistemleri
- buhar kazanı kimyasalını temizleyici atık maddeler
- buhar kazanı ıslak muhafaza sıvısı
- akım jeneratörlerinin,hava ısıtıcıların, gaz ısıtıcıların, ESP’lerin, DENOX’ların, FGD tesislerinin ve diğer çeşitli ekipmanların yıkanması.



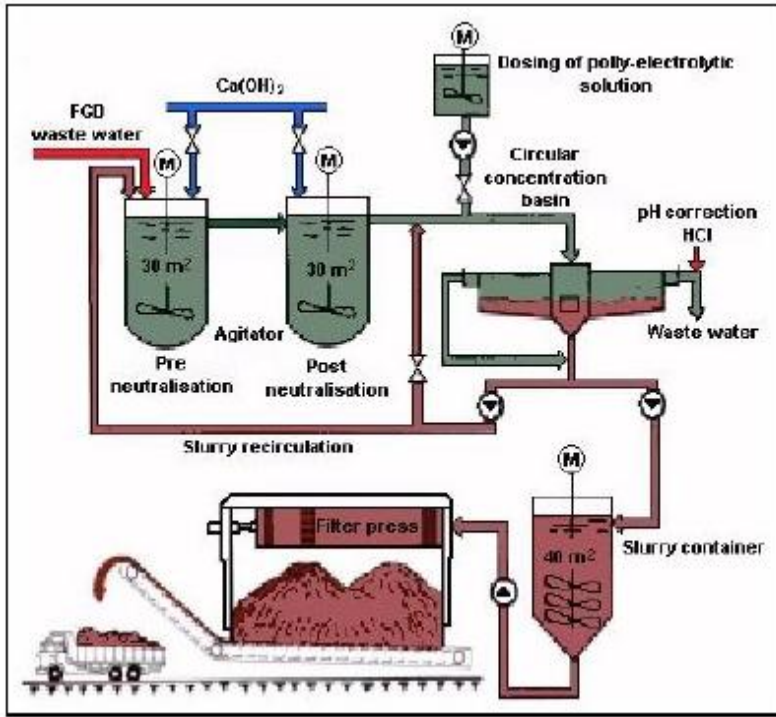
### 3.10.4 Baca gazı temizleme sistemlerinden gelen atık su

Bütün ıslak türde baca gazı temizleme sistemleri, kullanılan yakıta ve maddelere bağlı olarak, diğer bileşenler arasında ağır metaller içeren atık su üretir. Bu içerikteki atık suyun ana kaynaklarından biri, baca gazının desülfürizasyonu için güç tesislerinde çok sayıda kullanılan ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcılarıdır; buna rağmen, düşük klorin içerikli yakıtlar kullanılarak azaltılabilir. Bu sırayla emisyonları suya indirgeyen atık su arıtma tesislerinde temizliğin azalmasıyla sonuçlanır. Sıradan bir atık su arıtma sisteminin bir örneği Şekil 3.41’de gösterilmiştir, fakat ulusal düzenlemeler ve yerleşime özgü faktörlere bağlı olarak, sistemin birçok farklı türünün olduğu dikkate alınmalıdır.

FGD atık suyunun pH değeri ağır metalleri çöktürmek için arttırılmaktadır. Bu genellikle, metal oksitlerin oluşumuna neden olan kostik soda veya kireç sütü kullanılarak gerçekleştirilir. Flokülen (demir(III) klorit) eklenerek tabakalar oluşturulur. Pıhtılaşma yardımcıların (polielektrolit) eklenmesi, büyük bir tabaka birikiminin meydana gelebilmesi için tek tabaka birikimine izin verir. Daha sonra çamur ön çöktürmesine tabii tutulur, kurutulur ve elden çıkarılır ya da cüruf musluğu yakma durumunda atık birlikte yakılır. İnce çamurun bir kısmı, çamur partiküllerinin daha hızlı bir flokülen oluşturacak başlangıç kristelleştirme çekirdeği olarak servis edildiği flokülasyon aşamasına geri döndürülür.

Ön çöktürme aşamasında açığa çıkan arıtılmış atık su daha sonraki çöktürme için yüzey plaka kalınlaştırıcısına temin edilir. Asılı kalmış mikro partiküller eğri yüzey plakalarda birikir. Plakalardan dökülen çamur yüzey plaka kalınlaştırıcıların alt noktasında toplanır ve geri döndürülür. Arıtılmış atık su, düzenleyici sınır değerlerinin görüşülmesi şartıyla yüzey tabaka kalınlaştırıcıların taşması yoluyla kanallara ulaştırılır. Ek olarak, PH değeri 6 ila 9.5 arasını aşmasına izin verilmemektedir, aksi takdirde su nötrleştirilmelidir. Amonyak atık suda mevcutsa, kanallara geri yüklenmeden önce ilk olarak amonyak dökme tesisine ulaştırılmalıdır. Örneğin atıkların yan yakımından dolayı Hg yüksek girişiyle bazı işlemlerde, hidroksit kullanımından daha etkili olan ağır metallerin sülfid olarak çöktürülmesinden ve kireç sütünün eklenmesinden sonra (TMT 15) organik sülfidin de eklenmesi alışılmıştır. Ağır metal sülfitlerin (daha büyük miktarlarda) elden çıkarılmasını gerektiren dezavantajlar sülfür dioksit olarak yayılır ve Hg tekrar havaya bırakılır

Çeşitli tesisler FGD atık sularını farklı şekilde arıtır. Böylece bazı şirketler flokülenler ve flokülasyon yardımcıları kullanır, diğerleri sadece flokülasyon yardımcıları ve organik sülfid kullanır. Buna rağmen, flokülenleri, flokülasyon yardımcıları ve organik sülfid kullanan yöneticiler de vardır.



Şekil 3.41: FGD atık su arıtım tesisi  
[58, Eurelectric, 2001]

### Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi İçin ayrılmıştır

FGD waste water: FGD atık su  
Agitator: Agitator  
pH correction: pH düzeltme  
Waste water: Atık su  
Slurry container: Sulu çamur konteyneri  
Post neutralisation: Nötralizasyon sonrası  
Pre neutralisation: Nötralizasyon öncesi  
Filter press: Filtre presi  
Slurry recirculation: Sulu çamur resirkülasyonu  
Circular concentration basin: Sirküler konsantrasyon havzası

FGD atık su arıtma tesisinin bir örneği Şekil 3.40'de gösterilmiştir. FGD atık suları kireç çamurunun yardımıyla karıştırıcıda ön nötrleşmeye tabii tutulmuştur. Daha sonra Ph, ikinci reaktöre kireç taşının ek dozunun verilmesiyle artırılır. Başlangıç flokülasyonu ve ağır metal hidroksitlerin belirlenmesi dairesel yoğunlaştırma reaktör tankında meydana gelir. Polielektrolit solüsyon, hidroksit partikülleri arasında geri tepmeden kaçınmak ve çökelmeyi hızlandırmak için yoğunlaştırma reaktör tankına beslenme hattının içine ulaştırılır.

6 ila 9 arasındaki PH ile arıtılmış su dairesel yoğunlaştırma reaktör tankının üst sakin alanından ana su girişine taşınabilir. Ph 9'un üstündeyse, hidroklorik asit gibi bir asit katkısıyla düzeltilebilir. Yoğunlaştırma tankından alınan çamurun bir kısmı ilk karıştırıcıda flokülasyonunu desteklemek için temas çamuru olarak beslenir. Bu çamur hidroksitlerin çökeltilmesi için hızlandırıcı gibi hareket eder. Karıştırıcıdan çıkan bir çok çamur geçici olarak çamur konteynerinde depolanır, filtre basıncında kurutulur ve son olarak imhadan önce depoda saklanır.

### 3.10.5 Sıhhi atık su

Bu kantinlerden ve tuvaletlerden çıkan özel atık suları içermektedir. Son emisyon seviyesi yaklaşık 75 l/kişi/gün olarak hesaplanmıştır. Emisyonlar yüksek organik içerikle nitelendirilmiştir.

Atık yağların (gres ya da çalışma yağı) katı atıklar olarak değerlendirildiği ve daha sonraki yönetimler (örneğin yakma, rejenerasyon,vb...) için yetkili yükleniciler tarafından genellikle dışarı atılı ve ayrı olarak toplanması dikkate alınmalıdır.

### 3.10.6 Atık su arıtma teknikleri

Belirli bir LCP için hangi atık su yönetimine ve arıtma uygulamasına karar vermek amacıyla muhtemel atık su akıntılarının tam bir değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Atık su, kirletici maddelerin yoğunluğunu ve yapısını, ve farklı kaynaklardan çıkan muhtemel akıntıların biçimlerini göz önünde bulundurarak nitelendirilmelidir. Bunu takip ederek, her özel durum için en uygun atık su arıtma tesisinin yapılandırılmasına gelince bir karar alınmalıdır.

Çevreye serbest bırakılmadan önce atık sudan çıkan kirletici maddelerin ihracı; aşağıdakileri içeren yaygın fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal işlemlerin uygun kombinasyonu tarafından etkilenebilir:

- filtreleme
- Ph düzeltme/nötürleştirme
- pıhtılaşma/topaklanma/çökme
- tortulaşma/filtreleme/yüzdürme
- çözülmüş hidrokarbon işlemi
- su-yağ ayırma sistemleri
- biyolojik işlemler

Uygun işlemin ve/veya yönetim tekniğinin seçimi ana kalite özelliklerine ve atık suyun ve arıtılmış atık sular için sulara ulaşmak amacıyla gerekli kalite standartlarının miktarına bağlıdır.

Böylece, askıya alınmış katıların yüksek miktarını içeren atık sular katı yakıtları (kül işlem ve ihrac sistemleri, atık çıkarım ve ihrac sistemleri, buhar kazanı ve ön hava ısıtıcısı yıkaması, açık yakıt depoları, vb...) yakan LCPlerde mevcuttur ve normalde daha ağır asılı kalmış metallerin ihracı için ana aşamaya maruz kalır. Bu, flokülasyon tarafından çökme ve pH ayarlama ile yardım görmüş organik polimer dozlaması ile çamurun son düzenlemesinden ve ihracından önce izlenmektedir. Arıtılmış suyun son pH düzenlemesi, suyun teslim alınmasına bırakmak için gerekebilir.

Asit ya da alkali atıklar (iyon dönüştürücüler rejenerasyon atık suları, buhar kazanı temizleme kimyasalları, buhar kazanı boşalımı gibi) serbest bırakılmadan önce nötürleştirilmeye ihtiyaç duyar. Fuel oil arıtma sistemlerinden, çatlaklardan ya da fuel oil depolama tesislerinin dehidrasyonundan, istasyonların yükünü boşaltımından, taşıyıcı alanlardan,vb... çıkan yağlı atık sular çok miktarda tekrar kullanılabilen yağ içermektedir. Bu yüzden, ana yağ ayırma aşaması bu yağların toplanması için gereklidir ve normalde yağ tutulma yüzeyleriyle donatılan ağırlık ayırma tanklarında yürütülmüştür.

Yağ su emülsiyonu formunda hala küçük bir miktar yağ içerebilen tortul atık sular, API'da ya da yağ süzgeçleriyle donatılmış veya hava yüzdürücü kullanan lamel ayırıcılarda işlem görmüştür. Sağlık açısından atık su, eğer mümkünse, belediye kanalizasyon sistemlerinde arıtılabilir. Aksi takdirde az sayıda personelin çalıştırıldığı septik tanklarına tahliye edilir veya yerinde biyolojik üniteye arıtılırlar.

Bazı durumlarda, diğer atıklarla birlikte LCP atık arıtma tesislerinde işlenmek yerine, özel atık sular (laboratuarlarda analiz için kullanılan hidrokarbonları içeren su gibi) ayrı ayrı toplanır ve yetkili bir müteahhit tarafından dışarıya çıkarılır.sadece acil durumlarda oluşan ateş suyunun yönetimi ateşin yerine bağlıdır. Böyle sular ateş yerleşimi ile ilgili direnaj sistemleriyle toplanır, ateşsuyu retansiyon havuzlarında muhafaza edilir ve gerekliyse serbest bırakılmadan önce işleminden geçirilir. LCPlerden çıkan atık sular ya akıntıyla ayrı şekilde ilsem görür ya da karmaşık işlem teknikleri kullanabilir. Örnekler aşağıda verilmiştir.

Su ve atık su idaresi LCP dahilinde çok önemli bir konudur. Tesislerdeki çeşitli ara boşaltım döngüsünün geliştirilmesiyle , daha ileri düzeyde arındırma işlemleri gerektiren son sıvı atık madde miktarını azaltmakla birlikte, tüm su tüketim miktarında önemli derecede azalma da sağlayabilir.

Örneğin, birçok durumda FGD tesislerinin çeşitli boşaltım noktalarından atık suyun toplanması mümkündür ve FGD atık maddelerinden arınacağı işleme (gaz yıkayıcı) tekrar sokulur. Ayrıca çok çeşitli atık su akımları, kullanım suyu ya da ham su yerine , uçucu külün nemlendirilmesinde kullanılabilir. Atık su arındırma tesisinin , temiz atık su aşağı akımı çoğunlukla , su kalite talebinin yeterli olduğu tüketim noktalarına su tedarik etmek amacıyla koruma gölcüklerinde toplanır. Ör:FGD ya da FGD alçı taşı için kireç çamurunun hazırlanması ve arazi doluma boşaltılmadan önce uçucu kül karışımının sabitliği gibi.

### 3.10.7 Diğer atık sular

Akıntı su yüzeyi, binaların çatılarında, kaldırımli bölgeler ve yakıt depolarında (kömür atma kümeleri) toplana yağmur suyunun kirlenmesiyle ortaya çıkar. Yağmur suyunun kirlenmesi , yakıt depolarından çıkan tozlar (kömür partikülleri), yüzeyin tortulanması gibi durumlarda ortaya çıkar. Tortul havzaların kullanımı , yakıt ve diğer ham maddelerin depolarındaki verimli uygulamalar tüm tesisin iyi bakımı ve temizliği de sağlanarak su yüzeyi kirliliği önenebilir ya da azaltılabilir .

Yüzey akıntısı ayrı ayrı da toplanabilir. Çökeltme ya da kimyasal arındırma aşamsından sonra üretim işlemlerinde farklı amaçlarda tekrar kullanılabilirler. Örneğin katı yakıt depolarındaki toz olumunu önlemek için su sprelerinin kullanılması gibi.

Yakma tesislerinde, atık suyun birçok kaynağı yer almaktadır. Örneğin yakıt (ör: turba taşıyan kamyonlar) ve diğer ham maddelerin dağıtımını yapan kamyonlar için temizleme istasyonlarından çıkan sıvı atık maddeler; pompalardan suyun sızmasını sağlayan aleti ; ekipmanın, katların temizliğini içeren genel işlemler gibi. Bu sıvı atık maddeler genel olarak toplanır ve arındırılır. Temizleme sistemindeki sular ise genelde yerel lağım sistemlerine boşaltılır.

Suyu kirlenici konsantrasyonları azaltmak için , nötrleştirme, flokülasyon(yumaksı çökeltme) , çökeltme ve filtreleme gibi bazı boru çıkışı arıtma teknikleri kullanılabilir.Bu teknikler genel olarak atık su arındırma tesislerinin nihai ya da merkezi bölgelerinde birlikte kullanılır.

### 3.11 Toprağa yayılımı kontrol etme teknikleri

LCPlerde atık gaz ve suyun temizlenmesiyle ortaya çıkan katı artıklardan ve çamurlardan yararlanılmadığı ya da , mevcut üretimin talebi aştığı durumlarda, artan miktar çevresel sorumluluk bilinci ile ve güvenli bir şekilde boşaltılmalıdır [ör: Çevresel Etki Değerlendirmesi'nin (EIA) belirtilen çalışma sonuçlarına başvurularda]. Bu yolla uygun alan seçimi boşaltım yöntemi ve izlemesi artan miktarın çevreye zarar vermeden depolanabileceğini garanti eder. Tozlu materyaller , kül yönetimini sağlamak için klavuz oluşturma(nakliye dahil) toza yanlışlıkla maruz kalmaya karşı yeterli korumayı garanti eder. Her zaman amaç , atık maddelerden diğer endüstriyel sektörlerde(örnek:yapı materyali) kullanılmak üzere yan ürün elde etmek olmuştur.son birkaç on yıldır, bu hedef AB ile karşı karşıya gelmiştir: 1998 yılında yan ürünlerden yararlanma oranı, bölgenin ve taş ocaklarının ıslahı dahil %80'dir.

LCPlerden çıkan çamurlar, artık maddeler ve yan ürünleri, su ve atık suyun arındırılmasından çamur; baca gazı kükürtünün giderilmesi ve baca gazı toz presipitasyonundan artık madde ve yan ürün elde etme gibi alt bölümlere ayrılabilir. Bu ayrıca, su yüzeyinin meyillerinde ve suyun çekilmesi için koruma avantajının olduğu yerlerde karşılaşılan koruyucu maddedir.

Soğutucu su alımında toplanan organik madde, enerji kaynağı ya da karışık gübre olarak ve sonradan da toprak kalitesini arttırmakta kullanılabilir. Atık madde depolanmalıdır. FGD tesislerinden çıkan atık suyun arındırılması sonrasında ortaya çıkan çamur, kalsiyum bileşenleri içerdiğinden tepkime etmenleri olarak tekrar kullanılabilir. Ayrıca bu maddeler kömürle çalışan yakma tesislerinde , kül erimesini geliştirmek için katkı maddesi olarak da kullanılabilirler. Bu çamurların büyük oranı, alçı taşından oluşmaktadır. Bu yüzden bu maddeler, alçı taşı endüstrilerinde ve çimento endüstrilerinde çimento katılma geciktirici olarak kullanılabilirler. Kullanılmayan çamurlar ise arazi dolumunda depolanır.

Su yüzeyi gibi ham suyun arındırılması ile ortaya çıkan çamur, dekarbonize edilir ve böylece yüksek oranda kalsiyum karbonat içerir. (ör:%30 ya da fazlası). Baca gazı desülfürizasyonu, kalsiyum katkı maddelerinin kullanıldığı kömür kazanları ile diğer alanlarda ve yukarıda bahsedilen uygulamaların yanında bu çamurlar; kalsiyum gübresi ve tarımda toprak gelişimini sağlayıcı madde olarak kullanılabilirler

Baca gazı kükürtünün giderilmesi ile ortaya çıkan ;tarımda toprak geliştirici olarak ve gübrelemede kullanılan FGD alçı taşı(baca gazı kükürtünün giderilmesi ile ortaya çıkan alçı taşı) ve amonyum sülfatlar,kalsiyum ve sülfür içerir.bu maddelerin hedeflenen bir yolla kullanımları mümkündür.örneğin hava yoluyla çevreye ve özellikle toprağı kontrolsüz bir şekilde yayılmalarından ziyade, tam olarak ihtiyaç duyulan bölgelerde kullanımı gibi. Günümüzde , SDA tarafından bırakılan atıkların sadece %0,1 'i gübre olarak kullanılmaktadır(ECOBA verilerini inceleyiniz): fabrikaların bu tür artık maddelerin ağır metal bileşenleri(ör:Cd,Hg) sebebiyle kullanımına karşı olmaları ve çiftliklerin bu türde artık maddelerin kullanımına karşı şüpheli yaklaşımı, bu düşük oranın nedenlerindedir. SDA ürünleri ayrıca sabitliliği (ör: yer altı madenleri) sağlamak için yeraltını doldurucu olarak kullanılmaktadır. Sülfür ya da sülfürik asit gibi diğer desülfürizasyon ürünleri, sadece küçük miktarlarda ve çoğunlukla kimyasal endüstride kullanılmaktadır.

Baca gazı toz ihracı sonrasında ortaya çıkan artık madde ve yan ürünler, genel olarak ıslak tabanlı fırınlardan çıkan buhar kazanı mıcırları gibi küllerdir; kuru tabanlı fırınlardan çıkan küllerdir ya da taş kömürü veya linyitle çalışan güç tesislerinden çıkan uçucu küllerdir.asında , mineraller ya da üretilen ürünün yerine kullanılmak üzere kömür külünden yararlanmak, doğal kaynakların korunmasını ve elde tutulmasını sağlarken, enerji tüketimini ve karbondioksit emisyonunu azaltır ve ham maddenin korunmasını sağlar.(çimentonun yerine kullanılan 1 ton uçucu kül, yaklaşık 1 ton CO<sub>2</sub> oluşumunu önler).

İyi filtreleme özelliklerine bağlı olarak, yol yapımı ve diğer yüzey veya peyzaj çalışmalarında %60 oranında buhar kazanı çamuru kullanılmaktadır. Uçucu külün yaklaşık %70'i çimento imalatında ve yapı özellikleri için değeri olan beton yapılarda kullanılır. Ayrıca harç, tuğla, taş bina bloklarında, kaldırım yapımında ve maden harcında kullanılır.

Linyitle çalışan güç tesislerinden çıkan küller çoğunlukla, tükenen açık maden ocağı işletmelerinin dolumu için FGD tesislerinde çıkan atık suyla karışan filtrelenmemiş sabitleyiciler olarak kullanılırlar. Külün bir kısmı, toprağın tekrar işlenmesi ve yüzey kaplama için kullanılır. Linyit uçucu külünün belli nitelikleri, beton imalatında kullanılabilir. Küllerin ve sıvılaştırılmış yatk yakma güç tesislerinden çıkan küllerin diğer birçok alnda kullanımı mümkündür.

Özet olarak, toprağı yayılımı kontrol etmede kullanılacak tekniklerin belli miktarda atığın azaltılması ile sonuçlanacak, ya da arazi doluma boşaltılmak zorunda kalacak atık madde ve yan ürünlerden yararlanma teknolojilerini ve aynı zamanda da atık gaz ve suyun temizlenme tekniklerini de kapsadığı söylenebilir. Yararlanma işlemindeki artan yüzde ile, boşaltılmak zorunda kalan atık miktarı azaltılmıştır ki bu da arazi dolum hacim tüketiminin azaldığı anlamına gelmektedir. Yan ürünlerden yararlanmak bu yüzden, toprağın ve kaynakların korunmasını sağlayacaktır. Ancak, uzun vadeli filtreleme hareketi, atık maddelerin sabitliliği, atık maddelerin izlenmesi ve kalite değerlerinin belirtilmesi gibi, gözlenmesi gereken kritik parametrelere özen gösterilmelidir. Bu yüzden kaçınılmaz ve kullanılamaz mineral atıklar arazi doluma boşaltılmalıdır.

## 3.12 Gürültü emisyonlarını kontrol etmeye yönelik tedbirler

### 3.12.1 Temel seçenekler

Gürültüyü azaltmanın temel seçenekleri; gürültü kaynağını modifiye etmek , gürültünün iletim yolunu değiştirmek ya da alıcıyı etkileyen değişiklikler yapmaktır. Herhengi bir gürültü değerlendirmesinde atılması gereken ilk adım, prensip kaynakları ve gürültü yollarını teşhis etmektir. Makineyi kapatmak gibi basit deneyler, genellikle gürültü problemlerinin baskın sebeplerini belirlemede etkilidir. Eğer kişisel kulak koruyucuları ve mahfazaları çıkartılırsa, gürültü seviyesini azaltmanın etkili bir yolu da , alıcı ve kaynak arasındaki mesafeyi arttırmaktır. Temel gürültü hesaplama denklemleri kaynaktan mesafeyi arttırmanın , mesafedeki her 10 fold için 20dB civarında gürültüyü azalttığını belirtir. Gürültü ekipmanının ve tüm tesisin konumunu en iyi hale getirmek , büyük ihtimalle gürültü probleminden kaçınmanın en uygun maliyetli seçeneğidir. Bu mesafe bağımlılığı ayrıca endüstrideki diğer sözde pasif yöntemlerde de kullanılır.

Gürültü etkisini çözenin en basit yöntemi gürültü rotor mekanizmanın kaynağını modifiye etmektir. Başka bir alternatif ise gürültü kaynağını bir mahfazaya yerleştirmektir. Dışardan bir gözlemci için , gürültü kaynağı bir mahfaza tarafından sarılmış hacim olacaktır. Akustik bariyerler yaygın olarak, ses dalgalarının alıcıdan kaynağa hareket etmek zorunda olduğu mesafeyi arttırarak ses yolunu modifiye etmek için kullanılırlar. Özellikle duvarlar ve kenarlardaki gürültü soğurucu materyalin kullanımı , bina içindeki yansımayı ya da yankıyı azaltmada etkili bir yöntemdir. Eğer odanın iç yüzeyi bütünüyle yansıtıcıysa , gürültü teorik olarak sonsuzluğa yaklaşır. Bu yüzden, bazı durumlarda çevresel gürültü seviyeleri , bina içine soğurucu materyal eklenerek kontrol edilir. Gürültüyü etkilemenin özel ekipmanlı yöntemi ise susturucuların kullanımınıdır, aynı şekilde bunlar kanallarda ya da borularda kullanılır.

Bazı yaygın gürültü azaltımı teknikleri şunlardır:

- Gürültünün yüzeyini korumak için bent kullanımı
- Gürültü tesisinin ya da ses soğurucu yapıların içindeki bileşenlerin mahfazası
- Ekipman bağlantısı ve bu anti-titreşim stoğunun kullanımı
- Gürültü yayan makinenin konumu ve yönü ile sesin değişiminin sıklığı

### 3.12.2 Yapıdan kaynaklı gürültü

Türbin, jenaratör, pompa, kompresör ve elektrikli motorlar gibi dönen makinelere güç tesislerindeki gürültünün ve titreşimin ana kaynaklarıdır. Gürültü genellikle yapıdan kaynaklı gürültüyü yaratan titreşim makinesi tarafından meydana getirilir. Yalıtıcıların temel ilkesi , yalıtıcılara dayanan sistemin sıklığının, makinenin çalışma sıklığı ilkesinden çok daha yavaş olmasıdır. Yalıtılan sistem eksitasyon gücünü hareketsizlik etkisiyle dengeler. Yalıtıcılar üzerindeki kütle ne kadar büyük olursa, sistemin titreşimleri o kadar küçük olur, fakat yine de yalıtıcılar çevreleyen yapılara giden titreşimleri önemli ölçüde azaltırlar. Eğer makine yalıtılmış bir tesis üzerindeyse , makinenin bağlantıları esnek olmalıdır. Bu yapıdan kaynaklı gürültüyü kanallara ve boruya yayışmasına etkili bir şekilde etkiler. Büyük makinelerin yalıtıcı stoklu tesisleri genellikle sarmal çelik yaylardır. Lastik elementler ve körükler ayrıca yalıtım amaçlı olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

### 3.12.3 Kanal ve boru tesisat gürültüsü

Bu sistemler pürüzsüz tek biçimli sıvı akışı için tasarlanmalıdır. Geometrideki ani değişiklikler , güçlü bir şekilde akış hızına bağlı olan gürültüyü artırır. Bazı durumlarda, gürültü sıvı hızıyla orantılı bile olabilir ve gürültüyü azaltmanın çoğu etkili yöntemi aynı zamanda yerel sıvı hızını azaltır. Bunu yapmanın pratik bir yöntemi ise dahili olarak esnek nemli stoklarla boru temin etmektir. Büyük bükümlü yarıçapı kullanımı da aynı zamanda yararlıdır. Boru gürültüsünün iki özel tipi: geniş sıklık şeritli gürültü ve farklı sıklıklarına ve pervane sıklıklarında yoğunlaşmış gürültü. Pompalar, fanlar ve vantilatörler ,çalışma sıklıklarında ve pervane sıklıklarında gürültü üretirler. Kompresör çarkı çevresindeki pervane sayısına bağlıdır. Bu farklı sıklıklar, rotor kütle dengesizliğini en aza indirmek örneğinde de olduğu gibi , makinenin modifiye edilmesinde etkilenebilirler. Valflarda, genişbant gürültüsü genellikle basınç düşüşüyle bağlantılıdır ve basınç düşüşünün birden fazla aşamada gerçekleşmesini ayrılayarak gürültü azaltılabilir. Susturucuların ve ses azaltıcıların kullanımı yüksek duvar borusu kalınlığı ve bir soğurucu ya da yalıtıcı materyalle borunun kaplanması, borunun güç sistemlerindeki gürültü probleminin çözümünde yaygın olarak kullanılırlar.

### 3.12.4 Susturucular

Susturucuların farklı türleri vardır. Üfleyci hatlarda ve güvenlik valflerinde ‘kısmı vanası prensibi’ne göre susturucular kullanılır. Soğurucu susturucular geniş bir sıklık şeridini kaplayan gürültüyü azaltmak için uygundur. Benzer özellikler , astarlı bir kanal, paralel tabakaları kapsayan bir ses azaltıcı ve astarlı bir basınç odasıdır. Reaktif susturucular temel olarak susturucuların geometrisine dayanırlar. Bu susturuculardan yalnızca özel sıklıklarda ya da dar bir sıklık şeridinin üstünde etkilidirler. Basit genişleme odaları ya da boşluk rezonatörleri reaktif susturucuların örnekleriyle aynıdır. Boşluktaki hava boğazdan boşluğa yönlendirilen hava akımını etkileyen bir tel oluşturur. Hava akımı çok kısıtlı sıklık şeridinde düşük sıklık tuning etkisi üreten bir kütle gibi hareket eder. Ticari susturucular soğurucu ve reaktif çeşitlerin birleşimidir.

### 3.12.5 Makine gürültüsü

Makine işlemi boyunca, teorik olarak uygun olandan küçük sapmalar genellikle gürültü yaratır. Daima belli bir noktaya kadar görünen , uyumlu olmama,kütle dengesizliği ya da rotor dışmerkezliliği buna örnektir. Yani, gürültüdeki olağandışı artış, mekanik bir hatanın ilk belirtisi de olabilir. Elektrikli motorlar ya da jeneratörler, rotorun etrafındaki tuhaf ya da asimetric hava başlığı manyetik güçlerde sapmalara yol açar ve gürültü üretir. Hava alımı ya da egzoz gürültüsü susturucular tarafından kontrol edilebilir ya da susturulabilirler. Buna rağmen, çoğu durumda gürültü, tüm mahfaza boyunca yayılabilir ve makinedeki ya da bağlantılardaki değişikliklerle düzeltmek zor olabilir. O zaman çözüm ya makineyi bir soğurucu veya yalıtıcı materyal ile astarmaktır ya da ayrı mahfazalar kullanmaktır.

### 3.12.6 Sonuçlar

LCPlerde, çeşitli makineler transformatör ve valfler, gürültünün büyük kaynaklarından. LCPlerde gürültü probleminin genellikle teknik olarak üstesinden gelinebilir. Fakat pragmatik bir bakış açısına göre, gürültü koruması için ayrılan fanların uygun seviyesi teknik imkanları sınırlar. Kaynaktan uzak mesafe gürültüyü azalttığı için hem topluluk seviyesinde hem de özel bir endüstriyel bölge içinde kullanılan bölge planlaması büyük ihtimalle gürültü probleminden kurtulmanın en iyi koruyucu önlemidir. Bina içi için de aynı ilke uygulanır . ör:bahçe planı tasarımı , gürültü ekipmanlarını çalışmalarını alanlarından ayırmalıdır.

Yetkililerin teşviği ile, ekipmandan kaynaklanan sesi azaltmak için makine imalatçıları arasında bugünlerde genel bir hedef vardır.

Özel güç tesisleri örneğinde, ses kontrol teknolojisi genel olarak aşağıdakilere bağlıdır;

- Akustik makine yalıtımı kullanmak
- Binaların ses izolasyon etkilerine göre, binayı sarmak için yapılar seçmek
- Giriş ve çıkış kanallarında susturucular kullanmak
- Duvarlarda ve tavanlarda sesi absorbe eden materyaller kullanmak
- Tیرهşim isolatörleri ve esnek bağlar kullanmak
- Örneğin açılışlar aracılığıyla olası bir ses sızıntısını önlemek ya da boru tesisatında basınç titreşimlerini en düşük seviyeye getirmek için dikkatli bir ayrıntılı tasarım uygulamak

Son yıllarda, sese olan ilgi artmış ve bir dizi ses düzenlemelerine yol açmıştır. Bugünlerde; bu, uygun ses seviyesi, güç tesisi projelerinin ana kararlarında ele alınması gereken bir faktördür.

### 3.13 Soğutma teknikleri

Büyük yakma tesislerinin işlemi 'Carnot İlkeleri'ne göre yönetilmektedir. Buhar kazanı gibi ısı kaynağı suyun buharlaştırılması için gereken enerjiyi sağlamaktadır. Yoğunlaştırıcı gibi soğutma kaynağı düşük basınç türbününden gelen akıntıyı yoğunlaştırır. Bu yüzden, yoğunlaştırıcı ve soğutma sistemi tesisin ana kısımlarıdır. Benimsenen soğutucunun türüne bakılmaksızın, bu, aslında çevre muhit ile yakma tesisi arasındaki arabirimlerden biridir. Güç tesisinin ulaşılabilirliği ve randımanı büyük ölçüde yoğunlaştırıcı ve soğutma sisteminin bütünlüğü ile temizliğine bağlıdır. Tablo 3.16 kapasitelerine göre büyük yakma tesislerine genellikle uygulanan soğutma tekniklerini gösterir.

Soğutma sistemi	Uygulanan soğutma sıcaklıkları (°C)	Elektrik üretim prosesi kapasitesi (MW <sub>th</sub> )
Açık tek geçişli sistemler	13-20 (terminal farklılık 3 – 5)	<2700
Açık ıslak soğutma kulesi	7-15	<2700
Açık hibrid soğutma kulesi	15-20	<2500
Dry air- soğutulmuş kondansatör	15-25	<900

**Tablo 3.16: Güç endüstrisindeki uygulamalara yönelik farklı soğutma sistemlerinin kapasite ve termodinamik özelliklerine ilişkin örnekler [46, Caudron, 1991]**

Bu konfigürasyon içinde, tamamının amacı birleşme işlemi, yerl, çevre ve ekonomik gereksinimlerle ilgili olan bir dizi uygulama bulunabilir. Büyük yakma tesislerinde kullanılan soğutma tekniklerinin çevresel etkisi endüstriyel soğutma teknikleri hakkındaki BREF'de açıklanmıştır.

### 3.14 Emisyon izlenmesi ve bildirim

Bu bölüm, fosil yakıtların yanmasından çıkan emisyonların izlenmesi ve bildirilmesi hakkında genel bilgiler vermeyi amaçlamıştır. Emisyonların izlenmesi için kullanılan yöntemler ve aletler, gerekli ulusal ve uluslararası yöntemler olmalıdır ( ÖR: Avrupa Standartlaştırma Komitesi (CEN); ISO; VDI Richtlinien; Hollanda Emisyon Düzenlemeleri; UK Rehberlik Notları; Britanya Standardları, vb... gibi). Genel izleme konuları hakkında daha detaylı bilgi için verilmiş olan BREF İzleme'de bulunmaktadır.



### 3.14.1 Emisyon bileşenleri

Fosil yakıt kullanan LCPI'lerden ölçülen ve emisyon faktörleri ve diğer methodları kullanarak hesaplanan havaya karışan en yaygın emisyon bileşenleri aşağıdakilerdir:

- Yük boşaltımı, depolama (kısa ve uzun dönem depolama) ve yakıt tozunun PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> gibi baca emisyonu olarak işlenmesi gibi partikül matre emisyonları
- Sülfür oksitler
- Nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>)
- Diazot monoksit (akışkan yatak yakımından oluşabilir.)
- Ağır metaller
- Karbon monoksit
- Karbon dioksit
- Hidrojen florid (döner ısı eşanjörlerinden, yakma hava ön ısıtıcıdan nakil yoluyla kaynaklanabilir)
- Halojenür bileşikler
- Amonyak NH<sub>3</sub>
- Hidrokarbonlar (yakılmamış hidrokarbonlar olarak, UHC)
- Uçucu organik bileşikler (VOClar)
- Dioksinler ve/veya POPlar.

Su kirliliği için aşağıdaki parametreler izlenebilir:

- Asılı kalmış katılar
- Ağır metaller
- Tuzlar (klorid ve sülfat)
- Organik halojenürler
- Biyositler
- Fosfat
- Değiştirilmiş pH-değerleri

PH değerleri ve diğer bileşikler, kullanılan yakıt ve ulaşılabilir bilgiye bağlı olarak yakıtta özgü bölümlerde tamamen ya da kısmen bildirilir. Analiz yöntemleri, izleme ve analiz hakkındaki gerekli ulusal ve uluslararası yönergelerde verilmiştir.

### 3.14.2 Kaynak koşulları ve parametreler

Havaya karışan emisyonlar için; atık proses gazı parametreleri, 273 K, 101.3 kPa gibi standart koşullara tedarik edilen, oksijen içeriği ve kuru gaz ölçen emisyon yoğunluklarını dönüştürmek için ayrıca belirlenmelidir.

- Hacimsel atık gaz akımı (yoğunluğu ve emisyon birikim akımını hesaplamak için)
- Atık gaz sıcaklığı
- Atık gazın su buharı içeriği
- Atık gaz kanalındaki statik basınç
- Atmosfer basıncı
- İzleme periyodu/ortalama periyodu

Yukarıda bahsedilen parametrelere ek olarak, buhar kazanı ve baca gazı temizleme sisteminin iyi işlemesi için, bazı parametrelerin ek tedbirleri (voltaj ve elektrik (elektrostatik presipitator), basınç düşüşü (torba filtreler), pH yıkama sıvısı (gaz yıkayıcı) gibi) ve baca gazı kanallarındaki çeşitli yerlerdeki kirlilik yoğunlukları gereklidir.

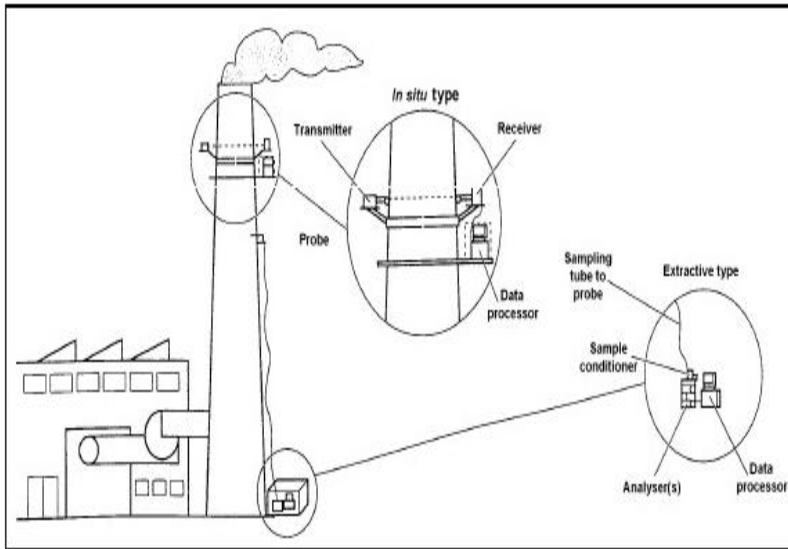
### 3.14.3 Numuneleme yerleri

Numuneleme noktaları gerekli ulusal yönergelerin gereksinimlerini karşılamalıdır. Numuneleme hakkında (Şekil 3.42).

Sürekli emisyon izlemenin 2 ana türü (CEM):

Numunenin bcada veya kanalda çok az numuneleme işlemiyle ya da hiçbir numuneleme işlemi olmadan analiz edildiği yerde

Bir örneğin analiz için başka bir yerden alındığı harici (ya yerinde laboratuarlara ya da bir harici yükleniciler için).



#### Şeklin İngilizce/Türkçe Çevirisi için ayrılmıştır

In situ type: yerinde tip  
Receiver: alıcı  
Transmitter: Verici  
Receiver: Alıcı  
Data processor: Veri işlemcisi  
Analyser: Analiz cihazı  
Extraction type: Ekstraksiyon tipi

**Şekil 3.42: İki emisyon izleme konfigürasyonu kaynağı**  
[106, Sloss, 1997]

Numuneleme noktaları genellikle;

temsilidir .  
açıkça belirlenmiştir.  
eğer mümkünse, ölçüm bölümünde kesintisiz akıma sahiptir.  
kapatılabilir izleme noktalarına sahiptir.  
gerekli enerji kaynaklarına sahiptir.  
işte güvenlik ve sağlık için gereksinimleri karşılar.

### 3.14.4 Emisyonların izlenmesi

Emisyonların izlenmesi, temiz gazdaki ya da atık sudaki maddeleri -bildirilebilmeleri için- belirlemek amacıyla uygulanabilir ya da yakma işlemi ya da azaltma tesisini kontrol etmek için yönetilir veya tesisin ya da işlemin çevresel etkisini tahmin etmek için kullanılır. Uygulanan işlem kontrolünün ve güç tesislerindeki hava emisyonu izlenmesinin bir örneği Şekil 3.43'de gösterilmiştir..



### 3.14.4.1 Sürekli izleme

Genelde direk ölçümler, izleme emisyonlarının en kesin ve tercih edilen yöntemidir. Gazlardaki ya da atık sudaki bir miktar bileşenin sürekli emisyon izlemesi mümkündür ve birkaç durumda, kesin konsantrasyonlar (mg/Nm<sup>3</sup>, ppm ya da mg/l) sürekli olarak ya da kararlaştırılmış zaman aralıklarındaki ortalama değerler(yarım saatlik , günlük vb.) bildirilebilirler. Buna rağmen bunun için şartlar; mevcut altyapının iyi olması ve ekipman için eğitimli işlem personelinin var olmasıdır. (kalibre ölçümü prosedürü vb.). böyle durumlarda, ortalamaların ve yüzdelik kullanımının analizi, izin belgesi şartlarıyla uyum göstermek için esnek bir yöntem sağlar. Baca gazındaki , basınç dalgalanmalarındaki, baca gazı derecesindeki vb. üst/alt basınçları gibi başlangıç farkları , ekipman seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle durumlarda, yıllık/6 aylık ölçümler gibi sürekli olmayan ölçümler tercih edilir

### 3.14.4.2 Sürekli olmayan ölçümler

Sürekli izlemenin uygulanabilir olmadığı durumlarda, eğer numuneleme periyodu üzerinden ortalama olacaktır. Atık sudaki konsantrasyonlar çoğunlukla çözünebilen ve çözünemeyen materyallerin bir toplamı olarak verilir.

### 3.14.4.3 İşletim parametrelerinin ölçümüne dayanan emisyon tahminleri

Kaynaktan gelen direk emisyonları, gerçek emisyonların miktarını belirlemek için ölçüm her zaman gereklidir. Nispeten yüksek kaliteli emisyon etkenleri ya da çalışma şartlarının tipik sırası üzerinden yüksek doğruluk dereceli emisyonları tahmin etmek için gösterilmiş olan emisyon tahmin etmek için gösterilmiş olan emisyon tahmin algoritmalarına sahip olan kaynaklar için, emisyonlar bu aktivite verilerini toplayarak ya da ilerleterek izlenebilirler[1, Corinair, 1996]. Eşit miktarda belirlenmiş emisyon etkenlerinin kullanımı toplam emisyonlara göre birkaç nokta örneklerinden/ölçülerinden daha güvenilir ve sağlam veri üretilebilir.

Tahmin edilebilir emisyon izleme sistemleri genellikle gaz türbünlerinde NO<sub>x</sub>/CO/CO<sub>2</sub> salınımlarını belirlemek için kullanılır. Bu sistemler bilgisayar desteklidirler ve yakıt akışı , yakma derecesi , çevre basıncı/derecesi vb. birtakım işlem değişkenlerinin kayıtlarına dayanırlar. Parametreler , havaya ve kütle yayılımlarına salınan konu ile ilgili kirlenici maddeleri çıkarmak için her kurulumu özel bir algoritma ile çalıştırılır. Sistemler genellikle yılda bir kere sürekliliği olmayan izleme aracılığıyla ayarlanır ve doğru oldukları durumlardır. Ayrıca, müseccel mallarda vardır ve bazı paketler ticari olarak kullanılabilir durumdadır

Eğer üretilen yakıt miktarı ölçülürse, SO<sub>2</sub> ya da CO<sub>2</sub> gibi bileşenler ile metaller gibi elementleri ve muhafaza kurallarının uygulanmasına dayanan diğer emisyonları tahmin etmede kullanılabilir. Yakıtta sülfür ve metal gibi kesin elementlerin varlığı , ham atık gaz akımındaki varlıklarını hesaplamada kullanılabilir [2, ESAA, 1999]. Sülfürün tam dönüşümü varsayıldığında örneğin benzin yakmadaki SO<sub>2</sub> emisyonları , benzinde bulunan sülfür miktarına dayanarak hesaplanır.

### 3.14.4.4 Emisyon etkenleri

Eğer ölçülmemiş veri mevcutsa , emisyon etkenleri büyük yakma tesislerinde gelen emisyonları hesaplamada kullanılabilir. Emisyon etkenleri yakıt tüketimine (tüketim yakıtın g/tonu ) ya da enerji tüketimine ( enerji girdisinin g/GJsi) dayanabilirler.

Yakama tesisi, bütün bir parçayı (ör: bireysel buhar kazanlarının büyüklüğü/türüne bakılmaksızın)ya da parçalar halinde, ör: her bir buhar kazanı seviyesinde, uygulanabilir. Buhar kazanlarının tasarım ve işlemlerindeki kullanılan yakıt ve /ya da tesis edilen gerçek kontrollerdeki farklılıklar, farklı emisyon etkenlerini gerektirir. Aynı durum gaz tirbünleri ve durağan motorlarda da geçerlidir..

Emisyon etkenin kullanarak yayılan kirletici madde miktarını belirlemek için, tesisin aktivite oranı hakkında bilgi sahibi olmak da gerektirir. Aktivite oranı ve emisyon etkeni mevcut bilgi kullanılarak (ör: yakıt tüketimi) aynı toplama seviyesinde (tesiste bir bütün ya da her bir buhar kazanına göre) ayarlanmalıdır. Aktivite oranı için , enerji girdisi (GJ) kullanılır fakat prensipte diğer bağlantılar da uygulanabilir.

Emisyon etkenlerini elde etmek için, iki farklı yaklaşım öne sürülür :

**Genel emisyon etkeni:** genel emisyon etkeni azaltma ölçüleri (başlangıç ve ikinci) göz önünde bulunduran buhar kazanlarının belirlenmiş kategorileri için ortalama değeridir. Genel emisyon etkeni sadece kullanılan yakıt türüyle bağlantılıdır ve SO<sub>2</sub> hariç düşünülen tüm kirletici maddelere uygulanır. SO<sub>2</sub> 'ye uygulanamaz çünkü yakıttaki sülfür miktarı, SO<sub>2</sub> emisyonlarının uygun saptaması gerekir.genel emisyon etkenleri sadece ( geçici bir ölçü olarak) özel teknik bilginin mevcut olmadığı yerlerde kullanılmaktadır.

**Belirli emisyon etkeni:** belirli emisyon etkeni azaltma ölçüleri (başlangıç ve ikinci) göz önünde bulunduran buhar kazanları için bireysel olarak belirlenmiş bir değerdir. Belirli bir emisyon etkeni bireysel yakıt özellikleriyle (örnek: sülfür içerikli yakıt ) ve özel teknoloji parametreleriyle bağlantılıdır.

Prensipite ,eğer ulaşılabiliyorsa , tessi özel verisi emisyon etkenlerinin saptanması için kullanılabilir. Her emisyon etkeni, aktivite ve veri üretim parametresi , aşağıdaki tanımlara göre veri kalite oranlayıcı harfle saptanır. Aşağıdaki yönergeye göre [1, Corinair, 1996] :

- A Sektörü tamamen temsil eden büyük sayıdaki tesiste yapılan çok sayıdaki ölçümlere dayanan tahmin
- B Sektörün büyük bir kısmını temsil eden büyük sayıdaki tesiste yapılan çok sayıdaki ölçümlere dayanan tahmin
- C Bir takım konuyla ilgili gerçeklere dayanan mühendislik yargısı ya da küçük sayıdaki temsilci tesislerde yapılan bir takım ölçümlere dayanan tahmin
- D Bazı sanılardan ve bir takım konuyla ilgili gerçeklerden çıkartılmış mühendislik hesabına ya da tek bir ölçüye dayanan tahmin
- E Sadece sanılardan çıkarılardan bir mühendislik hesabına dayanan tahmindir.

Emisyon etkenlerini kullanan emisyon tahminleri ve emisyon etkeniyle aktivite oranı gibi farklı kalite oranlamalarının birleşmesiyle oranlanan toplam kalite hakkında daha ayrıntılı bilgi için EMEP/CORINAIR atmosferik emisyon envanteri klavuzuna başvurunuz [1, Corinair, 1996].

### 3.14.5 Emisyon verilerinin raporlanması

Tüm ölçüm raporları ve ölçüm tutanakları uygun ulusal ve uluslar arası yönergeleri onaylamalıdır.

Genel olarak bu rapor şunlardan oluşur:

- İzleme kampanyasının amaçları
- Ölçümler üzerine genel bilgi
- Tesisin tanımı, konumu ve veri işlemesi
- Ölçümler sırasında çalışma şartları
- Ölçüm planlaması üzerine bilgi
- Numuneleme yeri hakkında ayrıntılı bilgi
- Ölçüm metodlarının tanımı
- Sıcaklık derecelerini, gaz akış oranını ve hacmini içeren bireysel ölçümlerin çizelge halinde sunumu
- Sonuçların değerlendirilmesi
- Hataların göz önünde bulundurulması
- Kalite garantisi ölçümlerinin sunumu
- Ve özeti.

### 3.15 Çevresel yönetim araçları

**Tanım:** En iyi çevresel performans genellikle, en iyi teknolojinin kurumu; en etkili ve yeterli bir yolla çalıştırılması ile sağlanacaktır. Bu da, IPPC yönetsel 'teknikler' tanımı tarafından; kullanılan her iki teknolojinin ve kurumun tasarlandığı, inşa edildiği, bakımının yapıldığı, ve hizmetinin sonlandırıldığı şeklinde tanımlanacaktır.

IPPC kuruluşları için Çevresel yönetim sistemi (EMS), operatörlerin tasarıma, yapıya, bakıma, işleme, ve hizmetine son verildiği konular, sistemli ve gösterici bir yolla yönlendirmekte kullanılan bir araçtır. EMS'de; çevresel politikaların gelişmesi, uygulanması, bakımı, tenkiti, ve izlenmesi için gerekli olan işlemsel yapı, sorumluluklar, uygulamalar, prosedürler, işlemler ve kaynaklar bulunur. Çevresel yönetim sistemleri, tüm yönetimlerin doğal bir parçasını ve kurulum işlemlerini oluşturdukları en etkili ve yeterli yerlerdir.

Avrupa Birliği dahilinde, EN ISO 14001:1996 ya da Avrupa Birliği ekonomi idaresi ve EMAS resmi hesap kontrol taslağı bağlı çevresel yönetim sistemlerini kurmak için bir çok organizasyon, gönüllü olmaya karar vermiştir. EMAS, EN ISO 14001 için gerekli yönetim sistemlerini içermektedir, fakat yasal uyuma, çevresel performansa ve işçi katılımına ayrı bir önem vermektedir; ayrıca yönetim sistemlerinin dışarıdan onay almasını ve yerel çevresel raporun onaylanmasını da gerektirmektedir. (EN ISO 14001 bildirisi, dışardan onaylamaya ek bir seçenektir.) Standartlaşmamış EMS'lere yer vermeye karar vermiş birçok organizasyon bulunmaktadır.

Her iki standartlaşmış (EN ISO 14001: 1996 ve EMAS) ve standartlaşmamış sistem(kişiyeye özel) temel ilkede organizasyonu bir bütün olarak ele alırken; bu belge daha dar bir yaklaşımla ele alır, IPPC yönetimi altında idare edilen varlığın bir donanım olması nedeniyle organizasyonların tüm aktivitelerine, ör: ürün ve hizmetlerine, çok yer vermez. (makale 2'de belirtildiği gibi).

IPPC kurulumu için yerel bir yönetim sistemi (EMC) aşağıdaki unsurları içerebilir:

- (a) Çevresel politikanın tanımı
- (b) Amaç ve hedeflerin planlanması ve kurulması
- (c) Prosedürlerin kurulumu ve çalıştırılması
- (d) Kontrol ve düzeltme işlemleri
- (e) Yönetimin incelenmesi
- (f) Düzenli çevresel raporların hazırlanması
- (g) Belgeleme kurulunun ya da dış EMS doğrulayıcısı ile onaylanması
- (h) End-of-life tesisinin hizmetine son verilmesi için tasarım planları
- (i) Temizleme teknolojilerinin geliştirilmesi
- (j) Kıyaslama

Bu özellikler aşağıda daha geniş ayrıntıyla açıklanmıştır. Hepsi EMAS'ta yer alan (a) ve (g) unsurları hakkında ayrıntılı bilgi için, okuyucular aşağıda belirtilen yazındaki referanslardan yararlanabilirler.

#### (a) Çevresel politikanın tanımı

Çevresel politikanın kurulumunun belirlenmesinden yüksek yönetim sorumludur ve aşağıdakileri garanti eder:

- Doğaya, ölçüye ve aktivitelerin çevresel etkilerine uygundur.
- Kirlenmenin önlenmesi ve kontrolüne karşı sorumlulukları içerir.
- Yerinde ve uygulanabilir tüm çevresel yasalara, yönetimler ve organizasyonun onaylanması için gereken diğer özelliklere uymalıdır.
- Çevresel sorumluluk ve hedeflerin ayarlanması ve gözden geçirilmesi için bir taslak oluşturulmuştur.
- Tüm çalışanlara bildirilmiş ve iletilmiştir
- Tüm halka ve ilgili şahıslarca elde edilebilir.

#### (b) Planlama

çevre üzerine önemli etkiler yapan ve ya yapabilecek olan aktiviteleri belirlemek ve verileri güncelleştirmek için kurulumun çevresel yönlerini belirleyici prosedürler

aktivitelerin çevresel yönünün uygulanabilirliği ve organizasyonun onaylanması için yasal işlemlerin ve diğer ihtiyaçları belirleyen prosedürler

belirlenen çevresel amaç ve hedefleri kurmak ve gözden geçirmek; yasal işlemleri, diğer ihtiyaçları ve ilgili şahısların görüşlerini göz önünde bulundurmak,

ulaşılması gereken araç ve sürede olduğu kadar her uygun fonksiyonda ve düzeyde, amaç ve hedeflere ulaşmayı sağlayacak sorumluluğun tasarlanmasını içeren çevresel amaç ve hedefleri kurmak ve düzenli olarak güncelleştirmek.

**(c) Prosedürlerin uygulanması ve işlenmesi**

Prosedürlerin bilinmesini, anlaşılmasını ve bu yüzden etkili çevresel yönetimlere uymasını sağlamak amacıyla uygun sistemlere sahip olmak önemlidir.

**(i) Yapı ve sorumluluk**

- özel bir yönetim temsilcisinin atanmasını içeren, yetkililerin ve sorumlulukların tanımlanması, belgelenmesi ve iletilmesi
- insan kaynaklarını ve özel yetenekleri, teknoloji ve finansal kaynakları içeren, çevresel yönetim sistemlerin kontrolü ve uygulanması için gerekli kaynakların sağlanması

**(ii) Eğitim, farkındalık ve yeterlilik**

- işlerinin, faaliyetin çevresel etkisini önemli şekilde etkileyebildiği bütün işçilerin yeterli eğitimi görmesini sağlamak için eğitim gereksinimlerinin belirlenmesi.

**(iii) İletişim**

- alma, belgeleme ve cazip olan yerlerde dışarıya ilgili taraflardan gelen gerekli iletişime cevap vermek için prosedürlerle ve dışarıya ilgili olan taraflarla bir ilişki geliştiren prosedürler gibi, tesisin fonksiyonu ve çeşitli seviyeleri arasındaki içe dönük iletişim için prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi ilişkisi

**(iv) İşçi katılımı**

- öneri kitabı sistemi, projelerle desteklenen grup çalışmaları ve çevresel komiteler gibi yeterli katılım şekilleri uygulanılarak çevresel performansın yüksek seviyelere ulaşmasını sağlamasını amaçlayan işlemlerde işçileri içine almak

**(v) Belgeleme**

- yönetim sistemlerinin çekirdek üyelerini ve bunların etkileşimlerini sağlamak için kağıt üzerinde veya elektronik yollarla güncel bilgilerin saptanması ve sürdürülmesi

**(vi) Etkin proses kontrolü**

- hazırlık, başlama, rutin işlemler, fabrika kapanışları ve anormal durumlar gibi bütün işlem şekilleri altında işlemlerin yeterli kontrolü
- ana performans göstergelerini ve bu parametrelerin ölçümü ve kontrolü için yöntemlerin belirlenmesi (akım, basınç, sıcaklık, bileşim ve miktar, vb..)
- temel nedenleri belirlemek için anormal işlem durumlarını analiz etmek ve belgelemek, daha sonrasında bu olayların oluşumunun engellenmesini sağlamak için bunlara dikkat etmek (bu, nedenlerin tanımlanmasının sorumluluğun bireylere dağıtılmasından daha önemli olduğu 'no-blame' kültürüyle kolaylaştırılabilir.)

**(vii) Bakım programı**

- ekipman hataları ve sonuçları gibi örneklere ve ekipmanın teknik tanımlanmasına dayalı bakımlar için yapılandırılmış programların oluşturulması
- bakım programının uyum kayıt tutma sistemleri ve teşhis kontrolleri tarafından desteklenmesi
- bakımın programlanması ve uygulanması için sorumlulukların açıkça tahsis edilmesi.



(viii) Acil duruma hazırlıklı olma ve karşılama

- kazalara ve acil durumlara tepki vermek için ve bunlara bağdaştırılabilen çevresel etkilerin önlenmesi ve azaltılması için potansiyeli belirlemek amacıyla prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi

**(d) Kontrol edici ve düzeltici faaliyetler, ör;**

(i) İzleme ve ölçüm

- performansı izlemek, gerekli işlemsel kontroller ve kuruluşun çevresel amaçlarının hedefleriyle uyumu için bilginin kaydını içeren, çevre üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilen faaliyetler ve operasyonların ana özelliklerinin, düzenli olarak, izlenmesi ve ölçülmesi için belgelenen prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi (ayrıca bkz. Emisyonların İzlenmesinde Kaynak Belge)
- gerekli çevresel kanunların ve düzenlemelerin uyumunun periyodik olarak değerlendirilmesi içine belgelenmiş bir prosedürün oluşturulması ve sürdürülmesi.

(ii) Düzeltici ve engelleyici faaliyet

- problemin büyüklüğüne uygun ve karşılaşılan çevresel etkiyle orantılı olan düzeltici ve önleyici faaliyetin başlaması ve tamamlanması için ve neden olunan herhangi bir etkiyi azaltmak için harekete geçen hedefler ve amaçlar gibi diğer yasal gereksinimlerin, izin şartlarının uyumsuzluğunun işlenmesi ve ele alınması için, yetkililerin ve sorumluluğun tanımlanması amacıyla prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi

(iii) Kayıtlar

- eğitim kayıtlarını ve inceleme denetleme sonuçlarını içeren açık, tanımlanabilir ve saptanabilir kayıtların tanımlanması, bakımı ve yerleşimi için prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi

(iv) Denetleme

- çevresel yönetim sistemlerinin planlanmış düzenlemelere uyup uymadığını ve bu sistemlerin düzgün bir şekilde uygulanıp uygulanmadığına ve bunların sürdürülüp sürdürülmediğine karar vermek amacıyla denetlemeleri yönetmek ve sonuçları bildirmek için gereksinimler ve sorunlar gibi denetleme kapsamını, sıklığını ve yöntemlerini kapsayan, işçiler (dahili denetlemeler) ve dışarı ilgili taraflar (harici denetlemeler) yoluyla kısmen ve nednel olarak yürütülecek yazılı raporlara neden olan ve personelle tartışmayı, işlem koşullarının ve ekipmanlarının denetimini ve kayıtların ve belgelerin incelenmesini içeren periyodik çevresel yönetim sistemleri denetimi için prosedür ve programların oluşturulması ve sürdürülmesi
- faaliyetlerin yapısına, ölçüsüne ve karmaşıklığına; bağdaştırılmış çevresel etkilerin önemine; daha önceki denetlemeler ve çevresel problemler tarihi tarafından belirlenen problemlerin aciliyetine bağlı olarak üç yıldan fazla olmayan aralıklarla, uygun olarak, denetlemenin ve denetleme çemberinin tamamlanması – daha önemli çevresel etkilerle daha karmaşık faaliyetler daha sık denetlenmektedir.
- denetleme sonuçlarının izlenmesini sağlamak için yerinde uygun mekanizmalara sahip olunması

(v) Yasal uygunluğun periyodik değerlendirmesi

- kuruluş tarafından desteklenen çevresel izinlerin şartlarının ve uygulanabilir çevresel kanunların uyumunun incelenmesi
- değerlendirmenin belgelenmesi.

**(e) yönetimin gözden geçirilmesi**

- yüksek yönetim tarafından, belirlenen sürelerde, çevresel yönetim sisteminin; süregelen uygunluğu, yeterliliği ve etkinliği garanti ettiğini tenkit etmek
- belgenin değerlendirmesini gerçekleştirmekte yönetime imkan sağlayan gerekli bilgilerin toplandığını garanti etmek
- değerlendirme işleminin belgelendirilmesi

**(f) düzenli bir çevresel bildirim hazırlanması**

kurumun çevresel amaç ve hedeflerine karşı kurumlar yoluyla elde edilen sonuçlara özel önem veren çevresel bir raporun hazırlanmasıdır. Düzenli olarak üretilir- emisyonların önemine ve atık jenerasyonuna bağlı olarak bir yıl ya da daha az sıklıkta yapılır. Uygun, ilgili şahısları ve halka uygunluğu için gerekli bilgileri göz önünde bulundurur. (ör: elektronik yayımlamalarda ve kütüphanelerde vb.)

- Rapor üretildiğinde operatör, aşağıdaki göstergelerin seçildiğini garanti ederek, uygun mevcut çevresel performans göstergelerini kullanabilir:
  - kurum performansının kesin bir değerlendirmesini vermesi
  - anlaşılabilir ve anlamı açık olması
  - kurumun çevresel performans gelişimini değerlendirmek üzere yıl bazında karşılaştırma olanağı
  - sektörle, uygun ulusal ve bölgesel karşılaştırmalı değerlendirmelere olanak sağlaması
  - uygun olan düzenleme ihtiyaçlarıyla karşılaştırmaya olanak sağlaması

**(g) Onaylama kurulunun ya da harici EMS doğrulayıcısı tarafından verilen geçerlilik**

- yönetim sisteminin denetleyici prosedürünün, yetkili bir onay belgesi ya da dış EMS doğrulayıcısı tarafından test edilmiş ve onaylanmış çevresel raporun oluşturulması, gerektiği şekilde gerçekleşirse, sistemin güvenilirliğini artırır.

**(h) Miyadı dolmuş tesisin hizmetine son verilmesi için tasarım planları**

- yeni bir tesisin tasarlanma aşamasında birimin hizmetine son verilmesinin çevreye etkilerinin göz önünde bulundurulması, bir ön görüş olarak hizmete son verilmesini daha kolay, açık ve ucuz yolla yapılmasını sağlar.
- hizmete son verme, tporağın (ve yeraltı suyunun) kirletilmesinin çevresel zararlarına yol açar ve çok miktarda katı atığın oluşmasını sağlar. Önleyici teknikler işleme özgüdür fakat aşağıdaki hususları içerebilir:
- yer altı yapılarından kaçınmak
- parçalanmayı kolaylaştıran özellikleri dahil etmek
- kolay arındırılan yüzey bitişlerini seçmek
- volkanik taşı kimyasalların kullanımını azaltarak; drenajı kolaylaştıran ekipman konfigürasyonunu kullanmak
- aşamalı muhafaza olanağı sağlayan esnek ve bağımsız üniteler tasarlamak
- mümkün olduğu yerde bakterilerle ayrışabilen ve geri dönüşümü yapılabilen materyalleri kullanmak

**(i) daha temiz teknolojilerin geliştirilmesi**

çevresel koruma, operatör tarafından gerçekleştirilen her işlem tasarım aktivitesinin doğal bir özelliği olmalıdır, çünkü mümkün olan en erken tasarım aşamasında dahil edilen teknikler hem daha etkili, hem de daha ucuzdur. Temizleme teknolojilerinin gelişimine önem verme, örneğin., R&D aktiviteleri ya da çalışmaları yoluyla ortaya çıkabilir. Dahili aktivitelere ek olarak, diğer operatörlerle ya da uygun alanda aktif olan araştırma kuruluşları ile komisyon çalışması ve bunun günü gününe takip edilebilmesi için planlamalar yapılabilir.

**(j) kıyaslama:**

- enerji yeterliliği ve enerji tutum aktivitelerini ve ilave materyallerin seçimini, havaya emisyonunu ve suya boşaltımını (ör: Avrupa Kirletici Emisyon Kaydı (EPER), su tüketimini ve atığın jenerasyonunu içeren sektörle ve bölgesel kıyaslamalarla; sistematik ve düzenli kıyaslamalar gerçekleştirmektir.

**Standartlaşmış ve standartlaşmamış EMS'ler**

EMS, standartlaşmış ve ya standartlaşmamış (kişiye özel) bir sistemin şeklini alabilir. EN ISO 14001: 1996 gibi uluslar arası anlamda geçerliliği olan standartlaşmış bir sistemin uygulanması ve bağlılığı EMS'ye özellikle gerektiği şekilde çalışan dış onaylamaya maruz kaldığında, daha yüksek güvenilirlik sağlayabilir. EMAS; çevresel rapor ve uygulanabilir çevresel yasama ile uyumu garanti eden mekanizma yoluyla halkla iletişimi sağladığından, ayrıca güvenilirlik de sağlar. Ancak, standartlaşmamış sistemler, ancak gerektiği şekilde tasarlanıp uygulandığında aynı derecede etkili olabilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** EMS'nin uygulanması ve EMS'ye bağlılık, kurulumun çevresel performansı üzerine operatörün ilgisine odaklanır. Özellikle, normal - anormal durumlar ve ilgili sorumluluk alanları için çalışan prosedürlerin bakımı ve şartlara uyumu, kurulumun ruhsat şartlarının; diğer çevresel amaç ve hedeflerinin uyumunu garanti etmelidir.

Çevresel yönetim sistemleri genel olarak, kurulumun çevresel performansının sürekli gelişimini garanti eder. Başlangıç noktası ne kadar zayıf olursa, kısa vadede o kadar önemli gelişme beklenebilir. Eğer kurulumun zaten iyi bir çevresel performansı varsa; sistem operatöre yüksek performans düzeyini korumada yardımcı olacaktır.

**Çapraz medya etkileri:** Çevresel yönetim teknikleri IPPC yönetimi'nin bütünleştirilmiş yaklaşımı ile tutarlı olan tüm çevresel etkilerine yönelmek için tasarlanmıştır.

**İşletim verileri:** ayrıntılı bilgi bulunmamaktadır.

**Uygulanabilirlik:** yukarıda tanımlanan unsurlar, genel olarak tüm IPPC kurulumlarında uygulanabilir. EMS kapsamı (ör:ayrıntı düzeyi) ve doğası (ör: standartlaşmış ya da standartlaşmamış) genelde doğayla, ölçümle, kurulumun karışıklığı ve çevrede yaratabileceği etki düzeyi ile ilgilidir.

**Ekonomi:** iyi bir EMS'nin tanıtılması ve sürdürülmesinin ekonomi açısından yararlarını ve maliyetini tam olarak belirlemek zordur. Aşağıda, yapılan bir çok çalışma sunulmuştur. Ancak; bunlar sadece örnekler ve sonuçları tamamen tutarlı değildir. Avrupa Birliğinin tüm sektörlerinde sunulamayabilir ve bu yüzden de dikkatle incelenmelidir.

İsveç'te 1999 yılında yapılan bir çalışma, İsveç'teki tüm 360 ISO- sertifikalı ve EMAS tescilli şirketleri incelemiştir. %50 oranında karşılık ile araştırma, diğerleri arasında aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- EMS'yi tanıtmaya ve çalıştırma maliyetleri yüksektir fakat makuldür, bu yüzden, çok küçük şirketler için saklanmalıdır. Maliyetlerin gelecekte düşmesi beklenmektedir.
- EMS'nin diğer yönetim sistemleriyle daha yüksek derecede koordinasyon ve entegrasyonu, maliyeti düşürmeyi mümkün kılabilir.
- Çevresel amaç ve hedeflerin yarısının karşılığı bir yıl içerisinde maliyet koruması ve /artan gelir sayesinde geri dönecektir.
- En yüksek maliyet koruması; enerji harcamasının azaltılması ile atık madde ve ham maddelerin arındırılması yoluyla sağlanacaktır.
- Birçok şirket, piyasadaki konumlarının EMS ile güçlendiğini düşünmektedir. Şirketlerin 1/3'ü artan gelirlerinin EMS'ye bağlı olduğunu bildirmiştir.

Bazı üye devletlerde, kurulum sertifikası olan şirketlere indirimli denetleme ücretleri uygulanmaktadır.

Yapılan araştırmalar, şirketin boyutu ve EMS uygulama maliyetleri arasında ters bir orantı olduğunu göstermektedir. benzer bir orantı da harcanan sermayenin geri dönüşüm döneminde ortaya çıkmaktadır. Her iki ilkedeki de geniş şirketlere oranla SME'lere EMS uygulanmasında daha az tatmin edici ve kar amaçlı ilişkiler ifade edilmektedir.

Bir İsveç çalışmasına göre; ISO 14001' i oluşturma ve çalıştırma için gereken ortalama maliyet, farklılık gösterebilir:

- 1 ile 49 arasında işçi çalıştıran bir şirket için: EMS inşa etmek için CHF 64000 (EUR 44000) ve çalıştırmak için yıllık CHF 16000 (EUR 11000) 'dır.
- 250'den fazla işçi çalıştıran endüstriyel bir bölgede ise: EMS inşa etmek için CHF 367000 (EUR 252000) ve çalıştırmak için yıllık CHF 155000 (EUR 106000) 'dır.

Bu ortalama oranlar belirli bir endüstriyel bölge için gerçek tutarları göstermeyebilir, çünkü, tutarlar yüksek oranda önemli araçlara (kirleticilere, enerji tüketimine vb.) ve çalışılacak problemlerin karışıklığına bağlıdır.

Son günlerde Almanya'da yapılan bir araştırma, [169, Schaltegger and Wagner, 2002] farklı branşların EMAS maliyetlerini aşağıdaki gibi göstermektedir. Bu şekillerin, yukarıda alıntılanan İsveç çalışmasında olduğundan çok daha düşük olduklarına dikkat çekilmelidir. Bu da EMS maliyetlerini belirlemenin zorluğunu doğrulamaktadır.

#### Oluşturma maliyeti (EUR):

minimum - 18750  
maximum - 75000  
ortalama- 50000

#### Onaylama maliyeti (EUR):

minimum - 5000  
maximum - 12500  
ortalama- 6000

Alman girişimciler enstitüsü tarafından yapılan bir araştırma [170, UNI/ASU, 1997] EMAS 'ın yıllık elde ettiği ortalama tasarruflar ve geri ödeme zamanı hakkında bilgi verebilir. Örneğin 80000 EUR'lık bedelleri için yaklaşık bir buçuk yıllık bir geri ödemeye denk gelen uygulama yıllık ortalama 50000 EUR tasarruf buldular.

Sistemin doğrulanmasıyla bağlantılı olan harici masraflar, Uluslar arası akreditasyon Forum (<http://www.iaf.nu>) 'u tarafından yayımlanan klavuzda tahmin edilebilir..

**Uygulamaya yönelik itici güç:** çevresel idare sistemleri bir takım avantajlar sağlayabilirler, örnek:

- şirketin gelişmiş çevresel husus anlayışı
- gelişmiş karar alma dayanağı
- gelişmiş kişisel motivasyon
- işlem bedelinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin geliştirilmesi için ek fırsatlar
- gelişmiş çevresel performans
- gelişmiş şirket imajı
- azalmış sorumluluk, sigorta ve uygunsuzluk bedelleri
- işçiler, müşteriler ve yatırımcılar için artan çekicilik
- düşük mevzuat dikkatsizliğine yol açabilecek düzenleyicilere artan güven
- çevresel gruplarla gelişmiş ilişki.

<sup>5</sup> E.g. Dyllick and Hamschmidt (2000, 73) quoted in Klemisch H. and R. Holger, Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung, KNI Papers 01 / 02, January 2002, p 15; Clausen J., M. Keil and M. Jungwirth, The State of EMAS in the EU. Eco-Management as a Tool for Sustainable Development – Literature Study, Institute for Ecological Economy Research (Berlin) and Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy (Berlin), 2002, p 15.

**Örnek tesisler:** (f) ve (g) özellikleri EMAS 'a özel olmasına rağmen yukarıda (a) dan (e)ye kadar tanımlanan özellikler EN ISO 14001:1996 'nın ve Avrupa Birliği ekonomi idresi ve Denetleme Taslağı (EMAS). Bu iki standartlaşmış sistemler IPPC kurumlarında uygulanır. Örnek olarak, AB kimyasal ve kimyasal ürünler endüstrisi (NACE kod 24) içindeki 357 organizasyonun çoğu IPPC kurumlarını işleten ,2002 temmuz kayıtlarına geçen EMAS kaydıydı.

Birleşik Krallık'ta, İngiltere ve Galler'in Çevre Acentası 2012'de (IPPCye öncü) IPC düzenlemeli tesisler arasında bir araştırma yürütmüştür. Muhatapların % 32'sinin ISO14001 (tüm IPC kurumlarının %21'ine denk gelen) belgeli olduğu ve %7'sinin EMAS'a kayıtlı olduğu ortaya konulmuştur. Birleşik Krallık'taki tüm çimento çalışmaları ISO 14001 belgelidirler ve çoğunluğu EMAS'a kayıtlıdır. IP lisanslarında EMS (standartlaştırılmış yapı için gerekli olmayan) kuruluşunun gerekli olduğu İrlanda'da , yaklaşık 50 lisanslı kurumun tahminen 100 tanesi ISO 14001'e uygun olarak bir EMS kurdular ve diğer 400 kurum ise standart olmayan emsyi seçtiler.

**Kaynak literatür:** [194, EC, 2002].

### 3.15.1 Çevresel yönetime ilişkin MET

Çevresel idarenin bir dizi teknikleri MET olarak belirlenir. EMS kapsamı (ör: ayrıntı seviyesi) ve yapısı(standart ya da standart olmayan) genellikle kurulumun yapısı , alanı ile karışıklığı ve sahip olabileceği çevresel etkilerle ilgili olacaktır.

MET , bireysel durumlara uygun olarak aşağıdaki özellikleri kapsayan çevresel idare sistemi (EMS) 'e bağlı olmak ve onu uygulamaktır. (yukarıdaki bölüme bakınız)

- Üst idare tarafından kurulumun çevresel politikasının tanımı (üst idare sorumluluğu EMS'nin diğer özelliklerini başarılı bir şekilde uygulamak için ön şart olarak görülmektedir)  
Gerekli prosedürleri planlama ve kurma
- Gerekli prosedürleri planlama ve kurma
- Prosedürlerin uygulanması için aşağıdakilere özel ilgi gösterilmelidir:
  - yapı ve sorumluluk
  - eğitim, farkındalık ve rekabet
  - iletişim
  - çalışan ilişkisi
  - belgeleme
  - verimli işlem kontrolü
  - bakım programı
  - acil durumlara hazırlık ve karşılama
  - çevre yasalarıyla güvenlik uyumu
- Performansı kontrol etmek ve düzeltici bir girişimde bulunmak için aşağıdakilere önem verilmelidir:
  - izleme ve ölçüm (emisyonların izlenmesi ile ilgili referans bölgeye de bakınız)
  - düzeltici ve koruyucu girişimler
  - kayıtların bakımı
  - çevre idare sisteminin planlanan düzenlemeleri onaylayıp onaylamadığını ve doğru şekilde uygulanıp , bakımını yapıldığını belirlemek için bağımsız (yapılabildiği yerlerde) dahili hesap denetimi.

□ üst idare tarafından değerlendirme

Yukarıdaki adımları tamamlayacak 3 adım daha destekleyici tedbir olarak değerlendirilir. Buna rağmen, yoklukları genellikle MET ile çelişkili değildir. Bu üç ek adım ise şunlardır:

- Yetkili sertifikasyon kuruluşu ya da harici EMS onaylayıcı tarafından incelenmiş ve onaylanmış idare sistemi ile denetleme prosedürüne sahip olmak
- Uygun olarak sektör kalite testlerinin yanı sıra çevresel amaçlar ve hedeflere karşı yıllık bazda kıyaslamasına izin veren kurumların tüm önemli çevresel yanlarını tanımlayan düzenli bir çevresel açıklamanın hazırlanması ve yayımlanması (ve mümkünse hacri onay)
- EMAS ve EN ISO 14001:1996 gibi uluslararası kabul edilmiş gönüllü bir sisteme bağlılık ve uygulama. Bu gönüllü adım EMS'ye daha yüksek güvenilirlik kazandırabilir. Özellikle, yukarıda bahsedilen tüm özellikleri kapsayan EMAS daha yüksek güvenilirlik gösterir. Buna rağmen, standart olmayan sistemler, uygun bir şekilde tasarlanır ve uygulanırlarsa prensipte eşit derecede etkili olabilirler.

Özellikle bu endüstri sektörü\* için, EMS2nin aşağıdaki potansiyel özelliklerini göz önünde bulundurmaya da önemlidir:

- Yeni bir tesis tasarlama aşamasında ünitenin nihai hizmetten alınmadan sonra gelen çevresel hususların göz önünde bulundurulması.
- Enerji verimliliği ve enerji muhafaza aktiviteleri, girdi materyalinin seçimi, havaya emisyonlar, suya boşaltım, su tüketimi ve atık üretimini kapsayan düzenli bir temel üzerindeki sektörel kıyaslamaya uygulanabildiği yerlerde daha temiz teknolojilerin geliştirilmesine önem verilmesi.

### 3.16 Çeyreyi bir bütün olarak korumaya ilişkin bütünleşik yaklaşıma giriş

Aşağıdaki test , bütünleşik bir yaklaşım üç bakış açısından ele alınmıştır: [59, Finnish LCP WG, 2000]:

- LCP işlemi konusunun esas özellikleri yoluyla dört farklı kirlenici madde için emisyon azaltma tekniklerinin ortak etkisi
- Diğer çevre ortamı, dayanıksız tüketim malları, üretilen akımlar ve atık maddelerin kalitesi ve ekonomilerinin etkisinin bir işlevi olarak verilen kirlenici madde emisyon azaltma tekniğinin performansına bağımlılık.
- Çevresel yararlar (farklı kirlenici madde emisyonlarının azaltımı), çapraz medya etkileri ile harcanan para ve enerji arasında uygun bir denge bulma ihtiyacı..

LCP kirliliğindeki ortak etkiye bir örnek ise , düşük NO<sub>x</sub> emisyonları, yanmamış karbon, CO ve hidrokarbonlar arasındaki karşılıklı dayanışmadır. NO<sub>x</sub> oluşumunu en düşüğe indirme girişimleri , bir noktada yakıtın yanmamış kısmının hızlı bir şekilde artmasına sebep olur. Bu sadece yakma verimliliğini azaltmakla kalmaz ayrıca baca gazından makul ücretle ihraç edilemeyen yeni kirlenici maddeler , CO ve yanmamış hidrokarbonlar yaratır. Üstelik , uçucu küldeki yanmamış karbonun %5'lik sınırının ötesinde, uçucu kül artık çimentoya geri dönüştürülemez ve yapı endüstrisi için , arazi dolum uçucu kül depolarına ihtiyaç ortaya çıkar.

Başka bir örnek ise, akışkan yatak yakma derecesindeki NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O oluşumuna bağımlılıktır. NO<sub>x</sub> oluşumu FBC yatak derecesini düşürerek en aza indirgenebilir, fakat bir noktada N<sub>2</sub>O oluşma oranı artmaya başlar. Yakma dereceleri ve hangisinin en iyi toplam dengeyi başaracağıyla ilgili yapılan bir yargı arasında uzlaşma bulunmalıdır. Nitrojenin oksitlerine ek olarak, kireç taşı eklemesi yoluyla FBC yatağındaki sülfür miktarı da yatak derecesinden etkilenir.

Bir başka örnek ise, NO<sub>x</sub>'in Katolik azatlıdır. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için etkili bir yol olmasına rağmen, çevreye küçük bir emisyonu (amonyak slip) yayar. Dahası, amonyağın aktarımı, taşıma ve depolanması çevresel zarar yaratır. Amonyagın su içeren bir çözümünün geleneksel olarak kullanıldığı küçük tesislerde risk daha az şiddetlidir, fakat sıvı amonyağın kullanıldığı büyük tesislerde bir kazanın sonuçları ciddi olabilir. Enerji ve dayanıksız tüketim malları gereksinimleri ile yaratılan herhangi atık maddenin kullanılmasının yanı sıra , bu tekniği uygulamanın parasının miktarına karşı kirliliği azaltma tekniğinin performansı göz önünde bulundurulduğunda , çoğu teknikteki genel kurallarda da daha çok para yatırarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Enerji ve dayanıksız tüketim malları gereksinimleri ile yaratılan herhangi atık maddenin kullanılmasının yanı sıra , bu tekniği uygulamanın parasının miktarına karşı kirliliği azaltma tekniğinin performansı göz önünde bulundurulduğunda, çoğu teknikteki genel kurallarda da daha çok para yatırarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Akışkan yatak yakma buhar kazanlarındaki sülfür azatlımı buna bir örnektir. FBC yatağının içine ek kireç taşı oluşan sülfür miktarının derecesi , daha çok aşırı kireç taşı kullanıldıkça gelişir. Yani, yüksek sülfür azatlımı aynı şekilde yüksek kireç taşı kullanımı ister. Diğer bir deyişle bu daha yüksek kül miktarlarının bir yerde depo edilmesi demektir. Kireç taşı ve yüksek miktardaki kül kullanımı , FBCB 'de bulunan gelişmiş sülfürün çevresel olarak istenmeyen yan etkileridir. Küldeki yüksek Ca miktarının başka bir sonucu ise külün kullanılamaz hale dönüşmesidir. Ca tüketiminin olduğu bu durumda ise, nitelik bakımından yarı kuru baca gazı desülfürüzyonundakiyle benzerdir.

Islak gaz yıkayıcı desülfürüzyonunda, aşırı kalsiyum gerekmemektedir. Üstelik, eğer ticari kalite alçıtaşı istenilen son ürün ise, bu kullanılmaz. Buna rağmen , daha yüksek azaltma verimliliği elde etmek için, daha büyük gaz yıkayıcı reaktörü gereklidir ve gaz yıkayıcı süspansiyon devir pompalarında , gaz yıkayıcıyla bağlantılı olan indüklü fanlarında ve bağlantılı ısı eşanjöründe daha fazla elektrik enerjisi harcanır. Yüksek sülfür azatlımı istendiğinde , Ca tüketimindeki ve alçı taşı üretimindeki artış küçüktür, fakat daha çok elektrik enerjisi tüketir ve yani, daha çok CO<sub>2</sub> havaya salınır.

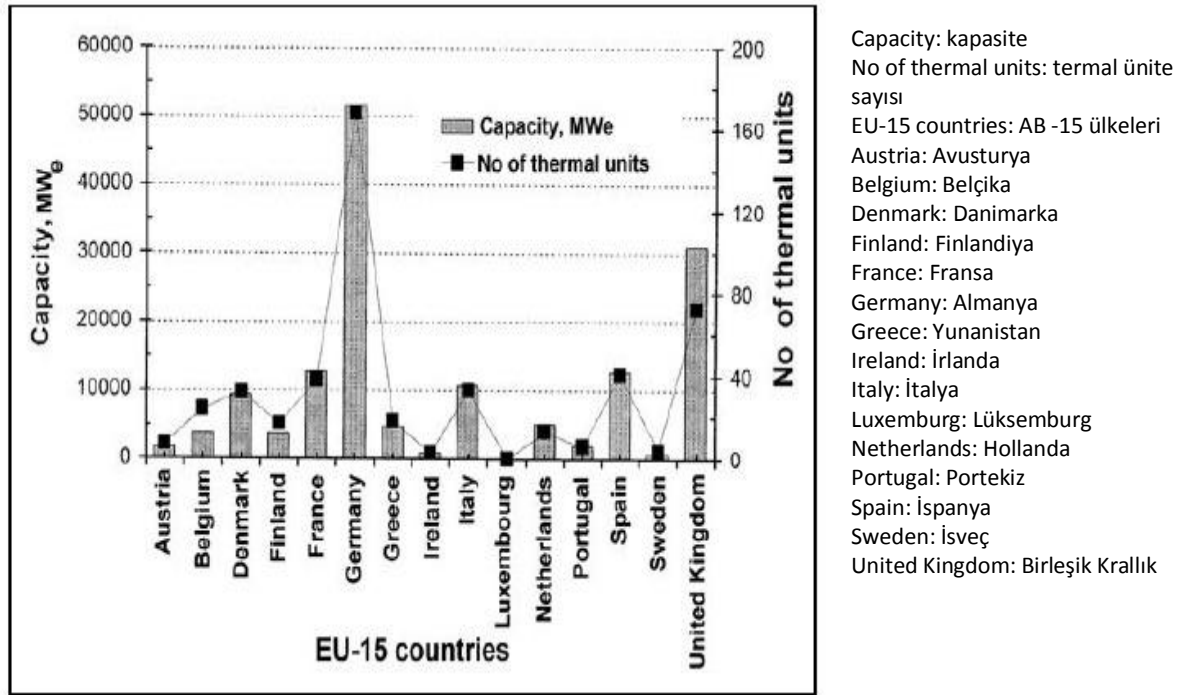
Elektrostatik presipitatörlerin ve ek odacıkların partikül ihraç verimlilikleri nerdeyse belirsiz bir şekilde boyutu ve ayrıca ekipmanın fiyatını yükselterek artırabilir. Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımına gelince durumlar paraleldir: daha çok katalizör element ekleyerek, daha iyi azatlımlar ve daha düşük amonyak slip elde edilebilir.



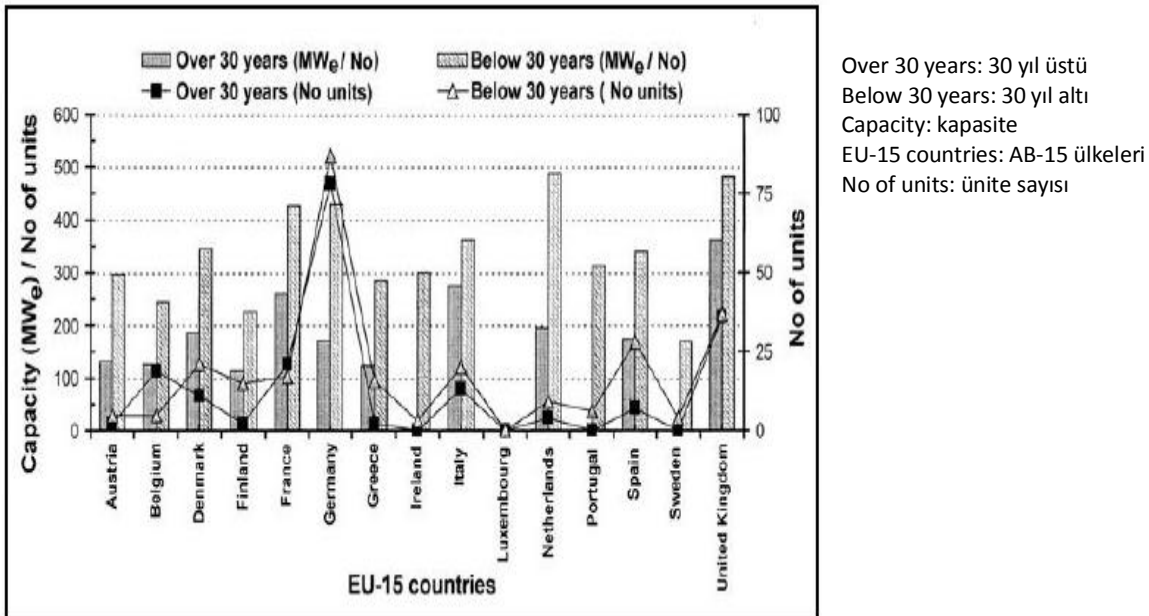


## 4 KÖMÜR VE LİNYİTE YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ

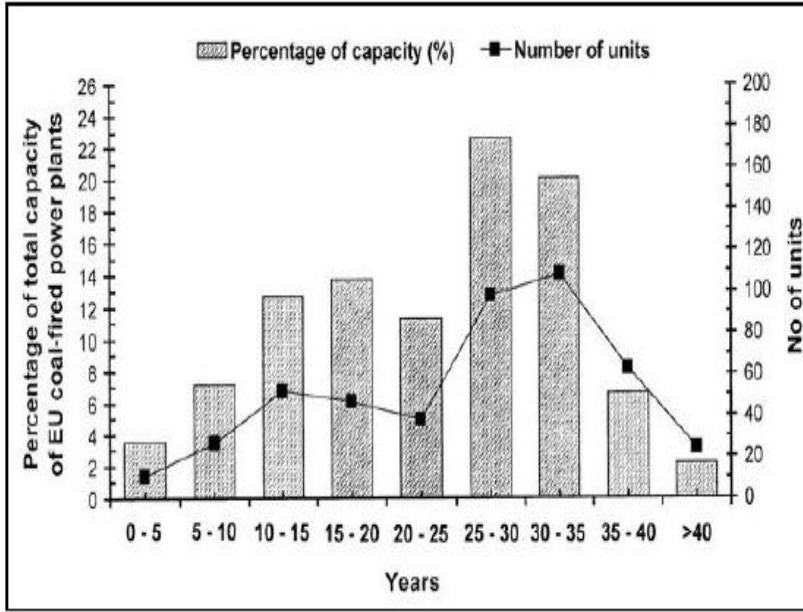
Kapasite, ünite sayısı ve tesislerin yaşına yönelik olarak AB'deki kömür ve linyitle çalışan büyük yakma tesislerinin mevcut durumu Şekil 4.1– Şekil 4.4'de sunulmuştur.



Şekil 4.1: AB-15'de kömür ve linyitle çalışan elektrik santralleri [110, Kakaras and Grammelis, 2000]

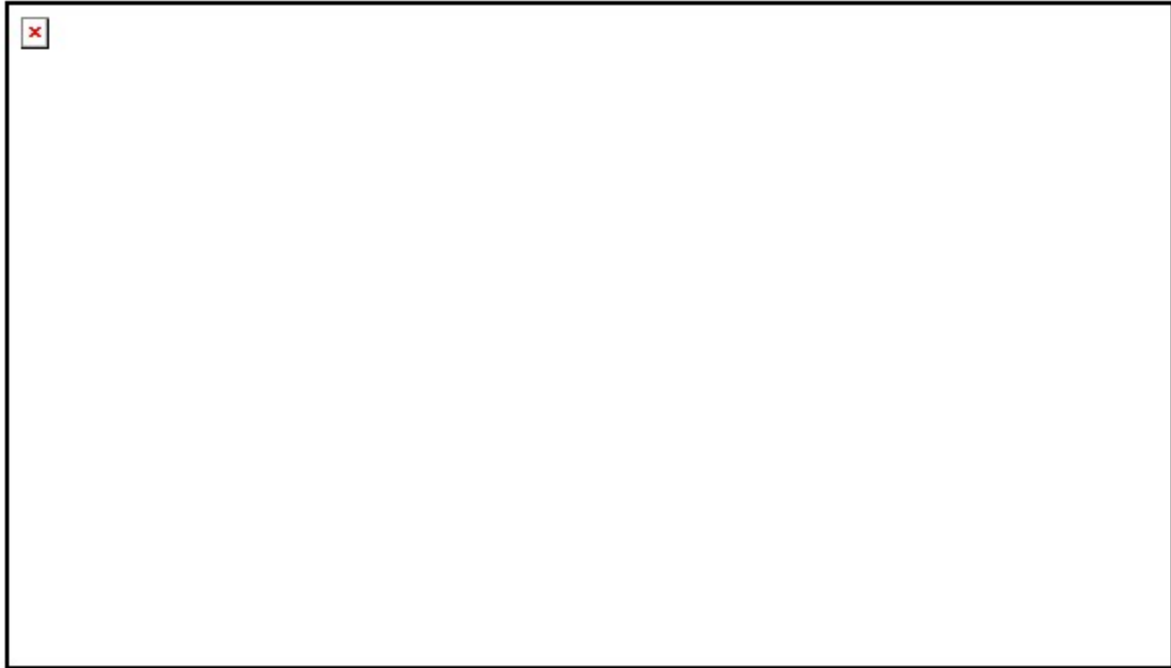


Şekil 4.2: AB-15'de kömür ve linyitle çalışan elektrik santrallerinin kapasite ve yaşları [110, Kakaras and Grammelis, 2000]



Percentage of capacity (%): kapasite yüzdesi  
 Number of units: ünite sayısı  
 Percentage of total capacity of EU coal-fired power plants: AB kömürle çalışan elektrik santrallerinin toplam kapasite yüzdesi

Şekil 4.3: AB-15'de kömür ve linyitle çalışan elektrik santrallerinin yaşı [110, Kakaras and Grammelis, 2000]



Şekil 4.4: AB-15'de kömür ve linyitle çalışan elektrik santrallerinin kapasite ağırlıklı ortalama yaşı [110, Kakaras and Grammelis, 2000]

#### 4.1 Uygulamalı proses ve teknikler

Çoğu ülkede, taş kömürü ve linyit kullanan fosil yakıtla çalışan yoğunlaştırma enerji santralleri enerji üretim sisteminin omurgasıdır. Bu kısımda kömür ve linyitle çalışan büyük yakma tesislerinde uygulanan proses ve tekniklere ilişkin bilgiler sunulmaktadır.

#### 4.1.1 Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltma, depolama ve taşınması

##### 4.1.1.1 Kömür ve linyit

Kömür ve linyit gibi katı yakıtlar ilgili ulaştırma mesafesi ve maden ile LCP sahalarında hangi ulaştırma sistemlerinin elverişli olduğuna bağlı olarak gemi, tren ve kamyonlarla tedarik edilir. Boşaltma normalde taşıma bantları ile gerçekleştirilir. Maden veya limanlara yakın LCP'lere doğrudan madenden veya işmandan taşıma bantları ile yakıt tedariki sağlanabilir.

Kömür ve linyit normalde birkaç günden üç ay arasında değişen, hatta çoğu durumda bir yıllık işletme için yeterli bir depolama kapasite ile açık stoklarda (kömür depoları) depolanır. Bu ilave depolama kapasitesi ulaştırma lojistiklerine bağımlılığı azalttığından yakıt tedarik güvenliğine de yardımcı olur. Depolama tesisinin kapasitesi örneğin yakıt fiyatı ve elverişliliği, şirketin stok politikası, tedarikin güvenliği ve hava koşulları gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Yakıt normalde stoklardan santrale taşıma bantları ile nakledilir. Kömür deposundan teslimatın elverişli olmadığı dönemleri kapsamak üzere LCP bünyesinde bir tampon depolama alanı (örneğin; genellikle 4'den 24 saat arasında değişen birkaç saatlik çalışma kapasiteli kömür ambarları) mevcuttur.

Yakıtın depolama ve ulaştırması toz oluşumuna neden olabilir. Bu nedenle, yakıtın kendi nemi spreylemeye mahal vermeyecek kadar yüksek olmadıkça açık stoklar ince toz partikül emisyonlarını kontrol altına almak amacıyla su ile yıkanabilir. Stokun açık yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında yakıtın istif üzerindeki veya taşıma bantları arasındaki yüksekliği kaçak toz emisyonlarını engellemeye yetecek düzeyde alçak olmalıdır. Kentsel bölgelerde, taşıma sistemleri çoğunlukla kapalı sistemlerdir ve kaçak emisyonları asgariye indirmek amacıyla atmosfer basıncının altında basınçlarla çalışırlar. Yayılan yakıt partiküllerinin toplanan havasını temizlemek üzere bez filtreler de sık kullanılır.

Belirli katı yakıtlar için, hem taşıma hem de depolama işlemleri sırasında etrafı tam çevirme artık kesin olarak belirtilmektedir. Mesela yüksek düzeyde nikel, vanadyum ve PAH'ler ile zenginleştirilmiş ince tozun taşıma ve depolama sırasında tahliye olabileceği durumlarda petrol koku durumu için bu durum söz konusudur.

##### 4.1.1.2 Katkı maddeleri ve arıtma reaktifleri

Katkı maddeleri ile kimyasal arıtma reaktifleri bir yakma tesisinde çoğunlukla çok farklı amaçlar için kullanılır. Kükürt giderme tesisleri gibi azaltım ekipmanlarında kullanılabileceği gibi nitrojen oksit azaltımına yönelik su ile atık su arıtma santrallerinde de kullanılabilirler. Örneğin, kimyasal reaktifler buhar kazanı ilave suyu için katkı maddeleri olarak kullanılabilir ve biyositler de soğutma sistemlerinde kullanılır.

Tedarikçi veya işveren bu materyallere ilişkin uygun muhafaza koşullarını belirtir. Reaktifler birlikte tepkimeye girebileceğinden uygulanan depolama ve taşıma metotları da genellikle herhangi bir reaktif materyalin ayrışma prosesini kapsayabilir. Sıvılar genellikle açık veya kapalı alanlarda varil veya tankerlerde depolanır, asit veya kimyasal dayanıklı kaplamalar da kullanılabilir. Kireç gibi ince pülverize katılar genellikle silo, varil veya torbalarda içeride izolasyonlu drenaj sistemleriyle depolanır. Kaba yapılı katı ham maddeler çoğunlukla açık depolama alanlarında depolanır. Malzemeleri taşımak için pnömatik veya mekanik (örneğin vidalı taşıyıcılar, kovalı kaldırıcılar vb.) taşıma sistemleri kullanılır.

Gazın saha içerisinde dağıtımını normalde hasar koruma sistemleri içeren boru hatları içerisinde yürütülür. Sağlık ve emniyet yönetmelikleri NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için SCR ve SNCR tesislerinde kullanılan likit veya gazlı amonyağın depolama, taşıma ve dağıtımını hususlarını yönetir.

### 4.1.2 Kömür ve linyit ön arıtımı

Dikkatli kömür seçimi hava su emisyonları ile tortuların azaltılmasında etkili bir yoldur. Ticari olarak tedarik veya ithal edilen kömür kullanılırken kömürü yakıt olarak kullanırken düşük seviyede sülfür ve küle özel önem verilmelidir. Yüksek enerji içerikli ve asgari ulaştırma ve taşıma maliyeti getiren yakıtları kullanmak önemlidir. Yangın ve patlama riski kömür ön arıtma işleminden kaynaklanan en büyük risktir.

Yakma prosesinin en uygun düzeye getirilmesine yardımcı olacak sabit bir yakıt kalitesini yakalamak için yakma tesisinin spesifikasyon ranjına bağlı olarak kömür kimi zaman harmanlanır veya karıştırılır. Bu karıştırma işlemi asıl boşaltma sırasından farklı bir sıra ile kömürün stok alanından toplanmasıyla veya kömür deposu ile ham kömür ambarları arasındaki silolarda farklı kömür tipleri harmanlanarak sağlanabilir.

#### Zayıf yakıt karışımının etkileri:

- Baca gazı damlacıklarındaki CO<sub>2</sub>-içeriği
- Hava akışı ve baca gazı artışı
- Baca gazında O<sub>2</sub> içeriği artışı
- Egzoz gazı artışı yoluyla kayıplar
- Fandan enerji tüketimi ve spesifik CO<sub>2</sub> emisyon artışı
- Verimlilik düşüşü.

#### Zayıf yakıt karışımının amacı:

- Yakma odası sıcaklıklarının düşüşü (kuru tabanlı fırın)
- Baca gazındaki birincil NO<sub>x</sub> düşüşü (daha az NH<sub>3</sub> tüketimi, daha uzun SCR çalışma süresi)
- Yakma gazındaki CO içeriğinin azalması (daha az korozyon riski)
- Uçucu külde yanmamış materyallerin azalması (uçucu külün kullanma kalitesi)
- Katalizör tüketimi artışı.

#### Zengin yakıt karışımı etkileri:

- Baca gazındaki CO<sub>2</sub> içeriği artışı
- Hava akışı ve baca gazı düşüşü
- Baca gazındaki O<sub>2</sub> içeriği düşüşü
- Egzoz gazı düşüşü nedeniyle kayıplar
- Fandan kaynaklı enerji tüketimi, ve spesifik CO<sub>2</sub> emisyonu azalması.

#### Zengin yakıt karışımının amacı:

Yakma odası sıcaklığının artışı (cüruf musluğu fırın, daha iyi kül ekstraksiyonu)  
Verimlilik artışı.

#### Kısıtlayıcı şartlar:

- Yakma gazındaki CO içeriği artmamalıdır
- Yanmamış karbon uçucu külde artış olmaması (daha yüksek korozyon veya daha yüksek kül sirkülasyonu riski)

#### Zayıf veya zengin yakıt karışımından bağımsız amaç:

- FGD'siz (veya düşük verimli) tesislere yönelik baca gazındaki SO<sub>x</sub> azalması
- Veya verimli ESP işletmesine yönelik baca gazındaki SO<sub>x</sub> artışı (kül dayanıklılığı).

Linyit, taşıma bantları vasıtasıyla (normalde bir çatı altına yerleştirilirler) linyit depolama alanından çekiçli değirmen ve iki salımlı kırıcı ile boyutlarının 80 ile 40 mm veya daha fazla küşüleceği kırıcı sahasına nakledilirler. Kırılan linyit daha sonra taşıma bantları ile buhar kazanı ambarlarına nakledilir. Normalde her buhar kazanı için altı ile sekiz ambar bulunur. Bu ambarların her biri en kötü linyit tasarım kalitesi ile nominal kapasite ile çalışan değirmenler ile birlikte buhar üretme ünitesi için tam çalışma ile dört ile sekiz arasında çalışma kapasitesine sahiptir. Bu aşamadaki linyit nemi % 45 – 70'dir, bu yüzden hava çekişleri nedeniyle linyit tozunun oluşabileceği transfer noktaları hariç olmak üzere nakil ve kırma işlemleri sırasında sadece çok az miktarda linyit tozu yayılır ancak bu yayılım sadece yerel bazda ve hatta çok sınırlı ölçüde gerçekleşir. Kömürlük, kırıcı ambarı ve linyit taşıma sistemlerinde sağlıklı çalışma koşulları temin etmek üzere örneğin nakil noktaları ile kapalı taşıma bantlarındaki hava soğurucu toz arındırma sistemlerinin kurulumu gibi gerekli tüm tedbirler alınır. Binaların içerisindeki toz konsantrasyonunu çalışma koşulları için izin verilen azami konsantrasyonun altında tutmak için hava bez filtrelerde temizlenir.

### 4.1.3 Yakıt hazırlama

#### 4.1.3.1 Pülverize taş kömürü yakımına yönelik yakıt hazırlama

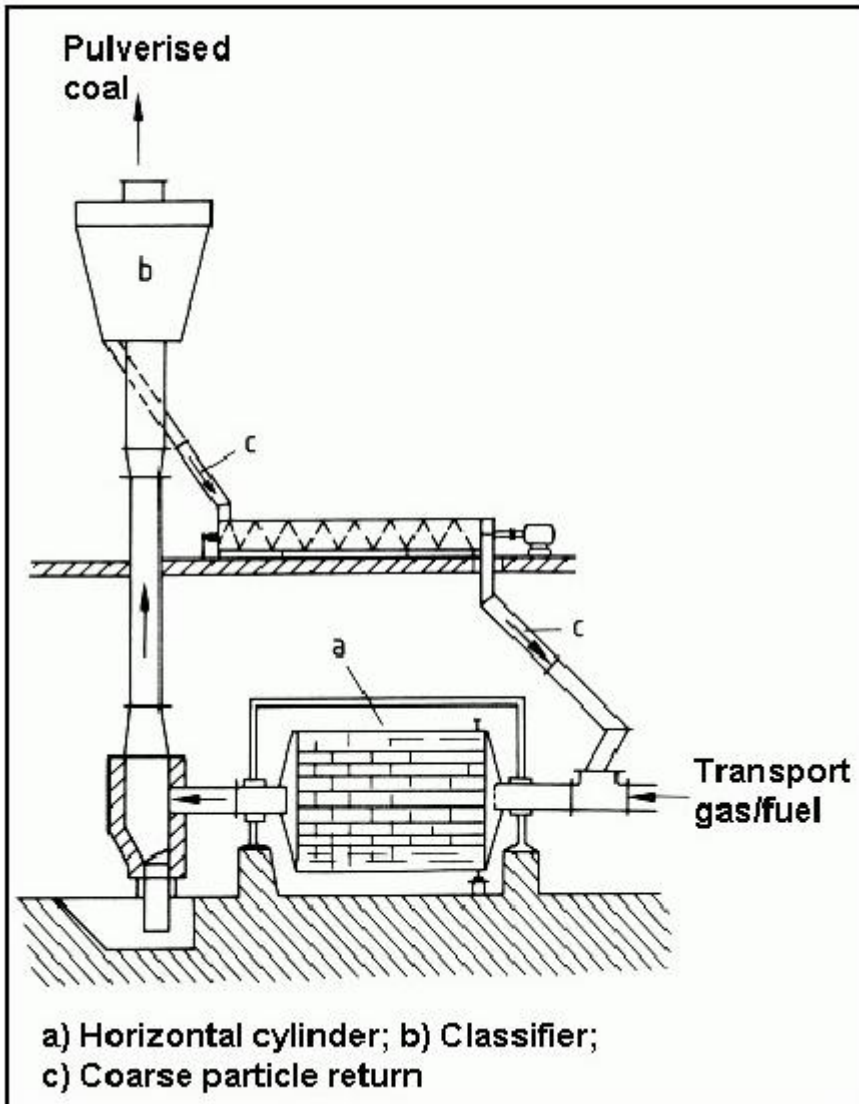
Ham kömürün normalde pülverize kömür yakma sisteminde ekonomik, emniyetli ve verimli kullanmaya uygun olarak hazırlanması gerekir. Tüm kömür pülverizasyon sistemlerinde katı yakıt kurutulur, sınıflandırılır ve sonra buhar kazanlarına nakledilir.

En uygun hale getirilmiş yakma koşullarına yönelik olarak katı yakıt için % 1 ile 2 arasında değişen azami nem muhteviyatı gereklidir. Nem içeriğini azaltmak için ham kömür kömür imalathanesi içinde kurutulabilir.

Çoğu imalathane küçük inorganik veya metalik materyalleri geri çevirir veya bunlardan olumsuz etkilenmez. Ancak daha büyük çaptaki metalik objeleri atmak ihraç etmek üzere manyetik seperatörler ham kömür taşıma sistemi üzerine tesis edilmelidir. Eğer bu yapılmazsa bu objeler taşıyıcılara veya pülverizör kömür besleme hattına zarar verebilir ve kömür akışını tıkayabilir.

Pülverize kömürün uygun boyutunun seçilmesi fırın sisteminin çalışması ve ekonomisi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Maksimum verimlilik için karbonun tam ve hızlı yanmasını ve bununla birlikte ısı eşanjör yüzeyleri üzerindeki kül ve partikül tortularını en aza indirmeyi teminen hassas öğütme gereklidir. Ancak incelik seviyesi öğütme maliyeti ile belirlenir ve sıklıkla öğütme maliyetlerine karşı işletimsel ve çevresel yararların birbiriyle çelişen gerekliliklerine tabidir. Partikül boyutu dağılımdaki değişiklikler ve bu suretle mevcut brülörlere yönelik yanma oranı NO<sub>x</sub> emisyonları üzerinde bir etkiye sahiptir. Kömür pülverizasyonu halihazırda kömür değirmenleri, bilyalı değirmenler, impakt değirmenler, fanlı değirmenler veya haddehanelerde yürütülmektedir. Bunlar aşağıda daha ayrıntılı açıklanmaktadır:

**Bilyalı değirmen:** Bu iç kısmı sert çelik levhalı yatay bir silindirden ibarettir. Yaklaşık üçte biri 30 ile 80 mm çaplı karma boyda dövülmüş çelik bilya ile doludur. Değirmen bilyalar ile silindir çevresi boyunca birbirine karışan kömür partikülleri ile birlikte döner. Kömür partikülleri bilyaların sürekli basamaklanan hareketi ve bununla birlikte bilya ve diğer partiküllerin sürtünme ve basamaklanma etkisi ile birbirlerini harekete geçirdikçe ezilip toz haline gelirler. Ortaya çıkan kömür partikülleri daha sonra sıcak hava ile kurutulur ve sınıflandırıcıya nakledilir. Burada aşırı büyük partiküller ayrılır ve değirmene tekrar yollanır. Bilyalı değirmenin yapımı basitken enerji tüketimi yüksektir ve yüke bağlı olarak çok fazla değişiklik göstermez.

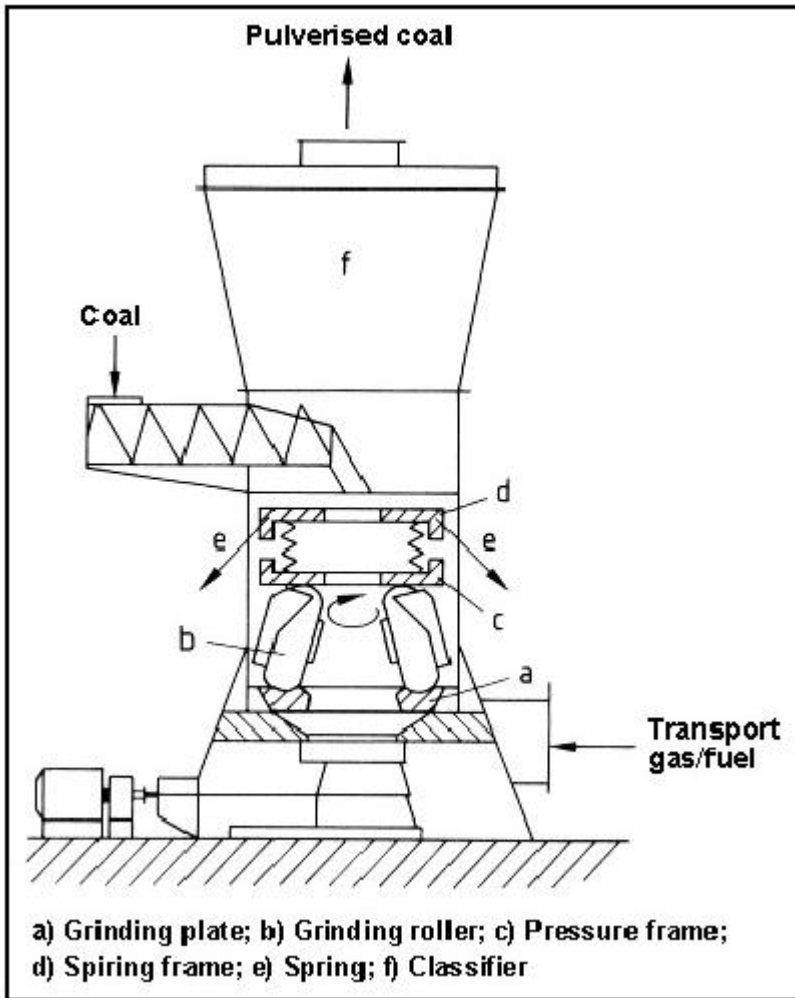


Pulverised coal: Pülverize kömür  
 Transport gas/fuel: Transport gaz/yakıt  
 Horizontal cylinder: Yatay silindir  
 Classifier: Sınıflayıcı  
 Coarse particle return: Kaba partikül iadesi

**Şekil 4.5: Bilyalı kömür değirmeni**  
 [79, Bell and Chiu, 2000]

**İmpakt değirmeni:** bu değirmen suya dayanıklı levhalar ile astarlanmış bir odanın içerisinde dönen mafsallı veya sabit çekiçe benzer dövücü dizisinden oluşur. Kömür vurma ve sürtünme ile parçalanır. Daha kaba partiküller merkezkaç kuvveti nedeniyle vurucuların çevresinde toplanırlar ince toz partiküller ise mil boyunca kaçarlar. Kömürü öğütmenin yanında impakt değirmeni nakil gazının basıncını da yükseltir. Bu ise aşırı büyük partiküllerin ayrılıp öğütme bölgesine geri dönmesini sağlayan merkezkaç tipi bir klasifikatör kullanımını getirir. Değirmen, ayırıcı ve kömür/gaz geçişlerindeki basınç rezistansını bertaraf etmek için yüksek basınç gereklidir. Değirmende kurutmak amacıyla baca gazı kullanıldığında bu gaz basıncın en yüksek olduğu fırın kısmından gelmelidir. Baca gazının SO<sub>2</sub> içermesi halinde değirmenin duvar sıcaklığı asit nem noktasının üzerinde kalmalıdır. İmpakt değirmenleri azami kapasiteleri diğer türlere göre daha az olduğundan daha az yaygın kullanılır.

**Silindir yuvalı değirmenler:** kömür burada birbirinin üzerine dönen iki yüzey arasında ezilip toz haline getirilir. Değirmen aralık çapı çevresinde eşit boşluklarla üç öğütücü silindir tesis edilmiştir. Bu öğütücü silindirler üçgen çatı yükleme sisteminde kurulmuştur. Böylelikle silindirleri dönen öğütücü levhaya yüklemek üzere silindir bilezik akslarına yay basıncı uygulanır. Halka arkını şekillendiren öğütücü halka düşük hızda çalıştırılır. Silindir çapı halka çapının % 25 – 45’idir. Besleme borusundan ham kömür verildiğinde bu kömür kısmen dövülmüş kömür ve öğütme alanında dolaşan hava ile karıştırılır. Partiküllerin boyutları küçültüldüğünde kurutulup ısıtılmış hava ile dahili klasifikatör nakledilirler. Normalden küçük partiküller yakılmak üzere brülöre taşınırken normalden büyük partiküller ise daha küçültülmek üzere öğütme alanına iade edilir.



Pulverised coal: Pülverize kömür  
Coal: Kömür  
Transport gas/fuel: Transport gaz/yakıt  
Grinding plate: Öğütme plakası  
Grinding roller: Öğütme silindiri  
Pressure frame: basınç çerçevesi  
Spring: yay  
Classifier: Sınıflayıcı

Şekil 4.6: Silindir kömür değirmeni  
[79, Bell and Chiu, 2000]

Diğer iki değirmen türü de aynı prensiple çalışır. Çanak değirmeninde, öğütücü yüzeyler silindirler ile bir kase iken bilya yuvalı değirmende öğütücü yüzeyler bilyalar ile halka yuvalarıdır. Öğütücü yüzeyler yaylar ve hidrolik silindirler yardımıyla basınç sağlar. Silindir tipi değirmenlerde 'Kömürün Öğütülebilirliğinin Hardgrove Yöntemiyle Tayini' arttıkça enerji gereksinimi de azalır. Bununla birlikte besleme hızı arttıkça ton başına elektrik tüketimi de azalır. Tipik silindir değirmenleri kömür yumrularını 5 cm çapa kadar normalde %70 200 gözenekli partikül (74  $\mu\text{m}$ ) içerecek kadar azaltırlar [79, Bell and Chiu, 2000].

Kömür kalitesi	Silindir değirmen	Kase değir.	Bilyalı değirmen
Düşük uçuculu antrasit			■
yüksek uçuculu antrasit	■	■	■
Düşük uçuculu taş kömürü	■	■	■
Yüksek uçuculu taş kömürü	■	■	■

Tablo 4.1: Farklı kalitede kömür kullanan değirmen türleri  
[58, Eurelectric, 2001]

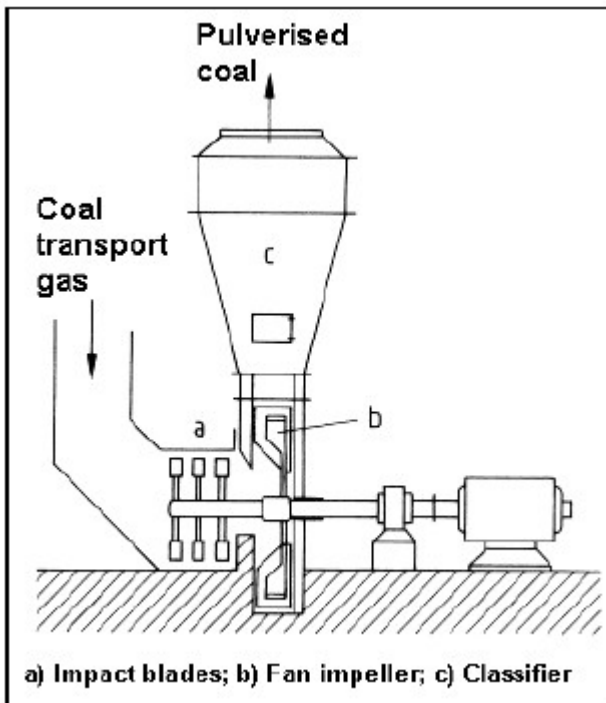
Doğrudan ateşlemeli sistem veya depolama (dolaylı) sistem de dahil olmak üzere çeşitli kömür besleme ve ateşleme metotları geliştirilmiştir. Doğrudan ateşleme sistemi ile pülverize kömür nakil boruları vasıtasıyla değirmenden gaz veya hava akışı ile taşınır ve brülörlere dağıtılır. Dolaylı ateşleme sistemi ile pülverize kömür yüksek akış fanı ile donatılmış bir nakil çemberine tahliye edilir. Önce kaba partiküllerin yeniden değirmene yollandığı bir klasifikatörden geçer ve sonra depolama ambarını besleyen siklonlarda toplanır.



#### 4.1.3.2 Pülverize linyit yakımı için yakıt hazırlama

Linyit, kapalı besleme hatları vasıtasıyla varillerden linyit değirmenlerine aktarılır. Besleme hatları kullanılan yerel yakıt türüne uygun olarak özel tasarlanmıştır (örneğin: fan dövücü kasnak tipi). Besleme hatları üç amacı yerine getirir: yakıtı toz haline getirir, kurutur ve yakma odasına götürür. Linyit pülverizasyonu sirkülasyon kanalı vasıtasıyla buhar kazanından çıkarılan sıcak baca gazlarının varlığıyla desteklenir. Linyit partikülleri tipik olarak 90  $\mu\text{m}$ 'dan daha küçük boyuta getirilir. Baca gazı sıcaklığı linyit nem içeriğini % 45 ile 70'den, en uygun yakma koşulları için gerekli seviye olan % 10 ile 20'ye düşürür. Sonuç olarak linyit tozu, baca gazı ve nem karışımı buhar kazanı brülörlerine verilir. Bu karışım değirmenlerde eklendiğinde hava veya soğuk baca gazı da ihtiva edebilir.

Fanlı değirmen: burada bir fan pervanesi veya fan pervanesinin önüne yerleştirilmiş vurucu pervane kanatları aynı veya farklı mil üzerinde kullanılır. Fan şiddetli karıştırma işlemini artırır ve partikül ve gazların bağıl ve mutlak ivmesini yükseltir. Karıştırma hem kömür partiküllerinin pervane çevresine düzenli dağılımına hem de yüksek nem muhteviyatlı kömürün kurutulmasına katkıda bulunur. Yüksek nem seviyeleri ihtiva eden linyit kabaca dövülebilir [79, Bell and Chiu, 2000].



Pulverised coal: Pülverize kömür  
Coal transport gas: kömür transport gazı  
Impact blades: İmpakt pervaneleri  
Fan impeller: Fan pervanesi  
Classifier: Sınıflayıcı

Şekil 4.7: Linyit haddeleme için fanlı değirmen [79, Bell and Chiu, 2000]

Son derece düşük ısıtma değeri ile yüksek nem içeriği barındıran linyit yakıt olarak kullanıldığında linyit neminin daha verimli bir şekilde tahliye edilmesi için yakma odasına alınmadan önce ilave bir aşama daha gereklidir. Bu amaçla değirmenlerden sonra, linyit ve nem bakımından zengin bir akım kuru linyit partiküllerinin ayrılıp daha sonra düşük buhar kazanı brülörlerine yollanacağı özel olarak tasarlanmış elektrostatik presipitatörlere yönlendirilirler. Linyit elektrostatik presipitatörlerinden baca gazı ve nem karışımı indükleme fanları vasıtasıyla bacaya veya FGD'ye yönlendirilirler.



90'lı yıllarda inşa edilen kömür ve linyitle çalışan yoğunlaşmalı yeni elektrik santrallerinin çoğu 2.3'lük net ısı oranına ( $e = \% 43$ ) erişmişlerdir. Santralin enerji üretim verimliliğini en üst düzeye getirmek amacıyla mümkün olan en düşük kondansatör basınç ve sıcaklığına erişmek üzere mümkün mertebe doğrudan tek geçişli soğutma kullanılır.

Günümüzün yoğunlaşmalı enerji santrali üniteleri tipik olarak 300 ile 900 MW<sub>el</sub> arasında değişen bir elektrik çıkışı ile oldukça büyüktürler. Böylesine büyük santrallerde yakıt pülverize kömür brülörlerinde yakılır. Daha büyük akışkan yatak yakım (FBC) buhar kazanları mevcut olduğundan daha küçük yoğunlaşmalı santrallerde de kullanılmaktadırlar. Şu an için işler halde bulunan en büyük yoğunlaşmalı FBC enerji üretim ünitesi 300 MW<sub>el</sub>, enerji çıkışına sahip olmakla birlikte 600 MW<sub>e</sub>lik bir üniteye ilişkin konsept çalışmaları da mevcuttur. NO<sub>x</sub> emisyonlarını kontrol altına almak amacıyla özel düşük NO<sub>x</sub> brülörler ve/veya diğer birincil NO<sub>x</sub> azaltım teknikleri kullanılmaktadır. Bu tedbirlerin yeterli olmaması durumunda üre veya amonyaklı selektif katalik azaltım (SCR) veya selektik katalitik olmayan azaltım (SNCR) baca gazından kaynaklanan NO<sub>x</sub> ihracında kullanılabilir.

Yoğunlaşmalı elektrik santrallerinde baca gazı kükürtünün giderilmesi buhar jeneratörü ile baca gazı bacası arasına oturtulan gaz yıkayıcılar ile gerçekleştirilir. Akışkan yatak yakma tekniğinin kullanılması durumunda, sıvılaştırılmış yatağın kendisinde kükürt giderme en iyi şekilde sağlanır. Örneğin yatağa kalsiyum karbonat ilave edilerek hiç boru çıkışı kükürt giderme tesisine ihtiyaç kalmaz.

Konvansiyonel yoğunlaşmalı elektrik santrallerinde uygulanan en eski çevre koruma tedbiri baca gazlarından kül partiküllerinin ihracıdır. Bunu sağlamada en bilinen metot ise elektrostatik presipitatörlerdir (ESP). Bez filtreli ek odacıklıklar (baghouses) da sıklıkla kullanılır.

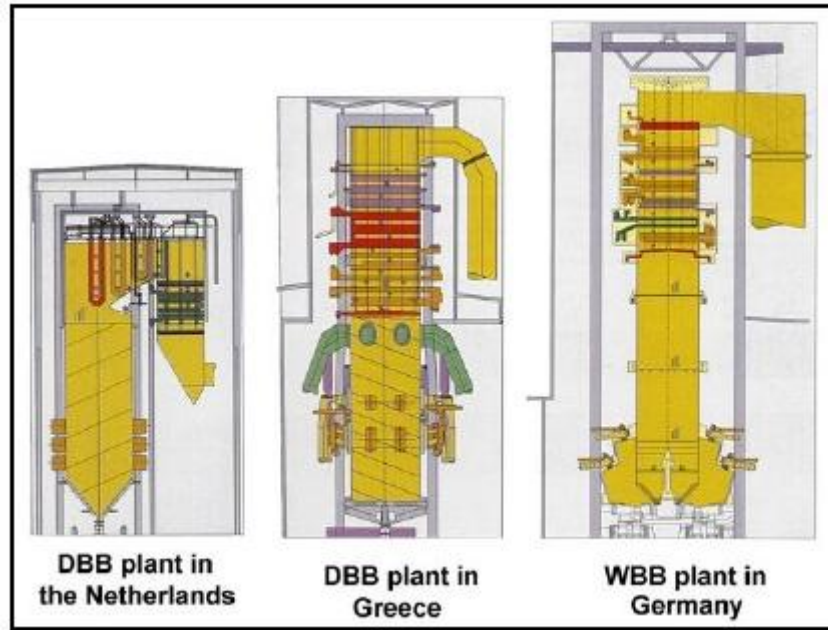
#### 4.1.4.1.1 Kuru tabanlı buhar kazanı (DBB)

Kuru tabanlı buhar kazanları (DBB) veya kuru tabanlı fırınlar yakma duvarları veya ısı eşanjörleri yakınındaki külün erime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda çalıştırılmalıdır. Alevin merkezinde sıcaklıklar çoğunlukla kül partiküllerinin erime noktasından yüksektir. Külün % 10 ile 20'si kuru tabana aktarılır ve geri kalan % 80 – 90 baca gazı ile nakledilip presipitatörlerde atılır.

DBB tekniği dünyada tesis edilmiş en yüksek kömür yakma kapasitesine sahiptir. Dünyada bu tekniği kullana 950 MW<sub>e</sub>'ye kadar çıkan tek ünite kapasiteli yeni santraller Avrupa'da linyit yakma işlemine yönelik olarak faaliyettedir. Birleşik Devletler ile Japonya'da taş kömürü yakımına yönelik daha yüksek kapasiteli üniteler de inşa edilmiştir.

#### 4.1.4.1.2 Islak tabanlı buhar kazanı (WBB)

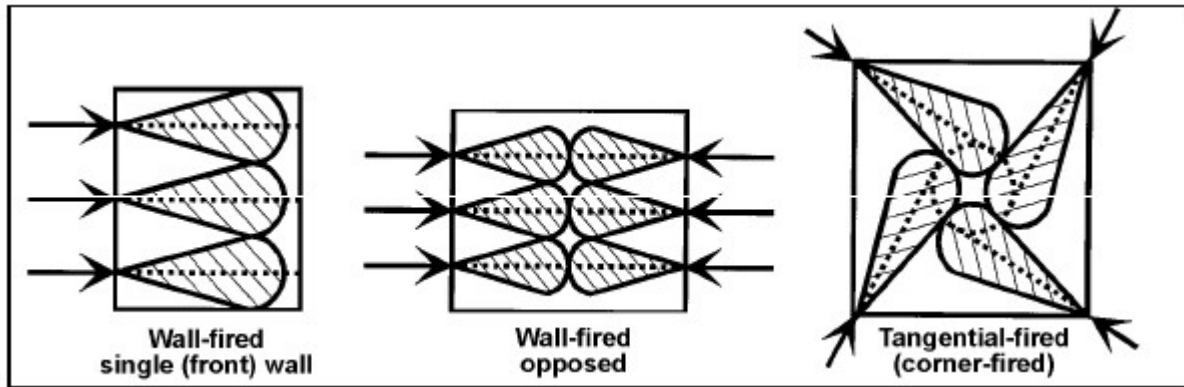
Islak tabanlı buhar kazanları (WBB) ile likit kül ihraçlı cüruf (veya granül) fırınları kül erime noktasından (1400 °C) yüksek yakma sıcaklıklarıyla kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu fırınlar erişim kül sıcaklığına ve yüksek sıcaklıktaki kimyasal saldırılara dayanabilmek için özel seramik iç kaplamaya ihtiyaç duyarlar. Çok miktarda kül duvarlara nakledilir ve duvarlardan aşağıya tabandaki çıkıştan sıvı formda akarlar. Bu tür yakma sistemindeki uçucu kül yan ürün olarak uçucu kül yerine buhar kazanı cürufu üretmek üzere yakma odasında yeniden çevrime sokulabilir. Külün bileşimi kömürün bileşimine bağlıdır. Islak tabanlı buhar kazanı esasen uçucu miktarının nispeten düşük olduğu taş kömürü (antrasit) yakımında kullanılır.



Şekil 4.9: AB'de faaliyet gösteren kuru ve yaş tabanlı buhar kazanı örnekleri [80, Siemens, 2000]

#### 4.1.4.1.3 Ateşleme sistemleri

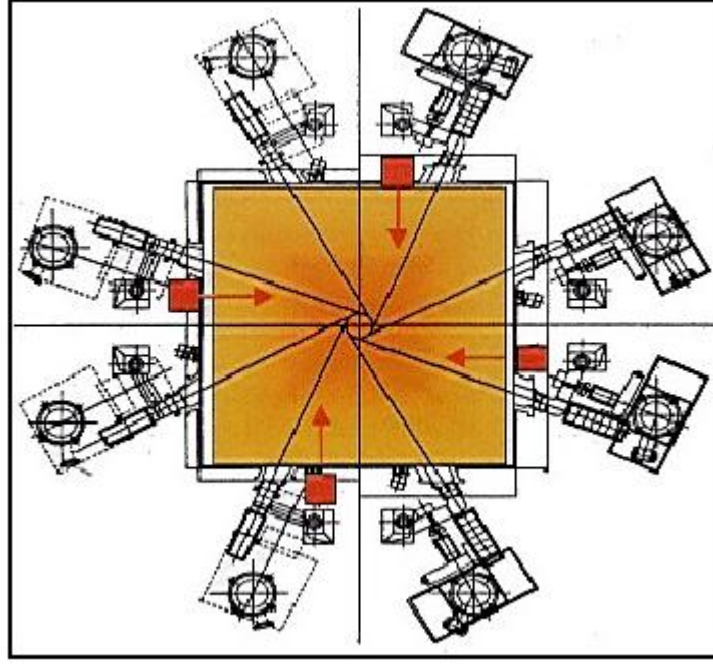
Kömür brülörlerinde, yakıt – gaz karışımı püskürtücü başlıklar vasıtasıyla yakma odalarına bastırılır ve ilave yakma havası ile yakılırlar. Dengesiz yakma koşulları ve kapatma için gerekli ise başlatma sırasında ayrı ateşleme/pilot brülörler kullanılır. Bu brülörler çoğu durumda fuel oil ile beslenir ancak gaz veya iyice çekilmiş kuru linyit de kullanılabilirler. Brülörler dengesiz yakma koşulları sırasında gerekli ise yeniden ateşlemeyi sağlamak amacıyla kullanılırlar. Kömür ve linyit buhar kazanları aşağıdaki ateşleme sistemlerini kullanırlar:



Şekil 4.10: Farklı kömür brülör konfigürasyonları (ana sistemler uygulanmıştır) [32, Rentz, et al., 1999]

**Set veya ön cephe ateşlemeli sistemler:** Yatay set ateşlemeli sistemlerde yakıt yakma havası ile karıştırılır. Brülörler sıra halinde ya sadece ön sete ya da her iki arka ve ön sete yerleştirilirler. Bunlardan ikincisine 'karşıt ateşleme' denir. Kömür ateşlendiğinde sıcak yakma ürünleri dengeli bir yakma işlemi için gerekli tutuşma enerjisini sağlarlar.

**Teğetsel veya köşe ateşlemeli sistemler:** Teğetsel ateşlemeli sistemleri tek alev mahfazası konseptine dayanır. Hem yakıt hem de yakma havası fırının merkezindeki küçük çembere teğet bir çizgi boyunca dikey fırın köşe windbox'larından fırlatılır. Bazı durumlarda windbox püskürtme başlıkları ısıtılan veya yeniden ısıtılan buharı sistem tasarım sıcaklığında tutmak için fırın çıkış gazı sıcaklığını kontrol üzere otomatik olarak yana yaslanabilir.



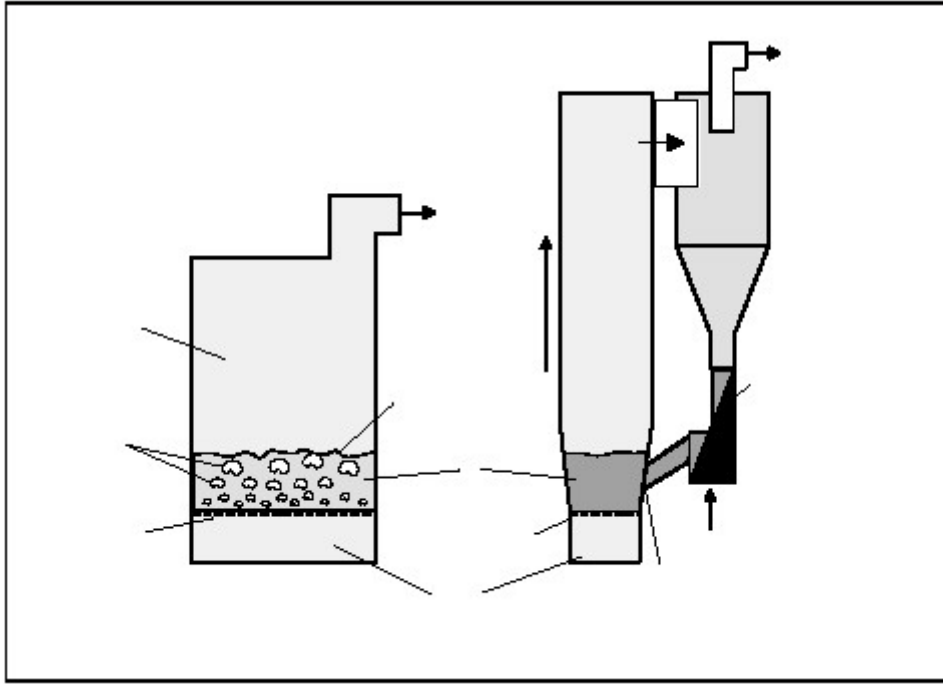
**Şekil 4.11: Teğetsel ateşlemeli yakma odası**  
[137, Elsen, et al., 2001]

**Dikey ateşlemeli sistemler:** İlk pülverize kömür sistemleri dikey veya kavis denilen bir konfigürasyona sahiptiler. Artık % 8 ile 15 (kuru bazlı) uçucu maddeli kömürleri ateşlemek için kullanılmaktadırlar. Ateşleme sistemi merkeze tahliye olan sıcak gazlarla birlikte alt fırında uzun ve spiral bir alev oluştururlar.

#### 4.1.4.2 Akışkan yatak yakma (FBC)

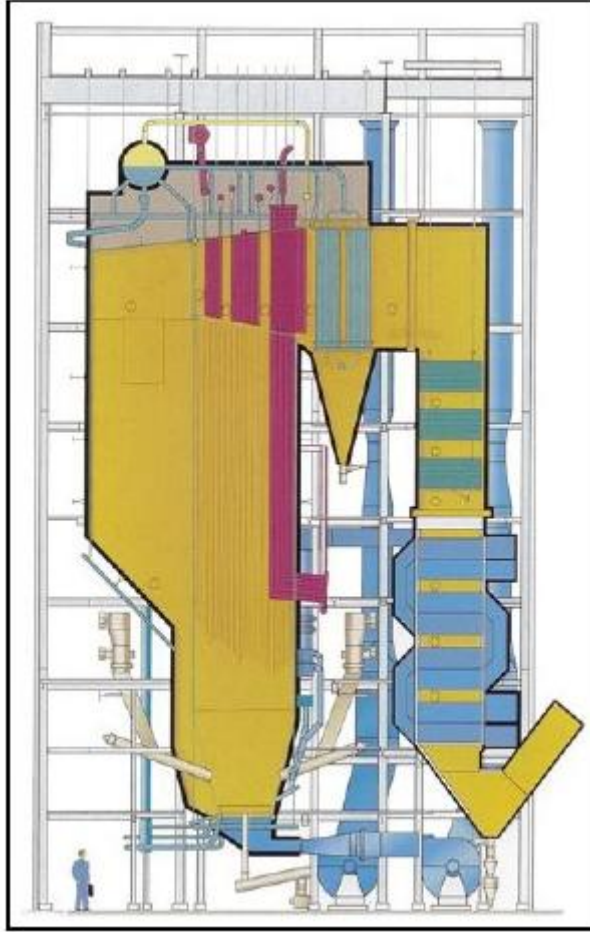
Akışkan yatak yakma, yatağın sıvılaştırılması ile yakıcı havanın akışkan yatak buhar kazanının tabanından enjekte edildiği hallerde yakıtın sıcak ve çalkantılı bir enjekte edilmesi ile gerçekleştirilir. Akışkan yatak (FBC) buhar kazanları kömür ve linyit için elverişli olduğundan özellikle endüstriyel yakma tesisi olarak da kullanılmaktadır. Kum normalde başlangıçta yatak malzemesi olarak kullanılır. Yakıt (yatak materyalinin % 1 ile 3'ü), kül ve sorbentler de dahil olmak üzere partikül yatağı bir fırında yukarıya doğru akan hava ile sıvılaştırılır ve yatak sıcaklığı yakıtın yanmasına imkan sağlar. Yaklaşık 750 - 950 °C yakma sıcaklıkları ile uzun ikamet süresi nedeniyle yakıtın yanarak tükenmesi çok yüksektir ve bu nedenle yakma ürünleri ile ilgili emisyonlar nispeten düşüktür.

Akışkan yatak tekniği kül bakımından zengin olan kömür yakılmasında kullanılır. Halihazırda iki farklı türde akışkan yatak buhar kazanı mevcuttur: kabarcıklı akışkan yatak yakma (BFBC) ve dolaşimli akışkan yatak yakma (CFBC).



**Şekil 4.12: Kabarcıklı akışkan yatak buhar kazanı ile dolaşimli akışkan yatak buhar kazanı örnekleri [59, Finnish LCP WG, 2000]**

Sonraki durumda yani CFBC’de kısmen bir ızgara vasıtasıyla enjekte edilen birincil hava ve kısmen de ızgaranın birkaç metre üzerindeki ikincil hava olarak hava fırının taban kısmına üflenir. Havanın hızı yatak katı maddelerini taşıyacak ve bu suretle bütün yakma odasını doldurmaya yetecek kadar yüksektir. Sıcak yakma gazları partikülleri yakma sistemlerinin üst kısmına ve ayrıştırılıp ana yakma odasının tabanına tekrar yollandıkları işe dayanıklı siklonlara taşınırlar. SO<sub>2</sub> ihracını temin etmek üzere, kırılan kalker veya beyaz mermerler yatağa ilave edilir. Dolaşimli yatak sistemleri potansiyel tepkime süresini ve gaz karışım seviyesini yükseltirler ve bu nedenle genellikle daha verimli yakma ve sülfür tespitine yol açarlar.



**Şekil 4.13: Düşük kükürtlü kömür yakmaya yönelik CFBC buhar kazanı**  
[83, Foster Wheeler, 1995]

Isı aktarım düzeyi iki akışkan yatak yakma tekniği arasındaki farkı ortaya koyar. Kömür yatakta piroliz edilebilen yalnızca düşük miktarda uçucu içerir. Kömürün yaklaşık % 60 – 80'i sadece yakılabilen artıklardan (char) oluşur. Şayet bu pay adiyabatik kabarcıklı yatakta kalmış olsaydı sıvılaştırma ve yakma işlemine daha fazla su sağlanmadıkça orada birikirdi. Çok kısa süreli birikme dahi yakıt sıcaklığı kontrolünü kaybedeceğinden bu birikmeye müsaade edilemez. Bu nedenle dolaşimli yatak (CFBC) ana yakıt olarak kömür için  $MW_{th}$  üstünde en makul akışkan yatak yakma teknolojisidir. Yataktaki kömür artığını yakma zorunluluğu kabarcıklı yatakta adiyabatik yakma prosesini uygulanamaz hale getirir. Yatak enerji dengesi önemli miktarda yakma ısısının adiyabatik kabarcıklı yatak dışına tahliye olmasını gerektirir ve bu yatak içerisinde tahliye olan enerji sadece yakıttaki suyun buharlaşması ve piroliz amacıyla kullanılabilir.

CFB fırının taban kısmında bir kabarcıklı akışkan yatak içerir. Yatak üzerinde askıda kalma yoğunluğu yatak malzemesi fırın duvarları boyunca fırında yeniden çevrime sokulduğundan fırın yüksekliği ile birlikte düşer. Fırının çıkışındaki askıda kalma yoğunluğu tipik olarak 5 - 30  $kg/m^3$ 'dir. Bu dolaşıma giren yüksek atıl materyal payı fırın genelindeki sıcaklık profilini yumuşatır. Soğutucu yüzeyler bu nedenle fırın içerisine veya yatak materyali sirkülasyon döngüsü içerisine rahatça yerleştirilebilir. Yoğun süspansiyon ısı aktarımı baca gazının radyasyon özelliklerine bağlı olmadığından fırında çok yumuşak ısı aktarımı tüm ısı aktarım yüzeylerine ulaştırılabilir.

Akışkan yatak yakımı öteki yakma tekniklerinden çok farklı değildir. Kabarcıklı akışkan yatak çoğu yönden ızgara ateşleme ile benzerlik gösterir. Yakma işleminin temel faydası daha iyi sıcaklık kontrolüdür. Dolaşimli akışkan yatak yakma pülverize yakıt yakma veya brülör yakma işlemine benzer. Tek fark yüksek sıcaklıkta alev olmaksızın yakıtın ateşlenmesini sağlayan fırının kapsamlı sıcaklık kontrolüdür.

### Kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatak tekniklerinin karşılaştırılması

Sıvılaştırılmış yatağın sıcaklığı tipik olarak 800 ile 900 °C arasında değişir. Alt sınır yakıtların yakma reaktivitesinden gelirken üst sınır ise yakıt külü katılmasının başlangıç noktasından kaynaklanır.

BFBC’de, yakıt yatağa verilir. Biofuel’ler sıcak yatak ile temas eder etmez hemen pirolize girer. Yanma havasının % 30 – 40’ı sıvılaştırma havası olarak kullanılırken geri kalanı ise kabarcıklı yatak üzerindeki fribord adı verilen yerde piroliz gazlarının yanması için kullanılır. En ince partiküllerin çoğu da fribordda yanar. Friboarddaki yakma sıcaklığı 1100 – 1200 °C’ye kadar ve hatta kimi yerlerde daha da fazla olabilir. Kabarcıklı yatak esasen yakıtın adiyabatik yakıcısı olarak çalışır ve düşük yakma sıcaklığı birincil yakma zonundaki sitokiyometrik olmayan hava oranının kullanılmasının bir sonucudur.

BFBC fırınlarının fribord’unda diğer brülörler yerleştirilip yatak ile eş zamanlı olarak çalıştırılabilirler. Örneğin gaz, petrol ve kömür brülörleri kullanılmıştır.

Mevcut CFBC tesislerinden elde edilen deneyimler göstermiştir ki siklon verimliliği tüm CFBC sisteminin düzgün çalışması açısından son derece önemli bir parametredir. Siklon verimliliği karbon tükenmesi kireçtaşı tüketimi, SO<sub>2</sub> and CO emisyonları ve sıcaklık profili üzerinde önemli etkilere sahiptir. Siklon verimliliği esasen düşük reaktif yakıtlar ve iyi öğütülmüş yakıtlar (kömür çamuru) için önemlidir; çünkü siklon verimliliği ne kadar iyi olursa artık partikülleri de fırında o kadar uzun süre tutulur ve siklon yoluyla daha az fırın envanteri kaybolur.

Siklon verimliliğindeki artış katı siklon sirkülasyon oranını büyük ölçüde artırarak fırında sabit bir ısı aktarımı sağlarlar. Bu nedenle Geniş yakıt ve yük ranjına yönelik olarak düşük NO<sub>x</sub> ve düşük SO<sub>x</sub> emisyonları için en elverişli koşullara erişilebilir. En son siklon modifikasyonu siklon giriş kanalının aşağıya doğru kavis alan şekli ve optimize düzenini kapsar ve de ileri düzey vorteks finder tasarımını içine alır. Vorteksin eksentrik düzeni operatörler için kireçtaşı ve kum maliyetlerinde büyük tasarrufa yol açan düşük kül nitelikli esmer kömürün ana yakıt olduğu farklı CFBC tesislerine uyarlanmıştır.

Küçük partikül envanterinin faydası önerildiği üzere gelişmiş karbon tüketimi ve daha az kireçtaşı kullanımını ancak daha az eroziv olan küçük kül partikülleri nedeniyle fırın içerisinde daha az erozyon oluşur.

Akışkan yatak buhar kazanlarında kullanılmak üzere yakıtın ezilip toz haline getirilmesi veya kurutulması gerekmez. Yatağa verilmesini kolaylaştırmak için yakıtın mekanik olarak parçalanması kafidir. Akışkan yataklar yatağın dengeleyici etkisi nedeniyle oldukça geniş partikül boyutu dağılımı ile yüksek nem içeriğini tolere edebilirler. Bazı boyut sınırlamaları döner yakıt besleme hatları ile bağlantılıdır. Öte yandan orta ölçüde nem ihtiva ettiklerinde reaktif yakıtların ön arıtmadan geçmesi daha güvenlidir. Patlayıcı toz bileşimi ve yakıt işleme ve naklinde meydana gelebilecek yangın riskleri normal şartlarda yakıt nem içeriğinin %40’ın üzerinde tutulması ile kontrol edilir.

Isı transfer yüzeyleri azalan atmosferli sıvılaştırılmış yatağa yerleştirilmeleri halinde korozyona uğrayıp aşınabilir. En ağır aşınma azalan ve oksitlenen atmosferin sürekli değiştiği durumlarda meydana gelir. Bu nedenle kabarcıklı yataktaki buhar kazanı tüpleri alev geçirmez seramik kaplama ile korunur. Fırının membran duvarları gibi oksitlenen alanlarda yer alan dikey ısı transfer yüzeyleri yatak materyallerinden kaynaklanan aşınmaya dayanmak için en uygundur.

Izgara ateşleme ile akışkan yatak ateşleme arasında yapılacak seçim külün niteliği ve yakıttaki fiziksel katılaşmazlığın miktarına bağlıdır. Düşük kül erime noktasına sahip yakıtlar sıvılaştırma çabucak bozulacağından akışkan yatakta yakılamaz. Evsel atıklardaki metal partikülleri gibi ağır fiziksel bozukluklar hava dağıtım plakası üzerinde battıkları, sıvılaştırmayı bozdukları ve fırından atılmaları zor olduğundan sıvılaştırılamaz. Ancak son zamanlarda bu yakıtlar ile yatağı işler halde tutmaya yönelik yeni çözümler geliştirilmiş olup halihazırda başarıyla uygulamaya konulmaktadır.



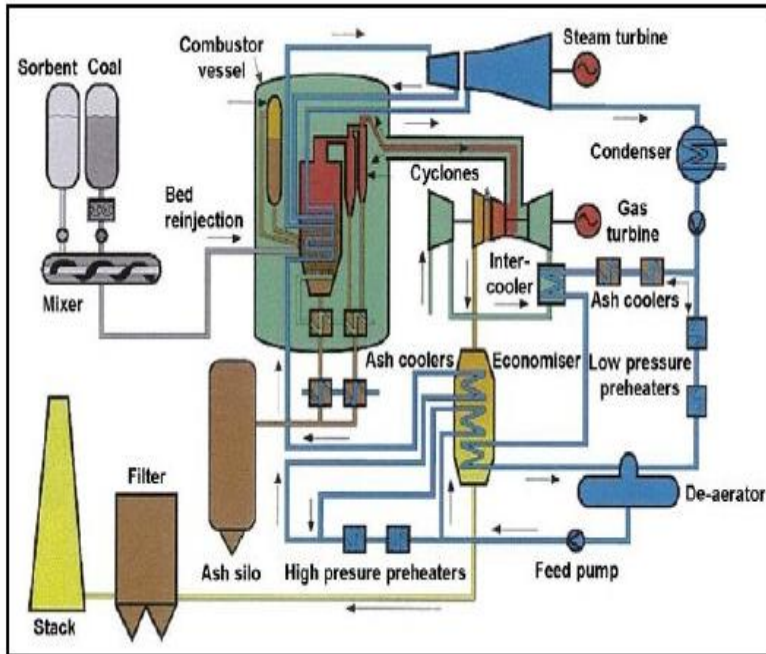
Çevresel hususlar için içinde olduğu sürece, FBC sistemleri kireçtaşı enjeksiyonu ile SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilir ve düşük yakma sıcaklıkları nedeniyle nispeten düşük termal NO<sub>x</sub> oluşumu sağlayabilir. Bu ileri yakma tekniğinin günümüzde yoğun bir şekilde daha fazla geliştiriliyor olmasının nedenlerinden biri de budur. Bununla birlikte, bu buhar kazanları yakıt spesifikasyonlarına duyarlı olmadıklarından çok farklı yakıt türleri aynı tesiste birlikte yakılabilir.

Şu an için, akışkan yatak buhar kazanları İsveç, Birleşik Krallık, Fransa, Finlandiya, Almanya, Polonya ve Birleşik Devletler ve son zamanlarda da Asya'da işletilmektedir. Bugün 400'den fazla ünite çalışmakta ve elverişlilik düzeyleri de yüksektir.

#### 4.1.4.3 Basınçlı akışkan yatak yakma işlemi

Atmosferik akışkan yatak yakma sistemleri ile edinilen deneyimler baz alınarak basınçlı sıvılaştırılmış yakmanın (PFBC) geliştirilmesi 1970'li yılların ortalarında başlamıştır. PFBC sistemleri aynı randıman ile daha küçük tesis avantajını sunarlar ki böylelikle yatırım maliyetleri azalır ve bu durum ikincil emisyon azaltım tedbirlerine gerek olmaksızın mukayesen daha düşük emisyonlar ve geleneksel kömür ile çalışan tesisler ile karşılaştırılabilecek ölçüde veya onlardan biraz daha yüksek termal verimliliğe yol açar. Düşük yakma sıcaklığı nedeniyle termal NO<sub>x</sub> oluşmaz ve yakıt NO<sub>x</sub>'u gaz türbininden önce veya friborda amonyak verilerek yakma işlemi sırasında azaltılabilir. Atmosferik FBC durumunda olduğu gibi, kabarcıklı ile dolaşimli yatak sistemleri arasında ayırım yapmak mümkündür. Halen 50 MW<sub>e</sub> termal kapasiteyi aşan tüm tesisler kabarcıklı yatak sistemleridir ancak dolaşimli sistemlerin gelişimi için çalışmalar devam etmekte olup 80 MW<sub>e</sub> ve 65 MW<sub>e</sub>/30 MW<sub>th</sub>, kapasiteli ilk iki demonstrasyon tesisi 1997 yılında çalışmaya başlamıştır.

PFBC sisteminin ana parçaları: kömür hazırlama ve taşıma bölümü; basınçlı kabarcıklı veya akışkan yatak buhar kazanı; sıcak gaz temizleme bölümü, seramik mum filtre veya siklonlar; gaz türbini; ve buhar türbininin buhar/su devresidir. Şekil 4.14'de kabarcıklı yatak PFBC sisteminin şematik çizimi gösterilmiştir.



- Steam turbine: Buhar türbini
- Sorbent: sorbent
- Coal: kömür
- Combustor vessel: yakma veznesi
- Cyclones: Siklonlar
- Ash cooler: Kül soğutucu
- Gas turbine: Gaz türbini
- Ash silo: Kül silosu
- Filter: filtre
- Stack: baca
- Economiser: Ekonomizer
- Feed pump: Besleme pompası
- Low pressure preheaters: düşük basınç ön ısıtıcıları

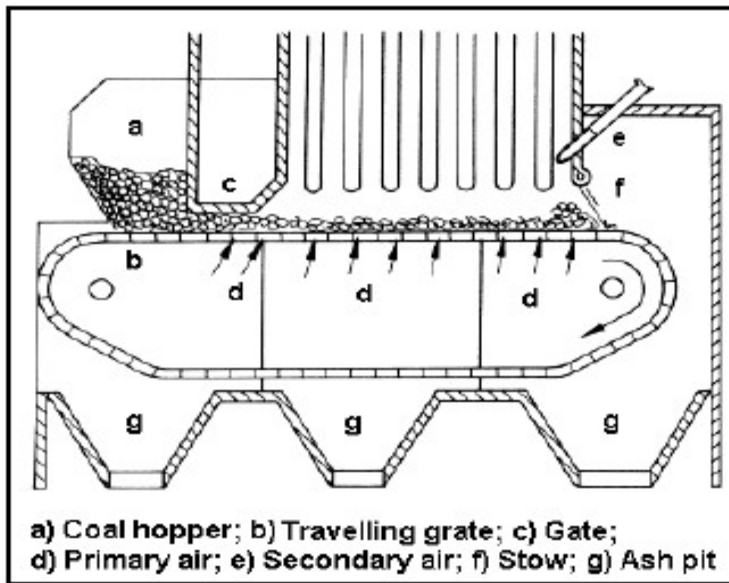
Şekil 4.14: Kabarcıklı yatak PFBC sisteminin şematik resmi [32, Rentz, et al., 1999]

Yakma öncesinde kömür parçalanır ve sonra kireçtaşı (dolomit) ile karıştırılır. Bir fabrika hariç bugüne dek inşa edilmiş olan tüm tesisler yakıt olarak taşkömürü kullanmaktadır. Karışım bir pnömatik taşıma sistemi veya çamur besleme pompası vasıtasıyla beslenir ve daha sonra bir dizi besleme pompasından yakıcıya enjekte edilir. Yanma havası öncelikle uygun bir gaz türbin kompresörü kullanılarak basınçlanır ve, sıcak yakma gazları merkezi geçit yoluyla türbine dönerken, eşeksenli bir kanalın dış çemberi vasıtasıyla yakıcı ket vurma kanalına rotalanır. Yakma işlemi 850 °C ile 900 °C arasında değişen sıcaklıkta ve yaklaşık 1.6 MPa basınçla basınçlı kap içerisinde gerçekleşir. Yakma odası sabit bir yakma sıcaklığına olanak sağlayan ve buhar türbininde kullanılacak yüksek basınçlı buhar üreten batırılmış ısı eşanjörleri ile donatılmıştır. Sıcak baca gazları öncelikle seramik mum filtreler veya siklonlar kullanılarak temizlenir ve sonra da elektrik üretecek gaz türbininde değerlendirilir. Türbin egzoz gazları ısı geri kazanım buhar jeneratörüne verilir ve buhar kazanı besleme suyu ön ısıtma ile buhar üretimi için kullanılır. Buhar türbini tesisin ürettiği toplam elektriğin yaklaşık %80'ini üretir.

Halen, PFBC sistemleri %45'e kadar termal verimliliğe erişebilir. Bununla birlikte akışkan yatak buhar kazanındaki yakma sıcaklığı ile tayin edilen nispeten düşük gaz türbini giriş sıcaklıkları nedeniyle gelişmeler sınırlıdır. Örneğin doğal gaz veya fuel oil kullanan ilave ateşleme ile veyahut gaz türbinindeki yakıt gazının kullanımı ve yakımı öncesinde besleme kömürünün kısmi gazlaştırma işlemi yoluyla gaz türbin giriş sıcaklığını artıracak çeşitli işlem şemaları önerilmiş olup halen incelenmektedir. Bu proses konfigürasyonları epeyce yüksek verimlilik değerleri vermekte ancak henüz inşa edilmiş herhangi bir pilot ve demonstrasyon tesisi bulunmamaktadır. Daha önceden de belirtildiği gibi içsel emisyon kontrolü PFBC teknolojisinin ana özelliklerinden biridir [32, Rentz, et al., 1999].

#### 4.1.4.4 Izgara ateşleme (GF)

Izgara veya dağıtıcı-yakıcı yakma sistemleri sistem zemininden geçen hava ile birlikte katı yakıtları ızgara veya stoker sistemi üzerinde yakar. İşlenmemiş kaba katı yakıtların çoğu bu sistem üzerinde yakılabilir. Uygulamalar göstermektedir ki çok ince kömür partikülleri de dahil olmak üzere kömür genellikle 30 mm aşağıdan karma boyutlu dereceleme olarak beslenebilir. Izgara yakma sistemleri yakma odasında sabit bir yakıt rezervuarı ile birlikte çalışır ancak fanlar çalıştırılmaksızın kömür ızgara üzerinde bırakılabilir ve acil buhar ihtiyacı durumunda çabucak yeniden tutuşturulabilir. Şayet hava kaynağında herhangi bir sorun oluşması halinde bypass operasyonu gereklidir. Izgara ateşleme çoğunlukla endüstriyel ve yerel ısıtma tesislerine yönelik olarak uygulanan kömürle çalışan küçük buhar kazanları için halen uygulanan bir teknolojidir.

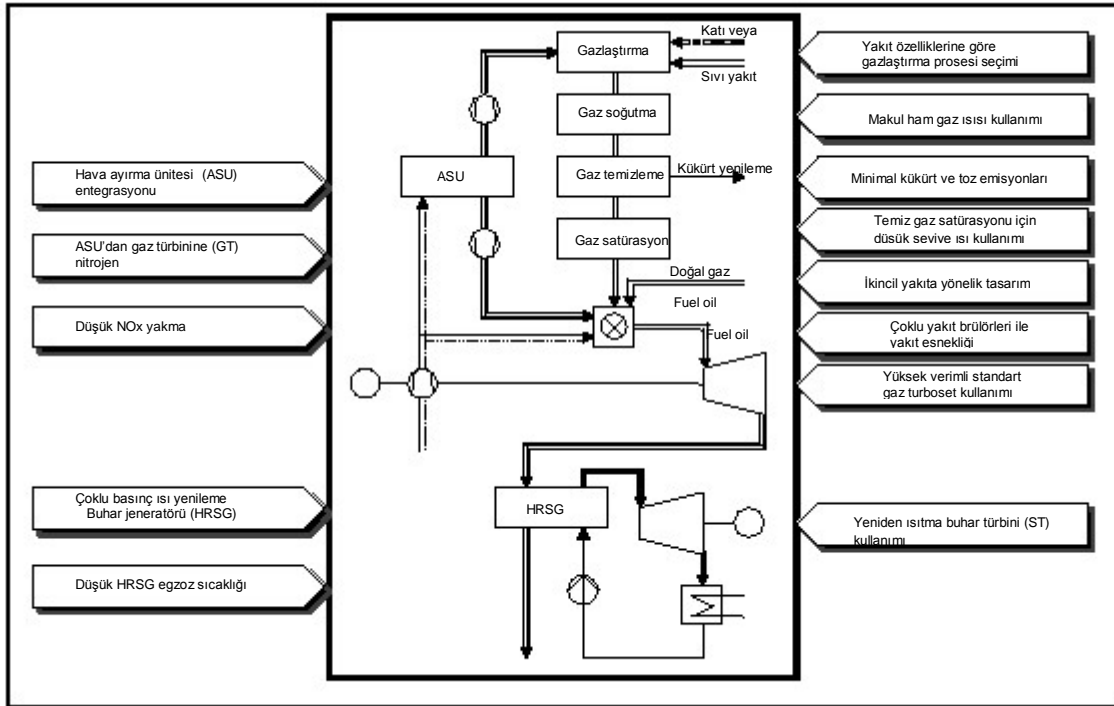


Coal hopper: Kömür haznesi  
Travelling grate: gezici ızgara  
Gate: Kapı  
Primary air: Birincil hava  
Secondary air: ikincil hava  
Stow: Soba  
Ash pit: Kül deposu

Şekil 4.15: Kömür yakmaya yönelik dolaşimli ızgara ateşleme [79, Bell and Chiu, 2000]

### 4.1.5 Entegre gazlaştırma kombine çevrimi

'Entegre gazlaştırma kombine çevrimi' (IGCC) temiz ve uğraşılır enerji üretmek amacıyla gazlaştırma işlemini gaz temizleme, sentetik (yapay) gaz dönüşümü ve türbin enerji teknolojileri ile birleştirir. Bu enerji dönüşüm süreçleri entegrasyonu enerji kaynaklarının daha komple değerlendirilmesini sağlamakla birlikte yüksek verimlilik ve son derece düşük kirlilik düzeyleri sunar. Bununla birlikte IGCC karbon bazlı herhangi bir hammaddeyi fiilen elektrik enerjisi, buhar, hidrojen ve katma değerli kimyasallar gibi ürünlere dönüştürebilir. Farklı teknik kombinasyonlar sanayinin kolaylıkla bulunabilen kaynak ve atıklar ile düşük maliyeti yüksek verimli enerji dönüşüm seçeneklerinde kullanılmasına olanak sağlar. Bu seçenekler tüm piyasa uygulamalarından herhangi birini karşılamak için seçilebilir.



**Şekil 4.16: Oksijen üflemeli IGCC'nin ana özellikleri**  
[84, Siemens, 1999]

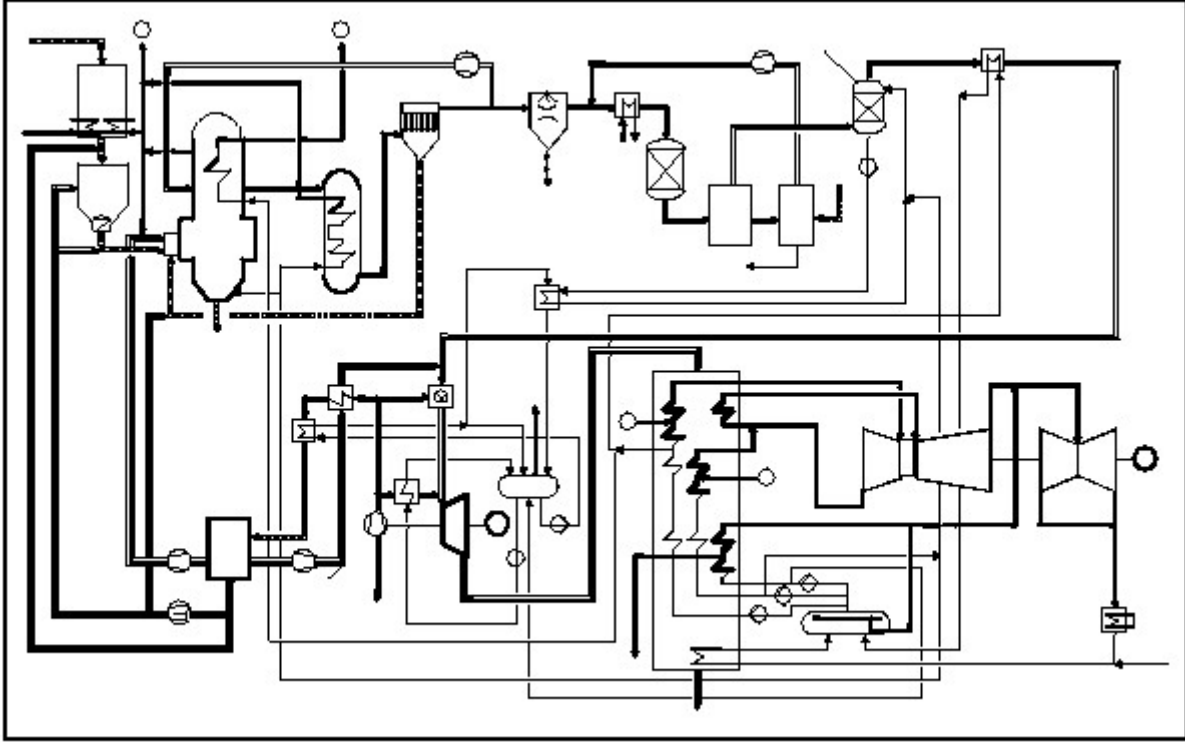
IGCC sisteminin genel çerçevesi kapsamında kullanılacak gazlaştırıcı tipi (örneğin; ıslak ve kuru kömür besleme sistemi, hava veya oksijen üflemeli sabit yatak, kabarcıklı yatak vb.) ve mümkün proses entegrasyon düzeyine ilişkin olarak mevcut birçok seçenek vardır.

Gazlaştırıcı buhar karşısında basınç altında ısı uygulayarak hidrokarbon hammaddelerini gazlı bileşenlere dönüştürür. Gazlaştırıcıya hava veya oksijen enjeksiyonu yoluyla hammaddenin kısmi oksidasyonu ısı tedarik eder. Bununla birlikte ısı ve basınç kimyasal tepkimeleri hızlandırıp yapay gaz üretmek için hammadde bileşenleri arasındaki bağları kırar.

Hammaddedeki mineraller (kül) ayrışır ve hareketsiz cama benzeyen cüruf veya pazarlanabilir diğer katı ürünler olarak gazlaştırıcının tabanını terk ederler. Külün sadece küçük bir bölümü kabarcıklanır. Sülfürün çıkarıldığı hidrojen sülfitten sülfür bileşenleri gibi diğer potansiyel kirlenici maddeler tipik olarak elemental sülfür veya sülfürik asit şeklinde meydana gelirler ki bunların her ikisi de değerli yan ürünlerdir. Gazlaştırıcıdaki azalan atmosfer nedeniyle gazlaştırma prosesinde hiç NO<sub>x</sub> oluşmaz. Nitrojen/hidrojen tepkimesi ile oluşan amonyak başka şekillerde asitleri teşkil eden kloridler gibi proses suyu ile atılırlar. IGCC'lerde, kirlenici madde ayırma işleminden sonra geriye kalan temiz yapay gazlar kısmen veya tamamen bir yakma türbinine yakıt yüklemek amacıyla kullanılırlar. Yakma türbini bir elektrik jeneratörünü harekete geçirir, gazlaştırıcıya basınçlı hava sağlar ve buhar türbini elektrik enerjisi veya başka uygulamalara yönelik olarak gazlaştırıcıya buhar sağlamak üzere ısı (egzoz) üretir.

Soğuk gaz temizlemeli IGCC sistemleri nispeten iyi NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine erişebilirler. Bunun nedeni yakıtla bağlı nitrojenin soğuk gaz temizleme bölümündeki gaz yıkayıcısında hemen hemen atılmasıdır. Gaz türbininin yakma odasındaki termal NO<sub>x</sub> bileşimi yakma işlemi öncesinde buharlı yakıt gazı satürasyonu ve hava ayırma ünitesinden gelen nitrojen ile seyreltme yoluyla bastırılır. Bu emisyon azaltım tedbirleri baca gazındaki %15 oksijen içeriğinde 25 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha az NO<sub>x</sub> emisyonu ile sonuçlanır. IGCC ayrıca partikül, SO<sub>2</sub> (5 mg/Nm<sup>3</sup>), atık su ile salınan CO<sub>2</sub> miktarlarını önemli ölçüde azaltır.

Kömürü yakıt olarak kullanmaya yönelik IGCC sistemleri sadece çok sınırlı sayıda yakma tesisinde uygulanır.



**Şekil 4.17: İspanya'da faaliyet gösteren IGCC elektrik santralinin işleyiş şeması**  
[84, Siemens, 1999]

IGCC kirlenici termodinamik açıdan elverişli yüksek basınç koşulları, yüksek kontaminant konsantrasyonları ile yakma ürünlerinin 1/100'ü kadar az düşük hacimsel yapay gaz akışı sunarlar. Bu ise sülfür ve partikülün ekonomik derin temizlenmesine olanak sağlar. Kirlenici maddelerin çoğunluğu IGCC gaz temizleme prosesinde bölünür ve tutulur. Gazlaştırma işlemi azaltım koşulları cıva yakıtının element formuna dönüşümünü son derece kolaylaştırır. Elemental cıva zaten daha önceden bir sahada erişildiğinden sülfatlı aktif karbon ile kolaylıkla ve güvenilir şekilde atılabilir.

#### 4.1.6 Kojenerasyon (CHP)

Kojenerasyon elektrik ile kullanılabilir ısıyı birlikte üretmek için tek bir proses kullanır. Kojenerasyon veya 'ısı ve elektriğin birlikte üretimi' (CHP) onaylanmış bir teknoloji olup esasen hem elektrik hem de ısıya (sıcak su veya buhar) gereksinim duyulduğu endüstriyel tesislerde uygulanır. Maliyet tasarrufunun yanı sıra kojenerasyon foil yakıtları daha verimli bir şekilde kullanarak çevresel faydalar doğurur. Bu ise elektrik ve ısı üretiminin ayrı ayrı üretiminden daha az emisyon ve ayrıca en uygun düzeyde yakıt ve ekserjetik verimliliğe yol açar.

Fosil yakıtlarla çalışan buhar kazanları ile harekete geçirilen buhar türbinleri uzun yıllar endüstriyel kojenerasyon sistemleri için kullanılmaya başlanmıştır. Konvansiyonel kömür veya linyitle çalışan bir buhar kazanında meydana getirilen yüksek basınçlı buhar mekanik enerji oluşturmak amacıyla bir türbin içerisinde genişletilir. Bu buhar daha sonra bir elektrik jeneratörünü harekete geçirmek için kullanılabilir. Üretilen elektrik miktarı bir yandan halen sahanın ısı enerjisi gereksinimlerini karşılayabilirken buhar basıncının türbin vasıtasıyla ne kadar azaltılabildiğine bağlıdır. Bazı durumlarda türbin ayrı veya entegre bir düşük basınç silindiri ile donatılmıştır. Bu silindir ısı kaynağından bağımsız olarak elektrik üretimine olanak sağlar

Kojenerasyon sisteminin yarar ve zararları şunlardır [81, COGEN Europe, 1999]:

#### Yararlar:

- Yüksek genel yakıt ve ekserjetik verimlilik
- Her tip yakıtın kullanılabilir olması
- Isı ve enerji oranının değişken olabilmesi
- Birden fazla sahada ısı derece gereksinimi karşılayabilme kapasitesi
- Genellikle % 98'den fazla yüksek güvenilirlik ve elverişlilik
- Elverişli boyut çeşitliliği
- Uzun çalışma ömrü.

#### Zararlar:

- Isının enerjiye oranının yüksek olması
- Yüksek maliyet.

#### 4.1.7 Kombine çevrim yakma (yeniden çalıştırma)

Kombine çevrim fikri türbin egzoz gazındaki atık ısının kullanılması ile basit 'Brayton' (Joule)-çevrimi verimliliğinin geliştirilmesi ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Gaz türbini nispeten yüksek sıcaklık içeren bir makine ve buhar türbini ise nispeten düşük sıcaklık içeren bir makine olduğundan bu doğal bir çözümdür. Mevcut kömürle çalışan yakma tesisleri bağlamında, kombine çevrim yakma işlemi normalde yeniden çalıştırma olarak bilinir. Yeniden çalıştırmaya ilişkin genel bilgiler için bu belgedeki Kısım 2.5.2'ye başvurun.

Yeniden çalıştırmaya ilişkin ana hedefler şunlardır [82, Ciemat, 2000]:

- Enerji çıkışı artırmak
- Performansı geliştirmek
- Kurulu tesis kullanımını geliştirmek
- Daha fazla çalışma esnekliği sağlamak
- güvenilirlik ve elverişliliği artırmak
- işletme ve bakım masraflarını azaltmak
- tesis ömrünü uzatmak
- emisyon ve tortu hacmini düşürmek.

#### 4.1.8 Kömür ve linyitle çalışan LCP verimliliği

##### 4.1.8.1 Buhar kazanı verimliliği

Yeni ve temiz buhar kazanları için % 86 ile 94 arasında değişen verimlilik seviyelerinin (LHV) halihazırda katı yakıtlar için söylenebilir. Ana kayıplar baca yoluyla baca gazı atık ısı, küldeki atık ısı ve radyasyon kayıplarıdır. Aynı performansa sahip (aynı ortam ve baca gazı sıcaklığı, aynı fazla hava vb.) buhar kazanlarının farklı buhar kazanı verimliliklerinin aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi (LHV bazında) yakıt niteliğine bağlı olarak elde edildiğini varsayarsak yakıt etkisi önemlidir:

- Uluslar arası kömür: % 94 verimlilik
- Linyit: % 92 verimlilik
- Düşük kalite linyit: % 86.

##### 4.1.8.2 Kömürle çalışan buhar kazanı verimliliğini artıracak teknikler

Kömürle çalışan buhar kazanı verimliliği yakıt niteliği ile ortam havası sıcaklığı ile yakından ilgilidir (proje-girdi verileri). Ancak bazı parametrelerin optimizasyonu da mümkündür:

**Küldeki yanmamış karbon.** Yakma işleminin optimizasyonu küldeki yanmamış karbon miktarının daha az olmasına yol açar. Yakma modifikasyonu ile NO<sub>x</sub> azaltım teknolojilerinin yanmamış karbonu artıracak eğilim göstermelerine dikkat edilmelidir. Optimum verimlilik veya yakıt değerlendirme sağlamak için hedef en iyi burnout sağlamaktır. Ancak teknik özellikler ve yakıt özelliklerine göre, özellikle antrasit kömürü yakılmasıyla külde yüksek düzeyde yanmamış karbon içeriği oluşabilir

**Fazla hava.** Fazla hava buhar kazanı tipi ile yakıt niteliğine bağlıdır. Tipik olarak, pülverize kömürle çalışan kuru tabanlı buhar kazanları için % 20 fazla hava normaldir. Yakma işleminin kalitesi (CO ve yanmamış karbon oluşumu), buhar kazanı bütünlüğü (hava sızıntısı), korozyon ve emniyet (buhar kazanında termal eksürsiyon riski) nedeniyle hava fazlalığını daha da düşürmek çoğu zaman mümkün değildir.

**Baca gazı sıcaklığı.** Temiz buhar kazanından ayrılan baca gazı sıcaklığı (yakıt tipine bağlı olarak) sülfürik asit yoğunlaşması ile asit korozyonu riskinden kaçınmak amacıyla genellikle 120 ile 220 °C arasında değişir. Ancak bazı tasarımlar kimi zaman bu sıcaklığı 100 °C'nin altına düşürmek için ikinci bir hava ısıtıcı aşaması dahil ederler ancak hava ısıtıcı ve baca üzerinde özel bir kaplama olmalıdır ki bu suretle bu indirgeme işlemi de ekonomik açıdan cazibesini yitirir.

#### 4.1.9 Kömür ve linyit ile çalışan LCP'lerden kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü

Avrupa Birliği'nde kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinin % 4'ü halihazırda SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak adına teknik önlemler uygularken % 16'sı NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için önlem uygulamakta ve yaklaşık % 54'ü ise her iki önlemi de uygulamaktadır. Geri kalan % 26'lık kısım of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> azaltımı için şu ana dek herhangi bir önlem uygulamamıştır [1, Corinair, 1996].

#### 4.1.9.1 Pülverize yakıt yakma işleminden kaynaklı emisyonların kontrolü

##### 4.1.9.1.1 Yakıt ön artıtımı

Emisyon oluşumunu en aza indirecek ilk adım olarak, örneğin aşağıdaki önlemler ile tesis bütününde yakıt olarak kullanılan ham maddeler geliştirilebilir:

- Farklı nitelikli ve farklı ülkelerden gelen farklı kömür karışımını kullanarak
- Yüksek ısı değeri, düşük su içeriği, düşük kül içeriği, düşük sülfür, klorit ve florid içeriği yönünden kalitesi yüksek kömürleri kullanarak
- Kömür yıkama/temizleme işlemi uygulayarak (ayrıca bakınız 3.6.1)
- Kömür gazlaştırma yöntemi ile
- Son yakıtın standart kalitesini temin etmek üzere kömürü homojen hale getirerek.

##### 4.1.9.1.2 Yakıt değişimi

Yakıtı, potansiyel kirlilik üretici bileşik içeriği daha düşük olan fosil yakıtlarına çevirme yakma tesislerinden kaynaklanan kirlilikte ciddi bir azalma ile sonuçlanabilir. Bu önlem yaygın bir şekilde uygulanır. Ancak yakıt değiştirme seçenekleri farklı yakıtların kullanımı ile ilgili özel yakma tertibatlarına uyumluluk yönleri ve kimi zaman da enerji üreten şirketler ile yakıt tedarikçileri arasındaki uzun vadeli sözleşmeler ile sınırlıdır. Genel olarak uyumluluk tesis edilen brülörlere bağlı olup genellikle bir kömür tipinden çok daha iyi çevre profiline (yani düşük sülfür içeriği ve düşük uçucu materyal) sahip başka bir kömür tipine geçiş veya taş kömüründen kalın yağa geçiş kurulu brülörlere ile çoğu zaman mümkündür. Ancak kömürden gaza geçiş normal olarak brülörlerin değişimi ile ısı eşanjörlerinin modifikasyonunu gerektirir. Emisyon azaltımında meydana gelecek herhangi bir gelişme açıkça başlangıçta kullanılan yakıtın özelliğine ve yeni yakıt tipine bağlı olacaktır [32, Rentz, et al., 1999]. Ancak herhangi bir yeni kömürün emisyonlar üzerindeki zararlı etkisi de dikkate alınmalıdır. Örneğin yüksek uçucu içerikli kömürlerle azalan sülfür içeriği veya düşük NO<sub>x</sub> brülörü nedeniyle azalan ESP performansı gibi.

##### 4.1.9.1.3 Toz azaltımı

Pülverize kömür yakımında, külün büyük bölümü yakma odasından çıkan baca gazı ile taşınır. Sadece çok az bir kısmı (<20 %) kuru tabanlı buhar kazanlarında kazanaltı külü olarak toplanır. Külün yüzde sekseni uçucu kül olarak fırını terk eder ve bu uçucu küllerin ESP ve bez filtreler gibi toz azaltım ekipmanında toplanmaları gerekir.

Islak tabanlı buhar kazanlarında ise kül yüksek yakma sıcaklığı ile sıvılaşır. Sıvılaşan bu kül yerçekimi kuvveti ile slap tag'e akar. Yüksek ivmeli gaz akışıyla bile, çoğu kül cüruf olarak çıkartılır. Hemen hemen küllerin tamamını cüruf olarak çıkarmak için uçucu kül çoğu zaman bu tip fırınlarda dolaştırılır.

Toz çıkarma teknolojileri arasında, ESP Avrupa'da taş kömürü veya linyit kullanan elektrik santrallerinde (açık farkla) en yaygın kullanılan ekipmandır. ESP'ler yol yapımında veya çimento yada beton gibi ürünlerin imalatında ve son çözüm olarak da arazi dolumunda kullanılabilecek uçucu külleri genellikle kuru formda toplar. Yakıtlar dünyada farklı kaynaklardan tedarik edilebilir ancak yüksek gerilim aralıklı enerji sağlama sistemi ile ESP teknikleri düşük sülfür içerikli de dahil olmak üzere farklı yakıt kalitelerine tepki verebilmektedir. İleriki gelişmeler Vs doruk zamanlı süreler ile yüksek gerilim zirveleme ile ilgilidir. Bu kısa zaman zarfında korona deşarji en uygun düzeye getirilir ancak ani tutuşma (flash-over) meydana getirmez. Bu teknik ESP'nin elektrik tüketimini azaltır.

LCP'lerdeki toz arındırma işlemleri için nadiren siklonlar kullanılır. Yine de kombine uygulamada 250 MW<sub>e</sub> ünite içerisinde bu tipten (yani ESP'nin mekanik sistem arama ve üretimi kullanılarak toz ön ekstraksiyonlu) iki tesis Fransa'da işletilmektedir.

#### 4.1.9.1.4 Civa (Hg) emisyonu azaltımı

Genelde sadece kömür veya linyit yakan termal tesislerde Hg ihracına yönelik halihazırda uygulanan hiçbir atanmış sistem yoktur. FF ve ESP veya ıslak gaz yıkayıcılar sırasıyla toz ve SO<sub>2</sub>, HCl ve HF ihracına yönelik olarak tasarlanmışlardır. Bu sistemler ile Hg ihracının ilave olumlu bir yan etkisi vardır. Baca gazı temizleme cihazlarıyla Hg azaltımı Hg spesifikasyonuna bağlıdır. Hem gazlı elemental civa (Hg<sub>0</sub>) hem de gazlı oksidize civa (Hg<sub>2+</sub>) baca gazı temizleme sıcaklıklarında buhar evresindedir. Hg<sub>0</sub> suda çözünmez ve ıslak gaz yıkayıcılarda tutulmaz. Kömür baca gazının predominant Hg<sub>2+</sub> bileşikleri çözülmek için zayıftırlar ve daha çözülebilir olan türler genellikle ıslak FGD gaz yıkayıcılarında tutulabilir. Hem Hg<sub>0</sub> hem de Hg<sub>2+</sub> uçucu kül, prensip olarak nispeten masraflı olan güçlendirilmiş aktif karbon ve toz kontrol cihazında sonradan toplanmalar için kalsiyum bazlı asit gazı sorbentleri gibi gözenekli katılar üzerinde soğurulurlar. Hg<sub>2+</sub>'nin soğurma ile tutulması genellikle Hg<sub>0</sub>'den daha kolaydır. Partikül bağımlı civa Hg<sub>p</sub> ESP'de veya bezl filtrelerde kolaylıkla tutulabilen katılara bağlanırlar [171, UN ECE, 2002]. ESP'deki ihraç verimliliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

ESP'nin sıcaklığı  
Kömürdeki Cl-içeriği  
Küldeki yanmamış karbon  
Küldeki kalsiyum bileşikleri.

Yakma tesislerinde uygulanan baca gazı temizleme teknikleri Hg tutmada üç temel metot kullanırlar:

- Yan etki olarak ESP veya FF gibi partikül madde kontrol cihazları tozunda Hg tutulması
- Daha sonra ESP veya FF'de tutulmak üzere Hg<sub>0</sub> ve Hg<sub>2+</sub>'nin entran sorbentler (aktif karbon enjeksiyonu) üzerinde soğurulması. Alternatif olarak Hg paketlenen karbon yatağında tutulabilir
- Hg<sub>2+</sub>'nin ıslak gaz yıkayıcılarda çözülmesi.

#### 4.1.9.1.5 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

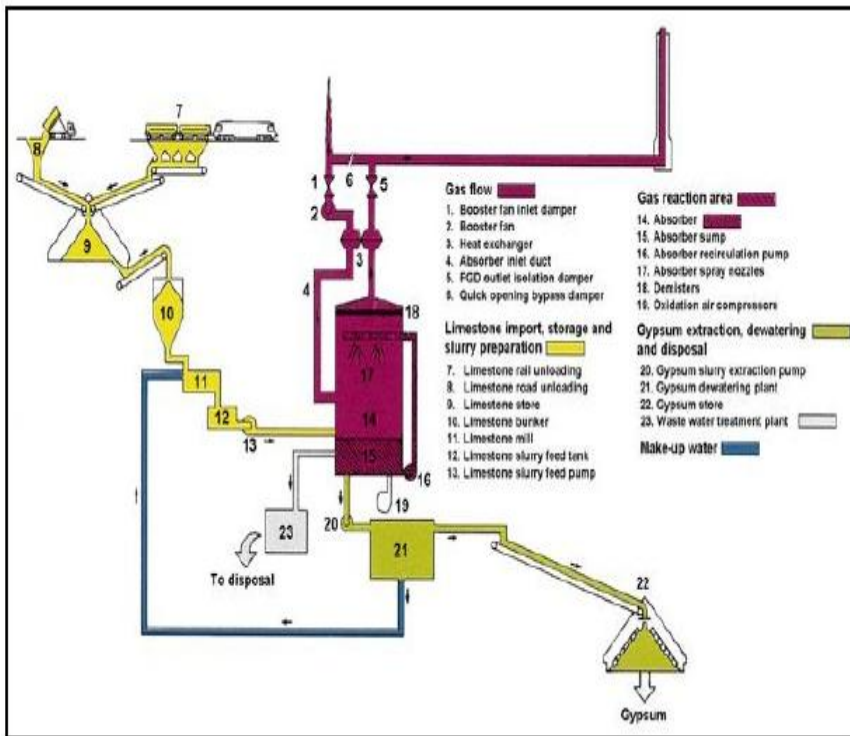
Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklanan SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak Bölüm 3'de (Büyük yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik yaygın proses ve teknikler) baca gazlarının kükürt giderme işlemi için açıklanan tekniklerin neredeyse tamamı halihazırda uygulanmaktadır. Kullanılan spesifik teknik yer, termal kapasite ve özel tesis yük faktörü gibi tesis ve sahaya özgü çeşitli faktörler ile birlikte örneğin yüksek alkalın kül ve düşük sülfür içerikli belirli düşük kalite linyitlerin (yakma işlemi sırasında gerçekleşen doğal kükürt giderme nedeniyle) düşük SO<sub>2</sub> emisyonu üretmesi gibi yakıt ve kül kalitesine bağlıdır.





**Şekil 4.18: FGD teknolojisinin mevcut bir tesise uyarlanması**  
[94, Umwelt + Technik, 2000]

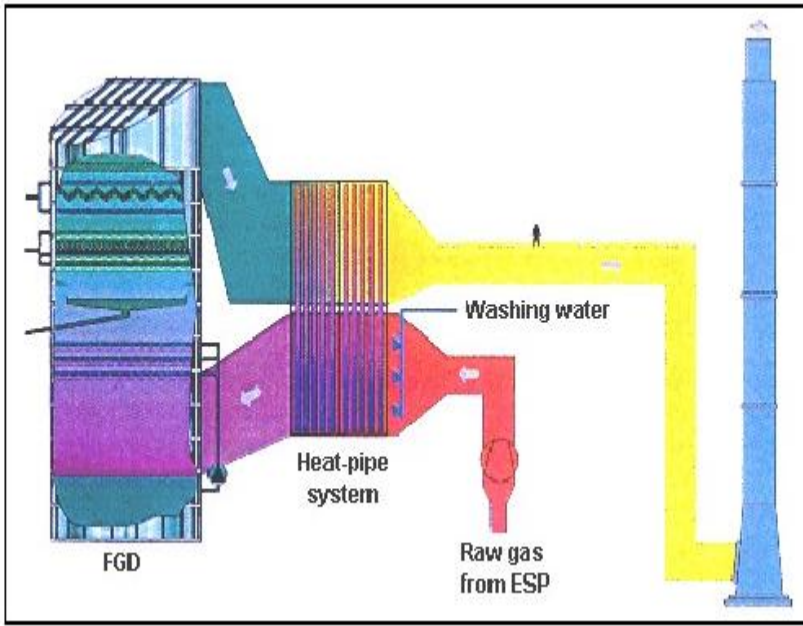
Islak gaz yıkama teknikleri örneğin 300 MW<sub>th</sub>'den fazla kapasiteli büyük tesislerdeki çeşitli uygulamalarda kullanılan dominant teknik iken kuru ve yarı kuru teknikler küçük tesisler için (<100 MW<sub>th</sub>) uygulanır. Soğurucu kuleler sprey, kapalı veya çift gözlü kulelerdir. Birleşik Krallık'ta kömürle çalışan bir büyük tesise uygulanan sprey kule kullanan ıslak FGD tesisi örneği Şekil 4.19'da sunulmuştur.



Gas flow: gaz akışı  
Gas reaction area: gaz tepkime alanı  
Limestone import, storage and slurry preparation: Kireçtaşı ithal, depolama ve sulu çamur hazırlama  
Gypsum extraction, dewatering and disposal: Alçıtaşı ekstraksiyon, dehidrasyon ve tahliyesi  
Make-up water: ilave su

**Şekil 4.19: Sprey kuleli yaş FGD prosesi**  
[93, Powergen, 2001]

Bir dizi tesis, yıkanan gazın ham baca gazı ile kontaminasyonunu önlemek için proses atık gazı yeniden ısıtmaya yönelik yeni ısı eşanjörleri tipleri tesis etmişlerdir (bakınız Şekil 4.20).



Washing water: Yıkama suyu  
 Heat pipe system: Isı boru sistemi  
 Raw gas from ESP: ESP'den gelen ham gaz

**Şekil 4.20: FGD ünitesi çevresinde ısı displasmanı**  
 [138, Sandscheper, 2001]

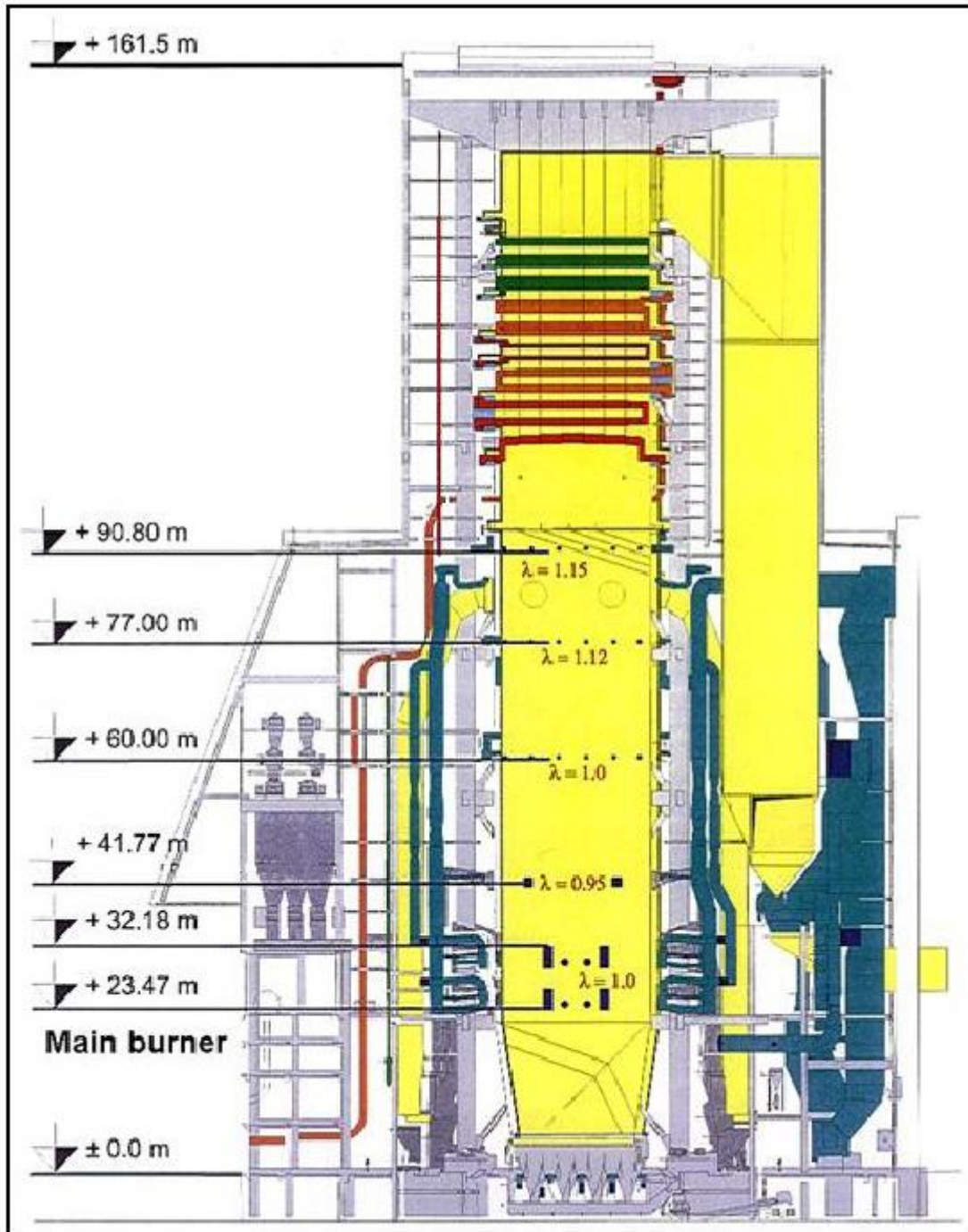
Bu gaz-gaz ısı eşanjörlerinde, sıcak ham gazın ısını temiz yıkanmış proses atık gaza aktarmak amacıyla çok borulu ısı ekstraktörleri kullanılır. Bu sistemler normal rejeneratif gaz ısı eşanjörlerinde olduğu gibi kanal girişi ile birlikte kanal çıkışını geçmeyi gerektirmediğinden sızıntı riskini de bertaraf ederler.

Konumları nedeniyle Avrupa'da kıyıya yakın alanlarda mevkilenen sadece birkaç enerji santrali havaya yayılan SO<sub>2</sub> miktarını azaltmak için deniz suyu yıkama tekniklerini uygulamaktadır. Ayrıca tesisin konumu nedeniyle yani kasaba merkezine yakın oluşu nedeniyle tamamen satılabilir yan ürün üretimi gibi diğer özel değerlendirmeler nedeniyle kömürle çalışan bir yakma tesisi kombine DESONOX prosesini başarıyla uygulamaktadır.

#### 4.1.9.1.6 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması

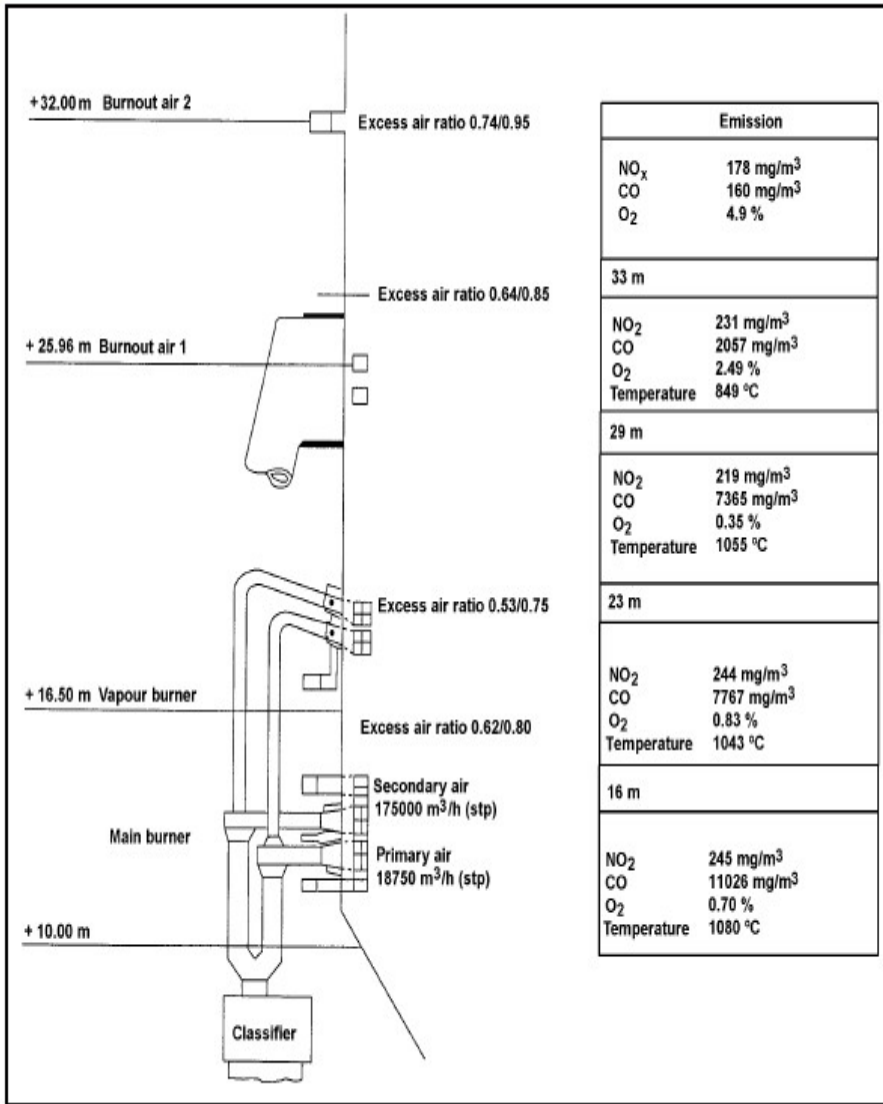
SO<sub>2</sub> azaltımında olduğu gibi, baca gazlarının de-nitrifikasyonuna yönelik Bölüm 3'de açıklanan tekniklerin hemen hemen hepsi (yani birincil ve ikincil önlemler ve hatta birkaç durumda her iki önlem birlikte) halihazırda kömürle çalışan buhar kazanlarına yönelik olarak da uygulanmaktadır.

Linyite yönelik yakma sıcaklıkları daha düşük olduğundan ve baca gazı nemi taş kömürüne kıyasla yüksek olduğundan NO<sub>x</sub> oluşumu nispeten düşüktür. Bu nedenle birincil önlemler kafi olup linyitle çalışan LCP'lerden kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımında bugüne dek uygulanmıştır.



Şekil 4.21: NO<sub>x</sub> emisyonu üretimini azaltmak amacıyla birincil tedbirler uygulamış linyitle çalışan büyük buhar kazanı [92, VEAG, 2000]

Birincil önlem olarak 'düşük hava fazlalığı' uygulayan kömürle çalışan buhar kazanlarına yönelik olarak, olağan hava fazlalığı % 5 – 7 O<sub>2</sub> (baca gazında) ranjındadır. Düşük hava fazlalığı yakma işlemi % 3 – 6 O<sub>2</sub>, ve buna denk gelen % 10 – 40 arası NO<sub>x</sub> emisyon azaltımı ile karakterizedir. Ayrıca ikamet süreleri de NO<sub>x</sub>, CO ve yanmamış karbonun eş zamanlı kontrolünde önemli bir etmen olarak tanımlanmaktadır. 150 MW<sub>e</sub> buhar kazanındaki çeşitli kısımlarda NO<sub>x</sub>, CO ve hava fazlalığı arasındaki ilişki Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



Emission: emisyon  
 Burnout air: yakma havası  
 Excess air ratio: fazla hava oranı  
 Vapour burner: Buhar brülörü  
 Temperature: sıcaklık  
 Classifier: Sınıflayıcı

**Şekil 4.22: 150 MW kapasiteli linyitle çalışan buhar kazanının çeşitli kısımlarındaki NO<sub>x</sub>, CO ve fazla hava arasındaki ilişki [108, Scott, 1997]**

Bu teknik kuru tabanlı buhar kazanlarından ziyade ıslak tabanlılara, teğetsel ateşlemeli buhar kazanlarından ziyade duvar set ateşlemeli olanlara ve linyitle çalışan buhar kazanlarından ziyade taş kömürü ile çalışanlara yönelik daha iyi sonuçlar ortaya koymaktadır.

**Baca gazı resirkülasyonu:** Islak tabanlı buhar kazanları hariç olmak üzere kömürle çalışan buhar kazanlarında çok sık kullanılmamaktadır. Kömürle çalışan buhar kazanlarına yönelik olarak bu teknikte elde edilen NO<sub>x</sub> azaltımı % 15 – 20 kadar yüksek olabilir. Bu teknik linyit haddeleme için sıcak baca gazının yeniden çevrime sokulması ile sadece linyitle çalışan buhar kazanlarında kullanılır. Bu durumda baca gazı linyiti kurutmak amacıyla çıkarılır ve bu nedenle birincil olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımında kullanılmaz ancak yine de taş kömürü fırınlarına kıyasla genellikle daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarının nedenlerinden biridir. Çoğunlukla soğuk baca gazı ile NO<sub>x</sub> daha da azaltılabilir ve ilave olarak düşük sıcaklıkta eriyen kül için cüruf üretimi azaltılabilir.

**‘Aşırı yakma havası’ (OFA):** kömürle çalışan buhar kazanlarında en çok kullanılan birincil tedbirdir. Modern OFA tasarımları ile (optimize püskürtme başlığı tasarımı, ayrı ve türbülanslı hava akışı), set veya teğetsel ateşlemeli buhar kazanlarında % 40 ile 50 oranında NO<sub>x</sub> azaltımları elde edilebilir. OFA, ‘kapalı eşlemeli OFA’ (yani en yüksek brülör sırasının hemen üzerine OFA portlarının eklenmesi ile) olarak da uygulanabilecek olan, teğetsel ateşlemeli buhar kazanlarına yönelik özellikle etkili bir NO<sub>x</sub> azaltım tekniğidir. Diğer seçenek ise ‘ayrık OFA’ dır (yani brülör sırasından ayrılmış ana yakma bölgesinin üzerine OFA portlarının eklenmesi ile).

**Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri (LNB'ler):** kömürle çalışan buhar kazanlarına yönelik ilgili NO<sub>x</sub> emisyon azaltım oranları sırasıyla % 25 – 35 ve % 50 – 60 olarak en sık kullanılan brülörler hava aşamalı veya yakıt aşamalı brülörlerdir. Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri hem yeni hem de mevcut kömürle çalışan buhar kazanlarında NO<sub>x</sub> emisyonu azaltımı amacıyla kullanılan en yaygın tekniktir. Bu brülörler, çoğunlukla her bir buhar kazanı tipi ve boyutuna özel olarak uyarlanmış, dünya çapındaki tedarikçilerden elde edilebilir çok farklı tasarımlı gelişmiş bir teknoloji oluştururlar.

LNB'ler, yalpalamalı veya pülverize/kömür enjektörleri ve çeşitli OFA tipleri ile birlikte özellikle teğetsel ateşlemeli buhar kazanlarıyla OFA ile birlikte kullanılırlar. % 50 ile 70 oranında NO<sub>x</sub> azaltımı sağlanabilir.

Set ateşlemeli buhar kazanlarına yönelik modern hava geçişli LNB tasarımlarının (optimize püskürtme başlığı veya ikincil hava enjeksiyonuna yönelik anaför ve ikincil/üçüncül hava enjeksiyonuna yönelik deflektör ile birlikte) OFA olmaksızın %50'ye kadar OFA ile birlikte ise %70'e kadar NO<sub>x</sub> azaltımı sağlayabileceği iddia edilmektedir.

Linyitle çalışan elektrik santrallerinde, NO<sub>x</sub> emisyon azaltımları LNB, OFA ve/veya baca gazı resirkülasyonu ile %75'e kadar çıkabilir.

Düşük NO<sub>x</sub> brülör uygulanması bu yanma tortularının idaresini tehliye düşürmemek adına belirli bir limit içerisinde tutulmaları gereken küldeki karbon seviyesini artırabilir. Pülverize kömürün sağlığını arttıran kömür değirmenlerine sınıflayıcı eklenmesi bu problemi telafi etmede etkili bir yoldur. Bazı modern kömür LNB'leri küldeki karbon seviyesini etkilemeyecek şekilde tasarlanırlar.

Kömürle çalışan buhar kazanlarında **yeniden yakma:** bu işlem yeniden yakma yakıtı olarak kömür – veya daha yaygın olarak doğal gaz ile uygulanır. Gaz kömürden daha yaygın kullanılır. Yeniden yakma işleminin yeni elektrik santrallerine uygulanması daha kolaydır ancak bugüne dek mevcut ünitelere daha başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Gazın yeniden yakılması işlemi son zamanlarda Birleşik Devletler'deki çeşitli set, teğetsel veya siklon kömürle çalışan buhar kazanlarında (33 ile 600 MW<sub>e</sub> arasında) uygulanmaktadır. Gazın yeniden yakılması tekniği sadece daha önceden düşük NO<sub>x</sub> brülörleri ve/veya OFA ile donatılmış ünitelerde tesis edilmiştir. Buna karşılık gelen düşük NO<sub>x</sub> brülörleri ve/veya OFA ile erişilen NO<sub>x</sub> seviyesinin % 40 ile 50'sine kadar çıkabilir ki bu orijinal NO<sub>x</sub> seviyesinden % 65 ile 75 civarında bir azaltımı ifade eder (toplam ısı girdisinin % 15 ile 20'sini temsil eden bir yeniden yakma yakıtına yönelik olarak).

Olağan gaz yeniden yakma işlemini nitrojen aktif maddesi (amonyak veya üre, ayrıntılar için SNCR paragrafına bakınız) enjeksiyonu ile karıştıran 'ileri düzey gaz yeniden yakma' tekniği (AGR) kömür ile çalışan bir buhar kazanında uygulanmıştır. Gelecek vaat eden bu tekniğin başlangıçtaki NO<sub>x</sub> seviyesinin % 85'ine kadar NO<sub>x</sub> azaltımına eriştiği iddia edilmektedir ancak bu teknik henüz ispatlanmamıştır.

**SNCR ve SCR:** kömür ile çalışan yakma tesislerinde geniş çapta uygulanan ikincil tedbirlerdir. SCR sistemleri Avrupa'da özellikle Avusturya, Almanya, İtalya ve Hollanda'da uygulanmaktadır. Avrupa dışında ise çoğunlukla Birleşik Devletler ile Japonya'da uygulanır. SCR teknolojisinin taş kömürü ile çalışan elektrik santrallerinde başarılı olduğu ispatlanmış ancak linyitle çalışan tesislerde henüz uygulanmamıştır. SCR sisteminin linyitle çalışan elektrik santrallerinde uygulandığı birkaç örnekte, katalizörün yüksek ölçüde aşınmasına neden olan küldeki yüksek kuvars içeriği nedeniyle katalizör ömrünün çok az olduğu görülmüştür. Buna ek olarak linyit tipik olarak çok fazla su ve kül içerir ve bunların yakılmaları genellikle SCR'ye ihtiyaç duyulmaksızın 200 mg/Nm<sub>3</sub> emisyon düzeyine erişmek için yeterli olacak düşük fırın sıcaklığında gerçekleşir.

Kamu amaçlı buhar kazanlarında, SCR normalde maliyetleri en aza indirmek amacıyla sıcaklık penceresini genişletecek ekonomizer ile hava ön ısıtıcısı arasına (yüksek toz konfigürasyonu) yerleştirilir. Pülverize yakıt yakma SCR'sine yönelik olarak yüksek toz çoğunlukla çalıştırma ve kapama için by-pass gerektirmez ancak amonyak enjeksiyonu minimum sıcaklığın üzerinde sıcaklar ile sınırlı olmak zorundadır. Katalizörün hava ön ısıtıcısının akıntısı yönünde yerleştirildiği uzak uç konfigürasyonları baca gazının yeniden ısıtılarak katalizör çalışma sıcaklığına getirilmesini gerektirir ve bu nedenle inşa edilip çalıştırılması çok pahalıdır. İhtiyaç duyulan SCR uyarlama bileşenleri SCR reaktörü, ilişkili kanallama ve yapı işleri, amonyak depolama ve dağıtım sistemi ile kontrolleri kapsar. Gerekli olabilecek diğer bileşenler ekonomizer by-pass'ı ve kurum üfleyicilerdir.

Katalizör tipi ve özelliklerinin seçilmesi kül kütle akışı ve aşındırma potansiyeline bağlıdır (plaka tipi petek tipi). Yüksek toz yüklemeleri bu nedenle yüksek pistonlama ve aşındırma dayanımlı katalizörler gerektirir. Orta dereceli petek SCR katalizörleri hemem hemen tüm uçucu küllerin baca gazından atıldığı düşük toz uygulamaları için elverişlidir. Orta dereceli petek SCR katalizörlerinin düşük toz uygulamasından kaynaklanan artırılmış yüzey alanı yüksek toz uygulamalarına kıyasla daha düşük katalizör hacimlerini meydana getirir.

Buhar kazanı tipi ile kömür bileşimi faktörü katalizör tasarımını önemli ölçüde etkiler ve ayrı her bir kömür tesisi için özel olarak ele alınmalıdır. Uçucu kül resirkülasyonlu slag-tap (WBB) fırınları kuru tabanlı buhar kazanlarına kıyasla genellikle daha yüksek katalizör deaktivasyonu gösterirler. Arsenik, alkali veya toprak alkali metaller, fosfor, kalsiyum ve bir dizi diğer bileşen miktarı yüksek olan kömürler katalizör ömrü ve yükleme hacimleri hesaplandığında göz önünde bulundurulması gereken daha yüksek katalizör de-aktivasyon davranışı gösterirler. Kömürdeki sülfür içeriği de ayrıca SCR katalizörü için uygun SO<sub>2</sub>'nin SO<sub>3</sub>'e dönüşümü belirlemek ve amonyum sülfat oluşumunun önlenebileceği minimum çalışma sıcaklıklarını tesis etmek üzere incelenmelidir.

Katalizör ömrü yerinde kurum üfleme kullanımı ve uçucu küle maruz bırakılan katalizörlerin nem ile temasında kaçınılarak uygun bakım yöntemleri ile en uygun düzeye getirilebilir. Katalizörler çalışmadığında veya ekonomizer sıcaklığı düşük buhar kazanı yükünde minimum katalizör çalışma sıcaklığının altına düşecek olursa sistem by-pass'ları kullanılmalıdır.

#### 4.1.9.2 Akışkan yatak yakım işleminden kaynaklanan emisyon kontrolü

Akışkan yatak sistemlerine yönelik olarak, yakıt kabaca çekilmiş halde kullanılır. Dolayimli akışkan yatak yakma sistemlerinde (CFBC), yatak zonu daha yüksek hava akış ivmeleri ile genişletilir ve kül (bu tip yakma işlemleri için gereklidir) kaba partiküllerin geri getirilmesi için CFBC sisteminin ayrılmaz bir parçası olan siklon vasıtasıyla yeniden sirkülasyona girmek zorundadır.

##### 4.1.9.2.1 Toz azaltımı

Akışkan yatak yakma (FBC) buhar kazanlarından toz azaltımına yönelik olarak hem ESP'ler hem de bez filtreler halihazırda uygulanmaktadır.

##### 4.1.9.2.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

Daha önceden belirtildiği gibi, FBC buhar kazanları SO<sub>2</sub> ihracı bağlamında, örneğin BFBC için % 80 ile 90 ve CFBC buhar kazanı için ise % 90 ile 95'den fazla oranda, çok verimli çalışabilirler. FBC buhar kazanlarında, kireç veya kireçtaşı doğrudan yakıtta ilave edilip sıvılaştırılmış yatağa enjekte edilirler. Bu katkı maddeleri SO<sub>2</sub> tutacak alkali küllerinin doğal kapasitesini geliştirir. İyi kükürt giderme 1.5 ile 3.5 oranında Ca/S oranıyla kireçtaşı eklenerek sağlanır. Ca/S oranının yanı sıra, yatak sıcaklığı da etkili SO<sub>2</sub> azaltımı sağlamada önemli bir rol oynar. Kalsinasyon prosesi yaklaşık 700 °C'de başlayıp daha yüksek sıcaklıklarla devam ettiğinden, en uygun kalsinasyon ve sülfasyon kombinasyonu yaklaşık 840 °C sıcaklıkta meydana gelir.

FBC buhar kazanlarında sülfür azaltımına yönelik olarak kullanılan sistem çok basittir; yani sorbent besleme ve reaksiyon ürünlerinin atılması yakma prosesine dahil edilir ve ayrı bir reaktöre ihtiyaç duyulmaz.

% 100'e yakın bir emilim sağlamak için yataktaki kalsiyum oksit kitlesi stoikiyometrik koşullar için ihtiyaç duyulandan fazla olmalıdır. Bu aşırı doz, CaO nitrojen bileşiklerini katalize ettiğinden özellikle CFBC buhar kazanlarında NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir artışa sebep olur. Ancak SO<sub>2</sub> konsantrasyonu çok düşük olana kadar en büyük artış gerçekleşmez.

Akışkan yatak yakma prensibi bütünleşik bir çevresel koruma kapasitesi oluşturur. FBC buhar kazanına sorbent enjeksiyonu sülfür tutmaya ilişkin masrafsız bir metottur. Kükürt giderme yakma prosesine dahil olduğundan ve ayrı bir reaktör ekipmanına ihtiyaç duyulmadığından yatırım maliyetleri düşüktür. Desülfürizasyona yönelik ikincil tedbirler henüz çok yaygın olmamakla birlikte arasına birkaç FBC yakma tesisinde daha önceden kullanılmıştır.

En büyük işletim masrafları sorbent tüketimi ve yakma işlemi tortularının taşınmasından kaynaklanır. Akışkan yatak yakma işleminin yan ürünü kül,  $\text{CaSO}_4$ , yanmamış yakıt ve tepkimeye girmemiş sorbent karışımıdır. Yeterli  $\text{SO}_x$  emilimine erişmek için nispeten fazla miktarda sorbente ihtiyaç duyulur; bu nedenle FBC'den gelen katı atık hacmi de hayli fazladır. Şu ana dek arazi dolum alanlarına yapılan boşaltımlar elektrik santrallerindeki FBC buhar kazanından alınan küllerin taşınmasını ifade eder. Ayrıca çok fazla kalsiyum içermemesi koşuluyla yol tabanı veya yapısal dolum gibi konstrüksiyon amaçları için kullanılabilir.

Yükselmiş toz yükü toz presipitatörünü büyütme ihtiyacına sebep olabilir. Bu tür yatırımın faydaları ekonomik temelde ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

#### 4.1.9.2.3 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

Akışkan yatak yakma sistemlerinin düşük yakma sıcaklığı (850 ile 950 °C arasında) NO<sub>x</sub> emisyonlarının bastırılması için avantajlıdır. Ancak FBC buhar kazanları yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip N<sub>2</sub>O olarak önemli oranda NO<sub>x</sub> emisyonu üretirler. Ancak FBC buhar kazanlarında NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmanın tek yolu bu değildir. SCNR sistemleri gibi diğer teknikler de Birleşik Devletler'deki bazı tesislerde uygulanmaktadır. Ancak kireçtaşı eklenerek kükürt giderme işleminin geliştirilmesi ile birlikte tepkimeye girmemiş kireç NH<sub>3</sub>'ün NO<sub>x</sub>'e dönüşümünü katalize eder. Bunun anlamı (SO<sub>x</sub> kontrolü için) sıvılaştırılmış yatağa eklenen kireç ne kadar fazla ise o kadar fazla NO<sub>x</sub> oluşacağıdır.

Genellikle BFBC'ler olmakla birlikte farklı akışkan yatak yakma türleri daha küçük kapasiteli LCP'lerde kullanılır ve daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonuna sahip olma eğilimindedirler.

#### 4.1.9.3 Izgara ateşlemeden kaynaklı emisyonların kontrolü

Izgara yakma sistemlerinde kömür veya linyit yakılırken külün çoğu ızgara üzerinde kalır ve kazanaltı külü olarak toplanır. Sadece çok az miktarda kül uçucu kül olarak fırından ayrılır ve toz azaltım cihazlarında toplanması gerekir.

##### 4.1.9.3.1 Toz azatımı

Izgara ateşlemeli yakma tesislerinden kaynaklanan toz azaltımına yönelik olarak hem ESP'ler hem de bez filtreler halihazırda uygulanmaktadır.

##### 4.1.9.3.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

Esasen (<100 MW) küçük endüstriyel yakma tesislerinde uygulanan ızgara ateşlemeye yönelik olarak, düşük sülfür yakıtı çoğunlukla SO<sub>2</sub> kontrolü için kullanılır. Yakma sıcaklıkları 850 ile 950 °C arasında değişiklik gösterdiğinden, SO<sub>2</sub> tutulması için kireç veya kireçtaşı gibi katkı maddeleri doğrudan yakıtta ilave edilebilir. Bu katkı maddeleri alkali külün doğal SO<sub>2</sub> tutma kapasitesini destekler.  $\text{CaSO}_3$ , 850 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda kararlı hale gelir ve SO<sub>2</sub> kimyasal dengede birlikte bulunur. Bu nedenle, ızgara yakma tekniği SO<sub>2</sub> emisyonu azaltımı için etkili bir teknik değildir.

#### 4.1.9.3.3 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

Izgara sistemlerinin düşük yakma sıcaklıkları NO<sub>x</sub> emisyonlarının bastırılmasına yönelik avantajlıdır. Bu bağlamda ızgara sistemlerinin (ilave kontrol tedbirleri olmaksızın) yaklaşık 300 mg/Nm<sub>3</sub> NO<sub>x</sub> yaydığı vurgulanmalıdır ki bu değer kontrolsüz taş kömürü yakan pülverize yakma tesislerindeki çok daha azdır. NO<sub>x</sub> Emisyonu üretiminin azaltılmasına ilave olarak kimi zaman da aşırı yakma havası kullanılır.

#### 4.1.10 Su ve atık su arıtımı

Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinin işleminde çok çeşitli atık su türleri (bakınız Bölüm 1) ortaya çıkar. Atık su arıtımına yönelik olarak Bölüm 3’de açıklanan teknikler kömür ve linyitle çalışan tesislerden kaynaklanan atık su arıtma işlemlerinde geniş çapta uygulanmaktadır.

Kömür depoları, cüruf yığınları ve yan ürün depolamasından gelen akıntı sularının idaresi özel alaka gerektirir. Artık sular tahliye edilmeden önce ilgili kirlilik düzeylerinin karşılanması için arıtma ve izleme ile muhafaza altına alınmalıdır. Limitleri karşılamak amacıyla içme suyu ile seyreltme kabul edilemez.

#### 4.1.11 Yakma tortu ve yan ürünlerinin arıtılması

Kömür yakıldığında, mineral suların çoğu tutulur ve kömür değirmenleri, buhar kazanının tabanı, ekonomizer baca gazı temizleme sistemi ve baca gibi sitemdeki çeşitli yerlerde katı materyal olarak ihraç edilir. Toplam küldeki yüzdesi değişiklik göstermekle birlikte kazanaltı külü kömür ve linyitle çalışan tüm tesislerden yeniden elde edilir. Islak tabanlı buhar kazanlarında uçucu külün yeniden çevrime alınması nedeniyle % 100’ü cüruf musluğu granülatı olarak yeniden elde edilir. Uçucu külde sadece belirli miktarda yanmamış yakıt kaldığında ayrı olarak toplanıp özel bir siloda saklanır. Dolaşımli akışkan yatak yakma işlemi ile birlikte siklon presipitatörü külün çoğunu fırını geri getirir. Burada kül yatak malzemesi ile birlikte yığılır ve kazanaltı külü olarak toplanır.

Kireç/kireçtaşı bazlı ıslak FGD sistemleri ile birlikte, alçıtaşı mutlak kristale benzer yapısıyla yeniden kazanılır. Bu, alçıtaşı ayrı çözülmemiş kireçtaşı partiküllerinden ayırmak ve yeniden kazanılan alçıtaşı kurutmak için gereklidir. Çok küçük partikülatlar bu yan ürünün nemini normalde % 10’a kadar artırır. Bu yan ürün yıkandığında sadece türetildiği yakıtın indikasyonları veren iz katışıklıkları olan yüksek kalitede pazarlanabilir bir (doğal alçıtaşıya yakın veya ondan daha iyi olan) yan ürün elde edilebilir. Çoğu durumda alçıtaşı kapalı stoklarda toplanıp depolanır. Bazı tesislerde ulaştırma masraflarını azaltıp tüketim kalitesini artırmak amacıyla alçıtaşı % 10’dan 4’e veya hatta % 1’e kadar kurutulabilir.



Şekil 4.23: Kapalı alçıtaşı depolama tesisleri [94, Umwelt + Technik, 2000]



Alçıtaşına yönelik Pazar potansiyeli olmayan durumlarda FGD alçıtaşı uçucu kül ve ıslak külden oluştuğu gibi aynı şekilde kontrollü olarak arazi dolumu için kullanılır. Her iki yan ürünün arazi dolumunda ayrı ayrı kullanılması mümkündür ancak FGD alçıtaşı ile uçucu kül ve FGD atık sularının karıştırılmasıyla 'stabilize' adı verilen bir karışım elde edildiği keşfedilmiştir ki bu karışım ayrı ayrı bileşenlerden daha iyi arazi dolum özelliklerine sahiptir. Bu özellikler mekanik mukavemet, geçirgenlik ile boyutsal kararlılıktır.

Linyit yakımından kaynaklanan tortu ve yan ürünlerin en çok bitmiş açık linyit madenlerinin restorasyonuna yönelik arazi dolumunda kullanılarak idare edilir. Ayrıca uçucu kül de linyit madenlerinin işletilmesi sırasında aşırı yük bindirilen rampaların güçlendirilmesinde bir malzeme olarak kullanılır.

'Stabilize' uçucu külün pozolanik özellikleri ile birlikte ağır metal ve iz elementlerini bağlama potansiyelini alçıtaşının özellikleri ile birleştirdiğinden iyi randıman verir. LCP'den kaynaklı katı yan ürünler ile arazinin kontrollü bir şekilde doldurulmasında hiçbir olumsuz çevresel etki gözlenmemiştir.

Genel olarak küller ve FGD yan ürünleri gibi yakma tortu ve yan ürünleri buhar kazanı, toz arındırma hazneleri, ESP'ler, bez filtreler ile FGD tesisleri gibi çeşitli noktalarda toplanırlar. Bu materyaller hidrolik veya mekanik araçlarla taşınır ve kapalı silolarda özellikle de FGD tesisinden çıkarılan alçıtaşının depolanması için kullanılabilecek benzer özel tasarlanmış depolama binalarında depolanır.

Taboe 4.2'de kömürle çalışan elektrik santrallerinden çıkan tortu ve yan ürünlerin olası yeniden kullanma seçeneklerine ilişkin bir özet sunulmuştur. Seçenekler ve olasılıkları durum bazında değerlendirilmelidir.

	Uçucu kül		Kazan altı külü		Sorpsiyon prosesi	Alçıtaşı
	Linyit	Taş kömürü	Linyit	Taş kömürü		
İnşaat endüstrisi						
Beton katkı maddesi ('Flual')	X	X				
Betona yönelik hafif ağırlıklı agregatlar	X	X	X	X		
Köpük harç, gözenekli beton	X	X			X	
Yüksek performanslı beton	X	X				
'Flual' üretimi	X					
Çimento endüstrisinde harman katkı maddesi	X	X				
Çimento endüstrisinde ham mucur terkibi	X	X				
Katılma gecikmesi için çimento katkı maddesi					X	X
Yalıtım duvarları	X	X			X	
İnşaat alçıtaşı						X
Seramik endüstrisi	X	X	X	X	X	
Yol yapımı ve peyzaj	X	X	X	X		
RCC (Silindir Sıkıştırılmalı Beton) tekniği ile baraj yapımı	X	X	X	X		
Katranlı yüzeyleme, birleştirici katmanlar ve baz altı mıcıruları	X	X				
Toprak işi ve yol yapımına yönelik yer stabilizasyonu ve gevşek yapım materyalleri	X	X	X	X	X	
Ses yalıtımı		X		X	X	
Arazi dolun teknolojisi, atık arıtımı	X	X	X	X		
Arazi doldurma	X	X	X	X	X	X
Tehlikeli madde immobilizasyonu	X	X				
Arazi dolunu taban astarı için astar malzemesi	X	X			X	
Arazi dolun kapatma için yüzey filtresi			X	X		
Kanalizasyon çamuru tavlama					X	
Biyolojik atık su temizlemeye yönelik temel materyal			X	X		
Botu hattı arkları için doldurma malzemesi						
Stabilize kül çimento karışımı	X	X			X	
Ark doldurma	X	X			X	
Diğer kullanım metotları	X	X	X	X		
Madencilikte tasfiye malzemesi	X	X	X		X	
Zeolit üretimi	X	X				
Alfa ve beta yarı hidrat üretimi						X
Kağıt endüstrisinde doldurma materyali					X	X
Anhidrit üretimi					X	
Müler – Kühne-prosesi	X	X	X	X	X	X
Termal geri dönüşüm			X	X		
Baca gazı kükürt giderimi					X	

Tablo 4.2: Kömür ve linyit yakımından kaynaklanan atık ve yan ürünlerin yeniden kullanılmasına örnekler [64, UBA, 2000]

## 4.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri

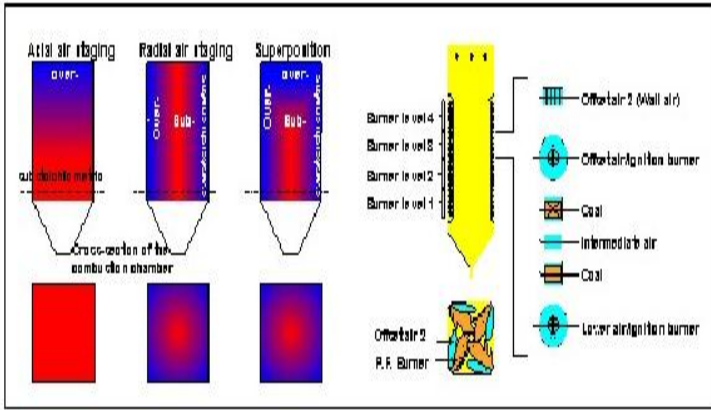
Bölüm 4'ün bu kısmında kömür ve linyitle çalışan farklı yakma tesislerinde halihazırda uygulanan bir dizi proses ve tekniklere ilişkin örnek sunulmuştur. Bu örneklerin amacı her bir durumda özel sahaya özgü koşullar ile çevresel gereklilikler dikkate alınarak bir bütün olarak çevreye ilişkin yüksek düzeyde koruma sağlamak amacıyla spesifik tekniklerin yeni veya uyarlama tesislerde nasıl uygulandığını ortaya koymaktır. Ancak, Direktif'in 2 (11). Maddesinde verilen MET tanımı ile birlikte 'tedbir ve önleme prensipleri ve tedbirlerin olası maliyet ve faydaları göz önünde bulundurularak mevcut en iyi tekniklerin değerlendirilmesinde genel ve özel olarak değerlendirilmesi gereken hususlar' listesine göre toplanan bilgilerden örneklerde açıklanan her bir tekniğin nasıl değerlendirildiği ya da değerlendirilip değerlendirilmediği her zaman açık değildir. Bununla birlikte sunulan çevresel performansın tüm çalışma koşullarında sabit ve sürekli olduğunu, zaman prosesinde herhangi bir sorunla karşılaşılıp karşılaşılmadığı ve çapraz medya etkilerinin neler olduğundan emin olunamaz. Ayrıca tekniğin uygulanmasında itici gücün ne olduğu maliyet ve çevresel faydaların her bir durumla nasıl ilişkili olduğu da her zaman net değildir. Bu nedenle aşağıdaki örneklerde verilen bilgilerin rapor edilen mevcut uygulamaya ilişkin sadece genel belirtiler verdiğinden ve bunların uygun başvuru noktaları olarak ele alınamayacağından bahsedilmektedir. Örnek olarak verilen teknikler LCP'lerin bilgi alışverişinin bir parçası olarak Teknik Çalışma Grubu üyelerinde değerlendirilen ve sunulan bilgilerden kaynaklanmaktadır.

### 4.2.1 Bireysel uygulamalı tekniklere ilişkin örnekler

#### ÖRNEK 4.2.1.1 TAŞKÖMÜRÜNE İLİŞKİN ULTRA DÜŞÜK NO<sub>x</sub> TEĞETSEL ATEŞLEME SİSTEMLERİ (ULNTF)

**Açıklama:** Modern ultra düşük NO<sub>x</sub> taşkömürü teğetsel ateşleme sistemi radyal ve aksiyal hava geçişinin süperpozisyonu ile karakterizedir. Yakma alt stoikiyometrik koşullar altında meydana gelir. Burada hava dikey yönde çeşitli aşamalarda temin edilir. Radyal hava geçişi vasıtasıyla fırının dış alanında yüksek O<sub>2</sub> ve düşük CO içerikli bir bölge oluşturulur. Bu bölge fırın duvarlarının korozyondan etkili bir şekilde korunmasını sağlar (Şekil 4.24).

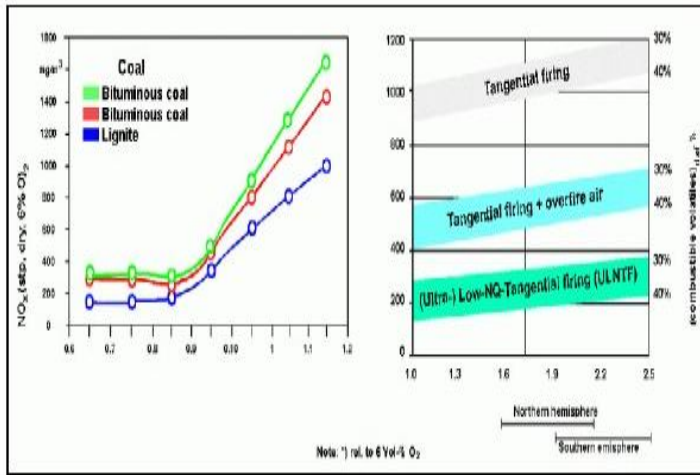
Brülörler köşelere monte edilir. Her bir değirmen bir brülör seviyesine pülverize yakıt temin eder. Üst brülör seviyesinin üzerinde, aşırı yakma hava püskürtme başlıkları, NO<sub>x</sub> azaltıcı tepkimelere imkan vermek üzere üst brülör seviyesinden önemli derecede uzaklıktaki fırın duvarlarında sıraya konular. Aşırı yakma hava püskürtme başlıklarının tanzim ve boyutları, etkili yakmayı teminen aşırı yakma hava miktarının fırın kesitine iyice dağıtılacak biçimde seçilir. Tek brülörlerden her biri bir veya iki yakıt püskürtme başlığı, bir dikdörtgen offset hava püskürtme başlığı, bir dikdörtgen ara hava püskürtme başlığı (bu durumda iki yakıt püskürtme başlığı bulunur) ve iki sirküler üst ve alt hava püskürtme başlıkları bulunur. Bu püskürtme başlıkları ünitenin çalıştırılması sırasında yağ brülörleri için kullanılır. Offset hava püskürtme başlıkları her bir brülörün yukarısına monte edilir. Bunlar, fırın duvarlarında bir hava tabakası oluşturmak üzere fırın duvarlarına doğru yönlendirilirler. Overfire hava püskürtme başlıkları hariç olmak üzere diğer tüm yakıt ve hava püskürtme başlıkları teğetsel daireye doğru yönlendirilir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24: Aksiyal ve radyal hava aşamalandırma ilkeleri

Burner level: Brülör seviyesi  
 Coal: kömür  
 Radial air staging: Radyal hava aşamalandırma  
 Superposition: süperpozisyon  
 Axial air staging: Aksiyal hava aşamalandırma

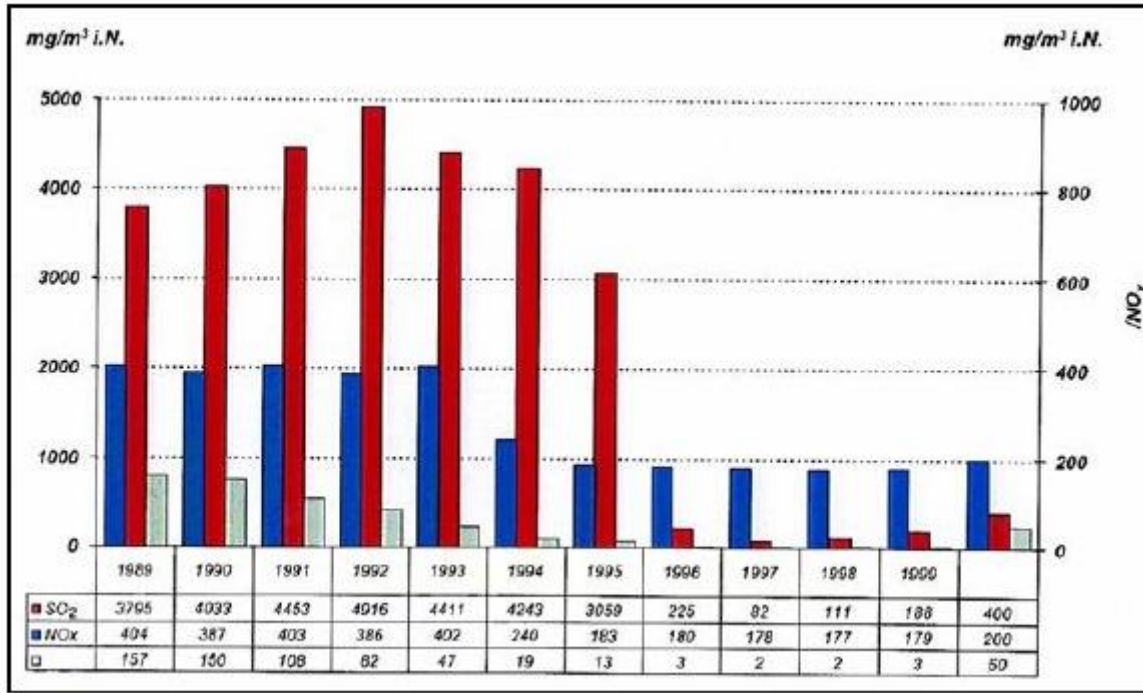
**Sağlanan çevresel faydalar:** Brülör seviyesi stoikiyometrisinin işlevi olarak elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonları Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Bu Şekilde görüleceği gibi, üst stoikiyometri ranjındaki NO<sub>x</sub> emisyonları brülör stoikiyometrisindeki düşüş ile önemli derecede azaltılır. Ancak NO<sub>x</sub> emisyonları 0.80'lik stoikiyometrisinin altındadır.



Coal: kömür  
 Bituminous coal: Katranlı kömür  
 Lignite: linyit  
 Tangential firing: teğetsel ateşleme  
 Overfire air: aşırı yakma havası  
 Low NO<sub>x</sub>: Düşük NO<sub>x</sub>

Şekil 4.25: Brülör stoikiyometrisi ve ateşleme sistemine karşı NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> emisyon ölçümlerine paralel olarak, CO ve O<sub>2</sub> fırın duvarları çevresinde kontrol edilir. Ultra düşük NO<sub>x</sub> operasyonu sırasında ULNTF ateşleme sistemli duvarlarda sadece çok düşük CO konsantrasyonları ile yüksek O<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülür. Şekil 4.25'de ayrıca ultra düşük NO<sub>x</sub> T-ateşleme sistemi ULNTF'nin (ofset hava ile aşırı yakma hava seviyeli) düşük NO<sub>x</sub> ateşleme sistemi (overfire hava seviyeli) ile NO<sub>x</sub>'e ilişkin taşkömürüne yönelik temel ateşleme sistemi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil, dünya pazarından gelen tüm taşkömürlerine yönelik ultra düşük NO<sub>x</sub> ateşleme sisteminin NO<sub>x</sub> azaltım potansiyelini gösterir. Şekil 4.26'da seçili bazı elektrik santrallerine ilişkin (A – M arası etiketlenen) NO<sub>x</sub> değerlerinin karşılaştırılması da gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Seçili bazı elektrik santrallerine yönelik NO<sub>x</sub> değerlerinin karşılaştırılması

**Uygulanabilirlik:** NO<sub>x</sub> teğetsel ateşleme sistemlerine ilişkin sınırlı ölçüde deneyim mevcuttur ve bu deneyimler genellikle yeni tesislerde uygulanıp mevcut tesislere de adapte edilirler.

**Çapraz medya etkileri:** Potansiyel etki bulunmamaktadır.

#### İşletim verileri:

Fazla hava ile egzoz gazı sıcaklıklarının düşüşü buhar jeneratörü verimliliğinde artışa sebep olur. Buna ek olarak verimlilik artışı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımına yönelik önemli bir etki yapar

Baca gazındaki NO<sub>x</sub> içeriğinin azalması katalizöre yönelik amonyak tüketiminde düşüş ile birlikte katalizör çalışma ömründe artışa (katalizör mevcut ise) neden olur.

Buhar jeneratörü verimliliğinin artışı, indüksiyon çekişli, cebri çekişli fanlar ile FGD fanlarının elektrik tüketimindeki düşüş elektrik santrali ünitesinin net verimliliğinde bir artışa sebep olur.

#### Ekonomi:

Buhar jeneratörü verimliliğinin gelişmesi  
Net enerji çıkışındaki artış  
İlave işletim maliyetlerinin olmayışı.

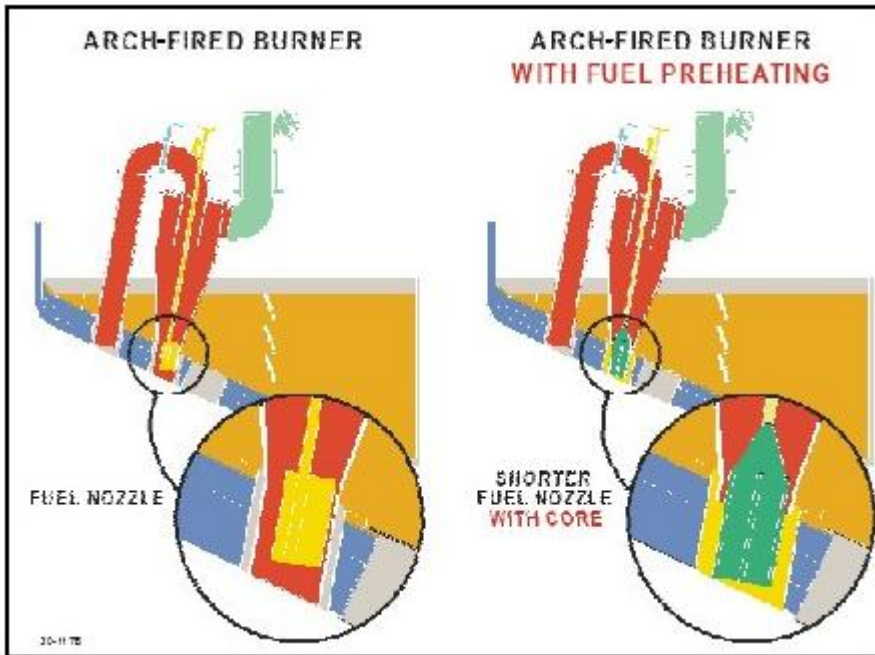
**Uygulamaya yönelik itici güç:** Düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarına ilişkin ulusal/Avrupa mevzuatından kaynaklanan gereklilikler ve/veya buhar kazanı verimliliğindeki artış ile yakıt tüketimindeki düşüş.

**Kaynak literatür:** [114, Alstom, 2001], [115, Epple, et al., 1995], [116, Kather, 1996], [117, Marx, et al., 1997], [34, Verbund, 1996].

### ÖRNEK 4.2.1.2 OFA SİSTEMİ İLE ENTEGRE YAKIT ÖN ISITMA VE SIKLON BRÜLÖRLÜ DİKEY ATEŞLEMELİ SİSTEMLERDEN KAYNAKLI NO<sub>x</sub> AZALTIMINDA KULLANILAN BİRİNCİL TEDBİRLER

**Açıklama:** 1920’lerde tercih edilen pülverize kömür (PC) fırını sistemi dikey (ark) ateşlemeli idi. Bunun nedeni ise bu sistemin arkın altındaki dikey duvar boyunca uzanan açıklar vasıtasıyla bir miktar ikincil hava alınarak alev dengesinin sağlayabilmesiydi. Daha sonralarda sadece birincil hava/kömür püskürtme başlığı çevresinde anaforlu ikincil hava geçişine ihtiyaç duyan ‘turbulent’ brülörlerin benimsenmesi çoğu durumda yatay ateşlemeli PC fırınlarının uygulanmasına olanak vermiştir. Ancak destek yakıtı olmaksızın PC antrasit ateşlemesi bir ark ateşlemesi (AF) özelliği olan aşamalı ikincil hava tedarikine halen gereksinim duyar. Antrasit kömürlerinin elverişli özelliği düşük sülfür içeriği. Bu kömürler dünya çapında bulunurlar ve en geniş rezervler Doğu Asya’dadır.

En başarılı AF teknolojisi eski dikey ateşlemeli sistemlerinin dikey-duvar-hava/ark-hava ile aynı yüksek (~70/30) akış hızı oranlarını korumaktadır. Bununla birlikte brülörleri birincil hava/kömür karışımından gelen havayı tahliye etmeye yönelik siklon ayırıcıları olarak şekillenirler. Bu ise %5’den daha az uçucu madde ihtiva eden kömürlerle bile elde edilen desteksiz tutuşmayı kolaylaştırır. Tutuşma bakış noktasından daha anlamlı olan şey ise bu AF teknolojisinin tam yükte desteksiz yakma için % 1.5 kadar düşük olmasını sağlayan yakıtın hidrojen içeriğidir. Daha yüksek uçucu madde içerikli kömürlerle birlikte, AF üniteleri en ileri düzey düşük NO<sub>x</sub> yatay ateşlemeli brülörlerin en düşük düzeyde NO<sub>x</sub> emisyonunu elde etmişlerdir. Ancak brülör ve fırında hava geçişli NO<sub>x</sub> azaltımına ilişkin eski tasarımların sadece kömür devolatilisation sırasında salınan yakıt nitrojenini hedef almış olmasına dikkat etmek önemlidir.



Arch-fired burner: Ark ateşlemeli brülör  
 Fuel preheating: yakıt ön ısıtma  
 Fuel nozzle: yakıt püskürtme başlığı

**Şekil 4.27: Yakıt ön ısıtmalı arklarla çalışan brülör**  
 [192, TWG, 2003]

Şekil 4.27’de yakıt püskürtme başlığının büyütülmüş görüntüsü ile AF siklon brülörünün standart düzeni gösterilmiştir. Şekil alev dengesini geliştiren yakıt ön ısıtıcı modifikasyonunu resimlemektedir. Modifikasyon, soğuk hava/kömürün püskürtme başlığı çevresindeki sıcak hava ile karıştırılmasına olanak sağlamak üzere silindirik yakıt püskürtme başlığının daha kısa olması; ve uygun alev penetrasyonu için hava momentini sağlarken siklonun türbülans tahliye kapasitesini geliştiren püskürtme başlığına bir ‘göbek’ yerleştirilmesini kapsar. Daha ileri bir modifikasyon da AF siklon brülörü vent’inin overfire hava sistemi ile bütünleşme için yapılabilir. Burada, vent kömür neminin çoğunu ve OFA ile daha zayıf hale getirilen çok zayıf evrede en ince PC’yi taşır.

NO<sub>x</sub> azaltımı birincil tedbirlerinin kaçınılmaz sonucu yanmamış yakıttaki (yanmamış karbondaki) artıştır. Değirmen ürününe daha etkili bir sınıflayıcı uyarlanması yanmamış yakıttaki bu artışı giderebilir. Bu NO<sub>x</sub> azaltım tekniğinin ilgili bileşeni antrasit kömürünün pülverizasyonuna yönelik tercih edilen tüp veya bilyalı değirmenin siper sınıflayıcısı yerine ayarlanabilir bir statik sınıflayıcı içerir. Her iki sınıflayıcı türü de bilyalı değirmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Ayarlanabilir statik sınıflayıcı ayarlanabilir kanatlar ile tanımlı çoklu girişli siklon olarak tasarlanır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Tablo 4.3’de tanımlanan kömürler, Pennsylvania, Birleşik Devletler kömürleri harmanı ile birlikte Birleşik Devletler 22 MW<sub>th</sub> AF Yakma ve Çevresel Test Tesisi (CETF)’nde test edilmiştir. Yakıt ön ısıtma modifikasyonu ile birlikte test edilen her kömürle % 50 yükte dahi dengeli bir yakma sağlanmıştır. Verilen bir NO<sub>x</sub> için, karşılık gelen yanmamış yakıt her bir modifikasyonla azaltılmıştır. Yakıt ön ısıtma ile vent-to-OFA modifikasyonları yla %50’den fazla NO<sub>x</sub> azaltımı yanmamış yakıtın iki katından daha azı anlamına gelir. Özellikle OFA ile birlikte çalışırken diğer kömürlerle yapılan testlerin sonuçları benzerdir.

Kömürler (ASTM Grubu)	Ağırlık ile % analizi							HHV <sub>c</sub>	HGI <sub>d</sub>
	VMa	Asha	H <sub>2</sub> Oa	Cb	Hb	Nb	Sb	kcal/kg	
50/50 harman (~yarı-antrasit)	13.5	11.	9.1	72.9	2.9	1.4	1.	7530	68
Kocher, Pennsylvania (antrasit)	6.9	11.3	11.5	72.4	2.1	1.0	0.7	7220	42
Corbonar, Spain (antrait)	5	19.5	7.6	68.5	1	0,7	0.7	7140	43
a. yakınlık analizi: =uçucu madde (VM) kül ve toplan nem (H <sub>2</sub> O) b. Son analiz: gösterilen elemnetler c. Daha yüksek ısıtma değeri d. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi.									

**Tablo 4.3: Farklı test kömürlerinin analizi**

Antrasit yakan bir Avrupa 154 MW<sub>e</sub> AF ünitesinin 16 brülöründen ikisi yakıt ön ısıtma modifikasyonu geçirmiştir. % 5 uçucu madde ve % 1 hidrojen içerikli yerel bir kömürün (Tablo 4.3, Carbonar, İspanya) test işlemleri sırasında, modifiye edilen brülörler % 60 minimum teknik yükte dahi içlerinde veya bitişiklerindeki brülörlerde ilave yağ desteği olmaksızın çalışabilmişlerdir.

% 7 uçucu madde yüksek nem ve kül içerikli antrasit yakan her biri 300 MW<sub>th</sub> girişli Birleşik Devletler’de iki AF T tesis (merkez elektrik santrali) üniteleri ön ısıtma püskürtme başlığı ve vent-to-OFA modifikasyonlarının uyarlamasından sonra 2002 Baharından sonra yeniden faaliyete başlamıştır. Sonuç olarak, bu birincil (fırın içi) tedbirler uyarlama öncesi NO<sub>x</sub> seviyesini (~950 – 1180 mg/Nm<sub>3</sub>), (~510 mg/Nm<sub>3</sub>)’e çeken iki 300 MW<sub>th</sub> ‘lik tesis ünitesinin ticari garantisini karşılar. Aslında bu yeni PC ateşleme sistemi sadece çok düşük uçucu madde içerikli kömürle yakılanların yerine en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ile sonuçlanan arasında yer alır. Daha güvenilir üre üzeriye dayalı NO<sub>x</sub>’u daha fazla azaltacak ikincil (arka uç) tedbirler benimsenebilir; çünkü bu teknik ile ürenin ihtiyaç duyduğu tipik 100 ppm sınırının üzerinde tutulan CO tepkimeye giren amonyaka kolaylıkla ayrışabilir.

Antrasit yakan 330 MW<sub>e</sub> dereceli bir Avrupa AF tesisinin altı bilyalı değirmenindeki ayarlanabilir statik sınıflayıcının uyarlanması yanmamış yakıt miktarını % 50’ye kadar azaltmıştır.

**Uygulanabilirlik:** Ön ısıtma püskürtme başlığı ile vent-to-OFA tekniğinin kullanılması 30 GW<sub>e</sub>’den fazla kapasiteli yeni tesisler ve boyutları 717 MW<sub>e</sub>’ye kadar çıkan Birleşik Devletler, Avrupa ve Doğu Asya’daki mevcut tesisler için uygundur.

**Çapraz medya etkileri:** Ön ısıtma püskürtme başlığı ile vent-to-OFA tekniği ikincil tedbirlerin uygulama maliyetlerini düşürür. % 1,5'dan daha az hidrojen içeriğine sahip yakıtlar için bu teknik yüksek uçucu madde içerikli destek yağı veya kömürden tasarruf eder. Ayarlanabilir statik sınıflayıcı ile birleştirildiğinde maliyet ve artan yakıt tüketimi ile ilgili harici masrafları önler.

**İşletim verileri:** Belirtildiği gibi azalmış NO<sub>x</sub> ile artmış yakıt esnekliği hariç olmak üzere hiçbir önemli değişiklik yoktur.

**Ekonomi:** Ön ısıtma püskürtme başlığı ile vent-to-OFA uyarlama maliyetleri duvar veya muhalif ateşlemeli buhar kazanlarında birincil tedbirler yoluyla NO<sub>x</sub> azaltımına yönelik yazılarda belirtilen sıradadır. Ayarlanabilir statik sınıflayıcı başlangıç maliyeti dinamik sınıflayıcıların maliyetinin bir kısmı olup bir yandan NO<sub>x</sub> azaltım modifikasyonlarının uygulanmasından sonra kömür tüketimindeki artışı giderirken önemsemeye değmez işletim ve bakım masraflarına sahiptir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** NO<sub>x</sub> 'e yönelik daha düşük emisyon değerleri. Bunun yanı sıra Kyoto Protokolünün 'Temiz Kalkınma Mekanizması' Doğu Asya'daki mevcut ünitelere uyarlanmak üzere fırsatlar yaratmalıdır.

**Kaynak literatür:** [172, Garcia-Mallol, et al., 1999], [173, Garcia-Mallol, et al., 2000], [174, Garcia-Mallol, et al., 2002].

#### **ÖRNEK 4.2.1.3 HİZMET AMAÇLI BUHAR KAZANLARINDAKİ NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI AZALTMAYA YÖNELİK KÖMÜR ÜSTÜ GAZ VE KÖMÜR ÜSTÜ KÖMÜR YENİDEN YAKMA**

**Açıklama:** Yeniden yakma prosesi large utility boiler'lardan kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımına yönelik bir fırın içi yakma modifikasyonu tekniğidir. Yeniden yakma prosesine ilişkin ayrıntılı açıklama Kısım 3.4.1.5'de sunulmuştur.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Yeniden yakma prosesinin pülverize kömürle çalışan büyük tesislerden kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımında etkili olduğu gösterilmiştir. BU proses Birleşik Krallık'ta (İskoçya) kömürle çalışan büyük elektrik santrallerinde (600 MW<sub>e</sub>, kömür üstü gaz yeniden yakma) ve İtalya'daki bir elektrik santralinde (320 MW<sub>e</sub>, kömür üstü kömür yeniden yakma) (sadece düşük NO<sub>x</sub> ile çalışma sırasındaki emisyonlar ile karşılaştırıldığında) % 45 – 60 arasında NO<sub>x</sub> azaltımı sağlanarak Avrupa sınırları dahilinde deney ve uygulamalar yoluyla kanıtlanmıştır.

% 6 O<sub>2</sub>'de 650 mg/Nm<sub>3</sub>'lik taban emisyon seviyesinden, yeniden yakma tekniğini kullanan bir üniteden kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonları bu nedenle 325 mg/Nm<sub>3</sub> (% 6 O<sub>2</sub>) sırasında olur.

Performans fırın içerisindeki elverişli ikamet süresine bağlıdır – daha uzun ikamet süreli daha düşük emisyonlara erişilebilir ancak aksine daha kısa ikamet süreleri gerçekleştirilecek NO<sub>x</sub> azaltımını sınırlayacaktır.

**Uygulanabilirlik:** Yeniden yakma prosesi yeni buhar kazanları için çok caziptir ancak büyük oda gereksinimi düşünüldüğünde uyarlama durumları için muhtemelen daha az uygundur. İdeal olarak fırın, özellikle kömür üstü kömür yeniden yakma prosesi için çok önemli olan en uygun performansın sağlanabileceği elverişli uzun ikamet sürelerine sahip olacaktır. Ancak proses kompakt fırınlara da uygulanabilir. Burada NO<sub>x</sub> ve/veya küldeki karbona ilişkin istisnasız bir miktar uyuşma olacak olmasına rağmen deneyimler yine de önemli NO<sub>x</sub> azaltımının sağlanabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, prensip olarak proses tüm pülverize kömürle çalışan büyük buhar kazanlarında (yani. 500 MW<sub>th</sub> ve yukarısı) uygulanabilir.

Kömür üstü gaz yeniden yakma prosesi sadece doğal gazın rekabet fiyatında bulunabileceği sahalarda uygulanabilir.



**Çapraz medya etkileri:** Yeniden yakma işleminin girişi küldeki karbon seviyesinin yükselmesine sebebiyet verir, ve bazı durumlarda bu artış uçucu külleri satılamaz (örneğin çimento imalatında kullanılmak amacıyla) hale getirir, bu nedenle de arazi dolunun artışına yol açar. Ancak uygulamada küldeki karbon seviyesindeki artış kabul edilebilirdir (ve halen fırın hava geçişinden kaynaklanan seviyeden ciddi derecede düşüktür). Birleşik Krallık'taki (İskoçya) bir tesiste küldeki karbon seviyesi taban sınırlarına yakın iken İtalya'daki bir tesiste 1.25'lik bir faktörle daha yüksektir. Yeniden yakma prosesinin spesifik bir tesise uygulanma potansiyeli ele alındığında küldeki karbon seviyesindeki potansiyel artışı önemli ilgi konusudur. Yakım işlemi üzerindeki potansiyel etkiyi en aza indirecek tedbirler pülverize kömür inceliğinin artırılması (örneğin değirmen geliştirme ve/veya sınıflayıcı geliştirmeleri ile) ve yakım bölgesindeki etkili ikamet sürelerinin artırılmasını kapsar.

Yeniden yakma işlemi hem küldeki karbon seviyesindeki artış (yukarıya bakınız) hem de gaz-over-coal yeniden yakma durumunda termal girdinin kömür yerine doğal gazdan elde edildiği hallerde nem artışı nedeniyle buhar kazanlarının termal verimliliğinde azalmaya sebep olabilir. Birleşik Krallık (İskoçya) ile İtalya'daki tesislerden edinilen deneyimler termal verimlilik durumundaki kötüleşmenin sadece çok az ve önceden kestirilebilir olduğunu göstermiştir.

#### İşletim verileri:

- **Kömür üstü gaz yeniden yakma:** % 6 O<sub>2</sub>'de 250 ile 300 mg/Nm<sub>3</sub> arasında değişen NO<sub>x</sub> emisyonlarına erişilmiştir ki bu taban seviyelerinden % 60 azaltımı temsil eder. Küldeki karbon seviyesi taban seviyesini çok fazla aşmamıştır. Buhar kazanı performansı da olumsuz etkilenmemiştir. Kömürün %20'sinin doğal gaz ile ikamesinden kaynaklanan nem kaybındaki artış sebebiyle termal verimlilik % 1 oranında düşmüştür
- **Kömür üstü kömür yeniden yakma:** Dünyada alınıp satılan çok çeşitli kömürlerden (örneğin Kolombiya, Güney Afrika) % 6 O<sub>2</sub>'de 300 ile 370 mg/Nm<sub>3</sub> aralığında NO<sub>x</sub> emisyonları elde edilmiş ve küldeki karbon seviyesinde sadece çok az bir artış gözlenmiştir. Buhar kazanı çalışmasında herhangi bir önemli değişiklik olmamış ve termal verimlilik de hemen hemen aynı kalmıştır.

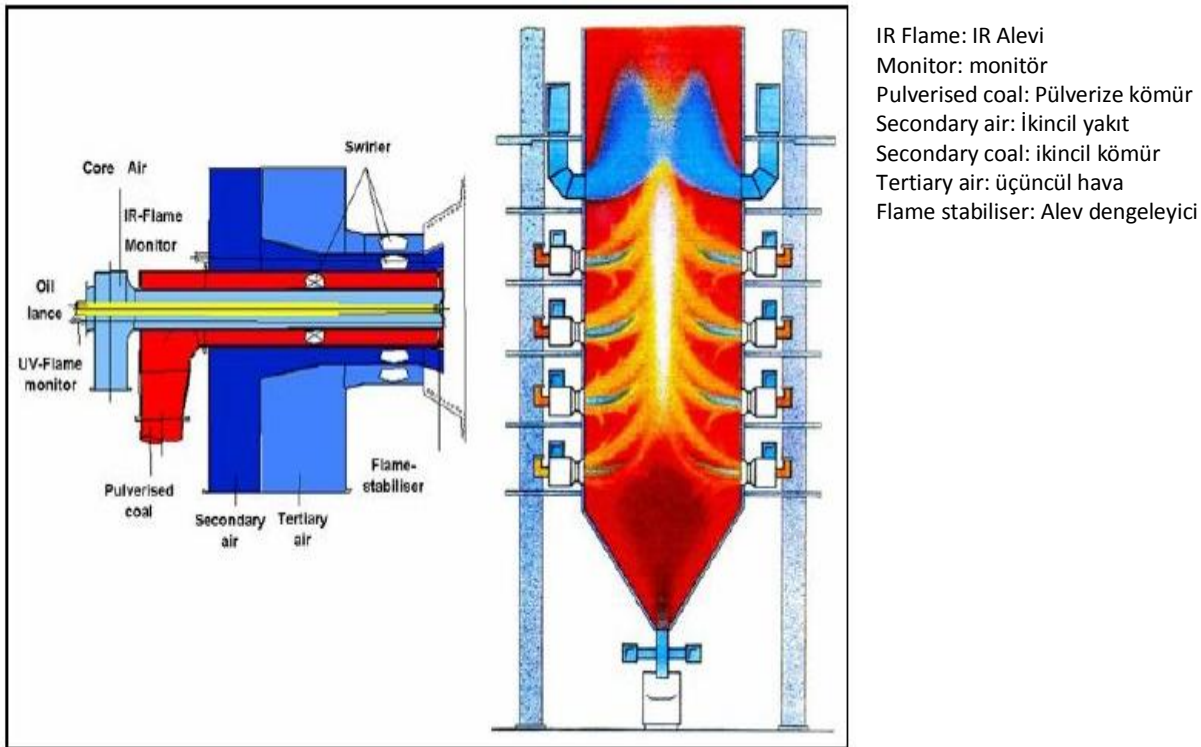


#### ÖRNEK 4.2.1.4 KURU TABANLI BUHAR KAZANLARI – DÜŞÜK NO<sub>x</sub> TÜRBÜLANS BRÜLÖRLÜ (DS BRÜLÖRÜ) MUHALİF ATEŞLEMELİ SİSTEMLERDE TAŞKÖMÜRÜ ATEŞLEME SİSTEMLERİNDEN KAYNAKLANAN NO<sub>x</sub> EMİSYONLARININ AZALTIMINDA KULLANILAN BİRİNCİL TEDBİRLER

**Açıklama:** Muhalif ateşlemede, brülörler fırının ön ve arka duvarlarında çeşitli seviyelerde sıraya konur, Şekil 4.29. Kurulmuş swirl brülörler ile, ayrı her bir brülörde dengeli yakma ile NO<sub>x</sub> azaltım tedbirlerinin optimizasyonu mümkündür.

Etkili bir NO<sub>x</sub> azaltım prosesine yönelik bir ön koşul yakıt hazırlamanın optimize edilmesidir. Esnek değirmen sistemi, öğütme gücü ve öğütme inceliğine yönelik olarak, kendisini özellikle çok çeşitli yakıtlar ile düşük kaliteli taş kömürlerinin yakılmasına adapte eder. Bu nedenle modern bir değirmen sunulan modern düşük NO<sub>x</sub> ateşleme sisteminin ayrılmaz bir parçasını teşkil eder.

Şekil 4.29’da gösterilen DS tipi düşük NO<sub>x</sub> pülverize kömür brülörü düşük NO<sub>x</sub> ateşleme sisteminin önemli bir parçasıdır. Bu brülör esasen bir swirl brülördür. NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltmak için, brülör bir dizi ekta tasarım fonksiyon ve unsurlarına sahiptir. Pülverize kömür tüpüne bir türbülans sağlayıcı ve çıkışa ise dişli bir dengeleyici halka yerleştirilir. Bu yolla alevin dengeleyici halkada erken ve dengeli yanması sağlanır. Yanma havasının çoğu kısmı hava tampon halkaları üzerinden belirli bir yöntemle ikincil veya üçüncül hava olarak geç ateşlemeye yönelik olarak aleve verilir.



**Şekil 4.29: Muhalif ateşlemeli buhar kazanına entegre DS girdap brülörü [67, EPPSA, 2001]**

Şekil 4.29’da belirtildiği üzere düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin fırındaki hava geçişi ile birleştirilmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarını daha da azaltır. Brülörler alt stökiyometrik veya buna yakın hava oranı ile çalışır ve geri kalan yanma havası sadece belirli bir yanma yolundan sonra içeri alınır. Buradaki amaç başlangıçta brülör alanında daha sonra devam eden azaltım alanında NO<sub>x</sub> azaltmaktır.

Modern ateşleme sistemleri düşük hava fazlalığı ile birlikte çalışır. Modern bir tesisteki tipik hava oranı 1.15’dir. Düşük hava fazlalığı ile ve düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin optimum üretim modunda çalışma brülördeki yakıt/hava oranının tam olarak ayarlanmasını gerektirir. Bu ise değirmenlerden alınan pülverize kömürün ilgili brülörlere tek biçimde dağıtılması ve değirmenden gelen yakıtın içeri alındığı ve bir düzeyde yerleştirilen brülör grubuna hava beslemesinin kontrol edilmesi ile sağlanır (olağandışı hallerde hava ayrı ayrı brülörlere verilir).



**Uygulanabilirlik:** Avrupa ve uluslar arası pazarlardaki çok sayıda tesiste mevcut brülörler DS brülörlerine dönüştürülmüştür. Belirli tasarım uyumlarına rağmen yine de ateşleme sistemlerinin değişmeyen veya bazı koşullarda geliştirilmiş çalışma davranışı ile birlikte net NO<sub>x</sub> azaltımlarına erişmek mümkün olmuştur. Şekil 4.30'da bazı tipik uyarılma projelerine yönelik (örneğin A – H üniteleri) brülör dönüşümünden önce veya sonra NO<sub>x</sub> değerlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Örnekler farklı kalitede kömürler ile kapasiteleri 650 MW'ye kadar çıkan farklı tesisleri kapsamaktadır. Kömür kalitesi yakma modifikasyonu NO<sub>x</sub> azaltımı için önemli bir faktördür (bakınız örneğin Şekil 4.31). Deneyimler çok farklı kömürlerden edinilmiştir. Şekil 4.31'de DS brülörlerinde bugüne kadar yakılan kömür çeşitleri verilmiştir.

**Çapraz medya etkileri:** Ateşleme sistemlerindeki DS brülörlerinin uygulanmasından kaynaklanan herhangi bir potansiyel etki yoktur.

**İşletim verileri:** Elektrik tüketiminde potansiyel artış yoktur.

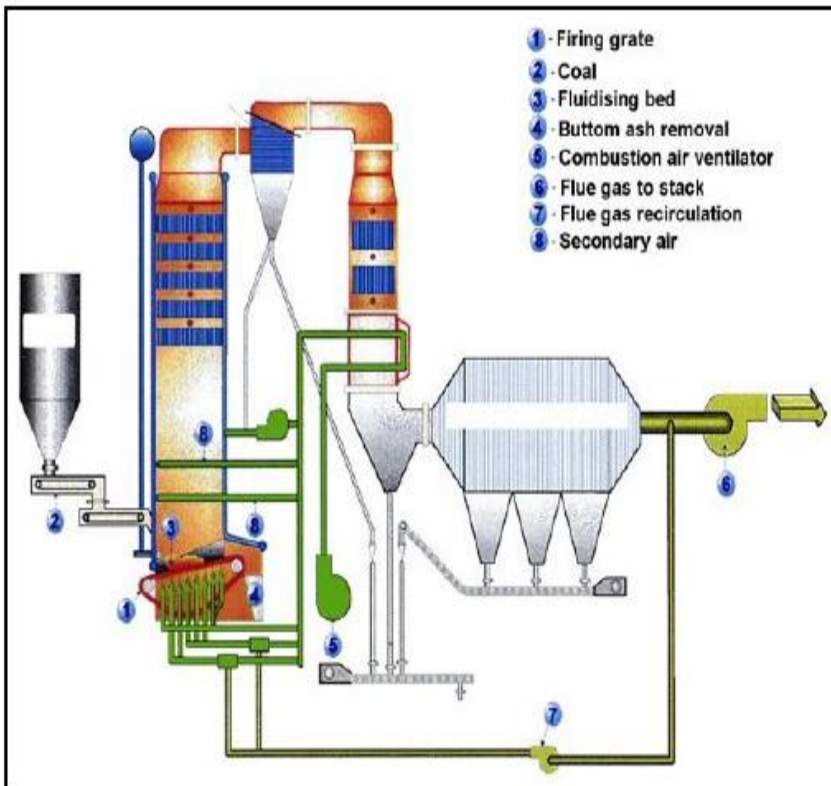
**Ekonomi:** İlave işletme maliyetleri yoktur.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Düşük NO<sub>x</sub> emisyonu gereksinimi.

**Kaynak literatür:** [67, EPPSA, 2001].

#### ÖRNEK 4.2.1.5 SICAK TİP AKIŞKAN YATAK YAKMA (IGNIFLUID)

**Açıklama:** Sıcak tip veya Ignifluid, akışkan yatak teknolojisi yakıt esnekliği, üstün karbon yanma verimliliği ve az emisyon gibi geleneksel akışkan yatak yakma (FBC) sistemlerinin avantajlarını yüksek ranjda yük varyasyonları ve selektif yağın külleri çıktısı ile birleştiren bir yakma tekniğidir.



- 1 - Firing grate: Izgara ateşleme
- 2 - Coal: kömür
- 3 - Fluidising bed: Akışkan yatak
- 4 - Bottom ash removal: Kazanaltı kül ihracı
- 5 - Combustion air ventilator: yakma havası ventilatörü
- 6 - Flue gas to stack: bacaya giden baca gazı
- 7 - Flue gas recirculation: Baca gazı resirkülasyonu
- 8 - Secondary air: İkincil hava

Şekil 4.32: Sıcak tip ('Ignifluid') akışkan yatak teknolojisi [139, MATE, 2001]

Temel özellikler aşağıdakileri kapsar

- Havanın yeterli düzeyde dağılımını ve biriken küllerin yataktan atılmasını (biriken küller atıl gazların %85'ini temsil eder) temin etmek üzere meyilli ve dolaşimli sıvılaştırma ızgarası kullanımı
- Çok aşamalı yakım. Sıvılaştırma hava akışı stoikiyometrik olandan çok daha azdır, bu nedenle akışkan yatakta yakıt gazlaştırması oluşur ve yakma sağlamak için hava enjekte edilir
- Akışkan yataktaki buhar kazanı arka duvarından selektif takti yeniden enjeksiyonu yoluyla çok aşamalı toz toplama sistemi
- İkincil hava olarak kireçtaşı veya hidrathlı kireç enjekte edilerek baca gazı kükürtünün giderilmesi
- Gerekli ise DENOX sistemi (üre veya amonyak bazlı ayırıcıların enjeksiyonu).

Ignifluid buhar kazanının basınç parçaları oldukça konvansiyoneldir.

**Sağlanan çevresel yararlar:** Ölçülen emisyon seviyeleri aşağıdadır:

Kirletici	Ölçülen emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )	Azaltım oranı (%)	Kullanılan teknik
NO <sub>x</sub>	150/300		Üre veya amonyak bazlı ayraç enjeksiyonu
SO <sub>2</sub>	400/600	50-85	İkincil hava ile aynı seviyede sulandırılmış kireç veya kireçtaşı enjeksiyonu
CO	100/150		
Toz	30/50		ESP

(\* ) DESOX ve DENOX ile

**Tablo 4.4: Ölçülen emisyonlara genel bakış ( % 6 O<sub>2</sub>)**

Süreç ile emilen güç 7 – 8 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>.

**Uygulanabilirlik:** Bu teknoloji yeni tesislere uygulanabilir ve çoğu yakıt için de uygundur. Yakıt çok yönlülüğü söz konusu olduğunda güncel deneyimler neredeyse tüm yakıt türlerinin uçucu indeksi, kül içeriği, nem ve kabarma indeksine bakılmaksızın yakılabileceğini göstermektedir. Tek sorun iyi bir sıvılaştırma ve yüksek yakma verimliliği için uygun büyüklük dağılımının elde edilmesi olduğu görülmektedir.

Sıcak tip akışkan yatak teknolojisi 20 ile 300 MW<sub>th</sub>.ranjında değişen enerjiye ayarlanmıştır.

#### Çapraz medya etkileri:

Sıcak tip FBC kuru bir süreçtir ve sonradan atık su üretmez. Sıcak tip proses çoğunlukla dolaşimli ızgara ile yataktan çıkarılan yığılmış küller üretir. Bu küller inşaat endüstrisinde kullanılabilir. İnce küller de bu proses ile üretilir. Bu küller nihai toz kolektörü ile toplanır ve beton endüstrisi için bir hammadde, özel çimento için bir bileşen, bir yol yapım malzemesi yada gübre olarak kullanılabilir.

**İşletim verileri:** Ignifluid teknolojisi 1955 yılında keşfedilmiştir. Bugün 11 ülkede 50'den fazla endüstriyel tesis bu teknoloji ile birlikte inşa edilmiştir bu da 3600 t/h civarında yaklaşık küresel buharlaşma kapasitesini temsil eder. 1400000'den fazla çalışma süresi oluşturlar.

<b>Yakıt:</b>	Neredeyse tüm sıvılaştırma yakıtları Kömür, kaya petrolü, lavvar atıkları Çeşitli biyomas
<b>İzleme:</b>	NOX, SO <sub>2</sub> , CO, toz, O <sub>2</sub> , baca gazı hacim ve sıcaklığı, atmosferik basınç, ortam hava sıcaklığı ile baca gazı hacminin düzenli ölçümleri
<b>Külün yeniden Kullanımı</b>	Buhar kazanından çıkarılan taban külleri çoğunlukla aglomerat haldedir (yakıt atıl gazların % 85'i). Bu (örneğin inşaat endüstrisi veya yol yapımında) yeniden kullanılmasını kolaylaştırır.

**Ekonomi:**

Ignifluid buhar kazanı maliyetleri	60 MW <sub>th</sub>	250 MW <sub>th</sub>
Sermaye maliyetleri (EUR)	<b>10000000</b>	23000000
İşletim maliyetleri/yıl: Sadece kirletici ilişkili (EUR/yıl)	<b>250000</b>	430000
İşletim maliyetleri/yıl: Ekstra enerji tüketimi (EUR/yıl)	<b>64000</b>	110000
İşletim maliyetleri/yıl: Personel ve acil durumlar (EUR/yıl)	<b>330000</b>	575000

**Tablo 4.5: Ignifluid buhar kazanına yönelik maliyetler**

Yukarıda gösterilen sermaye, personel ve muhtemel zararların maliyetleri sadece kirletici madde azaltımı ile ilgili marjinal maliyetler değil bir tesise ilişkin toplam maliyetlerdir. FBC maliyetleri diğer kirletici azaltım teknolojileri ile kolaylıkla kıyaslanamaz. Mevcut bilgilerden FBC'nin hem SO<sub>2</sub> hem de NO<sub>x</sub> emisyonu azaltımında nispeten düşük maliyet metodu sunduğu görülebilir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:**

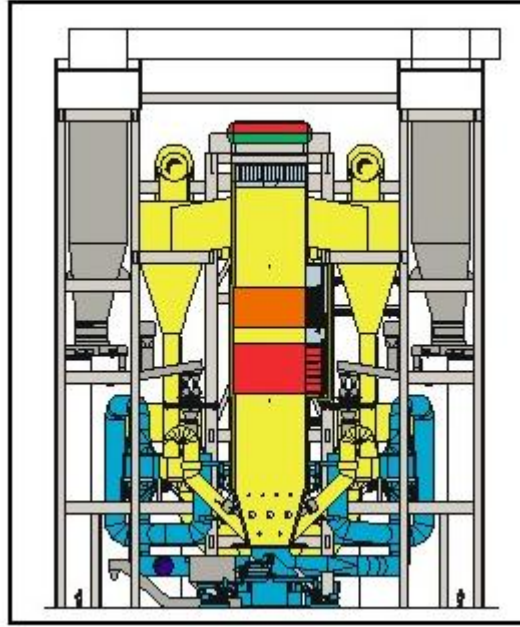
- Kül aglomerasyonu nedeniyle katı atıkların yeniden kullanımına uyumluluk
- Buhar kazanı çalışırken yakıt değiştirme yeteneği
- hızlı soğuk çalıştırma (4 saat)
- Kısmen yatakta bulunan yüksek karbon içeriği nedeniyle (kabaca girdi seviyesinin yarısı) yüksek yük değiştirme oranı ( % 20 – 25 MCR/min),
- Izgara altında ayarlanabilir hava akışı en az beş windboxl nedeniyle geniş turn-down ranjı ( 1/10)
- Biyomas yakımı veya birlikte yakımında 'sera gazı' etkilerine yönelik avantajlar bulunur.

**Kaynak literatür:** [139, MATE, 2001].

#### **ÖRNEK 4.2.1.6 ÖZELLİKLE YÜKSEK SÜLFÜRLÜ LİNYİT VEYA ANTRASİT GİBİ DÜŞÜK KALİTELİ YAKITLARA YÖNELİK SÜLFÜR TUTMA, KİREÇTAŞI TÜKETİMİ VE KARBON YAKIMINI GELİŞTİRECEK CFBC-ELEKTRİK SANTRALLERİNE YÖNELİK TEDBİRLER,**

**Açıklama:** CFBC ateşleme sistemleri yakma amaçlarıyla ilk olarak 1970'lerde ortaya çıkarılmış olup günümüzde ise tesis, belediye ve sanayi işletmeleri için çevre dostu güvenilir enerji santralleri olarak kabul edilmiştir. 2001 yılında, yaklaşık 500 CFB tesisi dünya çapında işler halde idi. Uygulamalı kapasiteler şu anda 250 MW<sub>th</sub> kapasiteyi aşmış olup, 600 MW<sub>th</sub> kapasiteye çıkan tesisler de tasarlanmaktadır.

CFB'lere ilişkin son gelişmeler yüksek sülfürlü ve yüksek kül içerikli yakıtlar da dahil olmak üzere düşük kaliteli yakıtların düşük emisyon yakımına odaklanmıştır. Diğer hedefler ise işletim maliyetlerini, temelde kireçtaşı maliyetleri ile kül ihraç maliyetlerini azaltılmasıdır. Bununla birlikte tesis verimliliğini artırma ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya (biyomas yakma, kireçtaşı kullanımında azalma) yönelik farklı adımlar da geliştirilmiştir. Şekil 4.33 yüksek sülfürlü linyite yönelik tasarlanmış bir CFB tesisini resmeder.



**Şekil 4.33: Yüksek sülfür içerikli CFBC tesisi**  
[118, Alstom, 2001]

**Sağlanan çevresel faydalar:** NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, CO ve yakma verimliliğine ilişkin gelişmeler ile önemli faydalar aşağıda açıklanmıştır.

**NO<sub>x</sub>:** CFBC tesislerine yönelik NO<sub>x</sub> emisyonları birincil tedbirler uygulanarak düşük seviyelerde tutulabilir. Bu tedbirler arasında:

- Termal NO<sub>x</sub> oluşumunu bastıran ve nitrojen bağlı yakıtın NO<sub>x</sub>'e dönüşümünü düşük seviyelerde tutan yaklaşık 850 °C'de düşük fırın sıcaklığı kullanmak
- Alt fırında stoikiyometri altı koşullarda yeterli gaz ikamet süreleri yaratmak üzere birincil hava (yaklaşık % 50) ve çoklu ikincil hava düzeyleri enjekte ederek hava geçişi uygulama
- Katı maddeler/gaz karışımını optimize etme.

Yüksek nitrojen ve yüksek reaktif yakıtlar için, baca gazı re-sirkülasyonu veya SNCR (fırın çıkış veya siklon çıkış noktasında amonyak enjeksiyonu) gibi ilave tedbirler de düşük harcamalarla ilave edilebilir.

**SO<sub>2</sub>:** Kömürdeki organik veya piritik kükürt yakma işlemlerinden ortaya çıkan O<sub>2</sub> emisyonları 'yerinde' kükürt giderme ile % 95'e kadar veya daha fazla azaltılabilir. Kükürt giderme reaksiyonu için en uygun sıcaklık da 850 °C aralığındadır. Kükürt giderme, CaSO<sub>4</sub>oluşturacak CaO partiküllerinin iç gözenekli yapısı içerisinde ve dış yüzeyindeki gazlı SO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> tepkimesi ile sağlanır. Yatak külü ve filtre külü ile birlikte katı madde ürünü CFBC sisteminden ihraç edilir.

Temel olarak küllerin önemli miktarlarda kalsiyum içerdiği linyit olmak üzere belli başlı yakıtlara yönelik olarak, SO<sub>2</sub>'nin önemli bir kısmı 'inherent' olarak adlandırılan kükürt giderme ile zapt edilir. Bu durumda % 95'den daha fazla inherent tutma sağlanabilir. Örneğin taş kömürü gibi çoğu diğer yakıtlara yönelik olarak ise, küller çok önemli miktarda kalsiyum ihtiva etmezler. Bu nedenle uygun partikül büyüklüğünde kırılan kireç taşları fırına ilave edilmelidir. % 95 veya daha fazla kükürt giderme oranı sağlamak için molar Ca/S oranı genelde 2 veya daha yüksek ranjdadır. Kireçtaşı çoğunlukla yakıt ile birlikte doğrudan alt fırına enjekte edilir. Ca/S oranı kireçtaşının uygun partikül büyüklüğüne, kireçtaşı reaktivitesine ve aşınma özelliklerine bağlıdır.



CaO partiküllerine fırın içerisinde yeterli derecede uzun ikamet süresi vermek amacıyla kireçtaşının en uygun partikül büyüklüğü 50 ile 500 Vm aralığında olmalıdır. Aşınma ve reaktivite indeksleri alıcı standartlarına uygun olarak laboratuvar testlerinde belirlenir. Mevcut veritabanlarından alınan referans numuneleri ile karşılaştırılarak belirlenir. Yüksek sülfürlü yakıtlar için kireç taşı ve küllerin elden çıkarılmasına ilişkin maliyetler önemli olabilir. Bu nedenle kanal sorbent enjeksiyonu (modifiye kuru FGD, bakınız Kısım 3.3.5.2) gibi destekleyici teknolojiler kireçtaşı veya kül reaktivitesini artırmak üzere geliştirilmiştir.

**Cl ve F:** Yakıtta bulunan klorin ve florin çoğunlukla Na veya K gibi alkali bileşenler ile bileşiktir. 850 °C'lik sıcaklık seviyelerinde, klorin ve florin daha sonra düşük sıcaklık seviyelerinde CaO ile tepkimeye girecek gazlı HCl ve HF oluştururlar. HF için %90'dan fazlası genellikle filtre külündeki kireç taşı fazlalığı ile tutulurken HCl'ya yönelik tutulma oranları önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Baca gazındaki nem seviyesi, filtre külündeki fazla kireçtaşı miktarı ve filtre türüne (ESP veya ek odacık) bağlı olarak HCl tutulma oranlarının % 20 ile % 90 arasında değiştiği saptanmıştır. Bu nedenle Almanya'daki 'Saar' bölgesinden gelen kömürler gibi yüksek klorinli yakıtlara yönelik olarak Ca(OH)<sub>2</sub> enjeksiyonu gibi ikincil tedbirler uygulanabilir.

**CO:** Fırında ve siklonda yoğun karıştırma nedeniyle CO damarları çözülür. Çoğunlukla Güney Yarımküre'den gelen belirli taşkömürleri için siklonun CO üretimi tespit edilmiştir. Bu kömürlerin yavaş reaktivitelerine dayalı olarak, siklonun konvektif süper ısıtıcı aşağı akımında yerleşen yanmamış karbon tarafından CO üretilir. Süper ısıtıcı alanında kurum üfleyiciler çalıştırılarak CO üretiminden kolaylıkla kaçınılabilir.

**Yakma verimliliği:** İlk nesil bazı CFBC tesislerine yönelik olarak özellikle düşük kül ile düşük reaktif kömürler için filtre külündeki karbon seviyeleri tasarım beklentilerini aşarken, son yıllarda yakma verimliliğine ilişkin önemli gelişmeler kaydedilmiştir. İlk adım gelişimi olarak, düşük kül içerikli kömürlere yönelik filtre külü yeniden enjeksiyon sistemlerinin tesisi özellikle düşük kül içerikli kömürlere yönelik yakma verimliliğinde bir gelişmeye yol açmıştır. İkinci adım olarak ise, siklon verimliliğinin geliştirilmesi ile yakma verimliliği daha da geliştirilmiş ve toplamda % 50'den fazla azalmaya sebep olmuştur. Bunun nedeni dolaşan materyalin ortalama partikül büyüklüğünün 180 Vm'den fazla iken 100 Vm'den daha az hale gelmesidir.

**Siklon verimliliği:** Siklon verimliliğinin geliştirilmesi yakma kaybına yönelik yaklaşık % 50 kireçtaşı kullanımına yönelik olarak ise % 20'den daha fazla bir gelişime neden olmuştur. Homojen sıcaklık profili ise, harici yatak ısı eşanjörleri veya re-sirkülasyon gazı kullanılarak fırın sıcaklığını kontrol etme gereksinimi olmaksızın tüm kömür ranji için sağlanacak 200 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha az NO<sub>x</sub> emisyonuna olanak sağlamıştır.

**Uygulanabilirlik:** Yukarıda bahsedilen türden CFBC ateşleme sistemleri 25 ile 300 MW aralığındaki elektrik santrallerine yönelik olarak uygulanmaktadır. Bahsedilen siklon verimliliğini artırma özellikle yüksek kükürlü yakıtlar (örneğin Hindistan ve Türk linyitleri), düşük reaktif yakıtlar (Çin taşkömürü) ve kömür yıkama tesislerinden alınan ince öğütülmüş yakıtlar için faydalıdır. Halihazırda geliştirilmiş siklon verimliliği ile altıdan fazla tesis çalışmakta ve 15'den fazla tesis ise yapım aşamasındadır.

**Çapraz medya etkileri:** Siklon girişinde partikül yüklemesindeki artış nedeniyle artırılmış siklon tasarımında basınç düşüşündeki saptanan artış 2.5 mbar'dan az olarak ölçülmüştür.

CaSO<sub>4</sub> içerdiklerinden ve bu nedenle betonda yeniden kullanılamadıklarından CFBC külüne yönelik kullanımlar FGD kireçtaşına göre daha az gelişmiştir. Bunun yerine kül yol yapımında ve diğer inşaat uygulamalarında kullanılır. Ancak şu an için CFBC külünün sadece % 40 – 50'si halihazırda kullanılmaktadır.

**İşletim verileri:**

Yakıt tipi	NO <sub>x</sub> (%6 O <sub>2</sub> 'de mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (%6 O <sub>2</sub> 'de mg/Nm <sup>3</sup> )	Kükürt giderme verimliliği (%)
Antrasit ve antrasit tortuları	70	220	80
Pet-kok	100	50	99
Kömür çamuru	110	140	95
Taş kömürü	80	200	95
Batı ABD Taş kömürü	60	100	97
Yüksek nemli linyit	140	200	90
Yüksek kükürtlü linyit	160	200	98
Biyomas	100		

**Tablo 4.6: CFBC tesislerine yönelik tipik NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları**

**Ekonomi:** Geliştirilmiş siklon verimliliği iyi bir yatırım gelirine sahiptir. Eksentrik vorteks bulucu uyarlamasının da ekonomik olduğu kanıtlanmıştır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** SO<sub>2</sub> emisyonlarına ilişkin daha katı gereklilikler ile birlikte ekonomik gereklilikler.

**Kaynak literatür:** [118, Alstom, 2001].

**ÖRNEK 4.2.1.7 ELEKTROSTATİK PRESİPİTATÖRLER (ESP'LER)**

**Açıklama:** Elektronik presipitatörler (ESP'ler) yakma proseslerinden kaynaklanan baca gazları gibi tozlu hava koşullarında duman veya partiküllerin toplanması ve temizlenmesi için günümüzde en yaygın kullanılan cihazlardır (Ayrıntılı açıklama Bölüm 3'de verilmiştir). Bir ESP'nin tipik dış boyutları şöyledir: yükseklik 30 m (aktif yükseklik 15 m'den daha az), uzunluk 40 m ve genişlik 60 m. Önerilen tüm bakım çalışmalarının gereği gibi yürütülmesi kaydıyla ESP'nin ömrü birkaç on yıla kadar çıkabilir. Çekiç ve yatak gibi (veya ıslak ESP'lere yönelik püskürtme başlıkları) bazı parçaların rutin bakımın bir parçası olarak birkaç yıllık çalışma süresinden sonra düzenli olarak değiştirilmeleri gerekebilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** ESP düşük emisyonlar sağlayabilir. Partikülün tasarlanan toplama verimliliği % 99.9'dan daha yüksek olabilir, bu nedenle sadece birkaç mg/Nm<sub>3</sub> emisyonu sağlanabilir. Çoğu durumda 10 mg/Nm<sub>3</sub> ve daha az ranjdaki emisyonlar ölçülmüştür. Ancak yüksek kül içerikli katı yakıtlar yakılırken kül yüksek direnç gösterdiğinde daha yüksek seviyeler de ortaya çıkabilir. Partiküllerin yığılma (aglomerasyon) yetisine sahip olmaları kaydıyla ESP'ler ultra ince partikülleri (<0.5 µm) toplamada çok etkili cihazlardır. ESP'ler normalde ağır hizmet tasarımına sahiptirler ve bu da yüksek uygulanabilirliğe yol açar. Proses'deki gürültülere nispeten duyarsızlardır. Bu nedenle kısa sıcaklık sapmaları ESP'ye zarar vermeyecek ve proses normal koşullara döner dönmez ESP önceki performans seviyesine yeniden döner.

**Uygulanabilirlik:** Baca gazlarından partikül toplanmasına yönelik neredeyse her enerji uygulamasında ESP kullanılmıştır. En yaygın kullanım kömür yakımındadır ancak petrol koku, petrol ve çeşitli petrol artıkları, turba, orimülsiyon ve farklı biyomas türleri de yakıtlar arasındadır. Kuru ESP, külün iç kısımlardan kül taşıma sistemlerine emniyetli bir şekilde ihracını sağlamak amacıyla baca gazının çiğlenme noktasının üzerinde çalışmalıdır. Uygulamaya bağlı olarak baca gazı koşulları büyük ölçüde değişiklik gösterir. Kül bileşimi, kül yükleme, partikül boyutu, kül direnci, sıcaklık, nem, SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> içeriği ESP tasarlamada dikkate alınması gereken parametre örnekleridir..

**Çapraz medya etkileri:** ESP küçük partikülleri etkili bir şekilde kontrol edebilir. Düşük emisyonlu modern tesislerde (örneğin yaklaşık 10 – 15 mg/Nm<sup>3</sup>), ana kütle emisyonu 2.5  $\mu$ . sınırının oldukça altındadır. Rapping ve genel geri dönüş nedeniyle ortaya çıkan emisyonlar arasında fark vardır. Rapping kayıpları aglomerat formunda oluşur ve daha kaba partikül boyutuna sahiptirler. PM<sub>2.5</sub> kontrol etmek amacıyla ESP uygun olarak boyutlandırılmalıdır. Pratik bir yolla kaba ve ince partikülatlara yönelik fraksiyonel verimlilikler arasında değişiklik yapmak mümkün değildir. Partikül boyutunu düşürmek <2.5  $\mu$  büyük partiküllerin miktarını da düşürecektir.

ESP bir miktar ozon üretir. ESP'lerin aşağı akımı yönünde küçük miktarlar ölçülmüştür ancak bu hızlı bir şekilde kaybolur ve bugün bir sorun olarak kabul edilmez.

**İşletim verileri:** Düşük dirençli küllere yönelik olarak, kullanılan akım yoğunluğu toplama alanının normalde 0.5 mA/m<sup>2</sup>'i ile sınırlı iken yüksek dirençli küller için en uygun performansla yönelik ortalama akım 0.05 mA/m<sup>2</sup> kadar düşük olabilir ve buna denk gelen güç tasarrufu sağlanmış olur.

Zor yüksek dirençli uçucu küllere yönelik olarak, partikülatların verimli bir şekilde toplanması için giriş gazı sıcaklığının düşürülmesinde belirli bir avantaj vardır. Son zamanlarda yaklaşık 100 °C gaz sıcaklığında çalışan ESP'ler ortaya çıkmıştır. Bu tesisler için kullanılan kömürler düşük S içerikli (<1 %) olup buhar kazanında üretilen herhangi bir SO<sub>3</sub> uçucu küller tarafından absorbe edilir ve bu nedenle asit yağışına noktası saptanmaz. Düşük sıcaklık nedeniyle tıkanma veya korozyon ile ilgili herhangi bir problem bildirilmemiştir.

ESP civarındaki basınç düşüşü normalde <200 Pascal'dır. Güç tüketen diğer parçalar başlıca hazne ısıtıcılar (3 – 5 kW/hazne düzeninde olabilecek) ile izolatör ısıtıcılarıdır (yaklaşık 1 kW/izolatör). Rapping cihazlarının gücü diğer elemanlar ile kıyaslandığında önemsizdir.

ESP kaplaması gaz sızdırmaz olmalıdır, yani içeriye herhangi bir hava sızıntısı olmamalıdır. Şayet içeriye sızıntı oluşması durumunda soğuk beneklere ve korozyona ve ayrıca daha sonra verimliliğin kötüye gitmesine yol açarak akım ve voltajları değiştirebilecek baca gazı stratifikasyonuna neden olabilir. Gaz sızdırmaz bir ESP ve iyi izole edilmiş bir ESP'de 2 – 3 °C'den daha fazla sıcaklık düşüşü yaşanmaz.

Bakım gereksinimleri oldukça ölçülüdür. 1970'lerde Avustralya'dan alınan istatistikler çalışmayan ESP sorunlarının % 90'ının nedeninin aslında kül tahliye sistemlerinin arızalanması olduğunu ortaya koymuştur. İyi ve güvenilir bir kül nakil sistemi ile günümüzde ESP'lerin yılda sadece bir kez bakımdan geçmeleri normaldir. Bu bakım ise tüm tesis genelinde yürütülen bakım çalışması olması durumunda gerçekleşir. Yeni ve bakımı iyi yapılan tesislerde % >99'luk bir elverişlilik sağlanabilir. Birkaç yıldan sonra hareketli ve aşınan parçaların değiştirilmesi gerekir ve bu iş normalde yıllık bakım sırasında yapılır.

**Ekonomi:** ESP'nin yatırım maliyetleri oldukça yüksek olabilir. kW başına EUR 16 – 53 aralığında değişiklik gösterir. En büyük aralık yerel fabrikasyon maliyetleri, kurma maliyetleri (önemli ölçüde değişiklik gösterebilir) ve buhar kazanı ve ESP boyutuna (verimlilik ve kül bileşimi fonksiyonudur) bağlıdır. Yüksek dirençli küllere yönelik olarak, daha sonraki uyarlamadan ziyade inşanın başlangıcında baca gazı koşullama hayata geçirilirse yatırım maliyetlerinde çok ciddi bir düşüş olur.

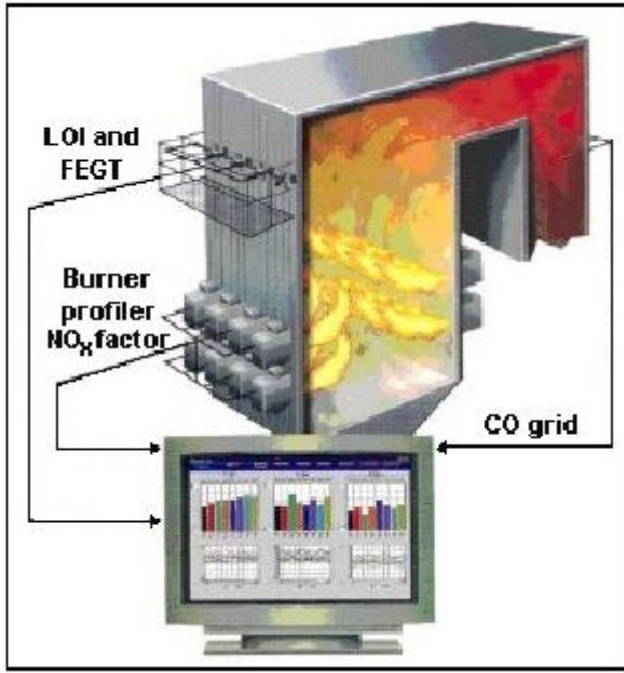
İşletim ve bakım maliyetleri normalde düşüktür. Fark büyük ölçüde güç tüketimi ile bakım maliyetlerinin yerel değerlendirilmesine bağlıdır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Düşük partikülat madde emisyon düzeyleri.

**Kaynak literatür:** [74, Alstom, 2001].

#### ÖRNEK 4.2.1.8 OPTİMİZASYON YAZILIMININ KULLANILMASI

**Açıklama:** Optimizasyon sistemi üst fırına monte edilen bir dizi optik sensör ile konvektif geçişe yerleştirilen yerinde sensör şebekesinden oluşur. Her bir sensörden alınan sinyaller bu sinyali işleyen ve uygun parametreleri görüntüleyen bilgisayar sistemine bir girdi oluşturur:



CO grid: CO şebekesi  
Burner profiler NO<sub>x</sub> factor: Brülör profiler NO<sub>x</sub> faktörü

**Şekil 4.34: Bilgisayarlı optimizasyon sistemi**  
[175, Petek, 2002]

**Sağlanan çevresel faydalar:** Her tesisin farklı optimizasyon hedefleri bulunur, bu nedenle yazılım sistemleri de birçok farklı sonuca ulaşmak için araç olarak kullanılabilir. Aşağıda yakma işlemini geliştiren ve dengede tutan optimizasyon sistemleri kullanılarak elde edilmiş potansiyel yararlar listesi verilmiştir:

- Isı oranı gelişmesi (% 2'ye kadar)
- Fırın çıkış gazı sıcaklığı (FEGT) düşüşü
- NO<sub>x</sub> azalması (% 25'e kadar)
- Tutuşma kaybı (LOI) azalması (% 50'ye kadar)
- CO azalması
- Düşük O<sub>2</sub> seviyeleri
- Gelişmiş ünite elverişliliği – daha az cebri kesintiler
- Daha temiz fırın duvarları, konvektif geçişte daha az cüruf
- Yeniden ısıtma ve süre ısıtma spreylerinin daha az kullanımı
- Düşük lokalize tüp aşırı ısınması hasar ve tüp arızaları
- Azalan kurum üfleme
- Yakıt yönünden zengin lokal alanların patlama riskinin azalması ile daha emniyetli çalışma.

**Uygulanabilirlik:** Yeni ve mevcut tesisler.

**Çapraz medya etkileri:**

**İşletim verileri:** Küresel optimizasyondan ziyade lokal optimizasyonun faydası buhar kazanı ile brülör ayarlamalarının doğru spesifik problem alanlarına hedeflenebilmesidir. Örneğin bir brülörün havasız kalması ve yüksek yakıcı madde üretmesi (LOI ve CO) durumunda, problemi düzeltmek için operatör, hangi brülörün sorun yarattığını bilemeyeceğinden tüm brülörlere giden hava akışını yükseltebilir. Sonuç olarak diğer tüm brülörler gerekenden fazla hava alır ve bunun sonucu olarak da fazla NO<sub>x</sub> üretir. Bu sorun doğrudan sorun alanına yönelik hedeflenen düzenlemeler ile daha iyi çözülür. Optimizasyon sistemlerinin amacı operatörün sorunu lokal olarak çözümlemesine imkan vermek üzere sorun kaynağını (yani spesifik brülör) kesin olarak saptamaktır. Bu nedenle optimizasyon teknikleri buhar kazanı çevresindeki her lokal noktadaki önemli yakma parametrelerinin en uygun düzeyde belirleyerek ve karışımını sağlayarak bütün buhar kazanını optimize etmeyi hedefler.

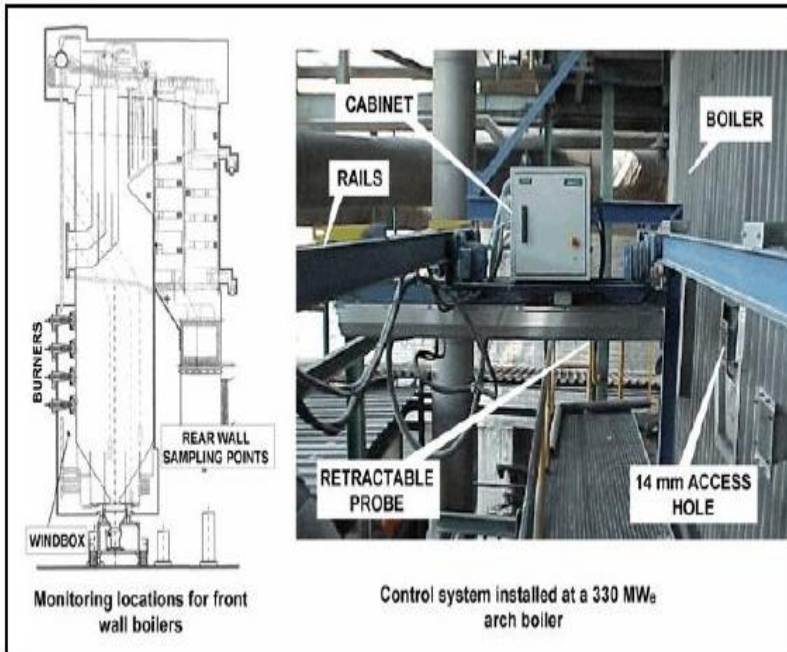
**Ekonomi:** Mevcut değil.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Daha iyi çalışma, daha az bakım ve düşük emisyon seviyeleri.

**Kaynak literatür:** [175, Petek, 2002].

#### ÖRNEK 4.2.1.9 NO<sub>x</sub> AZALTMAK AMCIYLA YEREL YAKMA KOŞULLARININ İLERİ DÜZEY KONTROLÜ İLE KÖMÜR VE LİNYİTLE ÇALIŞAN BUHAR KAZANLARINDA BUHAR KAZANI PERFORMANS GELİŞMELERİ

**Açıklama:** Endüstriyel buhar kazanlarında buhar kazanı verimliliği ile NO<sub>x</sub> üretimi büyük ölçüde fırın içerisinde yakıt ve havanın doğru dağıtılmasına bağlıdır. Bu örnek kontrol teknolojisi dengesiz yakma senaryolarının yaygın durumlarını çözmek üzere daha katı yakma kontrolünün uygulanmasına olanak sağlayan ileri yakma izleme sistemlerinin uygulanması ile yerel yakma dengeleyici stratejileri kombinasyonunu temel alır. Sistem, özellikle brülörlerin yakınında endüstriyel buhar kazanı fırınının herhangi bir iç kısmında alınabilecek gaz konsantrasyon ölçümlerine olanak sağlar (Şekil 4.35). Böylelikle sadece performans sonuçlarında önemli gelişmeler (örneğin buhar kazanı verimliliği, NO<sub>x</sub> emisyonları, cüruf üretimi, küldeki karbon düzeyi ve yardımcı materyallerin tüketimi gibi) elde edilmekle kalmayıp aynı zamanda endüstriyel buhar kazanının daha esnek ve emniyetli çalışması da sağlanmış olur.



Cabinet: kabin  
Boiler: buhar kazanı  
Rails: Ray  
Access hole: erişim yuvası  
Control system: kontrol sistemi  
Sampling points: numuneleme noktaları  
Windbox: windbox  
Monitoring locations: izleme noktaları

Şekil 4.35: İleri izleme sistemleri yoluyla yakma koşullarının karakterizasyonu

İzleme yöntemi, geleneksel buhar tasarımlarında çok sınırlı erişime sahip olan ve normalde yüksek sıcaklıkta bulunan fırın alanlarında lokal gaz konsantrasyon seviyelerinin ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ) ölçülmesi ve değerlendirilmesine olanak sağlar. Bu ölçümlerin amacı ısı oranını, yardımcı materyal tüketimini, kirletici madde emisyon ve cüruf üretimini optimize edebilmek amacıyla operatörün buhar kazanı içerisinde herhangi bir belirli noktadaki yakma koşullarını tanımlama ve kontrol etmesine olanak sağlamaktır. Bu lokal yakma bilgileri ünitenin her biri tek bir brülörden oluşan küçük sanal üniteler yığını şeklinde değerlendirilmesine olanak sağlar. Bu daha küçük ünitelerin her birinin hedeflenen ayarlama ve düzenlemesi buhar kazanı performansının genel optimizasyonunu meydana getirir.

**Uygulanabilirlik:** Endüstriyel buhar kazanlarının fırınları içerisinde ölçümleri gerçekleştirmeye ilişkin bu yeni konsept orijinal buhar kazanı tasarımlarına dahil olan denetim sadece denetim portlarına sınırlı olmaksızın açıklıkların istenilen herhangi bir konuma yerleştirilmesine olanak sağlar. Bu şekilde üniteye yönelik önemli herhangi bir yapısal modifikasyon olmaksızın buhar kazanı içerisindeki her bir brülör seviyesinde ölçüm almak mümkün olur. Böylelikle sunulan kontrol teknolojisi hem mevcut hem de yeni tesisleride uygulanabilir.

Tablo 4.7’de bu yeni ileri düzey kontrol teknolojisinin halihazırda uygulanmakta olduğu İspanya ve Portekiz’den mevcut 16 kömürle çalışan yakma tesisinin ana özellikleri gösterilmiştir. Bu termal üniteler farklı buhar kazanı tasarımları (ark, muhalif ark, cephe, teğetsel) ile farklı yakıt tüketimi türleri sunarlar (kömür, linyit, antrasit ve petrol koku).

Buhar kazanı tasarımı	Kapasite (MWe)	Ünite sayısı	Brülör dağılımı	Yakıt tipi
Ark	270	1	12 ön cephe + 12 arka cephe	Antrasit
Ark	330	1	12 ön cephe + 12 arka cephe	Antrasit Antrasit + pet-kok
Ark	350-360	2	12 ön cephe + 12 arka cephe	Antrasit
Ark	360	1	12 ön cephe + 12 arka cephe	Antrasit + katranlı
Ark	360	2	12 ön cephe + 12 arka cephe	Antrasit Antrasit + pet-kok
Ark + muhalif	315	1	Dikey: 8 ön cephe + 8 arka cephe Yatay: 8 ön cephe + 8 arka cephe	Antrasit + katranlı
Ön	160	1	4 dikey seviye (seviye başına 4 brülör)	Marjinal + katranlı
Ön	315	2	4 dikey seviye (seviye başına 4 brülör)	Katranlı
Ön	360	2	6 dikey seviye (seviye başına 4 brülör)	Katranlı + linyit
Teğetsel	560	2	6 dikey seviye (seviye başına 4 brülör)	Katranlı

**Tablo 4.7: Kömürle çalışan buhar kazanlarında ileri kontrol teknolojisinin uygulanması**

**Sağlanan çevresel faydalar:** Bu teknolojinin uygulanması % 30 ile 60 arasında  $NO_x$  azaltımı ile genel tesis performansında (örneğin ünite ısı oranının % 1’lik artışı gibi) önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Tablo 4.8’de farklı buhar kazanı tasarımlarına sahip termal tesislerde bu teknolojinin uygulanması ile sağlanan tipik çevresel faydalar gösterilmiştir.

Buhar kazanı tipi	Kapasite (MWe)	$NO_x$ Azaltımı (%)	$NO_x$ ( $mg/Nm^3$ , % 6 $O_2$ )		Buhar kazanı verimlilik artışı (%)
			Ana hat	Erişilen asgari seviye	
Ark	270-360	20-60	1600-2000	800	1.0-2.0
Teğetsel	560	10-30	700-900	450	0.5-1.5
Cephe	160-360	>15	600-1100	-( <sup>1</sup> )	0.4-1.2

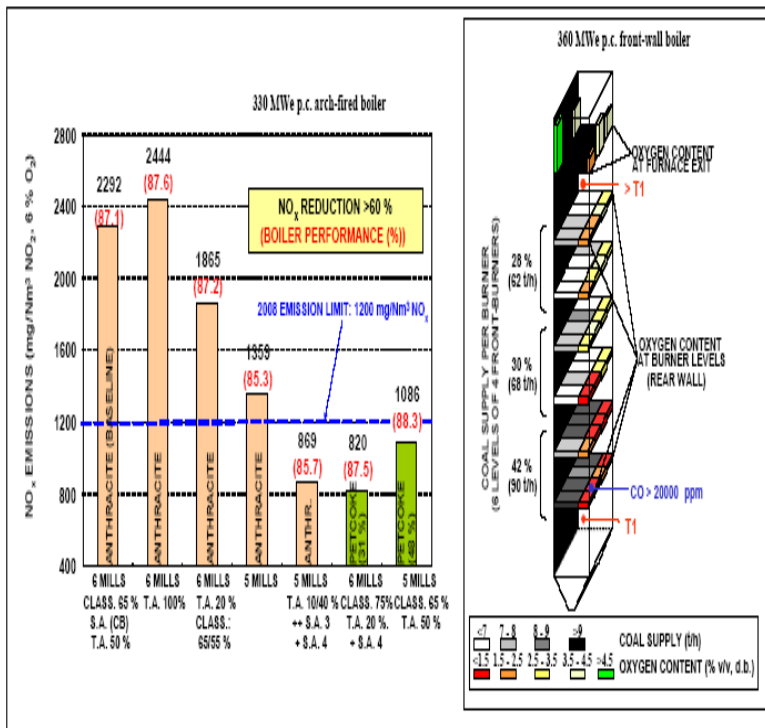
(<sup>1</sup>) Halihazırda yapılmakta olan  $NO_x$  azaltımına yönelik optimizasyon programı

Tablo 4.8: Sunulan teknoloji ile PC elektrik santrallerindeki  $NO_x$  emisyonlarının tipik azaltımları

**İşletim verileri:** Şekil 4.36'da ark ateşlemeli buhar kazanlı 330 MW<sub>e</sub> PC'lik bir elektrik santralinde bu teknolojinin uygulanması ile elde edilen bazı spesifik sonuçlar sunulmuştur. Bu optimizasyon metodu şunları temel alır:

- Her bir brülör için yeterli lokal stoikiyometri sağlanarak genel oksijen fazlalığının gereği gibi ayarlanması
- Alev türünün ayarlanması (değirmenlerin çalışması ve hava girişlerinin uygun kontrolüne dayanır)
- Her bir çalışma yükü için en uygun aktif brülör sayısının belirlenmesi
- Birlikte yakma için spesifik alanlara sınırlı miktarlarda fuel oil girişi.

Bu ayarlamaların tümü lokal yakma ölçümlerine dayalı olarak her bir brülörün bireysel işletimsel koşullarının uygun biçimde kontrol edilmesine kolaylık sağlamak amacıyla yapılmıştır.



Arch-fired boiler: Ark ateşlemeli buhar kazanı  
 Boiler performance: Buhar kazanı performansı  
 Coal supply: kömür kaynağı  
 Oxygen content at burner levels: brülör seviyelerindeki oksijen içeriği  
 Rear wall: arka duvar  
 Oxygen content at furnace exit: fırın çıkışındaki oksijen içeriği  
 Front wall boiler: ön duvar buhar kazanı

**Şekil 4.36: PC ark ateşlemeli (antrasit) ve ön cephe ateşlemeli (taş kömürü + linyit) buhar kazanlarından alınan sonuçlar**

Şekil 4.36'da bu yöntemi kullanan arka duvarın yanındaki oksijen içeriklerine (her bir alev kuyruğuna denk gelen) riayet eden 360 MW<sub>e</sub> bir ön cephe ateşlemeli bir elektrik santralinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Her bir alev kuyruğuna denk gelen (arka duvardan 1 m olarak ölçülmüştür) oksijen seviyeleri arasındaki önemli farklar kaydedilmiştir. CO ölçümleri ile de teyit edilen brülörlerin alt ve üst seviyeleri arasındaki farklar bu buhar kazanı için tanımlanan kömür kaynağı dengesizliği ile ilgilidir. Fırın çıkışındaki ölçümler de alev türündeki farklılıklar ile ilgili olabilecek ön duvar ile arka duvar yakınındaki oksijen seviyeleri arasındaki ilave dengesizliği ortaya koymuştur. Bu durum arka duvardan farklı mesafelerde (örneğin 1 m, 2 m ve 3 m'de) oksijen ölçümleri yoluyla da doğrulanmıştır. Bu tip bilgilere dayanarak, yakma koşullarını kontrol etmek üzere buhar kazanı düzenlemeleri ayarlanmıştır. Bu ölçümler, front-wall buhar kazanlarına yönelik, tipik olarak % 15'den yüksek emisyonlar ile ünite ısı oranında % 1.0'a kadar gelişmelere imkan tanır.

**Çapraz medya etkileri:** Yukarıda bahsedilen doğrudan çevresel faydalara ilave olarak bu ileri düzey kontrol teknolojisine dayalı yakma koşullarının ileri düzeyde kontrolü aşağıdaki ilave faydaları sunar:

- Alev dengesinde artış
- Fırın içerisinde yüksek azalma alanlarının oluşturulmasının kontrolü ve böylelikle fırın tüplerinin süruf üretimi ve korozyonunun azalması
- Buhar tavlama ihtiyaçlarının azalması
- CO emisyonlarının azalması
- Küldeki karbon seviyesi düzeyinin azalması
- Kül kalitesinde gelişme
- Yardımcı güç tüketiminin azalması
- Buhar kazanının daha esnek ve daha emniyetli çalışması.

**Ekonomi:** Sunulan teknolojinin hayata geçirilmesi ayrıca önemli sayılabilecek ekonomik faydalar da doğurur. Bu faydalar aşağıdakilerden kaynaklanır:

- Buhar kazanı verimliliğinde artış
- Ünite ısı oranında artış
- İşletme giderlerinin azalması
- Bakım masraflarının azalması
- Ünite elverişsizliğinin azalması ve bu suretle elektrik kesintileri nedeniyle enerji üretimi kayıplarının azalması
- Külün diğer sanayi sektörlerinde kullanılma potansiyelinin artması (çimento sanayi gibi).

Bu teknolojik yöntemin yatırımı incelenmekte olan ünitenin özel niteliklerine bağlı olarak (kapasite, tasarım, ana hat işletimi vb.) halihazırda 300000 ile 700000 EUR aralığındadır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Yakıt maliyetlerindeki düşüşün yanı sıra uygulamaya yönelik temel nedenler, fırın içerisindeki oksijen ve ısı dağılımlarının ayarlanması ısı oranı ve cüruf üretimi optimizasyonu ile NO<sub>x</sub> oluşumu kontrolüdür.

**Kaynak literatür:** [176, Cañadas and et al, 2001], [177, Rodríguez and et al, 2002], [178, ECSC, 2001].

---



## 4.2.2 Kömür ve linyitle çalışan mevcut büyük yakma tesislerinin çevresel performansını geliştirecek uygulamalı teknik örnekleri

### ÖRNEK: 4.2.2.1 BİRİNCİL NO<sub>x</sub> KONTROLÜ İLE İKİNCİL DE-SÜLFÜRİZASYON VE NO<sub>x</sub> AZALTIMI İLE UYARLANMIŞ PÜLVERİZE TAŞ KÖMÜRÜ İLE ÇALIŞAN KURU TABANLI BUHAR KAZANI

**Açıklama:** Örnek tesis 1983 yılında Almanya’da hizmete sokulmuş olup 1999 yılında 1820 MW nominal termal girişi, 750 MW<sub>e</sub> brüt elektrik enerjisi ve 675 MW<sub>e</sub> ortalama net elektrik enerjisine sahip olmuştur. 1983 ile 1989 yılları arasında ıslak kireçtaşı gaz yıkama (ihraç verimliliği > % 85) ve SCR sistemi ile donatılmıştır. Elektrostatik presipitator > % 99 ayırma verimliliği ile toz emisyonlarını azaltır. Ekonomik nedenlerle ham gazdaki NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarını azaltmak ve tesisin elektrik verimliliğini artırmak için 1997 yılında buhar kazanı uyarlanmıştır.

**Birincil NO<sub>x</sub> kontrolünün uyarlanması:** Açıklanan tedbirler SCR sistemindeki azalmış amonyak tüketimi, daha uzun katalizör ömrü, uyarılmış çekiş sistemine yönelik daha az enerji gereksinimi ve daha düşük hava fazlalığı nedeniyle yüksek buhar kazanı verimliliği dolayısıyla beklenen maliyet azalması ile motive edilmişlerdir. NO<sub>x</sub>’e ilişkin emisyon sınır değerlerine uygunluk mevcut SCR sistemi ile sağlanmıştır. Aksiyal ve radyal hava geçişinin üst üste konulması fırın duvarına yakın alanın yüksek O<sub>2</sub> içeriği ile düşük CO içeriği sağlamasına olanak sağlamıştır. Bu ise korozyona karşı etkili bir koruma ortaya koymuştur. Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri (fazla hava oranı <1) ile buhar kazanının üst kısmındaki yanma alanının (fazla hava oranı >1) kullanılması nedeniyle toplam fazla hava oranı 1.3’den 1.25’e düşürülebilir. Bu tedbirler nedeniyle işletim verilerindeki değişiklikler Tablo 4.9’da gösterilmektedir.

Parametre	Üniteler	İşletim verileri – uyarlama öncesi	Erişilen işletim verileri – uyarlama sonrası
Buhar kazanı sonrası NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (% 6 O <sub>2</sub> )	850	250-300
CO emisyonu	mg/Nm <sup>3</sup> (% 6 O <sub>2</sub> )	< 10	< 10
Uçucu küldeki yanabilir madde	%	Yaklaşık 1	2-3
Amonyak tüketimi	kg/h	600	<275
Minimum katalizör aktivitesi	m/h	21	Yok
Güç talebi:			
• Temiz hava fanı	kW	5600	Yok
• İndüklü çekiş sistemi	kW	5420	
• Kükürt giderme fanı	kW	3400	
Egzoz gazı sıcaklığı	°C	130	Yaklaşık 128
Buhar kazanı verimliliği	%	92.53	>92.83
Yeniden ısıtıcı enjeksiyonu	%	1.7	c.0.3

**Tablo 4.9: Birincil NO<sub>x</sub> kontrol tedbirleri öncesi ve sonrasında ilgili işletim verilerinin karşılaştırılması**

Tasarruf edilen enerji talebi 2.53 MW<sub>e</sub> yekununu bulmaktadır. Bu ise elektrik net veriminde 0.14 puanlık bir artışı ifade etmiştir. Fazla hava oranının 1.15’e düşürülmesi de ısıtma yüzeyi tasarımının değiştirilmesi ile mümkün olabilecek ve elektrik net veriminde 0.2 puanlık ilave bir artışa yol açacaktır. Düşük maliyet verimliliği nedenleriyle bu hayata geçirilmemiştir. Eski kömür değirmenleri değiştirilmemiştir. Yeni olanlar ise uçucu küldeki yanıcı madde içeriğini azaltabilirlerdi.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Açıklanan buhar kazanı uyarlanması amonyak ve elektrik enerjisi talebi gibi yardımcı materyal tüketimini azaltmıştır. Bu ise üretilen enerjinin her bir ünite için CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlar.

**Uygulanabilirlik:** Uyarılma tedbirleri spesifik tesise göre düzenlenmiştir ancak genelde yüksek fazla hava oranlı diğer kuru tabanlı buhar kazanları için de uygulanması mümkündür. Yine de buhar kazanı uyarılması standart hale getirilemez ve bu nedenle durum bazında planlanmalı ve yürütülmelidir.

**Çapraz medya etkileri:** Baca gazı temizleme işlemi kül (elektrostatik presipitatör), atık su ve alçıtaşı (kükürt giderme) üretir. Baca gazı temizleme sistemlerinin çalışması tesisin net elektrik verimliliğini azaltır.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, tesisi 5855 saat çalışmış ve % 37.1'lik elektrik verimliliği ile 3107.3 GWh elektrik üretmiş idi. Tesisi % 38.3'lük bir elektrik verimliliği ile tasarlanmıştır. Aşağıdaki hava emisyonları ölçülmüştür

	% 6 O <sub>2</sub> 'de ölçülen emisyon seviyeleri	Spesifik emisyonlar (g/MWs)	Ölçüm
O <sub>2</sub> içeriği (%)	7		Sürekli
İşletim durumu	Tam yük		
Baca gazı hacim akış hızı (m <sup>3</sup> /s)	2500000		
Toz (mg/Nm <sup>3</sup> )	<10 <sup>1)</sup>	37	Sürekli
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	150 <sup>1)</sup>	556	Sürekli
Kükürt emisyon oranı (%)	10		Sürekli
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	190 <sup>1)</sup>	704	Sürekli
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	12 <sup>1)</sup>	44	Sürekli
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	<30		Bireysel
HF (mg/Nm <sup>3</sup> )	<3		Bireysel
Notlar:			
1	% 6 O <sub>2</sub> 'de ortalama yıllık değer normal işletimde günlük ortalamaya denktir		

**Tablo 4.10: 1999 yılındaki hava emisyonu ölçümleri**

Kaçak emisyonlar kömürün depolanması ve taşınmasından ortaya çıkar. Yıllık emisyonlar 102 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. Emisyonları azaltmak için, kömür tahliye istasyonunun enkapsülasyonu gerçekleştirilmiş ve yer altı kömür taşıma sistemi tesis edilmiştir.

İki Alman madeninden çıkarılan 1081.5 ton taş kömürü ile 3597 t ağır yakıt yakılmıştır. Kullanılan kömürün özellikleri Tablo 4.11'de gösterilmektedir.

Düşük ısıtma değeri (MJ/t)	26500
Su içeriği (%)	89
Kükürt içeriği (%)	0.7-0.9
Kül içeriği (waf) (%)	7.5-10
Uçucular (waf) (%)	32-38
Nitrojen (waf) (%)	0.9-1.6
Tane çapı (mm)	0-20
Öğütülebilirlik, Hardgrove (°H)	42-55
Cl (waf) (%)	<0.45

**Tablo 4.11: Taş kömürü yakım işleminin ortalama özellikleri**

Tüm tesisini atık su akış hızı 280 m<sup>3</sup>/s eder. Bir kısım 80 m<sup>3</sup>/s yağışma arıtımı ile diğer buhar üretme kaynaklarından ortaya çıkmıştır. Nötralizasyon ve çökeltilme işlemleri sonrasında bu atık su Tablo 4.12'de gösterilen ortalama katıçıklık konsantrasyonları ile bir nehre tahliye edilir. Soğutma kulesinden gelen sular (160 m<sup>3</sup>/s) arıtma işleminden geçmeden tahliye edilmiştir. Nötralizasyon, presipitasyon, flokülasyon, çökeltilme, biyolojik arıtım ve filtreleme işlemleri sonunda kökürt gidermeden kaynaklanan atık su (40 m<sup>3</sup>/s) Tablo 4.12'de gösterilen ortalama katıçıklık konsantrasyonları ile bir nehre tahliye edilmiştir.

	AOX	COD	P toplam	N toplam	Cr	Cd	Cu	Pb	Ni
Konsantrasyon (mg/l)	< 0.05	28.4	0.35	15	<0.005	<0.0005	0.17	<0.01	<0.01
Spesifik yük (g/MWhe)		4.26	0.11	2.25			0.026		
İstatistiksel mod		Medyan	Medyan	Medyan			Medyan		

Tablo 4.12: Kondensat arıtımı ile diğer buhar üretim prosesi kaynaklarından atık su katışıklıklarının konsantrasyonu

	Filtrelenebilir madde	Sülfat	Sülfid	Florid	Hg	Sülfid	Cd	Ni
Konsantrasyon (mg/l)	25	900	<1	7	<0.005	<0.02	0.01	0.05
Spesifik yük (g/MWhe)	1.9	68		0.5				
İstatistiksel mod	Medyan	Medyan		Medyan			Medyan	Medyan

Tablo 4.13: Kükürt giderme prosesinden kaynaklı atık katışıklıklarının konsantrasyonu

Gürültü kontrolüne yönelik yasal gereklilikler en yakın gürültü reseptörüne, bu durumda tesisten yaklaşık 300 m uzaklıktaki meskun bölgeye bağlıdır. Soğutucu kule çevresinde akustik perde, ses bariyerleri, tek tesislerin enkapsülasyonu ve akustik emiciler kullanılarak uygun gürültü gereklilikleri karşılanmıştır.

**Ekonomi:** Tesisin toplam yatırımı baca gazı temizleme sistemleri de dahil olmak üzere (1983 - 1989) 791 milyon EUR etmiştir. Elektrostatik presipitatörler 39.5 milyon EUR; uyarlanan desülfürizasyon 111.2 milyon EUR ve uyarlanan SCR ise 38 milyon EUR etmiştir. Açıklanan birincil NO<sub>x</sub> azaltımı uyarlaması 6 milyon EUR'luk bir yatırım gerektirmiştir. Kaçak emisyon kontrolüne yönelik yatırım (kömür tahliye istasyonunun enkapsülasyonu ile yer altı kömür taşıma sistemi) 12.5 milyon EUR'ya denk gelir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Buhar kazanı uyarlamasının nedeni geliştirilmiş ekonomik performans ile yüksek verimlilik. Kükürt giderme ile SCR sistemi 1980'lerde yürürlüğe giren düşük emisyon limit değerleri nedeniyle aynı yıllarda gerçekleştirilmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

#### ÖRNEK 4.2.2.2 BİRİNCİL NO<sub>x</sub> KONTROLLÜ, İKİNCİL DE-SÜLFÜRİZASYON VE PÜLVERİZE LİNYİT KURU TABANLI BUHAR KAZANI UYARLAMASI VE GELİŞEN VERİMLİLİK

**Açıklama:** Almaya'da işletilen bir örnek tesis altı benzer üniteden ibaret olup 6 x 465 MW<sub>e</sub>'lik net elektrik çıkışı, 6 x 500 MW<sub>e</sub>'lik brüt çıkışa ve 6 x 58 MW<sub>th</sub>'ye kadar merkezi ısıtmaya yönelik enerji off-take'ine sahiptir. Linyit civardaki açık madenden çıkarılır. Ezilen linyit saptırıcı hava seperatörü ile teğetsel ateşleme ve ıslak kömür değirmenli cebri dolaşımli buhar kazanına gönderilir. Ünitelerin her biri iki buhar kazanı ve bir buhar ekstraksiyon türbininden oluşur. Baca gazı temizlenir ve doğal çekişli soğutucu kule vasıtasıyla havaya tahliye edilir. Buhar kazanları 176 bar ve 535 °C'de buhar üretirler. Yeniden ısıtma ile, buhar parametreleri 44.4 bar/540 °C olur. Ünitelerin uyarlanması 1991 ile 1995 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Üstlenilen tedbirler hava emisyonlarını azaltıp verimliliği artırmayı hedeflemektedir.



**Sağlanan çevresel faydalar:** 3.2 puanlık bir verimlilik desteği daha sonradan yakıt tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonlarını % 10 oranında düşürmüştür. Islak FGD baca gazlarındaki SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını 4000 – 5000 mg/Nm<sup>3</sup>'den <200 mg/Nm<sup>3</sup>'e düşürmüştür. NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler sadece NO<sub>x</sub> emisyonlarını yarı yarıya düşürmeyip aynı zamanda verimliliği de 2.2 puanla arttırdığından çok özel öneme sahiptir.

**Uygulanabilirlik:** Linyitle çalışan elektrik santrallerinde ESP ve ıslak FGD standart emisyon kontrol tedbirleridir. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltacak birincil tedbirler boru çıkışı tedbirlerinden daha fazla bireysel planlama gerektirmelerine rağmen çoğu durumda uyarlanabilirler. Gelişmiş buhar kazanı verimliliği, türbinler ile daha etkili soğutucu sistemlerin uyarlanması gibi verimliliği artıracak tedbirler prensip olarak diğer tesislerde de uygulanabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Baca gazı temizleme işlemi uçucu kül (elektrostatik presipitatör), atık su (ıslak FGD) ve alçıtaşı (ıslak FGD) üretir. Baca gazı temizleme sistemlerinin çalıştırılması tesisin net elektrik verimliliğini 0.7 puanla artırır.

#### İşletim verileri:

	İzleme	% 6 O <sub>2</sub> 'de bireysel ünitelerin yıllık ortalama değerleri	% 6 O <sub>2</sub> 'de tüm tesisin tamamına yönelik yıllık ortalama değerler	Spesifik emisyonlar (g/MWh <sub>e,net</sub> )
O <sub>2</sub> içeriği (%)	Sürekli		5.4	
Baca gazı hacim akış hızı (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli		865000	
Toz (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	<20 (upstream FGD) 3 (downstream FGD)	3	0.91
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	140-200	170	51.51
Sülfür emisyon oranı (%)	Sürekli	2.7-5	3.8	-
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	164-188	176	53.31
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	164-200	182	55.15
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	Bireysel	<1 <sup>1</sup>	1 <sup>1</sup>	0.30
HF (mg/Nm <sup>3</sup> )	Bireysel	<1 <sup>1</sup>	1 <sup>1</sup>	0.30
<b>Notlar:</b>				
1 Bireysel tedbirlerin ortalama değeri				

Tablo 4.14: 1999 yılındaki ölçülen hava emisyonları

24693.4 kt linyit (1.13 kg/kWh<sub>e</sub>'ye eşdeğer) ve 7482 t hafif fuel oil yakılmıştır. Yakılan linyitin özellikleri Tablo 4.15'de gösterilmektedir.

	Referans yıla ilişkin ortalama değerler	Civar madenden alınan linyite yönelik varyasyon sınırları
LHV (MJ/t)	8611	7600-900
Su içeriği (%)	55.3	48-56
Kükürt içeriği (%)	0.93	0.5-1.4
Kül içeriği (%)	9.3	5.5-15.2

Tablo 4.15: Linyit yakımı özellikleri

En önemli yan kaynakların tüketimi Tablo 4.16'da gösterilmektedir.

Yan materyal	Kireçtaşı	NaOH	HCl	NH <sub>4</sub> OH	H <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>
Uygulama	Islak FGD	Su arıtımı			
Tüketim (t/yıl)	68400	357	487	12	1230
Spesifik tüketim (g/MWhe)	31400	16	22	0.6	56

Tablo 4.16: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi

Tam yükte tüm tesise yönelik su gereksinimi 11000 m<sup>3</sup>/s'yi bulur. Soğutucu kuleler 5800 m<sup>3</sup>/s su buharlaştırmış ve 7580 m<sup>3</sup>/s su soğutma sisteminden yakındaki nehirlerle tahliye edilmiştir. Toplam atık su akışı 1087 m<sup>3</sup>/s'yi bulur. Bu akışın bir kısmı (516 m<sup>3</sup>/s) soğutucu kule ilave su arıtımı, tam su yumuşatma, buhar üretimi ve diğer önemsiz kaynaklardan meydana gelmiştir. Bu atık su ya presipitasyon, flokülasyon ve çökeltme ile arıtılmış ya da harici kanalizasyon arıtım tesisine tahliye edilmiştir.

	AOX	COD	P toplam	N toplam	Zn	Cr	Cd	Cu	Pb	Ni
Ölçülen konsantrasyon değerleri ranjı (mg/l)	0.02 – 0.038	15 – 24	0.05 – 0.07	0.2 – 2.8	0.01 – 0.05	<0.1	<0.03	0.01 – 0.04	0.002 – 0.04	<0.01
Yıllık ortalama konsantrasyonlar (mg/l)	0.03	19.2	0.06	1.7	0.04	<0.1	<0.03	0.03	0.02	<0.01
Spesifik yük (g/MWhe)	0.06	4.12	0.01	0.36	0.01			0.06	0.005	

Not: Kuleden arıtılan atık sular, ilave su arıtımı, tam su yumuşatma, buhar üretimi ve diğer küçük kaynaklar. 1999 yılından a lınan veriler. Ortalam değerler 516 m<sup>3</sup>/s.

Tablo 4.17: Atık su arıtma tesisi sonrası atık sulardaki katışıklık konsantrasyonları

	Kazanaltı külü	Uçucu kül	FGD alçıtışı
Nicelik (t/yıl)	491000	1815000	1210200
Spesifik nicelik (kg/MWhe)	0.022	0.083	0.055
Kullanım/Atma	Çimento endüstrisi; peyzaj mimarisi (bindirme takviyesi)	Alçıtışı deposu ve peyzaj mimarisine yönelik bindirme takviyeleri; çimento ve inşaat endüstrisi malzemeleri	Alçı endüstrisi; boş linyit madenlerinde uzun süreli kullanım için kısmen depolanır

Tablo 4.18: 1999 yılında üretilen tortular

**Ekonomi:** Toplam uyarılama maliyeti 1759 milyon EUR'a erişir (1996). Bu 643/kW<sub>e</sub>' EUR lık spesifik yatırım ile ilgilidir. Tablo 4.19'da bireysel uyarılama tedbirlerine yönelik yatırım gösterilmektedir.

Gelişmeler	Maliyetler (Milyon EUR)
Islak FGD tesisleri	1154
NO <sub>x</sub> Azaltımı	176
24 ESP'nin uyarılması	12.3
9 soğutma kulesinin sağlık koşullarının geliştirilmesi	115
Türbinlerin uyarlanması	85
Kontrol ve instrümantasyon teknolojisinin yenilenmesi	267

Tablo 4.19: Uyarılama maliyetleri

**Uygulamaya yönelik itici güç:** ESP uyarılması, NO<sub>x</sub> azaltımına yönelik birincil tedbirler ile ıslak FGD gerçekleştirilmesine yönelik nedenler 1996 yılında hayata geçirilen daha katı emisyon limit değerleridir. Bu tedbirler olmaksızın tesis kapatılmak zorunda kalırdı.

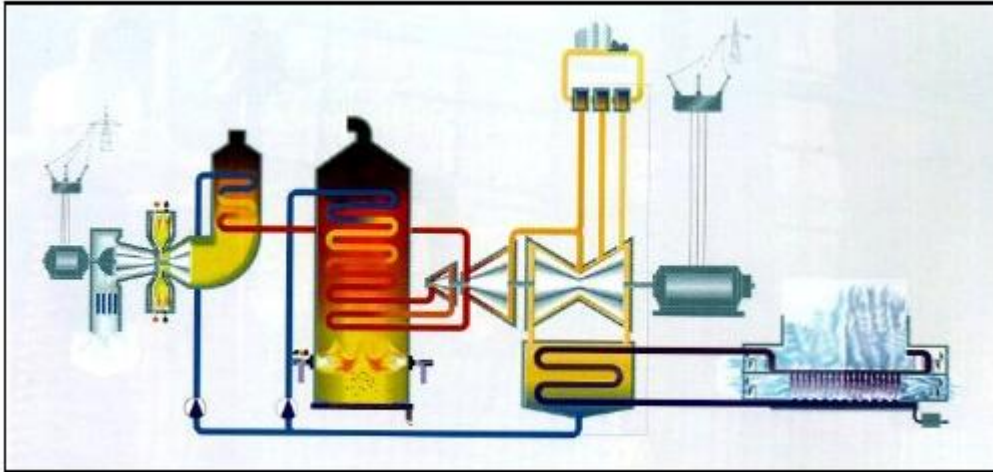
Buhar kazanı uyarılması NO<sub>x</sub> azaltma zorunluluğu ile teşvik edilmiştir, ancak bununla birlikte verimlilik önemli ölçüde artmış ve böylelikle tesisin ekonomik performansı da gelişmiştir. Verimliliğin en uygun seviyeye getirilmesi esasen ekonomik nedenlerle gerçekleştirilmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001], [92, VEAG, 2000].

### 4.2.3 Kömür ve linyitle çalışan yeni büyük yakma tesislerine uygulanan tekniklere örnekler

#### ÖRNEK 4.2.3.1 BACA GAZI TEMİZLEMELİ PÜLVERİZE TAŞ KÖMÜRÜ İLE ÇALIŞAN KURU TABANLI BUHAR KAZANI KOMBİNE ÇEVİRİM KOJENERASYON TESİSİ

**Açıklama:** Kömürle çalışan buhar kazanı atık ısı buhar kazanının kömürle çalışan buhar kazanından gaz türbini kombine çevriminin bir parçası olduğu gaz türbini kombine çevrimi ile birlikte çalışır. Bu birlikte çalışma Tablo 4.20’de gösterildiği gibi farklı yüklerde yüksek enerji değer ve verimliliklerine olanak sağlar.



Şekil 4.38: Gaz türbini kombine çevrimi ile birlikte işletilen kömürle çalışan buhar kazanı [140, NWS, 2000]

İşletim modu	Sadece elektrik		Isı ve güç birleşik üretimi			
	Pe (MW)	el,net (%)	Pe (MW)	el,net (%)	P <sub>ısı</sub> (MW)	Genel verimlilik faktörü (%)
Kombine işletim	397	44	355	38	280	70
Sadece buhar kazanı	302	41.2	246	34.7	280	72
Sadece gaz türbini	65	36	63	35	87	83

Tablo 4.20: Farklı işletim durumlarında performans verileri [140, NWS, 2000]

Dünya pazarından gelen kömür 12 aşamalı kombinasyon brülörlerinde yakılmadan önce altı kömür değirmeninde çekilir. Tek çekişli buhar kazanı ('Benson' tipi) üç brülör seviyesine sahiptir. Temizleme işleminden sonra baca gazı, içi aside dayanıklı kaplamalı ile betonarmeden yapılmış 250 m yüksekliğinde baca yoluyla havaya salınır. Türbin buhar parametreleri yeniden ısıtma sonrası 284 bar/545 °C ile 61 bar/569 °C'ye erişir. 42 m yüksekliğinde hibrid ıslak-kuru soğutma kulesi 420 MW'ye kadar ısı yayar. Gaz türbini 184 MW'lik nominal termal girişe sahip olup dairesel halka yakma odasında 24 hibrid brülörü ile donatılmıştır. Türbin gazı koşulları 17 bar/1160 °C'dir. Buhar üretmek için (64 bar/540 °C) çift çekişli Benson tipi buhar kazanında egzoz gazı (560 °C) kullanılır. Soğutulan baca gazı daha sonra başka temizleme işlemi olmadan havaya yayılır.

**En uygun düzeye getirilmiş performansa yönelik tedbirler:** Aşağıdaki bireysel tedbirler ile kombine çalışmaya yönelik % 44 net elektrik verimliliği ile % 70 toplam verimlilik faktörü sağlanmıştır:

- Gaz türbini ile kombine çalışmanın kullanılması: tam yükte buhar kazanının tek başına çalışmasına kıyasla 2.8 puanlık net verimlilik artışı. Gaz türbinli kömürle çalışan buhar kazanının alternatif egzoz gazı yönlü kuplajı ile karşılaştırıldığında (yani gaz türbininin sıcak baca gazı kömürle çalışan buhar kazanında yakma havası olarak kullanılmıştır) sunulan proses de kısmi yük koşullarında yüksek verimliliğe erişebilir. Maksimum net verimlilik % 50 yük ile olmakla birlikte sadece % 25'lik bir yükte bile % 40 verimlilik sağlanabilir.
- Türbin buhar koşullarına yönelik yüksek parametrelerde çalışma
- Buhar türbin teknolojinin optimize edilmesi
- Yan enerji gereksiniminin azaltılması (örneğin etkili kükürt giderme uygulayarak ve indüklü çekiş sistemine sahip olarak)
- Rejeneratif besleme suyu ısıtma işlemi uygulayarak (274 °C)
- Yüksek buhar kazanı verimliliğine sahip olarak (% 94.4)
- Kondansatörün en uygun düzeye getirilmesi ile
- Son derece verimli bir gaz türbini kullanarak (% 36 net verimlilik).

Hibrid ıslak-kuru soğutma kulesi civardaki meskun bölgede ortaya çıkan dumanları önlemek üzere tesis edilmiştir. Gerekli havalandırma sistemi 3 MW<sub>e</sub>'lük bir elektrik ihtiyacına sahiptir.

**NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltacak tedbirler:** Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri ile, kömürle çalışan buhar kazanının ham gazında 350 mg/Nm<sub>3</sub> oranında NO<sub>x</sub> konsantrasyonu sağlanabilir. Sonradan ortaya çıkan SCR sistemi yüksek toz konumuna yerleştirilmiş olup NO<sub>x</sub> içeriğini yasal bağlayıcı düzey olan 130 mg/Nm<sub>3</sub> (% 6 O<sub>2</sub>'de)'e düşürür. 250 m<sup>3</sup>'lük kombine hacimli iki üniteden meydana gelir. Amonyak tüketimi 100 kg/h'ye kadar çıkabilir.

**Kükürt giderme:** Islak kırıtaşı gaz yıkayıcısı % 96 ile 98.5 arasında bir ihraç verimliliğine sahip olup temel materyal olarak ST 37 üzerine kaplanan yüksek alaşımlı paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Tüp ve borular epoksi cam reçinesinden imal edilmiştir. Sistemin güç tüketimi 3.4 MW<sub>e</sub>'ye kadar çıkabilir. Vakum filtre alçıtmasını % 10 su içeriğine sahip olacak kadar suyunu süzdürebilir.

**Toz arındırma:** Toplam 61400 m<sup>2</sup>'lik alanı kaplayan dört elektrostatik presipitator hattı toz yükünü % 99.92'ye kadar düşürebilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Kombine teknolojinin uygulanması farklı yük ve çalışma modlarında elde edilecek yüksek verimlilik olanağı sağlar. Birincil ve ikincil önlemler düşük hava emisyonlarına yol açar. Atık suların yeniden kullanılması su tüketimini azaltır (kül su arıtımı ile kükürt giderme su arıtımından kaynaklanan atık sular soğutma prosesi için kullanılır). Hibrid ıslak-kuru soğutma kulesi hemen hemen buğusuz olup natural draught soğutma kulesinden yaklaşık % 20 daha az su buharlaştırır.

**Uygulanabilirlik:** Açıklanan tesis tipine yönelik olarak, potansiyel saha gereksinimleri: merkezi semt ısıtma ihtiyacı, yeterli su kaynakları ve kömür taşıma olanaklarının elverişliliği. Kömürle çalışan mevcut bir buhar kazanına gaz türbini uyarlanması kararı yerel koşullara bağlıdır.

**Çapraz medya etkileri:** SCR tesisindeki katalizörün belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekir. Kükürt giderme sisteminin işletilmesi net elektrik verimliliğini 0.38'lük puanla düşürürken, soğutma kulesi ise doğal çekiş soğutma kulesi ile karşılaştırıldığında 0.33 puanlık bir düşüş sağlar.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, 1100 GWh net elektrik ile 286 GWh merkezi ısıtmaya yönelik ısı üretilmiştir. Eşdeğer tam yük saatleri sayısı 3860'ı bulur. Tablo 4.21'de 1999 yılında gaz türbini ve kömürle çalışan buhar kazanından kaynaklı hava emisyonları gösterilmektedir.



	Kömürle çalışan buhar kazanı		Gaz türbini
	Ölçülen emisyon seviyesi	Spesifik Emisyonlar (g/MWh <sub>e</sub> )	Ölçülen emisyon seviyesi
O <sub>2</sub> içeriği (%)	5.9		15
İşletim durumu	Nominal termal giriş 700 MW <sub>th</sub> (birleşik işletim)		Nominal termal giriş 180 MW <sub>th</sub> (tek ve kombine işletim)
Baca gazı hacim akış hızı (m <sup>3</sup> /s)	900000 <sup>1</sup>		550000
Toz (mg/NM <sup>3</sup> )	5 <sup>1</sup>	13.47	
SO <sub>2</sub> (mg/NM <sup>3</sup> )	20 <sup>1</sup>	59.89	
CO (mg/NM <sup>3</sup> )	90 <sup>1</sup>	254.49	70 <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> (mg/NM <sup>3</sup> )	16 <sup>1</sup>	44.91	20 <sup>3</sup>
HCl (mg/NM <sup>3</sup> )	2 <sup>2</sup>	5.99	
HF (mg/NM <sup>3</sup> )	0.2 <sup>2</sup>	0.60	
Notlar:			
1. sürekli emisyonlar, % 6 O <sub>2</sub> 'de yıllık ortalama değer			
2. bireysel ölçümlerin ortalama değeri			
3. sürekli ölçümler, % 15 O <sub>2</sub> 'de yıllık ortalama değer			

Tablo 4.21: 1999 yılında ölçülen emisyonlar

Dünyanın farklı kesimlerinden 360000 ton taş kömürü yakılmıştır. İlave olarak da 1 milyon Nm<sub>3</sub> doğal gaz ve 1800 ton hafif fuel oil yakılmıştır. En önemli yan kaynakların tüketilmesi Tablo 4.22'de gösterilmiştir.

Yan materyal	Uygulama	Tüketim (t/yıl)	Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )
Kireç	Kükürt giderme	470	430
Çekilmiş kireçtaşı		9000	8200
NaOH	Atık su arıtımı	120	110
HCl		230	210
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		50	46
FeCl		520	476
NH <sub>3</sub>	SCR	890	815

Tablo 4.22: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi

Soğutucu kulenin su tüketimi 540 m<sup>3</sup>/s idi. Bu miktarın % 73'ü civardaki bir nehre tahliye edilmiş, gerisi ise buharlaşmıştır. Bu atık su, COD (kimyasal oksijen talebi) (20 mg/l), fosfor (0.2 mg/l) ve nitrojen (23 mg/l) gibi katışıklıklar ihtiva etmektedir. Parantezlerdeki sayılar 1999 yılına ait ortalama değerlerdir. Kükürt giderme tesisinden gelen atık sular flokülasyon elemanları ve sonradan çökelme işlemi ile ayrı bir tertibatta arıtılmıştır. Bu suyun % 50'si daha sonra soğutma suyu olarak kullanılmış ve geriye kalan % 50 ise nehre tahliye edilmiştir. Bu atık sudaki katışıklık konsantrasyonu Tablo 4.23'de gösterilmiştir.

	2 ile 3 ölçümden alınan ortalama değer (mg/l)	Spesifik yük (g/MWh <sub>e</sub> )
Klorin	40000	1.20E+03
COD	<150	4.49E+00
Çinko	<1	2.99E-02
Kromyum	<0.5	1.50E-02
Kadmiyum	<0.05	1.50E-03
Bakır	<0.5	1.50E-02
Kurşun	<0.1	2.99E-03
Nikel	<0.5	1.50E-02
Filtrelebilir madde	17	5.09E-01
Sülfat	1542	7.61E+01
Sülfid	2	5.99E-02
Florid	8	2.40E-01
Civa	0.007	2.10E-04
Sülfid	0.07	2.10E-03
Not: 1998/1999 yılındaki ölçümler		

Tablo 4.23: Arıtma sonrası kükürt giderme tesisi atık sularındaki kirletici madde konsantrasyonları

	Kül (standart kalite)	Buhar kazanı kumu	Soğutucu kule ilave su arıtımından kireç çamuru	İnce çekilmiş FGD alçıtışı
Nicelik (t/yıl)	21000	3100	2500	14000
Spesifik Nicelik (kg/MWh <sub>e</sub> )	19.0	2.8	2.3	12.7
Kullanım /Atma	Çimento ve beton endüstrisi	İnşaat malzemesi endüstrisi	Çimento endüstrisi, gübre	Alçı ve çimento endüstrisi

Tablo 4.24: 1999 yılında üretilen tortular

Gürültü kontrolüne yönelik yasal gereklilikler en yakın gürültü reseptörüne, bu durumda tesisten yaklaşık 400 m uzaklıktaki meskun bölgeye bağlıdır. Soğutucu kule çevresinde akustik perde, ses bariyerleri ve cephenin levhalara bölünmesi ile uygun gürültü gereklilikleri karşılanmıştır.

**Ekonomi:** Hizmete alınma zamanında toplam yatırım 615 milyon EUR'ya ulaşmıştır. Bu 1549/kW<sub>e</sub> EUR'luk spesifik yatırım ile ilgilidir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Tesisi inşa etmenin esas nedeni kömürle çalışan üç eski buhar kazanını değiştirmektir. 1950'lerden 1960'lara kadar bu buhar kazanları çalışmada büyük esneklik göstermiştir. Bileşen tekniğinin arkasındaki mantıksal temel bu yüksek esneklik düzeyini korumaktır. Kısmi yükte çalışma, kısa çalışma ve durma sürelerine yönelik yüksek verimlilik ana avantajlardır. Aynı saha içinde mevcut tesiste zaten hibrid ıslak-kuru soğutucu kule kullanılmaktaydı ve gereklilikleri yerine getirdiği kanıtlanmıştır. Bu nedenle gözle görülür buğuları önlemek üzere yeni tesiste de kullanılmıştır. Sahanın doğal çevresi yani vadi içerisinde konumlandığından hava emisyonlarına yönelik nispeten düşük limit değerleri konulmuştur.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001], [140, NWS, 2000], [179, Lehmann, et al., 2000].

**ÖRNEK 4.2.3.2 ISLAK FGD VE SCR'Lİ PÜLVERİZE KÖMÜRLE ÇALIŞAN KURU TABANLI BUHAR KAZANI**

**Açıklama:** Örnek elektrik santrali 1994 yılında Almanya'da hizmete alınıp işletilmiştir. Tesis 1370 MW'lik nominal termal enerji girdisine sahiptir. Maksimum enerji çıkışı 553 MW<sub>e</sub> brüt elektrik, 508 MW<sub>e</sub> net elektrik ve 300 MW ısı'dır. Elektrik net tasarım verimliliği % 42.5'dir. Dünya pazarlarından alınan kömürler 16 aşamalı türbülans brülörde yakılmadan önce dört kömür değirmeninde çekilir. Brülörler dört seviye üzerine yerleştirilir. Temizlendikten sonra 141.5 m yüksekliğinde soğutucu kule yoluyla havaya salınır. Türbin buhar parametreleri yeniden ısıtma sonrası 262 bar/545 °C ve 53 bar/562 °C'dir.

Optimize verimliliğe yönelik tedbirler:

- Yüksek buhar parametreleri
- Optimize edilmiş türbinler
- Temel donanımlar bir hat üzerine inşa edilmiştir.

NO<sub>x</sub> azaltımına yönelik birincil ve ikincil tedbirler:

- Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri işlenmemiş gazda 500 mg/Nm<sup>3</sup>'den küçük konsantrasyonlara erişilmesine olanak sağlar
- 'yüksek toz' konumunda üç katalizör katmanlı SCR donanımı.

Desülfürizasyon:

- Tebeşiri absorban olarak kullanan ıslak FGD; yeniden ısıtma olmaksızın; azaltım verimliliği > % 95.

Toz kontrolü:

- % 99'dan fazla azaltım verimliliği olan ESP.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Yüksek net elektrik verimliliği kaynakların (kömür) ekonomik kullanımı ile düşük spesifik CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açmıştır. Birincil ve ikincil tedbirler düşük hava emisyonlarına yol açmaktadır.

**Uygulanabilirlik:** Yukarıda açıklanan türde bir tesisin inşasına yönelik potansiyel saha merkezi semt ısıtma, yeterli su kaynakları ile kömür taşınmasına yönelik uygun taşıma olanaklarını gerektirir.

**Çapraz medya etkileri:** Baca gazından meydana gelen kalıntılar:

- Uçucu kül (elektrostatik presipitator)
- Kükürt giderme tesisinden atık su ve alçıtaşı
- SCR tesisindeki katalizörün belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekir
- Kükürt giderme tesisinin çalışması elektrik net verimliliğini azaltır.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, tesis 5782 saat boyunca çalışmış ve 2481.3 GWh<sub>e</sub> net elektrik ile 168.8 GWh merkezi ısı üretmiştir. Tesis % 40.4'lük ortalama net elektrik verimliliği ile % 44.26'lük ortalama genel verimliliğe ulaşmıştır. Tablo 4.25'de 1999 yılında kömürle çalışan buhar kazanı ile gaz türbininin hava emisyonları gösterilmektedir.

	Ölçülen emisyon seviyesi (% 6 O <sub>2</sub> 'de yarım saatlik ortalama değer)	Spesifik emisyonlar (g/MWh <sub>e</sub> )	Ölçüm
O <sub>2</sub> içeriği (%)	4		
İşletim modu	Tam yük		
Baca gazı hacim akış hızı (m <sup>3</sup> /s)	15800000		
Toz (mg/NM <sup>3</sup> )	3	9.11	Sürekli
SO <sub>2</sub> (mg/NM <sup>3</sup> )	52	158.38	Sürekli
NO <sub>x</sub> (mg/NM <sup>3</sup> )	167	483	Sürekli
CO (mg/NM <sup>3</sup> )	23	66.49	Sürekli
HCl (mg/NM <sup>3</sup> )	<1.73		Bireysel
HF (mg/NM <sup>3</sup> )	<0.2		Bireysel

Tablo 4.25: 1999 yılında ölçülen emisyon seviyeleri

1999 yılında dünya pazarlarından 782 kiloton taş kömürü yakılmıştır. İlave olarak 4170 ton hafif fuel oil yakılmıştır. En önemli yan kaynakların tüketilmesi Tablo 4.26'de gösterilmiştir.

Yan materyal	Uygulama	Tüketim (t/yıl)	Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )
Tebeşir	FGD	16139	6500
Beyaz ince kireç		588	237
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Su arıtımı	603	244
FeCl <sub>3</sub>		396	159
NH <sub>3</sub>	SCR	605	244

Tablo 4.26: 1999 yılında önemli yan kaynakların tüketimi

Soğutucu sistemi herhangi bir demineralizasyon işlemi yürütülmeksizin Baltık denizinden alınan su ile beslenir. Korozyonu önlemek için soğutucu sistem tüpleri tamamen titanyumdan imal edilmiştir. Kalınlaştırılan soğutucu su tam yükte 950 m<sup>3</sup>/s akış hızı ile tekrar denize boşaltılır. Bu atık sudaki katılaşma konsantrasyonları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir

	Ortalama konsantrasyon (mg/l)	Ortalama spesifik yük (g/MWh <sub>e</sub> )
Cl	0.3	0.56
AOX	0.117	0.22
COD	35	65.5
P <sub>toplam</sub>	0.191	0.36
N <sub>toplam</sub>	0.47	0.88
Not: 1999 yılındaki emisyonlar		

Tablo 4.27: Soğutma sistemi sıvısındaki katılaşma konsantrasyonları

Islak FGD'nin su ihtiyacı deniz suyu ile kaynak su karışımından karşılanır. FGD atık sularının arıtımı ayrıca denize boşaltılan atık su (70 m<sup>3</sup>/s) üretir. Arıtma sonrası kükürt giderme tesisi atık sularındaki katılaşma konsantrasyonları aşağıdaki gösterilmektedir.

	Konsantrasyon ortalama değerleri (mg/l)	Ortalama spesifik yükler (g/MWh <sub>e</sub> )
AOX	0.0383	0.002
COD	71	3.57
Çinko	<1	0.05
N <sub>toplam</sub>	<10	0.5
Cr	<0.01	
Cd	<0.01	
Cu	<0.01	
Pb	<0.1	0.005
Ni	<0.02	
Filtrelenebilir madde	<30	1.5
Sülfat	<2000	100.7
Sülfid	<20	1.00
Florid	<30	1.5
Cıva	<0.001	
Sülfid	<0.2	0.1

Not: 1999 yılındaki ölçümler

Tablo 4.28: Arıtma sonrası kükürt giderme tesisinin atık sularındaki katılaşık konsantrasyonları

	Nicelik (t/yıl)	Spesifik Nicelik (kg/MWh <sub>e</sub> )	Yeniden kullanım ve tahliye
Kazanaltı külü	14150	6	İnşaat malzemesi endüstrisi
Uçucu kül	81350	30	İnşaat malzemesi endüstrisi
FGD alçıtaşı	26300	10	İnşaat malzemesi endüstrisi
Alçıtaşı	2020	0.8	Atık saha kaplama
Soğutucu kule ilave su arıtımından kaynaklı sulu çamur	733	0.3	Atık saha kaplama

Tablo 4.29: 1999 yılında üretilen tortular

Gürültü kontrolüne yönelik yasal gereklilikler en yakındaki, bu durumda tesisten yaklaşık 820 m uzaklıktaki meskun bölgedeki gürültü reseptörüne bağlıdır. Uygun gürültü gereklilikleri egzoz susturucu, akustik perde ve enkapsülasyonlar ile şiddet ve basınçların belirli aralıklarla engellenmesi ile karşılanır.

**Ekonomi:** Hizmete alınma zamanında toplam yatırım 615 milyon EUR'yu bulmuştur. Bu ise kW başına 1.118 EUR'luk spesifik yatırım ile ilgilidir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Emisyon sınır değerlerine uyum sağlamak için ESP, ıslak FGD, birincil NO<sub>x</sub> kontrolü ile SCR tesis edilmiştir. Ekonomik nedenlerle birincil olarak verimliliğin en uygun düzeye getirilmesi gerçekleştirilmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

#### ÖRNEK 4.2.3.2 KAMU AMAÇLI ŞİRKETLERİ İLE ENDÜSTRİYEL ENERJİ ÜRETİMİNDE CFB – BUHAR KAZANLARI

**Açıklama:** Gittikçe katılaştıran çevresel koruma gereklilikleri buhar kazanı imalatçı ve işletmecilerini (hem kamu amaçlı hem de endüstriyel sektörlerde) katı yakıt yakma süreçlerine yönelik daha çevreyle dost çözümler uygulamaya zorlama eğilimindedir. Bu bakış açısından dolaşımli akışkan yatak buhar kazanı olağanüstü bir enerji üretim ve kirlilik kontrol konseptidir. Dolaşımli akışkan yatak fırınlarının başarısının temel nedeni herhangi bir ilave azatlım ekipmanına ihtiyaç duyulmaksızın SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına yönelik son derece katı çevresel koruma gerekliliklerini karşılayabilme kapasitesinde saklıdır. Sıvılaştırılmış fırınlar düşük kalorifik değerler ve yüksek kül içerikli çok geniş yelpazede yakıtlar ile yakılabilir.



Aşağıdaki Tablo 4.30'da Polonya'da işletilen taş kömürü ile çalışan üç akışkan yatak buhar kazanına yönelik erişilen emisyon değerleri ile imalatçıların 'garanti ettiği' kirlenici emisyon değerleri arasındaki karşılaştırma gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları kuru baca gazındaki % 6 O<sub>2</sub> içeriğine referans edilmiştir.

Kirlenici Madde	A Tesisi (mg/Nm <sup>3</sup> )		B Tesisi (mg/Nm <sup>3</sup> )		C Tesisi (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	Ölçülen	Garanti edilen	Ölçülen	Garanti edilen	Ölçülen	Garanti edilen
SO <sub>2</sub>	121 – 141	300	80 – 168	200	290 – 320	400
NO <sub>x</sub>	176 – 181	250	162 – 171	200	85 – 154	300
CO	81.1 – 84	250	84 – 96	250	105 – 224	250
Kül	28	50	26	50	15 - 23	50

Tablo 4.30: Polonya'da işletilen taş kömürü ile çalışan üç akışkan yatak buhar kazanlarına yönelik erişilen ve garanti edilen emisyon değerlerinin karşılaştırılması

**Ekonomi:** Aynı kapasitedeki pülverize yakıt buhar kazanı (düşük emisyon brülörleri ve harici baca gazı kükürt giderme tesisi ile donatılmış) ile karşılaştırıldığında ve aynı çevresel faydalara erişmek üzere, CFBC buhar kazanının yatırım maliyetleri daha düşüktür. CFBC buhar kazanları ayrıca kurulum için daha az alan gerektirirler ki bu onların mevcut tesislere uyarlanmalarını özellikle uygun kılar.

CFBC buhar kazanları geleneksel emisyon kontrol metodlarına alternatif olarak daha uygun ve düşük maliyet arz ederler. Bu geleneksel kontroller genellikle tesis ilaveleri olarak inşa edilirler ve bu nedenle elektrik santralının masraf ve karmaşıklığına katkıda bulunurken verimliliğini de düşürürler. Aksine, CFBC teknolojisi çok daha az emisyon üreten ancak aynı zamanda çok daha yüksek verimlilik de sağlayan toplam sistem gelişimi üzerine yoğunlaşır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Bugüne kadar kömür yakma süreçleri temelde verimliliği artırmak ve kapasiteyi yükseltmek amacıyla değişim geçirmiştir. Günümüzde, çevresel performans elektrik santrali tasarımı için çok önemli bir gereklilik haline geldiğinden CFBC buhar kazanlarının geleneksel kömür yakma teknolojisine göre daha verimli ve daha az masraflı oldukları kabul edilir.

CFBC buhar kazanları herhangi bir ilave kirlilik kontrol ekipmanı olmaksızın hem SO<sub>2</sub> hem de NO<sub>x</sub> emisyon standartlarını yerine getirebilir. Düşük yatırım maliyetleri, kurulumla yönelik nispeten daha küçük alan gerektirmesi standardın altında, ucuz, katı yakıtlarla birlikte yakılma olanakları bu yakma teknolojisinin ileriki gelişimini garanti eden avantajlardan bazılarıdır.

**Kaynak literatür:** [195, Poland, 2001].

### 4.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

Bu bölümde LCP'lerden kaynaklı halihazırda gözlemlenen (ölçülen) hava, su ve toprak emisyonlarına ilişkin bilgiler verilmektedir. Bu sektörde kullanılan yakıtlarla, genellikle beklenen kimyasal ve fiziksel nitelikleri ile katılaşma oranlarına ilişkin bilgiler verilmektedir. Mümkün mertebe veriler tesis verimlilikleri, LCP'lerin farklı işletimlerini ortaya çıkarabilecek ve ayrıca tüm proses içerisinde çıktı akışlarının yeniden çevrime alınması ve yeniden kullanımı seçeneklerini yansıtan kalıntıları kapsar.

Çeşitli girdi ve çıktılar arasında karşılıklı bağıllık mevcut olması, örneğin farklı parametrelerin birlikte el alındığı çoklu ortam karmaşıklığının derecesi gösterilecektir.

Performans verileri mümkün surette çalışma koşullarının (örneğin tam kapasite yüzdesi) ayrıntıları, numuneleme ve analitik metodları içerecek şekilde ve Şekillerin istatistiksel sunumları (örneğin; ortalamalar, maxima, ranjlar) üzerinde nitelendirilecektir. Fiili performans verileri ulusal veya uluslar arası mevzuatta belirlenen ilgili standartlar ile karşılaştırılabilir.

Bu belgedeki mevcut emisyon verileri normalde saatlik veya günlük ortalamalar ile üretilen enerji birimi başına kütle emisyonları olarak rapor edilir. Gazlar veya atık suların seyreltilmesi kabul edilemez. Rapor edilen su emisyonları normalde nitelendirilen rasgele numune veya 24 saatlik kompozit numuneye dayalıdır. Standart 273 K, 101.3 kPa koşulları, bildirilen ölçülen oksijen içeriği ve kuru gazlar kullanılır.

#### 4.3.1 LCP'lerde kullanılan kömür ve linyit

Taş kömürü ile linyit halihazırda AB'de kullanılan dominant katı LCP yakıtlarıdır. Kömür birikintileri sıcaklık, basınç ve süre etkileri altında ve katmanlaşan yer altı tesisi çöküntülerinde meydana gelen ve bu nedenle asıl organik materyalin karbon ve hidrokarbon içeriğini zenginleştiren kompleks anaerobik biyokimyasal reaksiyonların sonucu olarak oluşmuştur. Kömürün kimyasal özellikleri ana tesis çöküntüsünde mevcut farklı kimyasal bileşenlerin özellikleri, değişikliklerin nitelik ve oranı ile inorganik maddelerin yapı ve miktarına bağlıdır.

'Kömürleşme' prosesinin ilk ve olgunlaşmamış ürünü turba iken bu prosesin son aşaması antrasittir. Turbadan taş kömürüne kadar fosil yakıt dizileri içerisinde kömürün kimyasal bileşim değişikliği derecesi kömürün derecesi olarak bilinir ve eşdeğer kömür enerjisinde artışa (kalorifik değer) tekabül eder. Kömürün derece ile sınıflandırılmasına yönelik temel kimyasal analizi ve yığılma karakteri gibi belirli diğer özellikler ile ortaya koyulan kömür özellikleridir.

- **Kısmi analiz** – ısıtıldığında kömür davranışına ilişkin bilgiler verir (örneğin nem, uçucu madde, sabit karbon gibi)
- **Nihai analiz** – buhar üretimi için kömür seçimine yardımcı olacak bilgiler sağlar (örneğin; toplam karbon, hidrojen, nitrojen, kalorifik değer, kül-füzyon sıcaklığı, öğütülebilirlik ve sülfür içeriği).

Kömürlerin kısmi analizi temel alınarak üç ana sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemler:

- Birleşik Devletler'de geliştirilen ASTM sınıflandırması
- Birleşik Krallık'ta geliştirilen FRB/NCB sınıflandırması
- UN/ECE tarafından geliştirilen orta ve yüksek dereceli kömürlere yönelik 'Uluslar arası Kodlama Sistemi' ile düşük dereceli kömürlerin kullanılmasına yönelik 'Uluslar arası Kodlama Sistemi'.



ASTM sınıflandırmasına göre sabit karbon ve uçucu madde (kuru, mineral maddesiz bazda) ile kalorifik değer (nemli mineral maddesiz bazda) bazında dört sınıf bulunur:

- Antrasit
- katranlı
- alt-katranlı
- linyit.

FRB/NCB sınıflama sistemine göre, uçucu madde (on daf) ile yakma özellikleri (Gray-King Deneyi) bazında dört grup bulunur:

- Antrasitler
- Düşük uçucu buhar kömürler
- Orta uçucu kömürler
- Yüksek uçucu kömürler (altı alt sınıftan oluşur).

UN/ECE Uluslar arası sınıflandırma sistemine göre, brüt kalorifik değerleri (nemli, külsüz bazda) ve yağdaki vitrinit ortalama rasgele reflektans temelinde kömürler yüksek dereceli ve düşük dereceli kömürler olarak tanımlanır. Bu kategoriler kendi içlerinde alt kategorilere ayrılır. Yüksek dereceli kömürler orta ve yüksek dereceli kömürler olarak ayrılırken düşük dereceli kömürler de linyit ve taş kömürleri olarak ayrılırlar.

En iyi performansı elde etmek üzere LCP ekipman ve donanımlarını gereği gibi tasarlayabilmek amacıyla belirli katı yakıtların özelliklerine ilişkin mümkün olduğunca fazla şey bilmek çok önemlidir. LCP'nin tasarlandığı doğru yakıtı veya en azından aynı özellikleri taşıyan benzer yakıtı yakmak da aynı derecede önemlidir. Böylece sorunsuz çalışma ve en uygun çevresel performans ile birlikte uzun vadede yüksek verimlilik de sağlanmış olur.

Nitelik	Birimler (waf = su ve külsüz)	Linyit	Kömür		
			Katranlı	Düşük uçucu katranlı ve yarı antrasit	Antrasit
Nem	(alınmış %)	30-70	2-20	2-20	2-20
Kül	(alınmış %)	5-40	1-30	1-30	1-30
Uçucu madde	(% daf)	40-66	>22	8-22	<8
Sabit karbon	(% daf)	35-60	55-85	85-92	>92
Toplam karbon	(% daf)	60-80	80-95	90-95	92-95
Hidrojen	(% daf)	4.5-6.5	4.5-6.5	3.5-4.5	3-8
Oksijen	(% daf)	12-30	1.5-14	1.2-6	1.2-5
Kükürt	(% daf)	0.5-4.7	0.3-4.5	0.5-1	0.5-0.8
Yüksek ısıtma değeri	(MJ/kg daf)	23-35	32-38.5	35-38	35-38
Düşük ısıtma değeri	(MJ/kg daf)	6.3-30-1	26-32	25-32.3	30-31.4

daf: kuru ve külsüz baz  
Düşük ısıtma değeri, EVT Kılavuzu 1990'dan alınan veriler

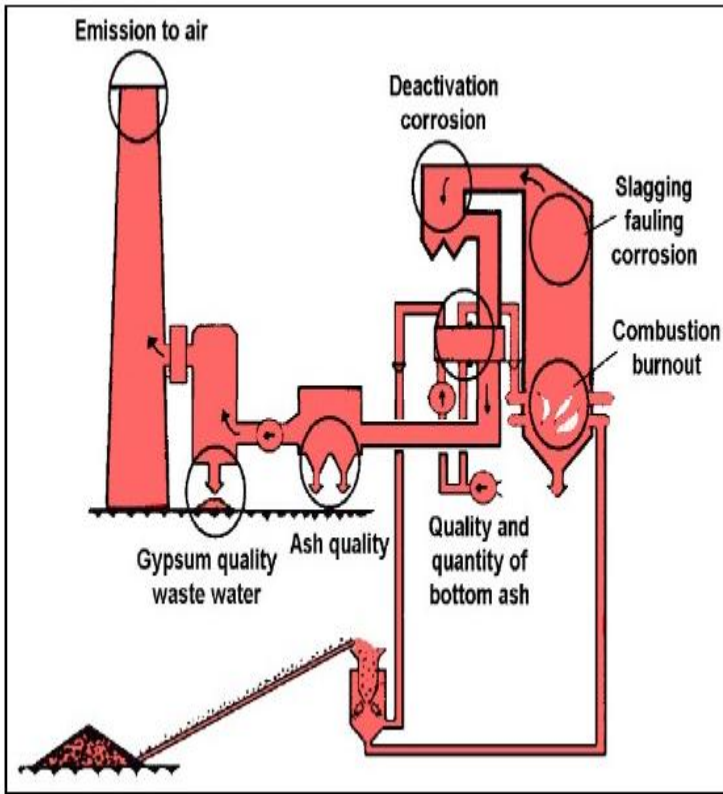
Tablo 4.31: Tipik kömürlerin gösterge analizleri (genel uygulama)  
[58, Eurelectric, 2001]

Linyit ve kömürün bileşimi Tablo 4.32'de gösterildiği gibi geniş ölçüde değişiklik gösterir. Bu ayrıca kömür ve linyitteki iz element ve ağır metal konsantrasyonları için de geçerlidir. Tablo 4.33'de verilen şekiller farklı kökenli kömürlerden alınan tek numunelerin örnekleridir.

mg/kg değerleri	Avustralya	Kanada	Birleşik Devletler	Polonya	Rusya ve CIS	Avrupa
<b>Kül</b>	12.5	12.9	9.9	15.9	15.4	14.4
<b>As</b>	1.4	2.9	8.7	3.4	4	18.5
<b>Ag</b>			0.86	<1.7	<1.6	0.74
<b>Ba</b>			280	500	210	240
<b>Be</b>	1.4	0.8	1.9	1.6	0.7	2
<b>B</b>	12.3	58	46			
<b>Cd</b>	0.06	0.3	0.24	0.73	0.27	0.2
<b>Cr</b>	7.4	7.4	13.9	16.3	40	18.7
<b>Cu</b>	13.3	16.9	16.6			
<b>Cl</b>	300	300	800			
<b>Co</b>			6.2	5.3	3.2	6.2
<b>Cs</b>			1.92	3.3	0.9	1.3
<b>F</b>	62	82	55			
<b>Hf</b>			1.1	1.6	1.2	0.7
<b>Hg</b>	0.04	0.05	0.11	0.09	0.12	0.131
<b>La</b>			13.9	11.3	10.4	11.1
<b>Mn</b>	132	149	19	200	135	80
<b>Mo</b>	0.9	1.6	5.3	<1.1	<1.1	<0.87
<b>Ni</b>	9.5	7.3	10.7	<24	21	<12.5
<b>Pb</b>	4.8	6.8	8.6	32	12.2	9.9
<b>Rb</b>			16.1	23	12.3	21
<b>Sb</b>			1.15	1.6	0.65	1.12
<b>Sc</b>			5.6	5.9	6.9	5.4
<b>Sn</b>			<26	<62	<57	<25
<b>Se</b>	0.8	1.1	3.9			
<b>Th</b>	2.3	3.3	4.2	4.1	3	3.5
<b>Ti</b>	0.15	0.1	0.5			
<b>U</b>	0.7	1.2	1.1	1.7	1.4	1.47
<b>V</b>	14.8	30	23.3	38	39	43
<b>Zn</b>	19	8.9	14.1	<27	<6.6	<3.2
<b>Zr</b>			47	39	28	18.3

Tablo 4.32: Farklı bölgelerden alınan kömürlerdeki iz element ve ağır metal konsantrasyonları [85, Itkonen and Jantunen, 1989]

Kömür kalitesinin yakma tesisi performansı üzerindeki etkisi Şekil 4.40'da şematik olarak gösterilmektedir.

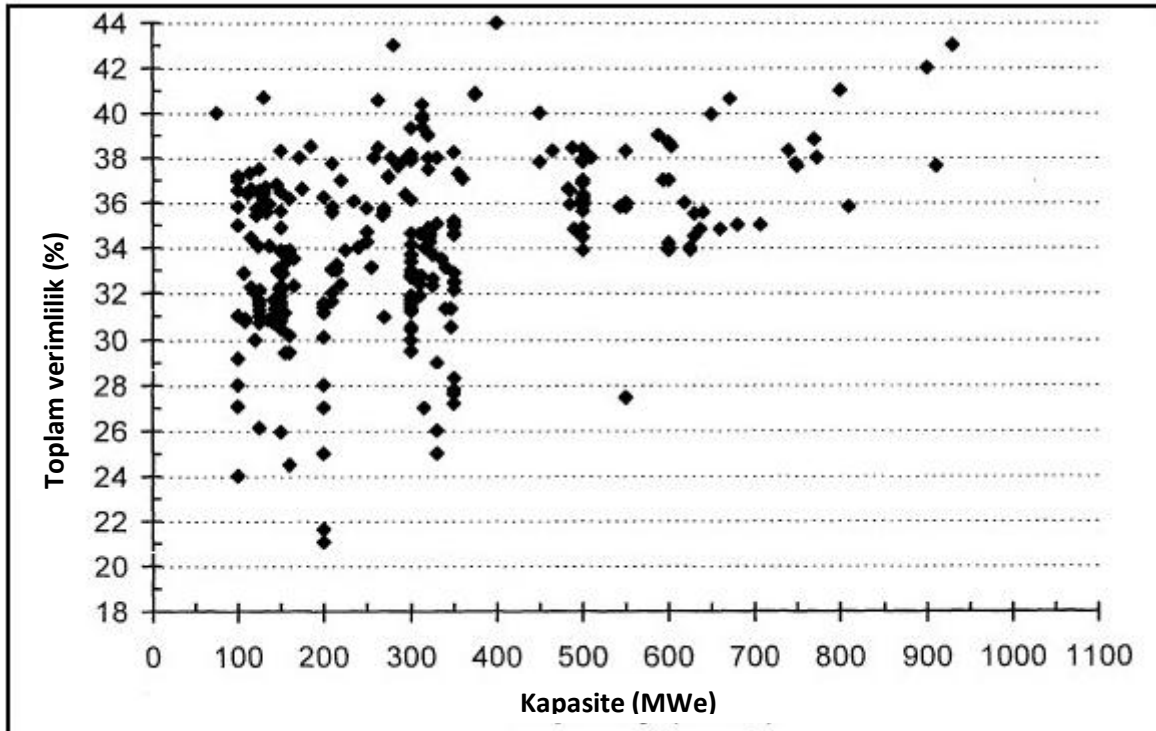


Emissions to air: hava emisyonları  
 Deactivation corrosion: deaktivasyon korozyonu  
 Slagging fouling corrosion: cüruf korozyonu  
 Combustion burnout: yakma burnout  
 Gypsum quality: alçıtaşı kalitesi  
 Waste water: atık su  
 Ash quality: kül kalitesi  
 Quality and quantity of bottom ash: kazanaltı külünün nitelik ve niceliği

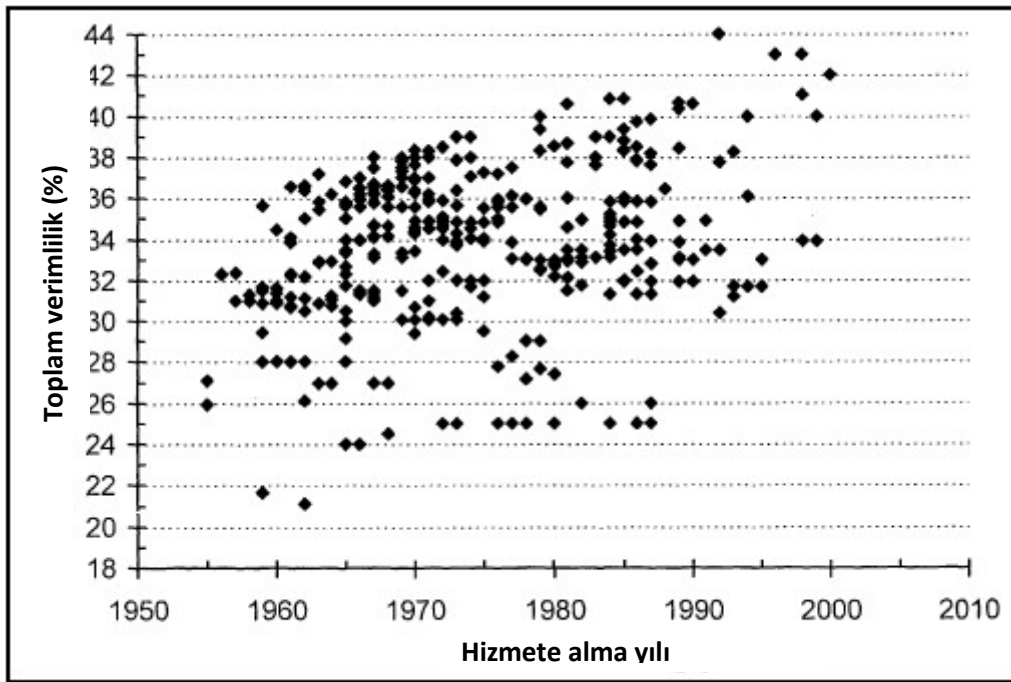
Şekil 4.40: Kömür kalitesinin yakma tesisi performansı üzerindeki etkisi

#### 4.3.2 Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinin verimliliği

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 kapasite ve hizmete alınma yılı bakımından Avrupa'daki kömürle çalışan elektrik santrallerinin toplam verimliliği gösterilmektedir.



Şekil 4.41: Avrupa'daki kömürle çalışan tesislerin kapasite ile ilgili toplam verimlilikleri [110, Kakaras and Grammelis, 2000]



Şekil 4.42: Avrupa'daki kömürle çalışan tesislerin hizmete açma yılları ile ilgili toplam verimlilikleri [110, Kakaras and Grammelis, 2000]

Tablo 4.33'de farklı tip katı yakıt yakan iyi durumdaki LCP'lerin enerji verimlilikleri ( $LHV_{net}$ ) gösterilmektedir.

LCP teknolojisi	PC	PC	PC	PC	CFBC (uyarlama)	IGCC	PBFBC (uyarlama)
Elektrik kapasitesi Buhar basıncı Buhar sıcaklığı Kondansatör basıncı Soğutma sistemi	600 MW <sub>e</sub> 180 bar 2 x 540 °C 33 mbar deniz suyu	412 MW <sub>e</sub> 180 bar 2 x 540 °C 33 mbar deniz suyu	412 MW <sub>e</sub> 300 bar 2 x 580 °C 21 mbar deniz suyu	2 x 808 MW <sub>e</sub> 268 bar 547 °C 40 mbar Soğutucu kule	250 MW <sub>e</sub> 163 bar 2 x 565 °C 44 mar Soğutucu kule	318 MW <sub>e</sub> 115 bar 507 °C 70 mbar Soğutucu kule	94 bar 513 °C 44 mbar
Dizayn kömür (alınmış olarak) Düşük kalorifik değer (MJ/kg) Kül içeriği (%) Uçucu madde içeriği (%) Nem içeriği (%) Kükürt içeriği (%)	Katranlı 24.75 16 35 8 0.6	Katranlı 26.3 9 34 9 0.6	23/30 5/17 20/40 5/14 0.1/3	Linyit 8.3 – 9.2 8.8 22-48% daf. 0.3-1.4	Linyit 14.75 28 37 11 3.7	Kömür/pet kok 13.6/32.65 41/0.3 19/13 12/7 0.9/5.5	
<b>Net Verimlilik (LHV)</b>	%41.2	%45.3	%47.5	%40	%38.8	%42.5	%38.5

Tablo 4.33: Farklı LCP teknolojilerine yönelik tipik enerji verimlilikleri ( $LHV_{net}$ ) [58, Eurelectric, 2001]

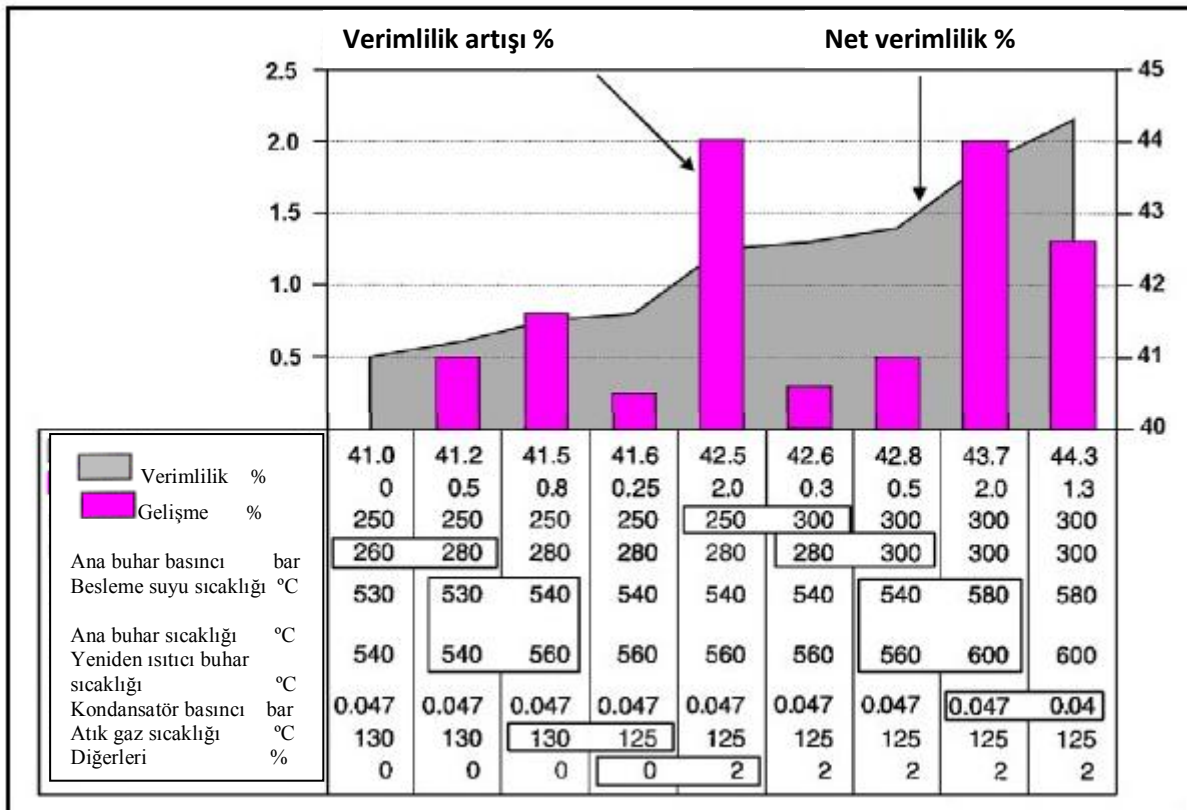
Tablo 4.34'de aynı yakıt (uluslararası kömür HHV = % 1 kükürt, % 7 nem ve % 16 nem içerikli 26630 kJ/kg.), aynı kirletici emisyonları ( $SO_2 = 00 \text{ mg/Nm}_3$  -  $O_2=6\%$ ,  $NOX = 200 \text{ mg/Nm}_3$ , toz  $50 \text{ mg/Nm}_3$ ) temelinde ve farklı buhar çevrimlerine yönelik farklı LCP teknolojilerinin tipik enerji verimlilikleri ( $LHV_{net}$ ) gösterilmektedir.

Buhar basıncı/sıcaklık/ kondansatör basıncı	PC	AFBC	IGCC	PFBFBC <sup>1</sup>
165 bar, 2 x 565 °C, 45 mbar	%38.5	%38.0	%44.5	%43
Sıcak gaz temizleme ile 165 bar, 2 x 565 °C			%47	
250 bar, 2 x 565 °C, 45 mbar	%42.0	41.5		%44.5
300 bar, 2 x 565 °C, 45 mbar	%45.0	44.5	47.0	%45.5
Notlar:				
1	tasarım verimlilikleri			
2	IGCC verimliliği			
3	Sıcak gaz temizleme ile kritik altı buhar çevrimi (165 bar, 2 x 565 °C)			

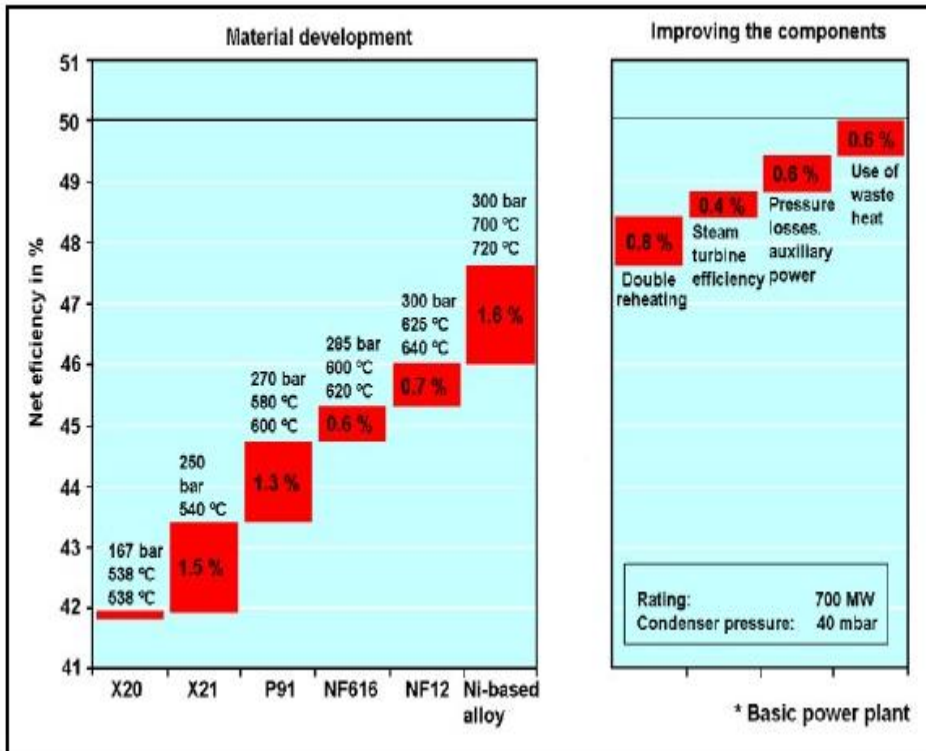
Tablo 4.34: Buhar özelliklerinin farklı tekniklere yönelik verimlilikler üzerindeki etkileri [58, Eurelectric, 2001]

İşletim koşulları işletim sırasında kaydedilen ortalama verimliliği büyük ölçüde etkiler. İşletim nadiren ideal koşullara uyduğundan (arıza, cüruf üretimi, ideal olmayan kondansatör koşulları vb. nedenlerle) ve kullanılan katı yakıt nitelikleri 'tasarım katı yakıt' (kalorifik değer, kül içeriği vb) özelliklerine tam olarak uymadığından tesisin ölçülen verimliliği tasarım verimliliğinden farklıdır. Normal bakımı yapılan bir tesisin yaşlanması da (arızalanma, cüruf üretimi, erozyon, sızıntı vb.) zaman içerisinde verimlilikte bozulmalara yol açar.

Bireysel ölçüm ve malzeme geliştirmeye yönelik taş kömürü ile çalışan bir tesisin verimliliğini artırmaya ilişkin daha ayrıntılı bilgiler Şekil 4.43'de gösterilmiştir.



Şekil 4.43: Taş kömürü ile çalışan elektrik santralinin artan verimliliği – bireysel tedbirler [141, Benesch, 2001]



Material development	Materyal gelişimi
Improving the components	Bileşenlerin geliştirilmesi
Rating	Oran
Condenser pressure	Kondansatör basıncı
Basic power plant	Temel elektrik santrali
Net efficiency in %	% Net verimlilik
Double reheating	Duble yeniden ısıtma
Steam turbine efficiency	Buhar türbini verimliliği
Pressure losses auxiliary power	Basınç kayıpları yardımcı güç
Use of waste heat	Atık ısı kullanımı

Şekil 4.44: Taş kömürü ile çalışan elektrik santralının artan verimliliği – materyal gelişimi [141, Benesch, 2001]

LCP verimliliğini etkileyen diğer hususlar:

- **Kullanılan teknoloji:** örneğin bir IGCC özü itibariyle baca gazı arıtımı ile bile konvansiyonel buhar kazanından daha fazla yan enerji (hava ayırma ünitesi, gaz arıtımı ve kompresör için) tüketir
- **Kirlilik kontrol düzeyi:** ileri düzey FGD daha fazla enerji tüketir ve genellikle kirlilik kontrol önlemleri verimlilik üzerinde kötü etkiye sahiptir
- **Yan maddelerin tasarımı:** buhar kazanı yan maddeleri tasarım değerlerine kıyasla parametrelerdeki tüm varyasyonlara dayanmak üzere toleranslı boyutlandırılmış olmalıdır (yani olası sızıntılar, alternatif yakıtlar, çalıştırma ihtiyaçları, boşta sistemler vb.). Bu teknik seçenekler tasarlandıkları yakıt ile normal koşullardan enerji tüketiminde değişikliklere neden olurlar.

**Buhar kazanı verimliliği.** Temiz ve yeni bir buhar kazanına yönelik olarak, katı yakıtlar için yaklaşık % 86 – 95 (LHV) oranında bir verimlilik seviyesi kaydedilmiş olup bu seviye kolaylıkla yükseltilemez. Ana kayıplar bacadaki baca gazı atık ısı, küldeki yanmamış karbon, atık ısı ve ısı radyasyon kayıplarıdır. Yakıt etkisi de ayrıca önemlidir. Buhar kazanlarının aynı özelliklere sahip olduğunu farz ederek dahi (yani aynı ortam ve baca gazı sıcaklığı ile aynı hava fazlalığı vb.), farklı buhar kazanı verimlilikleri elde edilebilir. Bu durum yakıtla bağlıdır (LHV temelinde):

- Uluslararası kömür: % 95 verimlilik
- Linyit: % 92 verimlilik
- Düşük kaliteli linyit: % 86 verimlilik.

### 4.3.3 Hava emisyonları

Tablo 4.35 ile Tablo 4.52’de çoğunlukla Avrupa’da işletilen birkaç yakma tesisinin ölçülen hava emisyon düzeylerine ilişkin (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ve N<sub>2</sub>O, toz, CO, HF, HCl, NH<sub>3</sub>, ile özellikle Hg olmak üzere ağır metaller) mevcut bilgiler özetlenmektedir. Verilen bilgiler belirli tesisler ile ilgili olup diğer tesisler için geçerli değildir. Eurelectric; toz azaltım sisteminin verimliliğine bağlı olarak toz azaltma sistemleri ile partiküler emisyonların 5 ile 500 mg/Nm<sub>3</sub> arasında azaltılabileceğini bildirmiştir.

## 4.3.3.1 Taş kömürü ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )						Düşünceler	
			SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl		NH <sub>3</sub>
50-100	GF									
	PC		52-128	154-158		18-31	10			
	AFBC									
	PFBC	Kireçtaşı enjeksiyonu		214-257						
	PFBC	SCR ile 2 x 70 MWe (+ bölge ısıtması)	170	50		20-40			Yakıt: % 0.7 kükürt Katranlı kömür	
100-300	GF									
	PC									
	AFBC	İkincil yakıt seviyesinde kireçtaşı enjeksiyonu	200-800	150-300	30-50	100-150			Sıcak tip, ızgara ateşleme yakma tekniği	
	AFBC	FF/FGD (ıslak)/SCR	40-110							
	AFBC	FGD (sds)/FF/SCR	75	322	14	5.7	0.05	0.7		
	PFBC	Kireçtaşı/SCR		43-114					Japonya'daki tesis	
	PFBC	Kireçtaşı/SNCR		29-143						
	CFBC	Kireçtaşı/ESP	100-200	60-160						
>300	PC	Azaltım yok	2000-3000						% 1 kükürt içeriği standart kömür	
	PC	ESP/FGD(ıslak)/SCR	20-252	90-190	3-11	12-25	0.2-3	1.7-30	0.16-0.5	Kuru taban buhar kazanı Çeşitli LCP'ler
	PC	ESP/FGD(ıslak)/SCR	185	200	8	27	7	7	0.5	Islak taban buhar kazanı
	PC	Pm/FGD (sds)/ESP/SCR	130	140	5-10					
	PC	Pm/FGD (dsi)/ESP	170	270	20					
	PC	Pm (LNB)/FGD(dsi)/FF	170	250	20					
	PC	Pm (yeniden yakma gaz-kömür)		250-350						
	PC	Pm (yeniden yakma gaz-kömür)		300-430						
	CFBC	Kireçtaşı+ESP	100-200	100-250	30-50					Fransa, Birleşik Devletler ve Polonya'daki tesisler

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme) **PC** (Pülverize kömür yakma) **AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma)  
**PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma) **FGD (ıslak)** (Islak baca gazı kükürt giderme) **FGD(sds)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme)  
**FGD(dsi)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme) **ESP** (Elektrostatik presipitör) **FF** (Bez filtre)  
**Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler) **SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı) **SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 4.35: Normal çalışma ve sabit yükte kömürle çalışan tesislerden kaynaklı hava emisyonları (konsantrasyon olarak)

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Elektrik verimliliği (%)	Yakıt verimliliği (%)	Spesifik hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )					
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl
50-100	GF									
	PC	ESP/DESONOX	29	80		75.4-80.2		9.2-15.2		
	AFBC									
	PFBC	Kireçtaşı				75-90				
100-300	GF									
	PC									
	AFBC	FGD(sds)/FF/SCR	25	81	26.1	111.5	5.08	1.98	0.019	0.28
	AFBC	Kireçtaşı/ESP	38	54.2						
	PFBC	Kireçtaşı/SNCR				10-50				
>300	PFBC	Kireçtaşı/SCR				15-40				
	PC	ESP/FGD(w)/SCR	32-44	37-70		34-97	1.1-5.1	4.9-8.3	0.08-1.2	0.6-12.3
	PC	ESP/FGD(w)/SCR	<39							
	AFBC									
	CFBC		39							

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme)  
**PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)  
**FGD(dsi)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)  
**Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)

**PC** (Pülverize kömür yakma)  
**FGD (ıslak)** (Islak baca gazı kükürt giderme)  
**ESP** (Elektrostatik presipitör)  
**SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı)

**AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma)  
**FGD(sds)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme)  
**FF** (Bez filtre)  
**SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 4.36: Normal çalışma ve sabit yükte kömürle çalışan tesislerden kaynaklı spesifik hava emisyonları





Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Elektrik verimliliği (%)	Yakıt verimliliği (%)	Spesifik hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )					
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl
50-100	GF									
	PC									
	AFBC									
100-300	GF									
	PC	Kireçtaşı/ESP	28	41.7	177.4	76.1	4.5	0.1	0.19	1.8
	AFBC									
>300	PC	Pm (LNB hava ve yakıt aşamalandırma)/ESP/FGD(ıslak)	35.7-41.7		5-112	43-60.4	0.09-5	4.9-25.9	0.028	0.028
	PC	Pm (LNB hava ve yakıt aşamalandırma)/aktif karbon filtresi/FGD(ıslak)	37		2.16	60.36	10.7	25.86	0.43	0.088
	PC	Pm (LNB hava ve yakıt aşamalandırma)/aktif karbon filtresi/FGD(sds)	28.9	69.1						
	AFBC									
Notlar:										
<b>GF</b> (Izgara ateşleme)			<b>PC</b> (Pülverize kömür yakma)			<b>AFBC</b> (Atmosferik akışkan yatak yakma)				
<b>PFBC</b> (Basınçlı akışkan yatak yakma)			<b>FGD (ıslak)</b> (Islak baca gazı kükürt giderme)			<b>FGD(sds)</b> (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme)				
<b>FGD(dsi)</b> (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)			<b>ESP</b> (Elektrostatik presipitator)			<b>FF</b> (Bez filtre)				
<b>Pm(..)</b> (NO <sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)			<b>SCR</b> (Selektif katalitik NO <sub>x</sub> azaltımı)			<b>SNCR</b> (Selektif katalitik olmayan NO <sub>x</sub> azaltımı)				

Tablo 4.38: Normal çalışma ve sabit yükte linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı spesifik hava emisyonları

		NO <sub>x</sub> azaltım olmaksızın Kömür (mg/Nm <sup>3</sup> )	Düşük NO <sub>x</sub> brülörlü Kömür (mg/Nm <sup>3</sup> )	Linyit Azaltım yok (mg/Nm <sup>3</sup> )	Birincil tedbirler ile linyit (mg/Nm <sup>3</sup> )
DBB	Yatay ateşleme sistemleri	1000-1500	500-650		
	Teğetsel ateşleme sistemleri	600-900	400-650	400-700	200-500
	Dikey ateşleme sistemleri	700-900			
WBB	Siklon ateşleme sistemleri	1500-2500	1000-2000		

Tablo 4.39: İkincil tedbirler olmaksızın mevcut tesislere yönelik NO<sub>x</sub> seviyesi [58, Eurelectric, 2001]

#### 4.3.3.3 Ağır metaller

Yakma sırasında ağır metaller klorid, oksid, sülfid vb. formlarında olabileceği gibi metalik formda uçucu da olabilirler. Bu ağır metallerin büyük bir kısmı 300°C'ye kadar varan sıcaklıkta yoğunlaşmış toz partiküllerine (uçucu kül) ayrılırlar.

Metal	Taş kömürü, kuru tabanlı buhar kazanı (DBB)	Linyit, kuru tabanlı buhar kazanı (DBB)	Taş kömürü, yaş tabanlı buhar kazanı (DBB)
<b>Çıktı (girdinin %'si): kazanaltı külü (DBB); cüruf (WBB)</b>			
As	1.6-7.5	0.4	10-21.2
Cd	1.8-8.9		15-30.1
Hg	2	-	2
Pb	3.1-11.3	1.1	76.7-88.8
<b>Çıktı (girdinin %'si): filtre uçucu kül (DBB)</b>			
As	88-91.2	98	
Cd	89.8-95	96	
Hg	17-39	49	
Pb	81-94	98	
<b>Çıktı (girdinin %'si): alçıtaşı resp. kanalizasyon suyu</b>			
As	0.4-1.19	0.4	21.4-83.5
Cd	1.1-3.5	0.4	72-79
Hg	27-41	4.9	44-71
Pb	0.9-1	0.4	10-17.5
<b>Çıktı (girdinin %'si): baca gazı</b>			
As	0.18	0.42	6.5-17.3
Cd	0.19	4.2	0.1-6
Hg	18-32	44	27.6-54
Pb	0.17	0.5	1.2-2.6
Notlar: İlgili DENOX üniteleri çıkarılmıştır. Bu tesislerde, ESP toz azaltma ve kireç(taşı) ıslak gaz yıkama için veya sprey kuru absorpsiyon prosesi baca gazı kükürt giderme için kullanılır.			

Tablo 4.40: Çeşitli elektrik santrali türlerine yönelik kombine ağır metal kütle dengeleri

Baca gazı toz arındırma ve baca gazı kükürtünün giderilmesi için tasarlanan sistemlerin ayrıca baca gazlarından ağır metallerin çoğunu, yani kazanaltı külü veya cürufunda tutulmaları, temizleyebileceği de gösterilmiştir. Bu nedenle yıkanan baca gazındaki partiküller ağır metal emisyonları baca gazı temizleme sistemleri ile donatılmış modern elektrik santrallerinde son derece düşüktür.

Kuru tabanlı buhar kazanlarının (DBB) aşağı akımının düşük tutulmasının nedeni ölçülebilir niceliklerde yayılan gazlı civadır. Islak tabanlı buhar kazanlarında HG'den başka yakma ve baca gazı temizleme sistemleri As'ye yönelik düşük tutma kapasitesine sahiptir, bu nedenle baca gazı ile ölçülebilir miktarlarda yayılma olur. WBB ile baca tozu (uçucu kül) resirkülasyonuna yönelik olarak örneğin Hg ve özellikle de As gibi sadece yüksek uçucu içerikli ağır metallerin emisyonlarının arttığı gösterilebilir.

Farklı kömürlerin yakılması ile yükün ağır metallerin kitle dengesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için taş kömürü ile çalışan kuru tabanlı bir buhar kazanında yürütülen deneyler aşağıdaki sonuçları vermiştir:

- Büyük ölçüde baca gazı yoluyla civanın gazlı emisyon miktarı kömürün klorin ve kalsiyum içeriğinde bağlıdır. Klorin iki ters etkiye sahiptir. Gazlı civa payını artırırken ıslak FGD'deki civanın kolaylıkla yıkanıp yok edilebilen HgCl<sub>2</sub> olarak ayrılmasını geliştirir. Kalsiyum ESP'deki civa ayrılmasını geliştirir
- Ağır metallerin buhar kazanı külüne entegrasyonu külün kimyasal bileşimine bağlı değildir
- Ağır metallerin uçucu küle entegrasyonu külün kimyasal bileşimine bağlı değildir ancak maksimum seviyeye tam yükte ulaşıldığından buhar kazanı yüküne bağlıdır.

Tablo 4.41'de ESP ile ıslak gaz yıkama kükürt giderme uygulayan kömürle çalışan üç elektrik santralinde yapılan ağır metal emisyonlarının özeti bulunmaktadır.

	Farklı proses dış akımlarındaki ağır metal miktarları (%)			Emisyon <sup>3</sup>  Emisyondaki konsantrasyon (mg/Nm <sup>3</sup> )
	ESP'den kazanaltı külü ve uçucu kül ile atılır	Atık su arıtma tesisi FGD son-ürün + filtre keki ile atılır	Pay baca yoluyla havaya salınır	
<b>Arsenik (As)</b>	97-98.7	0.5-1.0	0.3-2	0-5
<b>Kadmiyum (Cd)</b>	95.2-97.6	0-1.1	2.4-3.6 <sup>1</sup>	0-5
<b>Kromiyum (Cr)</b>	97.9-99.9	0-0.9	0.1-0.5	0-5
<b>Civa (Hg)</b>	72.5-82 <sup>2</sup>	0-16	5.1-13.6 <sup>2</sup>	0-5
<b>Manganez (Mn)</b>	98-99.8	0.1-1.7	0.1	0-5
<b>Nikel (Ni)</b>	98.4-99.8	0.2-1.4	0.1-0.4	0-5
<b>Kurşun (Pb)</b>	97.2-99.9	0-0.8	0.1-1.8	0-5
<b>Vanadyum (V)</b>	98.4-99.0	0.9-1.3	0.2-0.3	0-5

Notlar:

- 1 Kadmiyum emisyonu bu ölçümlerde genelde literatürde bildirilenlerden daha yüksek olmuştur.
- 2 Civa ihrac verimliliği bu ölçümlerde normalde literatürde bildirilenlerden daha yüksek olmuştur. Literatürde yaklaşık % 20 – 30 civanın havaya salındığı ve sadece yaklaşık % 30 – 40'lık kısmın ESP ile ihrac edildiği bildirilmiştir.
- 3 Emisyonlar, gazlı ve partiküler emisyonlar da dahil olmak üzere, gösterge amaçlı değerlerdir. İyi partikül ihracı ile emisyonlardaki tüm ağır metal konsantrasyonları tipik olarak 1 mg/Nm<sup>3</sup> veya buna yakındır.

Tablo 4.41: Kömürle çalışan yakma tesislerindeki ağır metal izleri [59, Finnish LCP WG, 2000]

IGCC ile, düşük uçuculu ve yüksek kaynama noktalı metaller tutulur ve etkili bir şekilde camsı cüruf olarak tespit edilir. Yüksek uçuculu metallerin çoğu yapay gaz yıkama ile yoğunlaştırılıp tutulabilir.

Aşağıdaki Tablo 4.42’de farklı kökenlerden gelen kömürlerdeki farklı civa içerikleri gösterilmektedir.

Köken	Numune sayısı (n)	Hg içeriği ortalama değeri (mg/kg)			Varyans v(%)
			±		
Endonezya	7	0.04	±	0.02	63
Yeni Zelanda	1	0.05			
Kolombiya	7	0.06	±	0.03	57
Rusya (Kuzbass)	1	0.06			
Avustralya	17	0.08	±	0.06	70
Venezuela	2	0.08			
Güney Afrika	12	0.09	±	0.02	23
Harman	36	0.09	±	0.07	72
Mısır	1	0.10			
Norveç (Spitsbergen)	2	0.14			
Birleşik Devletler (batı)	15	0.14	±	0.12	84
Çin	2	0.15			
Almanya (Ruhr bölgesi)	1	0.16			
Polonya	10	0.35	±	0.55	154

Tablo 4.42: Farklı kökenlerden kömürlerdeki civa içeriği [58, Eurelectric, 2001]

Tablo 4.43’de elektrostatik presipitör sonrası baca gazlarındaki civa içeriği gösterilmiştir.

Numune sayısı (n)	Minimum Hg içeriği değeri	Maksimum Hg içeriği değeri	Ortalama Hg içeriği değeri	Varyans v(%)
Baca gazlarındaki Hg konsantrasyonu (mg/m <sup>3</sup> )				
37	0.3	35	4.9 +7.3/-4.6	149
Kömürdeki konsantrasyona ilişkin buharlaşan Hg yüzdesi				
36	1.0	115	43±30.1	69

Tablo 4.43 ESP downstream’inde baca gazlarındaki civa içeriği [58, Eurelectric, 2001]

Tablo 4.44’de farklı literatür kaynaklarından alınan ölçülen N<sub>2</sub>O emisyon seviyelerine ilişkin genel bir açıklama verilmiştir

Yakıt	Komb. Tek.	O <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> O (mg/Nm <sup>3</sup> )					N <sub>2</sub> O (kg/TJ)		
			Kremer 1994	KEMA 1993	VGB 1994	IEACR 1993	Braun 1993	IACR 1993	Peter 2001	
Kömür	PC (DBB)	6	<2	<4 aşamalı yakma olmaksızın		1-20		0.4-1.4	2-5	
	PC (WBB)	6	3.8-9		4-10			0.4-1.4	2-5	
	Izgara Ateşleme		<30	<0.4-1.2 aşamalı yakma ile	1-10	0.2-3		0.4-1.4	2-5	
	CFBC	7	4-20 (kısmi yük) 40-700 (tam yük)		16-170 (700-940°C)	30-160	60-140	50-120 380’e varan tepe ile	36-72	20-45
	BFBC	7	100-150 (kısmi yük) 140-480 (tam yük)							
Linyit	PC (DBB)	6	10-16		13	1.5-6		0.6-2.3	0.8-3.2	
	Izgara ateşleme	6	<30			0.8-2.5			0.8-3.5	
	FBC	7	<30		5-20	10-90	5-14 (30’a varan tepe ile)	11-45	3-8	

Tablo 4.44: Farklı literatür kaynaklarından alınan ölçülmüş N<sub>2</sub>O emisyon seviyeleri [98, DFIU, 2001]

Tablo 4.45 ve Table 4.46’da farklı kömür ve likit yakıt elektrik santrallerinden halojen asit, dioksin ve PAH emisyonları gösterilmiştir.

Yakıt: taş kömürü	HCl % 6 O <sub>2</sub> 'de mg/Nm <sup>3</sup>	HF % 6 O <sub>2</sub> 'de mg/Nm <sup>3</sup>
Kükürt giderme yok	100-450	4-28
FGD + rejeneratif hava ısıtıcı ile kontak transferi	3-14	2-8
FGD hava ısıtıcı ile transfer yok	1-8	0.2-2
FBC + kuru kireç ilavesi *	50-170	0.5-4

Not: \* Yüksek SO<sub>2</sub> azaltımı yayılan HCl’yi artırır.

Tablo 4.45: İkincil tedbirler ile veya bunlar olmaksızın tesislere yönelik HCl ve HFE emisyon seviyeleri [58, Eurelectric, 2001]

Madde	Kömür	Ağır petrol	Orimülasyon
Dioksin ve furanlar	2.193 pg/Nm <sup>3</sup>	2.492 pg/Nm <sup>3</sup>	2.159 pg/Nm <sup>3</sup>
PAH	0.0606 µg/Nm <sup>3</sup>	0.0507 µg/Nm <sup>3</sup>	0.0283 µg/Nm <sup>3</sup>

Tablo 4.46: Farklı yakıtların yakılmasından kaynaklı dioksin ve PAH emisyon seviyeleri [192, TWG, 2003]

## 4.3.4 Taş kömürü ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları

Yakma tekniği	Atık su kökeni	Atık su arıtımı	Atık sudaki konsantrasyon (mg/l)						
			Hidrazin	Filtrelenebilir madde	Sülfat	Sülfid	Florid	Hg	Sülfid
<b>GF</b>									
<b>PC</b>	Islak FGD (kuru tabanlı buhar kazanı)	Fil/Pre/Floc/Sed/Neu		30	2000	20	30	0.05	0.2
	Islak FGD (kuru tabanlı buhar kazanı)	Fil/Pre/Floc/Sed/Neu		155	2667	26.7	172	0.034	
	Islak FGD, su döngüsünde yüksek yoğunluk, soğutma için kısmen yeniden kullanım	Fil/Pre/Floc/Sed/Neu		17	2542	2	8	0.007	0.07
	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	2	50					
	Kondensat ve besleme suyu arıtımı ile DESONOX'tan kaynaklı sular	Neu					5.45	0.01	0.01
<b>ACFBC</b>	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	344						
Notlar:									
Fil	Filtreleme	Pre	Presipitasyon	Floc	Flokülasyon	Sed	Sedimentasyon	Neu	Nötralizasyon

Tablo 4.47: Kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları

Yakma teknigi	Atık su kökeni	Atık su arıtımı	Spes. atık su akış hızı (m <sup>3</sup> /MW <sub>th</sub> )	Atık sudaki konsantrasyon (mg/l)										
				Cl	AOX	COD	P	N	Zn	Cr	Cd	Cu	Pb	Ni
<b>GF</b>														
<b>PC</b>	Islak FGD (kuru tabanlı buhar kazanı)	Fil/Pre/Floc /Sed/Neu	0.051		0.038	71		10	1	0.01	0.01	0.01	0.1	0.02
	Tam su yumuşatma sistemi	Neu/Sed	0.0029		0.184		0.016	19.2	0.06	0.026	0.00008	0.026	0.0016	0.064
	Islak FGD, su döngüsünde yüksek yoğunluk, soğutma için kısmen yeniden kullanım	Fil/Pre/Floc /Sed/Neu	0.0079	40000		150			1	0.5	0.05	0.5	0.1	0.5
	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	0.0073					1						
	Kondensat ve besleme suyu arıtımı ile DESONOX'tan kaynaklı sular	Neu	0.0286	2940					0.05	0.006	0/0006	0.005	0.005	0.006
<b>ACFBC</b>	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	0.62	34.4	34.4	13778	517							
Notlar: Fil Filtreleme      Pre Presipitasyon      Floc Flokülasyon      Sed Sedimentasyon      Neu Nötralizasyon														

Tablo 4.48: Kömürle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları



Tablo 4.51 ile Tablo 4.52'de sekiz kömürle çalışan tesisten kaynaklı emisyonlar gösterilmiştir.

Parametreler	Ünite	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi	D Tesisi
Sıcaklık	°C		18	28.7	6.9-7.9
pH		7.61		7.8	
As	mg/l		0.001	<0.005	
Sb	mg/l				
Pb	mg/l	<0.01	0.03	<0.05	
Fe	mg/l	0.07			0.2-0.5
Cr	mg/l	0.01	0.03	<0.05	
Cd	mg/l		0.003	<0.005	
Co	mg/l		0.002		
Cu	mg/l	<0.01	0.003		
Ni	mg/l	<0.01	0.03		
Tl	mg/l		0.031		
V	mg/l		0.073		
Mn	mg/l		0.03		
Hg	mg/l		0.0001	<0.001	
Zn	mg/l	<0.02	0.05		
Sn	mg/l	<0.05	0.001		
F	mg/l		0.1		
Cl	mg/l		400		
BOD	mg/l				10-28
COD	mg/l	11.7 kg/d***			10-65
Askıya alınan katı maddeler	ml/l				<0.1
Toplam P	mg/l		0.15		
SO <sub>4</sub> olarak sülfat	mg/l	1376	1215		
S olarak sülfid	mg/l		0.1		
SO <sub>3</sub> olarak sülfid	mg/l		10.2		
Toplam N	mg/l		76.6		
N olarak NH <sub>4</sub>	mg/l	7	0.85		
Nitrit - N	mg/l	2.1			
C olarak TOC	mg/l		8.6		

Tablo 4.49: Dört farklı yakma tesisinden kaynaklı su emisyonları [192, TWG, 2003]

Parametreler	E Tesisi	F Tesisi	G Tesisi		H Tesisi	
			Min	Maks	Min	Maks
pH	7.9		6.7-8.6			
Sıcaklık	27.3°C	30°C	11.8-21.2°C			
Renk			2-7		0-5	
İletkenlik			724-6850		2.940-5.470	
Askiya alınan katılar					1.6-9.2	
pH					7.1-8.5	
Ca			57.8-714			
K			2.2-37.9			
Mg			1.4-23.0			
Na			42.7-985			
Fe			n.n-0.35			
As	<0.005	0.02			n.n-0.007	
Pb	<0.05	0.02			n.n	
Cd	<0.005	0.4			n.n	
Cr	<0.05					
Cu		0.1			n.n-0.007	
Mn		3			n.n-0.020	
Hg	<0.001	0.001			n.n	
Zn		0.4	n.n-0.037		n.n-0.054	
Amonyak - N			0.78-7.04		0.11-8.90	
Nitrit – N			n.n-0.67		0.02-0.95	
Nitrat – N			2.7-26.9		10.0-59.4	
Toplam N			3.5-29.1		13.1-65.9	
Toplam P			0.03-0.27		0.01-0.23	
Klorid			87-1761		123-733	
Sülfid					n.n	
Sülfid					n.n	
Sülfat			57-1042		1414-2341	
TOC			1-5		2-14	
COD			9-37		9-56	
BOD <sub>5</sub>			1-19			
Hidrazin					n.n	
Syanid					n.n	
Florid					n.n-2.0	
Antimoni					n.n	
Arsenik					n.n-0.007	
Kromiyum					n.n-0.005	
Kobalt					n.n	
Nikel					n.n-0.123	
Talyum					n.n	
Vanadyum					0.013-0.395	
Çinko					n.n	

**n.n:** tespit sınırının altında    **Min:** sağlanan minimum değer    **Maks:** sağlanan maksimum değer

Tablo 4.50: Dört farklı yakma tesisinden kaynaklı su emisyonları [192, TWG, 2003]



### 4.3.6 Yakma tortu ve yan ürünleri

Her elektrik santralinde çok geniş miktarlarda mineral madde üretilir. Örneğin % 10 kül ve % 1 kükürt içerikli bir milyon ton kömür yakan 750 MW<sub>e</sub> kapasiteli bir elektrik santraline yönelik olarak, yıllık bazda 154000 ton kömür yakma ürünleri (CCP'ler) üretilir. Halihazırda dünyada her yıl yaklaşık 500 milyon ton kömür külü (kazanaltı külü ile uçucu kül) üretilmektedir. Çoğu ülkede (örneğin Avusturya, Kanada gibi) toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyen bu tortuların ağır metal içerikli esas sorundur.

#### Alçıtaşı:

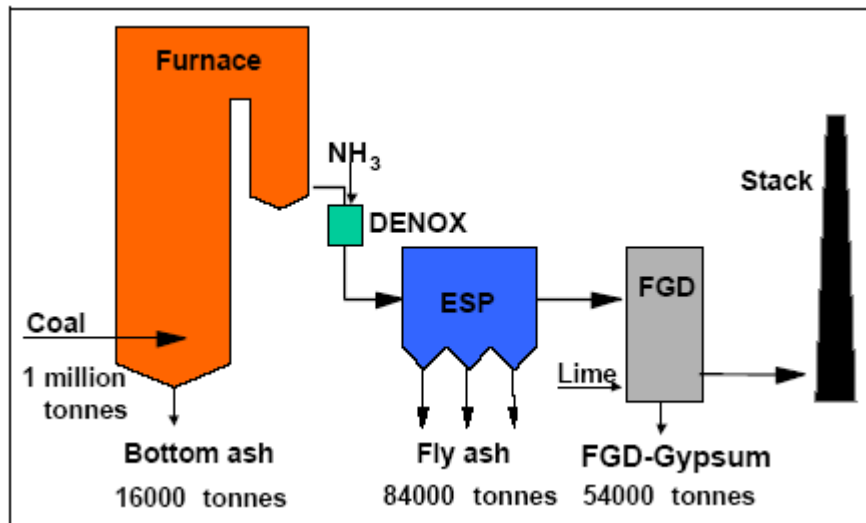
- Ana bileşen: kalsiyum sülfat-dihidrat uçucu kül ve nispeten yüksek Hg ve Se konsantrasyonları içerebilir
- İnşaat sektöründe kullanıma yönelik kritik parametreler: kristal boyutu, kristalizasyon ve su içeriği.

**Uçucu kül:** yoğunlaşan ağır metallerin en geniş kısmını içerir:

- Betonda kullanıma yönelik kritik parametreler: tutuşma kaybı, Cl, serbest CaO;
- Çimentoda kullanıma yönelik kritik parametreler: çimentonun fiziki, kimyasal, mekanik parametreleri düzenlenir (EN-197-1): tutuşma kaybı, sülfatlar, Cl.

**Kazanaltı külü:** düşük ağır metal içeriği; tuğla ve çimento endüstrisinde kullanım

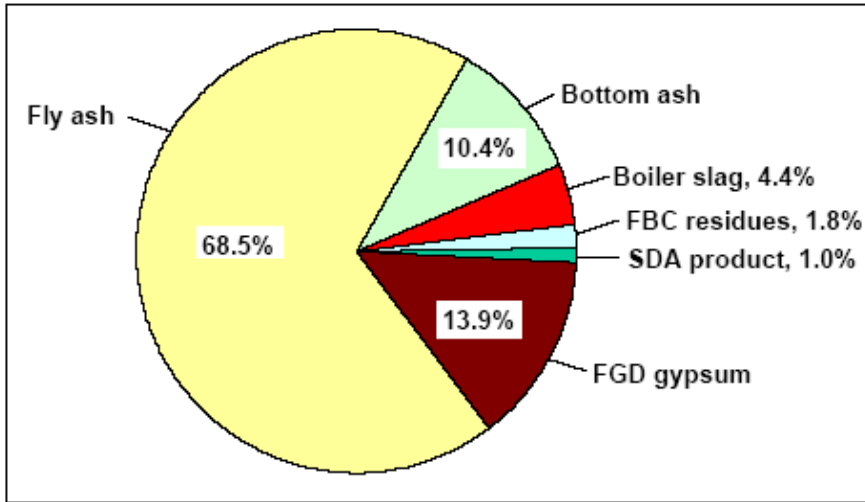
**Sprey kuru emilimden kaynaklı tortular:** alçıtaşı, kalsiyum-sülfat ve uçucu kül karışımı; büyük bir kısmı arazi dolusunda veya arazi dolumu için kapatma mazemesi olarak kullanılır



Furnace	Fırın
Coal	Kömür
Million tones	Milyon ton
Bottom ash	Kazanaltı külü
DENOX	DENOX
Fly ash	Uçucu kül
Lime	Kireç
Stack	Baca
ESP	ESP
FGD	

Şekil 4.45: 6000 saat tam yükte kömürle çalışan 750 MW<sub>e</sub> bir elektrik santralinde CCP'lerin Yıllık Üretimi (toplam CCP üretimi = 154000 ton)  
[90, ECOBA v. Berg, 1999]

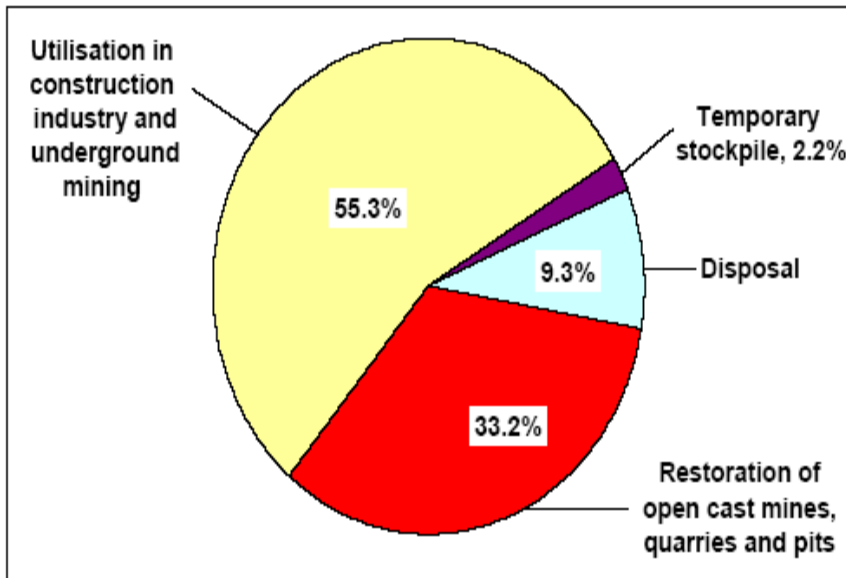
[90, ECOBA v. Berg, 1999]'ya göre, AB-15'de üretilen CCP'lerin miktarı 55 milyon tonu bulmaktadır. Şekil 4.46'da 1999 yılında üretilen farklı CCP'lerin payları gösterilmektedir. Toplam CCP'lerin hemen hemen % 70'i uçucu kül olarak ortaya çıkar. Tüm yakma tortuları kütle olarak % 85.1, FGD tortuları ise % 13.9 eder.



Fly ash	Uçucu kül
Bottom ash	Kazanaltı külü
Boiler slag	Buhar kazanı cürufu
FBC residues	FBC tortuları
SDC product	SDC ürünü
FGD gypsum	FGD alçıtaşı

Şekil 4.46: 1999 yılında AB-15'de CCP'lerin üretimi [90, ECOBA v. Berg, 1999]

Üretilen CCP'lerin çoğu inşaat endüstrisinde, inşaat mühendisliğinde; ve yer altı madenciliği (% 55.3) ile açık maden, taş ocağı ve ocaklara (% 33.2) yönelik yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. 1999 yılında, sadece % 2.2'si ileride kullanılmak üzere geçici olarak stoklanmış ve % 9.3'ü ise atılmıştır (Şekil 4.47).

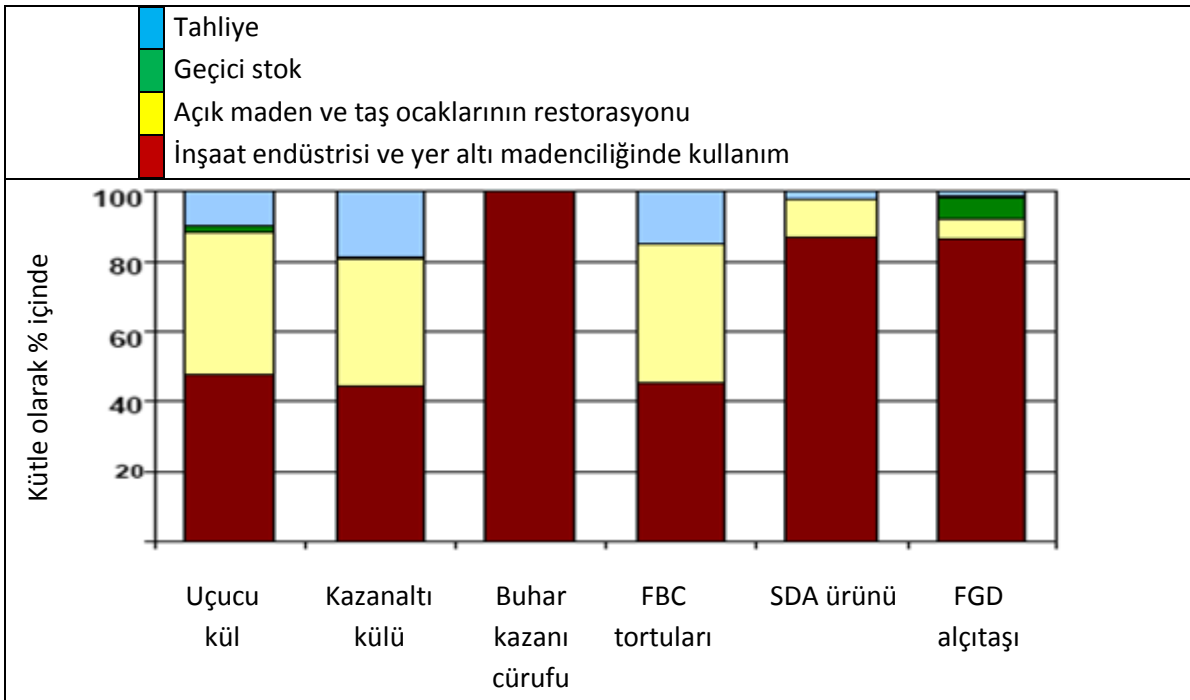


Utilisation in construction industry and underground mining	İnşaat endüstrisi ve yeraltı madenciliğindeki kullanım
Temporary stockpile	Geçici stok
Disposal	Atım
Restoration of open cast mines, quarries and pits	Açık maden ve taş ocaklarının restorasyonu

Şekil 4.47: 1999 yılında Ab-15'deki CCP'lerin atım ve kullanımları [90, ECOBA v. Berg, 1999]

İklim, vergiler ile yasal koşullar da değişiklik gösterdiğinden CCP kullanımı Üye Ülkeler'de birbirinden farklıdır. Avrupa Birliği Üyesi 15 Ülkeden bazısında CCP kullanım oranı yaklaşık % 100 iken, ağır metal içeriği, tutuşma kaybı, serbest ve toplam Ca içeriği, CI vb. gibi mevcut namüsalet koşullar nedeniyle bazı ülkelerde bu oran % 10'u geçmez.

Kükürt giderme ürünlerinin kullanımı da AB'ye Üye 15 Ülke'de farklılık gösterir. Bazı ülkelerde sprey kuru emilim (SDA) ürünleri inşaat endüstrisinde ve gübre olarak kullanılırken bazı ülkelerde ise bu ürünler atılırlar. FGD alçıtaşı, alçıpan ve kendiliğinden yayılan zemin kaplaması üretiminde ve çimento için sertleşme geciktirici olarak kullanılır. Kullanım oranlarındaki gözlenen gelişme materyallerin genelde ürün olarak kabul edilmesinden kaynaklanır. Bu gelişme araştırma faaliyetleri, pratik uygulamalar ile pazarlama çabaları ile sağlanmıştır.



Şekil 4.48: 1999 yılında AB-15'de CCP'lerin atım ve kullanımları [90, ECOBA v. Berg, 1999]

1999 yılında farklı CCP'lerin kullanım ve atılma oranları Şekil 4.48'de gösterilmektedir. 1999 yılında inşaat endüstrisi ile yer altı madenciliğinde % 45 ile 48, açık maden ve ocak restorasyonlarında % 37 ile 41 oranında yakma tortusu kullanılmakla birlikte, % 2 stoklanmış ve % 10 ile 15'i atılmıştır.

Hem SDA ürünü hem de FGD alçıtışının neredeyse % 86'sı inşaat endüstrisi ile yer altı madenciliğinde kullanılmıştır. Açık maden ve ocakların restorasyonuna yönelik olarak SDA ürünlerinin % 11'i ile FGD alçıtışının neredeyse % 6'sı kullanılmış ve alçıtışının hemen hemen % 6'sı ileride kullanılmak üzere geçici olarak stoklanmış. CCP'lerin sadece çok az bir bölümü atılmak zorunda kalmıştır [90, ECOBA v. Berg, 1999].

Bireysel CCP'lerin farklı kullanım sahalarına genel bir bakış Şekil 4.49'da verilmiştir.



Bazı kül ve diğer yakma yan ürünlerinin ağır metal içerikleri Tablo 4.53 ve Tablo 4.54’de sunulmuştur.

Ağır metal	Konsantrasyon (ppm)			Kütle akışı (g/h)		
	Kömür	Kaba kül	Uçucu kül	Kömür	Kaba kül	Uçucu kül
Arsenik	10.8	12.0	43.9	3193.6	43.2	3042
Kadmiyum	0.07	0	0.295	20.7	0	20.4
Kromiyum	39.1	204.7	154.5	11561.9	736.7	10703.4
Bakır	16.0	63.2	67.6	4716.4	227.5	4684.7
Kurşun	6.7	11.6	27.7	1981.2	41.8	1919.6
Civa	0.28	0	0.1	81.3	0	6.9
Nikel	40.5	204.0	158.7	11961.1	734.4	10997.9
Selenyum	0.99	0.6	1.4	291.3	2.2	97.0
Vanadyum	41.3	94.7	169.0	12197.6	340.9	11711.7
Çinko	26.1	38.1	116.1	7717.8	137.0	8076.9

Tablo 4.53: Kömür ve bazı kömür yakma tortularının ağır metalleri (Değişkenlik yüksek oranda kömür ve tesis tipine bağlı olduğundan bu veriler örnek olarak değerlendirilmelidir)  
[64, UBA, 2000]

	Girdi (%)		Çıktı (%)				
	Kömür	Tebeşir CaCO <sub>3</sub>	Uçucu kül	Kaba kül	Alçıtaşı	Temiz gaz	Toz (emit.)
Arsenik	100.0	0.0	99.1	0.4	0.4	<0.1	<0.1
Kadmiyum	100.0	0.0	95.5	0.0	0.4	4.1	0.0
Kromiyum	99.6	0.4	91.2	5.1	3.6	0.1	0.0
Bakır	98.9	1.1	94.3	3.6	0.8	1.4	<0.1
Kurşun	99.6	0.4	98.0	1.1	0.4	0.5	<0.1
Civa	99.1	0.9	50.2	0.0	5.0	44.8	0.0
Nikel	97.3	2.7	88.7	10.8	0.2	0.1	0.2
Selenyum	100.0	0.0	51.7	0.6	27.9	16.4	3.4
Vanadyum	99.7	0.3	97.8	1.8	0.3	0.0	0.1
Çinko	99.5	0.5	97.7	0.8	0.6	0.8	<0.1

Not: Çıktıya bağlı metal element ve tebeşir girdisinin %100’ünü temel alan çıktı

Tablo 4.54: Kömür ve bazı kömür yakma tortularının ağır metalleri (Değişkenlik yüksek oranda kömür ve tesis tipine bağlı olduğundan bu veriler örnek olarak değerlendirilmelidir)  
[64, UBA, 2000]

#### 4.3.7 Gürültü emisyonları

Elektrik santrallerinden kaynaklanan genel gürültüye ilişkin bilgiler Kısım 3.12’de açıklanmıştır.



#### 4.4 Kömür ve linyit yakmaya yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler

Bu kısımda emisyonları önleme ve azaltma ile termal verimliliğin artırılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilen teknikler sunulmaktadır. Bu tekniklerin tümü halihazırda teknik ve ticari olarak mevcuttur. Bu bölümde değerlendirilecek teknikler genel olarak açıklanmıştır ancak tekniklerin çoğu için Bölüm 3’de daha ayrıntılı açıklamalar sunulmuş olup bu tekniklerin gerçek durumlarda uygulandıklarında çevresel performanslarını ayrıntılı bir şekilde göstermek amacıyla Kısım 4.2’de bazı teknik örnekleri verilmiştir. Prensipte olarak Bölüm 3’de açıklanan genel teknikler büyük oranda kömür ve linyit yakımı için de geçerlidir ve genel olarak MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler olarak düşünülmelidir. Daha ayrıntılı açıklamalar için Bölüm 3’e bakınız.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15’deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.

## 4.4.1 Yakıt boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Kömür ve linyitin ulaşım ve taşınması</b>							
Toz arındırma ekipmanlı kapalı aktarım taşıyıcıları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Su içeriği ile sınırlı
Rüzgar korumalı açık taşıyıcılar	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Ayarlanabilir yükseklikli boşaltım ekipmanı	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Taşıma bantlarına yönelik temizleme cihazları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Su içeriği ile sınırlı
Toz kaldırmalı silolarla birlikte kireç/kireçtaşının kapalı muhafazası	İnce partiküllerin azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
<b>Kömür, linyit ve katkı maddelerinin depolaması</b>							
Su sprey sistemleri	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Su kontaminasyonu	Su spreyleme ve drenaj toplama maliyetleri	
Drenaj sistemli kapalı yüzeyler	Toprak ve yüzey suyu kontaminasyonunun önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Atık su arıtım maliyetleri	Toplanan drenaj suyunun bir durultma havuzunda arıtılması gerekir
Rüzgar korumaları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Saf sıvılaştırılmış amonyak depolaması		Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yüksek emniyet riski	Yüksek yatırım ve işletim maliyetleri	
Amonyak su çözümü olarak depolanması		Mümkün	Mümkün	Yüksek	Basınçlı sıvı amonyak olarak depolamadan daha az emniyet riski	Mevcut değil	Yüksek emniyet

Tablo 4.55: Yakıt depolama, boşaltım ve taşınmasına yönelik değerlendirilecek teknikler

## 4.4.2 Yakıt ön artımına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
Yakıt değişimi	Daha iyi yakıt çevre profili (düşük kükürt, düşük kül içeriği)	Uygulanmamış	Spesifik buhar kazanının tasarım özelliklerine bağlıdır	Yüksek	Kömürdeki düşük katışıklıklar daha az emisyonu neden olur. Düşük kül içeriği PM emisyon azaltımını ve kullanım/atıma yönelik katı atık azaltımını içine alır	Yakıt fiyatı yüksek olabilir	Uzun süreli teslimat sözleşmeleri veya lokal madenlere tam bağımlılık nedeniyle yakıtı değiştirme olasılığı sınırlı olabilir
Kömür harmanlama ve karıştırma	Emisyon zirvelerinin önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Dengeli çalışma		
Kömür yıkama	Katışıklıkların azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Kömürdeki düşük katışıklıklar daha az emisyonu neden olur.	Kömür yıkama tesisi ilave maliyeti	Genellikle kömür yıkama doğrudan maden sahasında uygulanır
Linyit ön kurutma	Yaklaşık 3 – 5 puanlık artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Sadece pilot tesis olarak uygulandıktan sonra sınırlı deneyim	Artan verimlilik	Linyit kurutucularının ilave maliyeti	Büyük boyutlu linyit kurutucular bugüne dek tesis edilmemiştir
Kömür gazlaştırma	Artan tesis verimliliği ve özellikle NOx'e yönelik düşük emisyon seviyeleri	Mümkün ancak sadece demonstrasyon tesislerinde uygulanmıştır	Mümkün değil	sadece demonstrasyon tesislerinde uygulanmıştır		Normal çalışma için mevcut değildir	Orta vadede, özellikle % 51 – 55'lik beklenen elektrik verimliliği bağlamında gazlaştırma normal yakmaya geçerli alternatif olma potansiyeline sahiptir.

Tablo 4.56: Yakıt ön artımına yönelik değerlendirilecek teknikler

## 4.4.3 Verimlilik ve yakıt kullanımını artıracak teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Tesis ekipmanının enerjetik optimizasyonu</b>							
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan yakıt verimliliği	Mümkün	Çok sınırlı	Yüksek			Isı yüklerine ilişkin sahaya özgü taleplere bağlıdır
Değişen türbin pervaneleri	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Buhar türbin pervaneleri düzenli bakım araları sırasında üç boyutlu pervanelere dönüştürülebilir
Yüksek buhar parametrelerine erişecek ileri materyallerin kullanılması	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	İleri materyal kullanımı 300 bar buhar basıncı ile 600 °C buhar sıcaklıklarına olanak sağlar
Kritik ötesi buhar parametreleri	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Duble yeniden ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Çoğunlukla yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Rejeneratif besleme-suyu ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde ve bazı mevcut tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	Yeni tesisler 10 aşamaya kadar kullanır; ki bu yaklaşık 300 °C besleme suyu sıcaklığına neden olur
İleri bilgisayarlı kontrol sistemleri	Artan verimlilik Yüksek buhar kazanı performansı Azalan emisyonlar	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Bölge ısıtmasına yönelik baca gazı ısı içeriğinin kullanılması	Artan yakıt kullanımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Soğutma suyunun olası en düşük sıcaklığı

Tablo 4.57: Verimlilik ve yakıt kullanımını arttırmak üzere değerlendirilecek teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Optimize edilecek yakma parametreleri</b>							
Düşük fazla hava	Artan verimlilik ve azalan NOx ile N <sub>2</sub> O emisyonları	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Boru arıza riskini ve yanmamış yakıt miktarını artırabilir
Egzoz gazı sıcaklıklarının düşürülmesi	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Hava ısıtıcısının tıknaması ve korozyon	Mevcut değil	Egzoz gazı sıcaklığı asit çığ noktası üzerinde 10-20 °C arasında olmalıdır. İlave ısı sadece ikincil ısı olarak kullanılabilir
Küldeki düşük yanmamış karbon	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	NOx emisyonu azaltımı küldeki yanmamış karbon oranının daha yüksek olmasına neden olur	Mevcut değil	NOx emisyonu ile küldeki yanmamış karbon miktarının optimize edilmesi gerekir ancak yüksek öncelikli kirletici NOx'dur.
Baca gazında düşük CO konsantrasyonu	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Düşük NOx emisyonları yüksek CO seviyelerine neden olur	Mevcut değil	
<b>Baca gazı temizleme ve tahliye</b>							
Soğutma kulesi tahliyesi	FGD tesisinden sonra baca gazı yeniden ısıtması gerekli değildir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Bacaya gerek yok	Baca yapımı ve bakımı için ilave maliyet yoktur	Soğutucu kule tahliyesinin fizibilitesi durum bazında değerlendirilmelidir (örneğin; soğutucu kule ile ilgili konum ve yapım materyallerinin elverişliliği)
Islak baca tekniği		Mümkün	Mümkün	Yüksek	Görülebilir baca dumanı		
<b>Soğutma sistemi</b>							
Çeşitli teknikler							Soğutma BREF'e bakınız

Tablo 4.58: Verimliliği artırmak üzere değerlendirilecek teknikler

## 4.4.4 Toz ve partiküle bağlı ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
ESP	Partikül emisyonlarının azaltılması. Ağır metal ve Hg ihracı olumludur ancak çok küçük yan etkiye sahiptir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	kW başına 13 – 60 EUR arasında değişen maliyet bildirilmiştir. Rakamlar, yüksek kül içerikli linyit için önemli derecede yüksek olan toplanan külü taşıma ve ulaştırma sistemlerine yönelik yatırım maliyetlerini içermez	Özellikle büyük boyutlu tesisler için ESP daha iyi ekonomik çözümdür. Partiküle bağlı civa katıllara tutunur, bu nedenle ESP’de kolaylıkla yakalanabilir. Katrınlı kömür ve linyit durumlarında, uçucu külün yüksek alkalin seviyesi ile baca gazlarındaki düşük HCl seviyesi nedeniyle Hg ihracı düşüktür
Bez filtre	Partikül emisyonlarının özellikle ince tozun (PM 2.5 ve PM 10) azaltılması. Ağır metal ve Hg ihracı olumludur ancak çok küçük yan etkiye sahiptir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Eektrik santralının verimliliği 0.1’lik puanla azalacaktır	Bakım ve işletim maliyetleri ESP’dekinden daha yüksektir	Kömürle çalışan yakma tesislerinde bez filtreler genellikle SO <sub>2</sub> emisyonlarını azaltacak kuru ve yarı kuru tekniklerin downstream’inde kullanılır. Partiküle bağlı civa katıllara tutunur, bu nedenle ESP’de kolaylıkla yakalanabilir. Katrınlı kömür ve linyit durumlarında, uçucu külün yüksek alkalin seviyesi ile baca gazlarındaki düşük HCl seviyesi nedeniyle Hg ihracı düşüktür
Siklonlar	Partikül emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Çok sınırlı ince partikül azaltımı	Düşük yatırım maliyetleri	Mekanik siklonlar sadece ESP ve FF gibi diğer teknikler ile birlikte ön toz arındırıcı olarak alınabilir
FGD’de aktif karbon ilavesi	Hg emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Sınırlı		FGD’de aktif karbon ilavesi düşük yatırım ve işletim maliyetlerine sahiptir	FGD’de aktif karbon ilavesi halen alçıtaşının civa içeriğini yükseltme belirsizliğine sahiptir

Tablo 4.59: Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler

4.4.5 SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Birincil tedbirler</b>							
Düşük kükürtlü yakıtların kullanımı	SO <sub>2</sub> emisyonlarının kaynağında azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Toz ve NO <sub>x</sub> emisyonlarında olası artış	Yakıta bağlı	Toz ve NO <sub>x</sub> emisyonlarında olası artış
FBC buhar kazanı	SO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Çok sınırlı	Yüksek	Daha yüksek N <sub>2</sub> O emisyonları	Sahaya özgü	

Tablo 4.60: SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Alçıtaşı üretimi ile ıslak kireç/kireçtaşı gaz yıkayıcısı	SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz, Hg ve Se emisyonlarının azaltılması Mevcut tesislere FGD uyarlaması ince toz ve Hg kontrolünde yan faydalar sağlar	Mümkün ancak 100 MW <sub>th</sub> altındaki tesislerde nadiren uygulanır	Mümkün	Yüksek	Kullanılan kireç kaynağı nedeniyle, As, Cd, Pb ve Zn emisyonları biraz yüksek olabilir. CO <sub>2</sub> emisyonlarını artırır Atık su emisyonları	Tesise özgü	Islak gaz yıkama prosesinin yüksek maliyetleri nedeniyle, bu teknik daha büyük tesisler için daha ekonomik çözümdür. Mevcut ıslak gaz yıkayıcı absorberdeki akış yapısının optimize edilmesi ile geliştirilebilir. Kömür baca gazlarının gazlı Hg <sup>2+</sup> bileşikleri zayıf ve güçlü çözülebilir düzeyde olup daha çözülebilir türler ıslak FGD gaz yıkayıcıları ile tutulabilir
Denizsuyu Gaz yıkayıcısı	SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz, ve Hg emisyonlarının azaltılması Mevcut tesislere FGD uyarlaması ince toz ve Hg kontrolünde yan faydalar sağlar	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Su tahliye bölgesi civarındaki düşük pH seviyelerindeki azalma ile ağır metal emisyonları ve deniz ortamına kalan kül	Tesise özgü	Kirlenmenin deniz ortamına etkisi nedeniyle denizsuyu gaz yıkayıcısının kullanımı büyük ölçüde spesifik ortama bağlıdır. Kömür baca gazlarının gazlı Hg <sup>2+</sup> bileşikleri zayıf ve güçlü çözülebilir düzeyde olup daha çözülebilir türler ıslak FGD gaz yıkayıcıları ile tutulabilir
Diğer ıslak gaz yıkama türleri	SO <sub>2</sub> azaltımı	Mümkün, ancak yeni tesislerde nadirdir	Bireysel tesise bağlıdır	Çok sınırlı	Tekniğe bağlı	Mevcut değil	Diğer kirleticilerin azaltılması spesifik tekniğe bağlıdır
Sprey kuru gaz yıkayıcı	SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz, ve Hg emisyonlarının azaltılması Mevcut tesislere FGD uyarlaması ince toz ve Hg kontrolünde yan faydalar sağlar	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Arazi dolusunda kullanılması gereken kalıntılar Genel LCP verimliliğinde azalma	Sahaya özgü	Kömür baca gazının gazlı Hg <sup>2+</sup> bileşikleri özellikle FF ile birleştirilerek genellikle sprey kuru FGD gaz yıkayıcılarında tutulabilir.
Sorbent enjeksiyonu	,SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz, ve Hg emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Arazi dolusunda kullanılması gereken kalıntılar	Mevcut değil	
Diğerleri	SO <sub>2</sub> azaltılması ve kombine teknikte NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün ancak yeni tesislerde nadirdir	Bireysel tesise bağlıdır	Çok sınırlı			Diğer kirleticilerin azaltılması spesifik tekniğe bağlıdır

Tablo 4.61: SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler



## 4.4.6 NOx and N2O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Birincil tedbirler</b>							
Düşük fazla hava	NOx azaltımı, ve N <sub>2</sub> O emisyonları, verimlilik arttırma	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Daha yüksek külde yanmamış karbon eğilimi Düşük fazla hava fazlalığı daha yüksek CO ve HC seviyelerini verme eğilimindedir	Sahaya özgü	Boru ve duvar korozyon riski
Hava aşamalandırma (OFA, BBF ve BOOS)		Mümkün	Mümkün	Yüksek	Daha yüksek külde yanmamış karbona neden olma eğilimi	Sahaya özgü	
Baca gazı resirkülasyonu		Mümkün	Mümkün	Yüksek		Sahaya özgü	Mevcut tesisler için, uygulanabilirlik bireysel tesise bağlıdır
Düşük NOx brülörler	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Daha yüksek külde yanmamış karbona neden olma eğilimi	Sahaya özgü	Mevcut tesisler için, uygulanabilirlik bireysel tesise bağlıdır. Sıklıkla baca gazı resirkülasyonu ve hava aşamalandırma içerir
Yeniden yakma	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Sahaya özgü	Mevcut tesisler için, uygulanabilirlik bireysel tesise bağlıdır. Alan kısıtlamaları yeniden yakma işlemini yeni tesislere yönelik uyarlama durumlarında daha az uygun kılar
<b>FBC buhar kazanlarında N<sub>2</sub>O emisyonlarını azaltacak tedbirler</b>							
Düşük fazla hava	N <sub>2</sub> O azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Daha yüksek CO emisyonları	Sahaya özgü	
Artan akışkan yatak sıcaklığı	N <sub>2</sub> O azaltımı	Mümkün	Mümkün	Deney aşaması	Artan NOx ve SO <sub>2</sub> emisyonları	Mevcut değil	Korozyon riski
Buhar kazanında MgO veya CaO gibi katalitik materyal kullanımı	N <sub>2</sub> O azaltımı	Mümkün	Mümkün	Deney aşaması		Mevcut değil	
Artan baca gazı sıcaklığı	N <sub>2</sub> O azaltımı	Mümkün	Mümkün	Pilot tesis aşaması		Mevcut değil	

Tablo 4.62: NOx ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler

Teknik	Çevresel faydalar	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>İkincil tedbirler</b>							
Selektif Katalitik olmayan Azaltım (SNCR)	Azaltım oranı SCR'dekinden çok daha az olmasına rağmen NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Sahaya özgü	Çok düşük sıcaklık penceresi ve yük varyasyonuna duyarlı Bu nedenlerle uygulama PF LCP'lerde çok sınırlı ve CFBC'de sınırlıdır
Selektif Katalitik Azaltım (SCR)	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Sahaya özgü	Bugüne dek, SCR tekniği sadece taş kömürü ile çalışan tesislerde uygulanmıştır
Selektif oto katalitik Azaltım (SACR)							NOx azaltımına yönelik yeni teknik zaten tam ölçekli gösterim aşamasındadır
Kombine teknikler	NOx ve SO <sub>2</sub> azaltımı	Mümkün ancak yeni tesislerde nadiren uygulanır	Mümkün ancak nadiren uygulanır	Çok sınırlı	Bireysel prosese bağlıdır	Mevcut değil	Kombine teknikler SCR tekniklerine kıyasla sadece küçük bir Pazar payını kapsarlar

Tablo 4.63: NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler

## 4.4.7 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Islak FGD</b>							
Flokülasyon, sedimentasyon ve nötralizasyon ile su arıtımı	Florid, ağır metal, COD ve partikül atılımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Uçucu küle veya FGD alçıtaşına yeniden dağıtmak üzere kömüre sulu çamur ilavesi veya maden endüstrisinde dolgu maddesi olarak yeniden kullanım	Tesise özgü	Kömüre sulu çamur ilave etmek ve FGD tesislerinde dahili olarak yeniden kullanmak durum bazında değerlendirmeye tabi tutulmalıdır
Çökeltme veya biyolojik arıdırma ile amonyak azaltımı	Azalan amonyak içeriği	Sadece SCR/SNCR nedeniyle atık sulardaki amonyak içeriği yüksek olduğunda uygulanabilir		Yüksek		Tesise özgü	
Kapalı devre çalışma	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Atık suların kömür külü ile karıştırılması	Atık su tahliyesinin önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Stabilize materyal açık madenlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir	Tesise özgü	
<b>Cüruf yıkama ve taşıma</b>							
Filtreleme veya sedimentasyon ile kapalı su devresi	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Demineraller ve kondensat parlatıcılarının rejenerasyonu</b>							
Nötralizasyon ve sedimentasyon	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Atılacak sudan arındırılması gereken çamur	Tesise özgü	
<b>Elutriasyon</b>							
Nötralizasyon		Sadece alkalın çalışması sırasında		Yüksek		Tesise özgü	
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcısı ve presipitatörün yıkanması</b>							
Nötralizasyon ve kapalı devre işletimi veya kuru temizleme metotları	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Yüzey akıntısı</b>							
Sedimentasyonlar veya kimyasal arıtma ve dahili yeniden kullanma	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	

Tablo 4.64: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesinde değerlendirilecek teknikler

## 4.5 Kömür ve linlit yakımına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET)

### 4.5.1 Giriş

Bu bölüm ve içeriğinin anlaşılması amacıyla okuyucunun ilgisi belgenin önsözüne özellikle önsözün beşinci kısmına çekilmiştir: ‘Bu belge nasıl anlanır ve kullanılır’. Bu kısımda sunulan teknikler ve ilgili emisyonlar ve/veya tüketim seviyeleri veya seviye ranjları aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlanan bir süreçle değerlendirilmiştir:

- Sektöre yönelik önemli çevresel hususların - ki bunlar hava ve su emisyonları, termal verimlilik ile yakma tortularındır – tanımlanması
- Bu önemli konulara hitap eden ilgili tekniklerin incelenmesi
- Avrupa Birliği’nde ve dünya çapında mevcut veriler bazında en iyi çevresel performans seviyelerinin tanımlanması
- Bu tekniklerin hayata geçirilmesi ile ilgili olan maliyet, çapraz medya etkileri temel itici güçler gibi performans seviyelerinin erişildiği koşulların incelenmesi
- Direktif Ek IV ve Madde 2(11)’e göre genel anlamda bu sektör için ilgili emisyon ve/veya tüketim seviyeleri ile mevcut en iyi tekniklerin (MET) seçilmesi.

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili Teknik Çalışma Grubu (TWG) tarafından yürütülen uzman kararları bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu değerlendirme temelinde, teknikler ve mümkün mertebe MET kullanımı ile ilgili olan emisyon ve tüketim seviyeleri bir bütün olarak sektöre uygun olduğu kabul edilen ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıtan bu kısımda sunulmuştur. ‘Mevcut en iyi teknikler ile ilgili’ emisyon veya tüketim seviyeleri sunulduğu hallerde, bu sunulan seviyelerin MET tanımı içerisinde bulunan maliyet ve fayda dengesi göz önünde bulundurularak açıklanan tekniklerin bu sektörde uygulanmalarının bir sonucu olarak beklenebilecek çevresel performansı temsil ediyor olduğu anlaşılmalıdır. Ancak bunlar ne emisyon ne de tüketim sınır değerleridir ve bu şekilde anlaşılmalıdır. Bazı durumlarda daha iyi tüketim ve emisyon seviyelerine erişmek teknik açıdan mümkün olabilir ancak ilgili maliyetler ile çapraz medya değerlendirmeleri nedeniyle bir bütün olarak sektör için uygun MET olarak değerlendirilemezler. Yine de bu seviyelerin özel itici güçlerin mevcut olduğu daha spesifik durumlarda ispat edildiği kabul edilebilir.

MET kullanımı ile ilgili emisyon ve tüketim seviyeleri belirtilen herhangi bir referans koşulu (örneğin; ortalama periyotları) ile birlikte anlaşılmalıdır.

Yukarıda açıklanan ‘MET ile ilgili seviyeler’ kavramı bu belgede başka bölümlerde kullanılan ‘erişilebilir seviye’ ifadesinden ayrılmalıdır. Özel bir teknik veya teknikler kombinasyonu kullanılarak bir seviyenin ‘erişilebilir’ olarak açıklanması durumunda, bu; bahsedilen teknikler kullanılarak iyi durumda bakılan ve işletilen tesis veya süreçte belirli bir zaman dilimi içerisinde o seviyeye erişilmenin beklenebileceği anlamına gelmelidir.

Maliyetler ile ilgili veriler mümkün hallerde önceki bölümlerde sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler ilgili maliyetlerin büyüklüğüne ilişkin kaba bir gösterge sunarlar. Ancak bir tekniğin uygulanmasının asıl maliyeti örneğin vergi, harç ve ilgili tesisin teknik özellikleri gibi özel durumlara bağlıdır. Bu sahaya özgü faktörlerin burada tam olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Maliyetlere ilişkin verilerin olmaması durumunda, tekniklerin ekonomik kapasitesine ilişkin değerlendirmeler mevcut tesislerde yapılan gözlemlerden elde edilir.

Bu kısımdaki genel MET mevcut bir tesisin halihazırdaki performansına karar verme veya yeni bir tesis teklifine karar vermede bir referans noktası olarak düşünülmüştür. Bu suretle tesise yönelik uygun 'MET-temelli' koşulların belirlenmesine veya Madde 9(8) kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesis edilmesine yardımcı olacaklardır. Yeni donanımların burada sunulan genel MET seviyeleri veya bunlardan daha yüksek seviyelerde faaliyet gösterecek şekilde tasarlanabilmeleri öngörülür. Ayrıca her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğine tabi olarak mevcut donanımların genel MET seviyelerinin ötesine geçebilmeleri de düşünülmektedir.

BREF'ler yasal bağlayıcı standartlar koymamakla birlikte endüstri, Üye Ülkeler ve kamuya belirli teknikler kullanılırken erişilebilir emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin kılavuz bilgiler sunmaları amaçlanır. Herhangi bir özel duruma ilişkin uygun sınır değerlerinin yerel hususlar ile IPPC Direktifi hedefleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15.1'deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz..

#### 4.5.2 Yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması

Kömür, linyit ve ayrıca kireç, kireçtaşı, amonyak vb. gibi katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması sırasında oluşabilecek tahliyeleri önlenmesine ilişkin MET Tablo 4.65’de özetlenmiştir.

Malzeme	Kirletici	MET
<b>Kömür ve linyit</b>	<b>Toz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaçak toz oluşumunu azaltmak üzere stok üzerine konulan yakıt yüksekliğini en aza indirgeyecek yükleme ve boşaltma ekipmanının kullanılması</li> <li>• Donma olayının meydana gelmediği ülkelerde katı yakıt depolamasında kaçak toz oluşumunu azaltacak su sprey sistemleri kullanma</li> <li>• Kaçak toz emisyonlarının oluşmasına göre, petrol koku istiflerini kaplamak</li> <li>• Hava oksijeni ile temas halinde oksidasyonun neden olduğu toz ve yakıt emisyonu kaybını önlemek üzere uzun süreli kömür depolama alanlarını kaplamak</li> <li>• madenden yerinde linyit depolama alanlarına taşıma bantları veya trenler yoluyla direkt linyit aktarımı gerçekleştirmek</li> <li>• Araçlar ve diğer ekipmanın uğrayabileceği hasarın önenebilmesi için aktarma tertibatının emniyetli zemin seviyesinden yüksek açık alanlara yerleştirmek.</li> <li>• Kaçak toz oluşumu en aza indirmek amacıyla taşıma bantları için temizleyici cihazlar kullanmak</li> <li>• toz emisyonlarını önlemek amacıyla taşıma aktarım noktaları üzerindeki iyi tasarlanmış güçlü ekstraksiyon ve filtreleme ekipmanı ile kapalı taşıma bantları kullanmak</li> <li>• saha içerisinde toz üretim ve taşınımını en aza indirecek taşıma sistemlerini modernleştirme</li> <li>• Tasarımı iyi ekipman ile birlikte yapım uygulamaları ve yeterli bakım kullanımı.</li> </ul>
	<b>Su kontaminasyonu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• drenajlı, drenaj toplama ve su arıtımı ile kapalı yüzeylerde depolamaya sahip olma</li> <li>• partikülleri sürükleyen kömür ve linyit depolama alanlarından yüzey akıntılarını (yağmur suyu) toplama ve bu akıntıyı tahliyeden önce arıtma</li> </ul>
	<b>Yangın önleme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kendi kendine tutuşma ile meydana gelen yangınları saptamak ve risk noktalarını belirlemek üzere otomatik sistemler ile kömür ve linyit depolama alanlarını incelemek</li> </ul>
<b>Kireç ve kireçtaşı</b>	<b>Toz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toz emisyonlarını önlemek için dağıtım ve taşıma aktarma noktaları üzerinde iyi tasarlanmış güçlü ekstraksiyon ve filtreleme ekipmanlı silolar, kapalı taşıyıcılar ve pnömatik aktarım sistemlerine sahip olmak</li> </ul>
<b>Saf sıvılaştırılmış amonyak</b>	<b>Amonyaka göre sağlık ve emniyet riski</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıvılaştırılmış saf amonyağın taşıma ve depolanması için: 100 m<sup>3</sup>’den büyük sıvılaştırılmış saf amonyak basınç rezervuarı çift katman inşa edilmeli ve yeraltına yerleştirilmelidir. 100 m<sup>3</sup> ve daha küçük rezervuarlar tavlama imal edilmiş olmalıdır</li> <li>• Emniyet açısından, amonyak-su çözeltisinin kullanımı sıvılaştırılmış saf amonyak depolama ve taşınmasından daha az risklidir</li> </ul>

Tablo 4.65: Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET

#### 4.5.3 Yakıt ön arıtımı

Kömür ve linyit yakıt ön arıtımına yönelik olarak, dengeli yakma koşullarının sağlanması ve bu suretle zirve emisyonlarının azaltılmasına yönelik harmanlama ile karıştırma MET’in bir bölümü kabul edilir. Bir kömürden daha iyi çevre profiline sahip başka bir kömüre geçmek de MET olarak kabul edilebilir.

#### 4.5.4 Yakma

Kömür ve linyit yakma işlemine yönelik olarak yeni ve mevcut tesisler için pülverize yakma (PC), akışkan yatak yakma (CFBC ve BFBC) ile birlikte basınçlı akışkan yatak yakma ve ızgara ateşleme MET kabul edilir. Izgara ateşleme tercihen sadece 100 MW altındaki nominal termal girişli yeni tesislere uygulanmalıdır.

Yeni buhar kazanlarının tasarlanması veya mevcut tesislere yönelik uyarılama projeleri için, ateşleme sistemleri daha yüksek buhar kazanı verimliliği sağlayan ve hava ve yakıt aşamalandırma, ileri düzey düşük NO<sub>x</sub> brülörleri ve/veya yeniden yakma vb. gibi NO<sub>x</sub> emisyon üretimini azaltacak birincil tedbirleri kapsayan MET'dir. Emisyon azaltımını destekleyen artırılmış yakma koşulları ile birlikte yüksek buhar kazanı performansı elde etmek üzere ileri düzey bilgisayarlı kontrol sisteminin kullanımı da MET kabul edilir.

#### 4.5.5 Termal verimlilik

Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden sera gazları özellikle de CO<sub>2</sub> salınımını azaltmaya yönelik bugünün bakış açısıyla mevcut en iyi seçenekler termal verimliliği artıracak teknikler ile işletimsel tedbirlerdir. Bu belgede Ek 10.2'de açıklanan CO<sub>2</sub> tutma ve ihracına yönelik ikincil tedbirler gelişmenin erken bir aşamasında yer alırlar. Bu teknikler ileride elverişli olabilir ancak henüz MET sayılamazlar.

Elektrik santrallerine yönelik olarak, enerji verimliliği ısı oranı (yakıt giriş enerjisi/elektrik santrali sınırında enerji çıkışı) ve elektrik santrali verimliliği olarak kabul edilir ki burada elektrik santrali verimliliği ısı oranının tersi yani üretilen enerji/yakıt giriş enerjisinin yüzdesidir. Yakıt enerjisi daha düşük ısıtma değeri olarak ölçülür. Verimliliği geliştirmek üzere double reheat ve en ileri yüksek sıcaklık materyalleri gibi ultra kritik ötesi buhar parametreleri uygulanarak doğrudan su soğutma kullanan 2.08 (% 48) ısı oranlı kömür ve linyitle çalışan yoğunlaşma elektrik santralleri inşa edilmiştir.

Son derece etkili yoğunlaşmalı elektrik santrallerinin inşa edilmesi çok pahalı olduğundan, ekonomik açıdan rekabet gücü zayıf kabul edilir. Bu nedenle doğrudan su soğutmalı (300 MW<sub>th</sub>'den fazla kapasiteli) yeni kömür veya linyitle çalışan yoğunlaşmalı elektrik santrallerine (DBB veya WBB buhar kazanlarında pülverize kömür veya linyit yakma) yönelik MET kullanımı ile ilişkili ısı oranı ve verimlilik düzeyi kritik ötesi buhar parametrelerinin kullanılması ile 2.3 – 2.2 (43 – 47 %) kabul edilir. Buhar parametrelerinin artırılması (kritik ötesi buhar) CHP mümkün olmadığında verimliliği artırmanın diğer yoludur.

Yüksek verimlilikler taban yükü tesislerinde kullanılan son derece yüksek buhar parametreleri ile elde edilir. Sık çalışma çevrimli tepe yükü santralleri daha düşük verimliliklere neden olan düşük buhar parametreleri ile tasarlanmalıdır.

Enerji kaynağı sisteminin enerji verimliliğini (yakıt kullanımı) arttırmak için CHP tesislerinin teknik ve ekonomik açıdan en uygun araç olmaları gerekir. Ko-jenerasyon bu nedenle üretilen enerji birimi başına havaya salınan CO<sub>2</sub> miktarını azaltmak amacıyla en önemli MET seçeneği kabul edilir. CHP, ekonomik açıdan mümkün olan her koşulda yani yerel ısı ihtiyacının daha basit ısı veya elektrik tesisi yerine daha pahalı olan ko-jenerasyon tesisinin yapımını garanti edecek kadar yüksek olması durumunda yeni inşa edilen bir tesis için bir görev olmalıdır. Isı talebi yıl içerisinde değişiklik gösterdiğinden CHP tesislerinin üretilen ısının elektriğe oranına ilişkin çok esnek olmalı ve ayrıca kısmi yük çalışmaları için yüksek verimliliğe sahip olmalıdırlar. Bu bağlamda, buhar çekimli yoğunlaşma türbinleri içeren tesisler de kastedilmektedir.

MET koşullarında CHP tesisinin işletimi ile ilişkili ekserjetik verimlilik (ayrıca bakınız Kısım 2.7.5) % 45 ile 55 arasında kabul edilir ki bu 1.3 – 1.1 ısı oranına ve spesifik tesis uygulamasına bağlı olarak % 75 – 90 arasında enerji (yakıt) verimliliğine denktir. Bu 2.3 ısı oranlı ve % 42 – 47 verimliliğe sahip yeni kömür veya linyitle çalışan sadece elektrik yoğunluğuna sahip tesislerin ısı oranı ve verimlilikleriyle karşılaştırıldığında, yakıt tasarrufları ve bu suretle azalmış CO<sub>2</sub> miktarı su yüzüne çıkar.

Bu MET seviyelerinin tüm işletim koşullarında elde edilmediği unutulmamalıdır. Tesisin tasarım aşamasında enerji verimliliği en iyi noktadadır. Tesislerin işletim periyotları boyunca esas enerji verimlilikleri işletim sırasında yükte meydana gelen değişiklikler, yakıt kalitesi vb. gibi nedenlerle daha düşük olabilir. Enerji verimliliği ayrıca tesisin soğutma sistemi, coğrafi konumu (Tablo 2.3'e bakınız) ve baca gazı temizleme sisteminin enerji tüketimine de bağlıdır.

Mevcut kömür ve linyitle çalışan tesislere yönelik olarak termal verimliliği geliştirmek üzere bir dizi uyarılma ve yeniden çalıştırma teknikleri uygulanabilir. Kısım 3.2.6.1'de açıklanan teknik önlemler mevcut tesislerin verimliliğini geliştirecek MET seçeneklerinin bir parçası olarak dikkate alınmalıdır. Özellikle geçiş safhasındaki ülkelerde eski buhar kazanlarının yeniden çalıştırılması ile önemli neticeler elde edilmiştir.

Genel olarak, verimliliği yükseltmek için aşağıdaki önlemlerin göz önünde bulundurulması gerekir:

- Yakma: yakma işleminden kaynaklı katı atık ve tortulardaki yanmamış gaz ve elementler nedeniyle ortaya çıkan ısı kaybının en aza indirilmesi
- Orta basınçlı buharın mümkün olan en yüksek basınç ve sıcaklığı. Buharın net elektrik verimliliğini artıracak sürekli ısıtılması
- Soğutma suyunun (içme suyu soğutma) mümkün olan en düşük sıcaklığı yoluyla buhar türbininin düşük basınç ucundaki mümkün olan en yüksek basınç düşüşü
- Baca gazı yoluyla ısı kaybının en aza indirilmesi (atık ısı veya sem merkez ısıtmanın kullanılması)
- Cüruf yoluyla ısı kaybının en aza indirilmesi
- İzolasyonlu kondüksiyon ve radyasyon yoluyla ısı kaybının en aza indirilmesi
- Örneğin evaporatörün skorifikasyonu, besleme suyu pompasının daha yüksek verimliliği vb. gibi uygun tedbirler ile dahili enerji tüketiminin en aza indirilmesi.
- Buhar kazanı besleme suyunun buharla ön ısıtılması
- Türbinin pervane geometrisinin geliştirilmesi.

Verimliliği artırmak amacıyla Bölüm 4.3'de değerlendirilen MET tedbirlerinin uygulanması ile ilişkili termal verimlilik seviyeleri Tablo 4.66'da özetlenmiştir.

Yakıt	Komb. Tek.	Ünite termal verimliliği (net) (%)	
		Yeni tesisler	Mevcut tesisler
Kömür ve linyit	Kojenerasyon (CHP)	75 – 90	75 – 90
Kömür	PC (DBB ve WBB)	43 – 47	Termal verimliliğin erişilebilir gelişimi spesifik tesise bağlıdır ancak gösterge olarak % 36 <sup>1</sup> – 40'lık seviye veya % 3 puandan fazla gelişme mevcut tesislere yönelik olarak MET kullanımı ile ilişkili değerlendirilebilir.
	FBC	>41	
	PFBC	>42	
Linyit	PC (DBB)	42 – 45	
	FBC	>40	
	PFBC	>42	
1	Endüstri ve bir Üye Ülke mevcut tesislere yönelik olarak önemli yükseltme projelerini takip eden erişilebilir net ünite verimliliklerin sadece % 30 – 40 ranjda olduğunu iddia etmiştir. Bunun, (genellikle uyarılan) emisyon kontrol cihazlarının önemli yakıt tüketimi nedeniyle verimlilik düşüşleri göz önünde bulundurularak iklimsel koşullarla birlikte yakıt özellikleri ve spesifik tesise bağlı olduğunu iddia etmişlerdir.		

Tablo 4.66: MET tedbirleri uygulaması ile ilişkili termal verimlilik seviyeleri



#### 4.5.6 Toz

Kömür ve linyitle çalışan yeni ve mevcut yakma tesislerinden proses atık gazlarının tozdan arındırılmasına yönelik olarak MET elektrostatik presipitator (ESP) veya bez filtre kullanımı olarak kabul edilirken bez filtre normalde 5 mg/Nm<sup>3</sup>'nin altında emisyon seviyeleri sağlar. Bununla birlikte en iyi düzeyde Hg kontrolü genelde bez filtre kullanan emisyon kontrol sistemleri ile (örneğin FGD + partiküler kontrol cihazı) sağlanır.

Siklon ve mekanik kolektörler tek başlarına MET değildirler ancak baca gazı yolunda ön temizleme aşaması olarak kullanılabilirler.

Tzo arındırmaya yönelik MET sonuçları ve ilişkili emisyon seviyeleri Tablo 4.67'de özetlenmiştir. İlişkili toz seviyeleri, tercihen daha ince toz partiküllerini toplamaya meğilli olduklarından daha ince partikülleri (PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub>) azaltma ve ağır metal emisyonlarını (özellikle partiküle bağlı Hg emisyonlarını) en aza indirme ihtiyacını dikkate alır. 100 MW<sub>th</sub> özellikle de 300 MW<sub>th</sub>'nin üzerindeki yakma tesislerine yönelik olarak, desülfürizasyona yönelik MET sonuçlarının bir parçası olan FGD teknikleri de partiküler maddeyi azalttığından toz seviyeleri daha düşüktür.

MET ile ilgili emisyon seviyeleri günlük ortalama, standart koşullar ile %6 seviyesindeki O<sub>2</sub>'ye dayanır ve tipik bir yük durumunu temsil eder. Tepe yükü, açma ve kapama periyotları ile baca gazı temizleme sistemlerinin işletimsel sorunlarına yönelik olarak daha yüksek olabilecek kısa vadeli tepe değerleri ele alınmalıdır.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	İzleme	Uygulanabilirlik	Düşünceler
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler				
500-100	5-20 <sup>(1)</sup>	5-30 <sup>(2)</sup>	ESP veya FF	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESP ile ilişkili azaltım oranının % 99.5 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> <li>Bez filtre kullanımı ile ilişkili azaltım oranının % 99.95 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> </ul>
100-300	5-20 <sup>(3)</sup>	5-25 <sup>(4)</sup>	PC'ye yönelik FGD (ıslak, sd veya dsi) veya CFBC'ye yönelik ESP veya FF ile birlikte ESP veya FF	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESP ile ilişkili azaltım oranının % 99.5 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> <li>Bez filtre kullanımı ile ilişkili azaltım oranının % 99.95 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> <li>Kükürt giderme için kullanılan ıslak gaz yıkayıcı da ayrıca tozu azaltır</li> </ul>
>300	5-10 <sup>(5)</sup> 5-20 <sup>(5)</sup>	5-20 <sup>(6)</sup> 5-20 <sup>(6)</sup>	PC'ye yönelik FGD (ıslak) ile birlikte ESP veya FF  CFBC'ye yönelik ESP veya FF	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESP ile ilişkili azaltım oranının % 99.5 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> <li>Bez filtre kullanımı ile ilişkili azaltım oranının % 99.95 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> <li>Kükürt giderme için kullanılan ıslak gaz yıkayıcı da ayrıca tozu azaltır</li> </ul>
<p><b>Notlar:</b>  <b>ESP</b> (Elektrostatik presipitator)    <b>FF</b> (Bez filtre)    <b>FGD(ıslak)</b> (Islak baca gazı kükürt giderme)  <b>FGD(sds)</b> (Sprey kurutucu kullanarak baca gazı kükürt giderme)    <b>FGD (dsi)</b> (Kuru sorbent enjeksiyonu kullanarak baca gazı kükürt giderme)</p> <p>Yakıt olarak düşük kalorifik değerli linyit kullanıldığı hallerde ortaya çıkabilecek ham gazda çok yüksek toz konsantrasyonlarına yönelik olarak, bu tabloda bahsedilen toz konsantrasyon seviyelerinden ziyade ESP için % 99.95 veya bez filtreler için % 99.99'lük azaltım oranı MET ilişkili seviye kabul edilir.</p>						
1	Endüstri ve bir MS öngörülen 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup>					
2	Endüstri ve bir MS öngörülen 20 – 100 mg/Nm <sup>3</sup>					
3	Endüstri ve bir MS öngörülen 10 – 30 mg/Nm <sup>3</sup>					
4	ESP veya FF ve 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> 'ye yönelik ıslak FGD ile kombinasyon durumunda endüstri ve bir MS öngörülen 10 – 100 mg/Nm <sup>3</sup> , 10 – 30 mg /Nm <sup>3</sup> 'e yönelik Endüstri ve bir MS öngörülen 10 – 30 mg/Nm <sup>3</sup>					
5	Islak FGD ile kombinasyon durumunda ESP veya FF ve 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> 'e yönelik endüstri ve bir MS öngörülen 10 – 100 mg/Nm <sup>3</sup>					
6	Yukarıda verilen değerleri öngören Endüstri tarafından verilen mantıksal temel yakıt nitelikleri, kül direnci, baca gazı girişi ve FGD gerekliliğini belirleyen SO <sub>2</sub> konsantrasyonu, ekonomi ile birlikte yüksek net ünite verimliliği gereksinimleri gibi konuların tamamen dikkate alınmamış olmasıdır. Bir Üye Ülke, Endüstri görüşünü desteklemiş ve yüksek verimliliğe sahip ESP'ler ile birlikte dahi yüksek kül direnci ve yüksek kül içerikli düşük kaliteli linyitler kullanılırken sağlanan toz emisyon seviyelerinin doğal kükürt giderimi nedeniyle ıslak FGD gerektirmeyen mevcut tesislere yönelik öngörülen seviyelere hiçbir zaman ulaşılmayacağı iddia etmiştir.					
1,2	Bir Endüstri temsilcisi 50 ile 100 MW arasındaki kömürle çalışan tesislere yönelik olarak 30 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha az toz emisyonlarının çok fazla iyimser olduğu ve kullanımdaki tesisin (özellikle FF) kötüye gitmesi veya toplama değişkenliğine (özellikle ESP'ler) yönelik hiç marj vermez. Halen çok sıkı fakat pratikte ulaşılabilir toz emisyon limiti 50 mg/Nm <sup>3</sup> ' dir.					
5,6	Bir Üye Ülke, bu seviyeler Üle Ülkelerin emisyon sınırlarına uygun olduğundan MET seviyesinin 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> arasında olması gerektiğini öne sürmüştür. Azaltım sistemleri bu sınırlara uygun olmak üzere tesis edilmiştir. Yeni elektrik santralleri söz konusu oldukça, şüpheli Üye Ülkenin 20 mg/Nm <sup>3</sup> 'lik bir toz emisyon seviyesinin öngörüldüğü, kömür yakan tesislere yönelik bir programı bulunur.					

Tablo 4.67: Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı atık proses gazlarının tozdan arındırılmasına yönelik MET

#### 4.5.7 Ağır metaller

Yakıtın mineral içeriği kökenine bağlı olarak farklı maddeler ihtiva eder. Kömür ve linyit gibi tüm katı yakıtlar ağır metaller gibi belirli bir konsantrasyonda iz elementine sahiptirler. Yakma prosesinde ağır metallerin davranışı kompleks fiziko-kimyasal süreçleri içerir. Temelde ağır metallerin çoğu yakma prosesinde buharlaşır ve daha sonra proses içerisinde partiküler madde yüzeylerine yoğunlaşır (örneğin uçucu kül). Çoğu ağır metal, partiküler madde üzerine yoğunlaşmanın mümkün olduğu tipik hava kirlilik kontrol cihazlarında mevcut işletim sıcaklıklarında yeterli derecede düşük buhar basınçlarına sahiptir. Bu nedenle kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı baca gazlarından ağır metal emisyonlarının azaltımına ilişkin MET yüksek performanslı ESP (azaltım oranı >99.5 %) veya bez filtre (azaltım oranı >99.95 %) kullanımıdır.

Cıva, tipik kontrol aletinin işlem sıcaklıklarında yüksek duman basıncına sahiptir ve partikül madde kontrol aletleri tarafından toplanması oldukça değişkendir. Sprey kurutucu FGD gaz yıkayıcıları ve ıslak kireç/kireç taşı gaz yıkayıcılarının büyük yakma tesislerinden SO<sub>2</sub> azaltımı için MET olarak görüldüğü göz önünde bulundurulduğunda, düşük Hg emisyon seviyesi elde edilir.

Hg emisyonlarının azaltılması ve sınırlanması için, düşük Hg içerikli olanlarla kıyaslanabilecek şekilde iyi kalite kömürlerin ve en iyi seviyedeki kontrolün genellikle, 130 °C'den az derecelerde iyi Hg ihracı (ziftli kömür) gösteren yüksek verimlilikli ESPlerde, FFler ve ESPler kullanan emisyon kontrol sistemi tarafından ele geçirildiği belirtilmektedir. Ek olarak, baca gazı temizleyici sistemin bazı birleşimleri, hg'ye bağlı oksitlenmiş ve partikülü bir noktaya kadar ihraç edilebilir. Islak kireç taşı gaz yıkayıcıları, sprey kurutucu gaz yıkayıcıları ya da sorbent enjektisi gibi FGD teknikleriyle birlikte çalışan FFler ve ESPler için, ortalama ihraç oranı %75 (ESPde %50 ve FGDde %50)ya da %90'dır, ayrıca SCR varlığı elde edilebilir. Taş kömürü ya da linyit yakarken azalma oranı önemli ölçüde düşüktür ve %30-70 arasında değişmektedir. Taş kömürü ve linyit yakan tesislerdeki Hg yakmalarının daha az seviyeleri, düşük uçucu kül karbon miktarına ve bu yakıtların yakılmasından gelen baca gazındaki daha yüksek Hg gaz miktarına bağlıdır.

Hg'nin periyodik izlenmesi MET'dir. Kullanılan kömüre bağlı olarak üç yıla kadar yıllık sıklık önerilir. Toplam Hg emisyonları izlenmelidir ve partikül maddesinin bir kısmı olarak sadece Hg görünmez.

#### 4.5.8 SO<sub>2</sub> emisyonları

Genelde, kömür ve linyitle çalışan yakma tesisleri için , kükürt giderme (FGD) ve düşük sülfür yakıtı kullanımı MET olarak değerlendirilir. Buna rağmen, düşük sülfür yakıtı kullanımı bütünleyici bir teknik olabilir (özellikle 100 MW<sub>th</sub>'nin üstündeki tesisler için) , fakat genelde kendisi SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için yeterli değildir.

Buhar kazanı teknolojisine göre MET'in bir ayrımı yapıldı:desülfürizasyonun farklı teknik seçenekleri nedeniyle, büyük pülverize kömürle ve linyitle çalışan tesisler yatak buhar kazanlarından ayrı olarak değerlendirilir.

Düşük sülfür kullanımının haricinde, pülverize kömürle ve linyitle çalışan yakma tesisleri için MET olduğu düşünülen teknikler: ıslak gaz yıkayıcıları, sprey kuru gaz yıkayıcıları ve 250 MW<sub>th</sub>'nin altındaki küçük uygulamalar için ayrıca kuru sorbent enjektisidir (birleşik bez filtreli kuru FGD). Bu teknikler, baca gazı desülfürizasyon tekniklerinin %90'dan fazla pazar paylarına sahiptirler. Desülfürizasyonun uyum oranı, ıslak gaz yıkayıcılar için %80 ve 98 arasında, sprey kurutucu gaz yıkayıcılar için % 80 ve 92 arasında ve kuru sorbent enjektisi için %70-90 arasında olarak değerlendirilir. Buna rağmen, eğer bu yolla SO<sub>2</sub> emisyonu başarılabirliği MET ile bağlantılı olan emisyon seviyelerinin çok altında olacaksa, bu seviyelerde desülfürizasyon tesislerini çalıştırmak gerekli değildir.

Islak gaz yıkayıcı HF ve HCl (%98-99) için yüksek azaltma oranına da sahiptir. Islak gaz yıkayıcı kullanan her iki kirletici madde için bağlantılı emisyon seviyesi 1 – 5 mg/Nm<sup>3</sup>'tür. Dönen gaz-gaz ısı eşanjörü ile donanmış FGDler daha yüksek emisyon gösterirler. Özellikle HF için, toplam ihraç verimliliği SO<sub>2</sub> veHCl için olandan daha azdır.

Islak gaz yıkayıcının bir başka avantajı da, toz ve ağır metal (Hg gibi) emisyonlarına olan katkısıdır. Islak FGD sistemi kullanmakta olan mevcutr bir tesis , absorber kabındaki akış yolunu en ideal seviyeye SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilir. Islak gaz yıkayıcı işlemi küçük tesisler için pahalıdır ve 100 MW<sub>th</sub>'den küçük kapiteli tesisler için MET olarak değerlendirilememektedir. Buna rağmen, FGD sistemlerinin aksine, ıslak gaz yıkayıcılar, satılabilir bir ürün olan , çimento ya da yapı endüstrileri tarafından kullanılan alçı taşını üretirler.

Deniz suyu gaz yıkayıcı, yüksek güvenilirliği yüzünden MET sonucunun bir kısmı olarak düşünülür. Çünkü, bu çamur taşınması gerektirmeyen basit bir işlemdir ve yan ürün oluşturmaz. Buna rağmen, deniz suyunun durumu, gelgitli akışlar, gaz yıkayıcı su çıkışına yakın olan marina (denizle ilgili) çevre vb. gibi yerel koşulların, herhengi olumsuz çevresel ya da ekolojik etkilerden kaçınmak için dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Etkiler, kalan metallerin (özel Hg'deki ağır metaller) ve uçucu külün girişinden gelenler kadar güç tesisinin genel çevresindeki pH seviyesinin azaltılmasından da oluşabilir. Bu özellikle, bir halicte konumlanmış olan tesisler için uygulanabilir.

Hg göz önünde bulundurulduğunda, cıva boşaltımıyla ilgili 84/156/EEC Konsey Komutu'na uygun olmasına dikkat edilmelidir. Bu Direktif kapsamında ve Topluluk limit değerlerinin yokluğunda, Üye Ülkeler önceki 76/464/EEC ile uyumlu olarak özerk şekilde cıva boşaltımı için emisyon standartlarını düzenleyeceklerdir. Böyle standartlar var olan en iyi teknik araçları hesaba katmalıdır ve komut 84/156/EEC'nin ek 1'ndeki kıyaslanabilir sınır değerinden daha aza uyması zorunlu olmamalıdır. Dahası, bu bir izleme prosedürünü gerektirir.

100 MW<sub>th</sub>, 'den az olan yakma tesisleri için düşük sülfür kömür ya da sorbent enjektisi kullanılan MET olarak değerlendirilir.

Sahaya özgü koşulların bu tekniklerin kullanımına izin verdiği ya da yatırımını onayladığı durumlarda aktif karbon ve DESONOX işlemi gibi NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> azaltımının birleşik teknikleri gibi bölüm 3.5'te tanımlanan diğer desülfürizasyon tekniği MET olmaya hak kazanır.

Düşük sülfür ve yüksek baz kül miktarıyla düşük kaliteli linyit kullanımına göre doğal desülfürizasyonun etkisi ayrıca %90 kadar yüksek SO<sub>2</sub> ihracına da gerçekleştirebilir, fakat düşük kaliteli yakıt yüzünden yüksek toz emisyonlarına ve daha yüksek tortuya yol açacaktır.

FBC'deki yakma derecesi sülfürün kalsiyumla ya da yatağa eklenen magnezyum bileşeniyle tepkimeye girmesi memnun edicidir. Reaksiyon ürünleri, alçı taşı ve tepkimemiş kireç atışı, yatak külüyle birlikte kısmen yattan ve uçucu külle birlikte ek odacıktan ya da elektrostatik presipitatörlerden kısmen ihraç edilir. Yüksek sülfür azaltımı için , akışkan yatak yakma (FBC)'dan , ıslak gaz yıkayıcı ya da sprey kulelerde olduğundan daha yüksek Ca/S oranları gerekmektedir. Buna rağmen, çok yüksek Ca/s oranları ile olsa bile , FBC yakma , ıslak gaz yıkayıcılardan olduğu gibi böylesine yüksek azaltma oranlarını gerçekleştiremezler

Devirli akışkan yatak yakma (CFBC) buhar kazanına, kabarcıklı akışkan yatak yakma (BFBC) buhar kazanlarındakinden daha yüksek desülfürizasyon dereceleri elde edilir. Kömür ve linyit için , CFBClerde ılımlı Ca/S oranlarıyla (2-4 arasında) %80-95 arası ihraç verimlilikleri mümkündür. Yakıt sülfür miktarı arttığı zaman Ca/S , belli bir sülfür ihracı(ör:%90 ihraç) için hafifçe azalır. Buna rağmen, kireç taşının gerçek kütle akış oranı, üretilen tortu miktarında olduğu gibi artışlara gereksinim duymuştur. Yani, yüksek dülfür yakan CFBCler için yeni trend şunları birleştirmektedir: a) fırındaki kireç taşı tarafından hapsedilen *yerinde* sülfür b) soğuk uçlu sülfür yakalama. Tüm yönler hesaba katıldığı zaman, yatakta sadece kireç taşı enjektisiyle CFBClerdeki sülfür hapsi, düşük ya da ılımlı sülfür (<1 – 3 % S) yakıtları için MET olarak değerlendirilir.

BFBClerde uygun ihraç verimliliği, benzer kalitedeki kömür ya da linyitle, ve benzer kalite ve tüketimdeki kireç taşıyla %55-65 arasındadır. BFBC'lerdeki düşük desülfürizasyon nedeniyle kireç taşı ya da dolomit enjektisi MET olarak değerlendirilemez. Sadece kömür yakan BFBC buhar kazanlarında, pülverize kömür yakması için MET olarak tanımlanan boru çıkışı teknikleri , bu tekniklerin bağlantılı emisyon seviyeleriyle MET'dir.

Desülfürizasyon için MET sonucu ve ilgili emisyon seviyeleri tablo 4.68'de özetlenmektedir. MET bağlantılı emisyon seviyeleri, günlük ortalamaya , standart koşullara ve %6'lık O<sub>2</sub> seviyesine dayanır ve tipik bir yük durumunu temsil ederler. Baca gazı temizleyici sistemleri işlemsel problemleri için olduğu kadar tepe yük için başlatma ve kapatma periyodları, daha yüksek olduğundan kısa dönemli tepe değerleri önemsenmelidir.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Yakma tekniği	MET ile ilişkili SO <sub>2</sub> emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET seçenekleri	Uygulanabilirlik	İzleme
		Yeni tesisler	Mevcut tesisler			
50-100	Izgara ateşleme	200-400	200-400	Düşük kükürtlü yakıt veya FGD (sds)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	PC	200-400 <sup>(1)</sup>	200-400 <sup>(2)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt veya FGD (sds, dsi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	CFBC ve PFBC	200-400 <sup>(3)</sup>	150-400 <sup>(4)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt Kireçtaşı enjeksiyonu	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC	200-400 <sup>(5)</sup>	150-400 <sup>(6)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt FGD (dsi) FGD (sds)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
100-300	PC	100-200	100-250 <sup>(7)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt FGD (ıslak, sds) FGD (dsi, yaklaşık 200 MW <sub>th</sub> 'ye kadar) Denizsuyu gaz yıkama NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> azaltımına yönelik kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	CFBC ve PFBC	100-200	100-250 <sup>(8)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt Kireçtaşı enjeksiyonu	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC	100-200	100-250 <sup>(8)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt FGD (ıslak, sds)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
>300	PC	20-150 <sup>(10)</sup>	20-200 <sup>(11)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt FGD (ıslak) FGD (dsi) Denizsuyu gaz yıkama NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> azaltımına yönelik kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	CFBC ve PFBC	100-200	100-200 <sup>(12)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt Kireçtaşı enjeksiyonu	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC	20-150	20-200 <sup>(13)</sup>	Düşük kükürtlü yakıt FGD (ıslak)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
Notlar: <b>PC</b> (Pülverize yakma) <b>BFBC</b> (kabarcıklı akışkan yatak yakma) <b>CFBC</b> (Dolaşimli akışkan yatak yakma) <b>PFBC</b> (Basınçlı akışkan yatak yakma) <b>FGD (ıslak)</b> (Islak baca gazı kükürt giderme) <b>FGD (sds)</b> (Sprey kurutucu kullanılarak baca gazı kükürt giderme) <b>FGD (dsi)</b> Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme						
1-6, 8-9, 12, 13	Endüstri seviyelerinin aşağıdaki şekilde olması gerektiğini bildirmiştir: Üst seviye 300 mg/Nm <sup>3</sup> Üst seviye 600 mg/Nm <sup>3</sup> Üst seviye 200 mg/Nm <sup>3</sup> Üst seviye 400 mg/Nm <sup>3</sup>					
7, 8, 9 11, 12, 13	Yakıt özellikleri, giriş baca gazı SO <sub>2</sub> konsantrasyonları erişilebilir MET seviyelerini etkilediğinden bu seviyeler Endüstri tarafından önerilmiştir. Yukarıda verilen değerleri öngören Endüstri tarafından verilen mantıksal temel yakıt nitelikleri, kül direnci, baca gazı girişi ve FGD gerekliliğini belirleyen SO <sub>2</sub> konsantrasyonu, ekonomi ile birlikte yüksek net ünite verimliliği gereksinimleri gibi konuların tamamen dikkate alınmamış olmasıdır. Bir Üye Ülke, Endüstri görüşünü desteklemiş ve yüksek verimliliğe sahip ESP'ler ile birlikte dahi yüksek kül direnci ve yüksek kül içerikli düşük kaliteli linyitler kullanılırken sağlanan toz emisyon seviyelerinin doğal kükürt giderimi nedeniyle ıslak FGD gerektirmeyen mevcut tesislere yönelik öngörülen seviyelere hiçbir zaman ulaşılmayacağı iddia etmiştir. Bir Endüstri temsilcisi 50 ile 100 MW arasındaki kömürle çalışan tesislere yönelik olarak 30 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha az toz emisyonlarının çok fazla iyimser olduğu ve kullanımdaki tesisin (özellikle FF) kötüye gitmesi veya toplama değişkenliğine (özellikle ESP'ler) yönelik hiç marj vermez. Ranjı 200 – 400 mg/Nm <sup>3</sup> 'e dönüştürün Bir Endüstri, bu seviyeler Üle Ülkelerin emisyon sınırlarına uygun olduğundan MET seviyesinin 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> arasında olması gerektiğini öne sürmüştür. Azaltım sistemleri bu sınırlara uygun olmak üzere tesis edilmiştir. Yeni elektrik santralleri söz konusu oldukça, şüpheli Üye Ülkenin 20 mg/Nm <sup>3</sup> 'lik bir toz emisyon seviyesinin öngörülmesi, kömür yakan tesislere yönelik bir programı bulunur.					
1-6						

Tablo 4.68: kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı sülfür dioksidin kontrol ve önlenmesine yönelik MET

#### 4.5.9 NO<sub>x</sub> emisyonları

Genelde, kömürle ve linyitle çalışan yakma tesisleri için, başlangıç ve/veya da ikinci tedbirlerin birleşimini kullanarak oksitlere(NO<sub>x</sub>) azaltma MET olarak değerlendirilir. Nitrojen bileşenlerine duyulan ilgi, müşterek olarak, NO<sub>x</sub> şeklinde ve azotlu okside (N<sub>2</sub>O) şeklinde gösterilen nitrik asit (NO) ve nitrojen dioksittir (NO<sub>2</sub>). Buhar kazanı teknolojisine göre ör: pülverize ya da akışkan yatak yakma, ve yakıt olarak kömür ya da linyitin kullanılmasına göre bir MET ayrımı yapılmıştır

Pülverize kömür yakma tesisleri için, SCR gibi ikinci tedbirlere başlangıç tedbirlerinin birleşiminin kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı , SCR sistemlerinin ayırma verimliliklerinin %80 ile 90 arasında değiştiği MET'dir. Bugün; katalizörün ömrünü önemli ölçüde arttıran ve dolayısıyla işlemsel bedelleri düşüren kullanılmış katalizörün yeniden üretilmesi için farklı işlemler mevcuttur. Mevcut bir buhar kazanında SCR sistemi uygulamasının ekonomik fizibilitesi, tesisin yaşı yoluyla belirlenemeyen tesisin beklenen kalan ömrünün başlıca sorusudur. SCR kullanımının 'slide' amonyak konsantrasyonu hususunda 5 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha az bir MET seviyesiyle bağlantılıdır. Bu seviye ayrıca uçucu külün gelecekteki kullanımı ve çevreleyen alandaki baca gazı kokusu sorunlarından kaçınır.

Aktif karbon ve DESONOX işlemi gibi NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> azaltımı için bölüm 3.5'te açıklanan birleşik teknikler, MET sonucunun bölümüdürler, fakat avantajları, dezavantajları ve uygulanabilirlikleri yerel seviyede doğrulanmalıdır

Pülverize linyit yakan yakma tesisleri için, farklı başlangıç tedbirlerinin birleşimi MET olarak değerlendirilir. Bu, örneğin, baca gazı devir daim gibi diğer ana tedbirlerle birleşen düşük NO<sub>x</sub> brülörlerin kullanımı, aşamalı yakma (hava aşamalandırması), yeniden yakma vb. anlamına gelmektedir. SCR tekniği , NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı için MET kısmi olarak değerlendirilir, fakat taş kömürüyle çalışan tesislere kıyasla linyit yakan tesislerin nispeten düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarının hesabına göre, SCR linyit yakmanın genel bakış açısında MET olarak değerlendirilmektedir

Geliştirilmiş düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin mevcut buhar kazanlarına uygulanması için, daha eski kurulumlarda, fırınların genellikle mümkün olduğunca küçük inşa edilecekleri göz önünde bulundurulmalıdır(yüksek yakma yoğunluğu için tasarlanan). Yani, fırın derecesi sadece sınırlı bir ölçüye kadar azaltılabilir. Ek olarak, fırın derecesi, aslında tasarlandığından daha uzun alevlere yavaşça uyum sağlayabilir. Daha eski fırınlar için, orijinal brülörlerdekinden daha uzun alevlere sahip olmayan modern türbülans brülörlerin uygulanması MET olarak değerlendirilir.

Eski fırınlardaki fırın yüksekliği genellikle küçüktür ve aşırı yanma hava (OFA) limanlarının kurulmasını engelleyebilir. OFA için bir oda olsa bile, fırının üst kısmındaki yakma gazlarının ikame süresi tüm yakma için yeterince uzun olmayabilir. NO<sub>x</sub> oluşumu hakkında daha çok şey bilindiği ileriki yıllarda inşa edilmiş olan buhar kazanlarında, fırın genellikle daha büyük olacaktır ve böylece daha düşük NO<sub>x</sub> seviyeleri elde edilebilir. Düşük NO<sub>x</sub> yakması, buhar kazanı tasarımına girdiği zaman , ör: yeni kurulumlarda, en iyi sonuç elde edilir.

Yüksek yük varyasyonlarının olmadığı ve sabit yakıt kaliteli küçük tesisler için, SCNC tekniği NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı için ek bir tedbir olarak görülebilir.

Temel ölçümlerin, kömür ya da linyitin kullanımı, uçucu külde yüksek oranda yanmamış karbon ve bazı karbon monoksit emisyonları ile sonuçlanan tamamlanmamış yakma işlemine yol açabilir. İyi bir tasarım ve yakma kontrolü ile bu olumsuz etkilerden büyük oranda kaçınılabılır. Küldeki yanmamış karbon miktarı, yakıtı bağlı olarak değişebilir ve genelde, temel ölçümler olmadan, daha yüksektir. Uçucu külden en iyi şekilde yararlanmak için, küldeki yanmamış karbonun ilgili MET derecesi %5'in altındadır. Yanmamış karbonun %5'in altındaki derecesine genelde ulaşılabilir fakat sadece daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonunun fiyatında bazı kömürlere ulaşılabilir. Temel NO<sub>x</sub> azatlım ölçümleri aynı zamanda, işlemin toplam enerji verimliliği üzerine de etki eder. Yakma tamamlanamazsa, enerji verimliliği düşük oranda kalır. Düşük NO<sub>x</sub> yakmasına bağlı olarak yanmamış karbon miktarındaki normal artış, ünite verimliliği üzerinde yaklaşık %0.1- 0.3 oranında olumsuz etki yaratır.

Kömür ve linyit için akışkan yatak yakma (FBC) işleminde, aşamalı hava yakma (hava aşamalı) MET olarak kabul edilir. Bu durumda yama işlemi, kabarcıklı yataktaki piroliz yoluyla ya da döngü yatağının alt bölümünde yer alan kaynama yatak tipinde stokiyometrik şartlar altında başlar. Yakma havasından geri kalanlar, daha sonradan aşamalı olarak yakma işleminin tamamlamak ve stokiyometrik şartların üzerine ulaşmak için eklenir. Devirdain akışkan yataklarda, devirdain yatağın materyali, fırın derecesini 900 °C'nin altına düşüren ve geniş ölçüde termal NO<sub>x</sub> oluşumunu önleyen derece dağılımını da garanti eder. Aksi takdirde, düşük dereceler, N<sub>2</sub>O jenerasyonunun oluşmasını sağlar ve yanmamış karbon miktarının artmasına sebep olur. Akışkan yatak yakma seçeneği bu yüzden NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, ve SO<sub>2</sub> kontrolünün kısmi uyumsuzluğu için gerekli olanları; yanmamış hidrokarbon, CO ve char'ın kontrolünü sağlayan dengeleyici bir harekettir. FBC buhar kazanlarında 30 – 150 mg/Nm<sub>3</sub> oranında N<sub>2</sub>O emisyonu, kullanılan yakıtı (taş kömürü ya da linyit) bağlı olarak ortaya çıkabilir.

Yatağın üzerindeki kaynama yatak fribord'unda piroliz gazının yanması 1200 °C 'lik bir sıcaklık derecesi üretebilir ve böylelikle de termal NO<sub>x</sub> oluşumunu sağlayabilir. Genel kural olarak, gerektiği şekilde tasarlanmış akışkan yatak, düşük NO<sub>x</sub> yakıcıları ile ulaşılanın altında bir NO<sub>x</sub> oluşumu sağlayabilir.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının önlenmesi ve kontrolü için MET sonuçları ve ilgili emisyon seviyeleri tablo 4.69'da özetlenmiştir. MET'in ilgili emisyon seviyeleri; günlük ortalamaya, standart şartlara ve %6 seviyesinde O<sub>2</sub> 'ye bağlıdır ve tipik yükleme durumunu sunarlar. Tepe yükleme için, baca gazı temizleme sistemlerinin işlemsel problemleri ve yüksek olabilecek kısa vadeli tepe değerleri için olduğu kadar; başlatma ve kapatma periyotları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite	Yakma tekniği	MET ile ilişkili NOx emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Yakıt	Bu seviyelere erişecek MET	Uygulanabilirlik	İzleme
		Yeni tesisler	Mevcut tesisler				
50-100	Izgara ateşleme	200-300	200-300 <sup>(1)</sup>	Kömür ve linyit	Pm ve veya SNCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	PC	90-300 <sup>(2)</sup>	90-300 <sup>(3)</sup>	Kömür	İlave tedbir olarak Pm (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük LOx brülörleri vb. gibi) SNCR veya SCR kombinasyonu	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC, CFBC ve PFBC	200-300	200-300	Kömür ve linyit	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	PC	200-450	200-450 <sup>(3)</sup>	Linyit	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
100-300	PC	90 <sup>(4)</sup> -200	90-200 <sup>(5)</sup>	Kömür	Pm ile SCR veya kombine teknikler kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük LOx brülörü, yeniden yakma vb. gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	PC	100-200	100-200 <sup>(6)</sup>	Linyit	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük LOx brülörü, yeniden yakma vb. gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC, CFBC ve PFBC	100-200	100-200 <sup>(7)</sup>	Kömür ve linyit	Gerekli ise SNCR ile birlikte Pm (yakıt ve hava aşamalandırma vb.gibi) kombinasyonu	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
>300	PC	90-150	90-200 <sup>(8)</sup>	Kömür	Pm ile SCR veya kombine teknikler kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük LOx brülörü, yeniden yakma vb. gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	PC	100-200 <sup>(9)</sup>	50-200 <sup>(10)</sup>	Linyit	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük LOx brülörü, yeniden yakma vb. gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	BFBC, CFBC ve PFBC	50-150	50-200 <sup>(11)</sup>	Kömür ve linyit	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma gibi)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli

Notlar:

**PC** (Pülverize yakma)**BFBC** (Kabarçıklı akışkan yatak yakma)**CFBC** (Dolaşımli akışkan yatak yakma)**PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)**Pm** (NOx azaltacak birincil tedbirler)**SCR** (Selektif katalitik NOx azaltma)**SNCR** (Selektif katalitik olmayan NOx azaltma)

Antrasit taş kömürü kullanımı yüksek yakma sıcaklıkları nedeniyle daha yüksek NOx emisyon seviyelerine neden olabilir



<p><b>2, 6</b> <b>3</b> <b>4</b> <b>5, 7</b> <b>9</b> <b>10</b></p>	<p>Endüstri ve bir üye Ülke seviyelerin aşağıdaki gibi olması gerektiğini önermiştir</p> <p>Üst seviye 450 mg/Nm<sup>3</sup> Üst seviye 500 mg/Nm<sup>3</sup> Alt seviye 100 mg/Nm<sup>3</sup> Üst seviye 300 mg/Nm<sup>3</sup> ranj 100 – 200 mg/Nm<sup>3</sup> ranj 100 – 450 mg/Nm<sup>3</sup></p>
	<p>Yakıt özellikleri, giriş baca gazı SO<sub>2</sub> konsantrasyonları erişilebilir MET seviyelerini etkilediğinden bu seviyeler Endüstri tarafından önerilmiştir. Yukarıda verilen değerleri öngören Endüstri tarafından verilen mantıksal temel yakıt nitelikleri, kül direnci, baca gazı girişi ve FGD gerekliliğini belirleyen SO<sub>2</sub> konsantrasyonu, ekonomi ile birlikte yüksek net ünite verimliliği gereksinimleri gibi konuların tamamen dikkate alınmamış olmasıdır. Bir Üye Ülke, Endüstri görüşünü desteklemiş ve yüksek verimliliğe sahip ESP'ler ile birlikte dahi yüksek kül direnci ve yüksek kül içerikli düşük kaliteli linyitler kullanılırken sağlanan toz emisyon seviyelerinin doğal kükürt giderimi nedeniyle ıslak FGD gerektirmeyen mevcut tesislere yönelik öngörülen seviyelere hiçbir zaman ulaşılmayacağı iddia etmiştir. Bir Endüstri temsilcisi 50 ile 100 MW arasındaki kömürlü çalışan tesislere yönelik olarak 30 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha az toz emisyonlarının çok fazla iyimser olduğu ve kullandığı tesisin (özellikle FF) kötüye gitmesi veya toplama değişkenliğine (özellikle ESP'ler) yönelik hiç marj vermez.</p>
<p><b>5-7</b> <b>8,10,11</b></p>	<p>Başka bir Üye Ülke de mevcut tesislere yönelik MET ranjının aşağıdaki şekilde olması gerektiğini önermiştir</p> <p>Ranj 100 – 300 mg/Nm<sup>3</sup> Ranjın alt ucu 100 mg/Nm<sup>3</sup></p>
<p><b>8,10,11</b></p>	<p>Başka bir Üye Ülke, bu seviyeler Üle Ülkelerin emisyon sınırlarına uygun olduğundan MET seviyesinin 10 – 50 mg/Nm<sup>3</sup> arasında olması gerektiğini öne sürmüştür. Azaltım sistemleri bu sınırlara uygun olmak üzere tesis edilmiştir. Yeni elektrik santralleri söz konusu oldukça, şüpheli Üye Ülkenin 20 mg/Nm<sup>3</sup>'lik bir toz emisyon seviyesinin öngörüldüğü, kömür yakan tesislere yönelik bir programı bulunur.</p>
<p><b>1,3</b></p>	<p>Diğer Endüstri temsilcisi 50 – 100 MW ranjındaki tesisler için 400 mg/Nm<sup>3</sup> üst emisyon seviyesini önermiştir.</p>

Tablo 4.69: Kömür ve linyitle çalışan elektrik santrallerinde nitrojen oksit kontrol ve önlemeye ilişkin MET

#### 4.5.10 Karbon monoksit (CO)

CO emisyonlarının en aza indirgenmesi için MET işlemi iyi bir fırın tasarımı, yüksek performanslı izleme ve işlem kontrol tekniklerinin kullanımı ve yakma sisteminin bakımı ile desteklenen tam bir yama işlemidir. CO üzerinde NO<sub>x</sub> azaltımının olumsuz etkilerinden dolayı, NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmada geliştirilmiş sistemin kullanımı, CO seviyelerini de düşürecektir. (pülverize edilmiş yakma işlemi için 30 – 50 mg/Nm<sup>3</sup> ve, FBC durumunda ise 100 mg/Nm<sup>3</sup> ‘ten az) NO<sub>x</sub> emisyonlarının azatımı için MET’in temel ölçüm olarak kullanıldığı, linyitle çalışan yakma tesislerinde CO seviyeleri daha yüksek olabilir. (100 – 200 mg/Nm<sup>3</sup>).

#### 4.5.11 Hidrojen florür (HF) ve hidrojen klorür (HCl)

Yakma tesisleri için ıslak gaz yıkama işlemi (özellikle 100 MW<sub>th</sub> üzerinde kapasitesi olan tesisler için) ve sprey kurutucular SO<sub>2</sub> ‘nin azaltımında MET olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler aynı zamanda HF ve HCl için yüksek oranda azatım sağlarlar. (%98-99) ıslak gaz yıkayıcı veya sprey kurutucu kullanılarak, HCl için ilgili emisyon seviyesi 1 – 10 mg/Nm<sup>3</sup> ve HF için 1 – 5 mg/Nm<sup>3</sup> ‘tür. FGD uygulanmazsa, örneğin FBC buhar kazanına kuru kireç eklenirse, HCl ve HF için emisyon değerleri çok daha yüksek olabilir.

HF ve HCL’nin bacada değerlendirilen seviyelerinin ölçülmesi esnasında problem, gazdan gaza ısı eşanjörünün dönüşümünde meydana gelen baca gazı sızıntısı ile ilgili olabilir. Bu durumda, ham baca gazı, SO<sub>2</sub>, HF ve HCl bileşenlerini azaltmadan doğrudan bacaya girecektir. Bu yüzden, gazdan gaza ısı eşanjörünün yeni türleri, MET sonucunun bir parçası olarak kullanılmaktadır. Ancak, işlemsel ve ekonomik sebepler nedeniyle, ısı eşanjörünün değiştirilmek ya da yenilenmeye ihtiyacı olduğunda, değiştirme işlemi yapılmalıdır. Yeni gazdan gaza ısı eşanjörleri, ısı çıkarımının (çok borulu ısı çıkarıcısı), tekrar ısıtıcının ve ısı borularının kullanımının bir kombinasyonu olabilir. Bu durumda uygulanacak en iyi seçenek, mümkün olduğu durumlarda soğutucu kule yoluyla baca gazının boşaltımının yapılması olacaktır. Bu durumda, baca gazını tekrar ısıtılmasına gerek kalmayacak ve bu yüzden de gazdan gaza ısı eşanjörüne ihtiyaç olmayacaktır. Bir başka seçenek ise, yüksek dereceli drop catcher’ın baca gazının tekrar ısıtılmasının gerekmediği ve bu yüzden de gazdan gaza ısı eşanjörüne ihtiyaç olmadığı durumlarda, asite karşı dirençli baca borusu yoluyla, baca gazı geçişinin kullanımınıdır.

CFBC için kireç taşı enjeksiyonu, ıslak gaz yıkayıcı ya da pülverize edilmiş yakma işlemi yerine, SO<sub>2</sub>’nin azaltımında MET olarak varsayıldığından, HCl’nin ilgili MET seviyesi 15 – 30 mg/Nm<sup>3</sup> arasındadır.

#### 4.5.12 Amonyak (NH<sub>3</sub>)

SNCR ve SCR sistemlerinin dezavantajı, tepkimeye girmemiş amonyakın, havaya emisyonudur (amonyak kayması) MET kullanımı ile ilgili amonyak konsantrasyonu; uçucu kğlden yararlanmada çıkan problemlerden ve baca gazını çevreye yaydığı kokudan kaçınmak için 5 mg/Nm<sup>3</sup> ‘ün altındadır. Amonyak kayması çoğu zaman SCNR tekniğinden yararlanmayı sınırlandırıcı bir faktördür. SCNR tekniğinde amonyak kaymasından kaçınmak için, buhar kazanının ekonomizer bölgesine ince katmanlı SCR katalizörü kurulabilir. Katalizör, amonyak kaymasını azaltacağından, aynı miktarda NO<sub>x</sub>’i de azaltacaktır.

#### 4.5.13 Su kirliliği

Kömür ve linyitle çalışan yakma tesisleri tarafından, çeşitli atık su akıntıları oluşmaktadır. (bknz bölüm 1) suya emisyonu azaltmak ve su kirliliğini önlemek için 3.10 bölümünde sunulan tüm tedbirler, MET olarak kabul edilmiş ve aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Teknik	Ana çevresel fayda	Uygulanabilirlik	
		Yeni tesisler	Mevcut Tesisler
<b>Islak FGD</b>			
Flokülasyon, sedimentasyon, filtreleme, iyon alışverişi ve nötralizasyon ile su arıtımı	Florid, ağır metal, COD ve partikül atılımı	MET	MET
Presipitasyon veya biyolojik ayrışma ile amonyak azaltımı	Azalmış amonyak içeriği	SCR/SNCR FGD upstream kullandığından sadece atık sudaki amonyak içeriğinin yüksek olması halinde MET	
Kapalı devre çalışma	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
Atık suların kömür suları ile karıştırılması	Önlenmiş atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Cüruf yıkama ve taşıma</b>			
Filtreleme veya sedimentasyon ile kapalı su devresi	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Demineralizer ve kondensat parlaticıların rejenerasyonu</b>			
Nötralizasyon ve sedimentasyon	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Elutriasyon</b>			
Nötralizasyon		Sadece alkalin işletimi ile MET	
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcısı ve presipitatörlerin yıkanması</b>			
Nötralizasyon ve kapalı devre çalışma veya kuru temizleme metotları ile değiştirme	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Yüzey akıntısı</b>			
Sedimentasyon veya kimyasal arıtım ve dahili yeniden kullanım	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET

Tablo 4.70: Atık su arıtımına yönelik MET

Bölüm 4.5.2’de bahsedildiği gibi kömür ve linyitin drenaj ve drenaj toplanması ile depolanması kabul edilir. Depolanan alanlarda yakıt partiküllerini sürükleyip götüren depolama alanlarında herhangi bir yüzey artığı (yağmur suyu), boşaltılmadan önce toplanıp arındırılmalıdır (settling out) boşaltılan sudaki ilgili MET emisyon derecesinin 30 mg/l’den az olduğu kabul edilmektedir.

Küçük miktarlardaki yağ atıklı suyun (yıkama) güç tesislerinde nadiren ortaya çıkması engellenemez. Yağ ayırma kuyuları genelde, olası çevresel zararları önlemeye yeterlidir.

Islak gaz yıkama desülfürizasyonu için gereken MET sonucu, atık su arındırma tesisinin uygulanması ile ilgilidir. Atık su arındırma tesisi, ağır materyalleri çıkarmak ve suya katılan katı madde miktarını düşürmek amacıyla farklı kimyasal arındırma yöntemlerinden oluşur. Arındırma tesisinde, pH değerini ayarlayıcı ağır metallerin presipitatörleri, katı maddenin atılmasına ve atık suyun çözülmesine olanak sağlayan işlemciler bulunur. Modern teknoloji ile aşağıdaki parametreler izlenmektedir (bu bileşenlerin her birinin sürekli olarak izlenilmesine gerek duyulmadığı yerlerde) : pH, geçirgenlik, sıcaklık derecesi, katı içeriği, klorür içeriği, ağır metal konsantrasyonları (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn, gibi), florür konsantrasyonu ve kimyasal oksijen talebi (COD). filtreleme ve nötralize etme yoluyla arındırılan, ıslak FGD ‘den çıkan atık su, hala COD içeriğine sahiptir ki bu da ayrı bir arındırma işlemi gerektirir. Atı su arındırma tesisinden çıkan atık suyun kalitesi, içerdiği yakıtta, kullanılan desülfürizasyon işlemine ve atık suyun boşaltılmasına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterir. Bununla birlikte, MET atı su arındırma tesisinin kullanımı ile ilgili emisyon değerleri, tablo 4.71’de özetlenmiştir

Islak FGD atık su arıtım tesisinden kaynaklı su emisyonları (mg/l)	
Katılar	5-30
COD	<150
Nitrojen bileşikleri	<50
Sülfat	1000-2000
Sülfit	0.5-20
Sülhid	<0.2
Florid	1-30
Cd	<0.05
Cr	<0.5
Cu	<0.5
Hg	0.01-0.02
Ni	<0.5
Pb	<0.1
Zn	<1

Tablo 4.71: Temsili 24 saatlik kompozit numune olarak verilmiş FGD atık su arıtım tesisi – MET kullanımı ile ilişkili emisyon seviyeleri

3. ünite tanımlanan diğer atık su arıtım teknikleri de bu sektörde genel anlamda MET olarak değerlendirilebilir.

#### 4.5.14 Yakma tortuları

Şekil 4.3.6'da bahsedildiği gibi, sanayiler yakma atıklarını ve yan ürünleri, arazi doluma atmak yerine, bu ürünlerden mümkün olduğunca yararlanma konusunda son derece dikkatlidirler. Yararlanma ve tekrar kullanma, bu yüzden en uygun seçenek ve gerekliliktir. Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden çıkan atık madde ve yan ürünlerin çok farklı şekillerde kullanımı tablo 4.2'de sunulmuştur.

Farklı yan ürünlerden farklı şekillerde yararlanmanın onlarca değişik türü vardır. Her farklı yararlanma seçeneğinin, ihtiyaç duyulan ürünün kalitesi için farklı özel kriterleri vardır. Tüm bu kriterleri, MET referans belgesinde toplamak mümkündür. Kalite kriterleri çoğunlukla, külün yapısal özelliklerine ve kül içindeki yanmamış kül miktarı ya da ağır metallerin çözülebilirliği gibi, zararlı madde içeriklerine de bağlıdır.

Karbon içeriği yönünden zengin küller, kül akıntılarında arınabilir. Bu da karbondaki ve karbonun alt kül akıntısındaki enerjiyi geri almak için, buhar kazanına geri dönüşümü yapılabilen, karbon yönünden zengin kül üretir ki bu, faydalı geri dönüşüm seçenekleri açısından daha az sınırlandırılmıştır.

Islak gaz yıkama tekniğinin son ürünü, tesis için ticari bir ürün olan alçıtaşıdır. Doğal alçıtaşı yerine satılabilir ve kullanılabilir. FGD çamurları, FGD yan ürün (alçıtaşı) işlemlerinde mümkün olduğunca birleştirilir. Çamurlar, FGD ve SCR işlemleri uygulandığında, fırına tekrar enjekte edilebilir. Güç tesislerinde üretilen alçı taşının çoğunluğu uygulamada alçıpan sanayiinde kullanılır. Alçı taşının yumuşaklığı, işleme sokulacak lireç miktarını da sınırlar.

Yarı-kuru desülfürizasyon işleminin son ürünü de, cadde yapımı, gübreleme veya depolama alanlarının toprak çalışmaları, maden çukurlarının dolumu ve su geçirmez yapılarda baraj kazması gibi doğal minerallerin yerine; farklı yapım amaçlarında kullanılır.

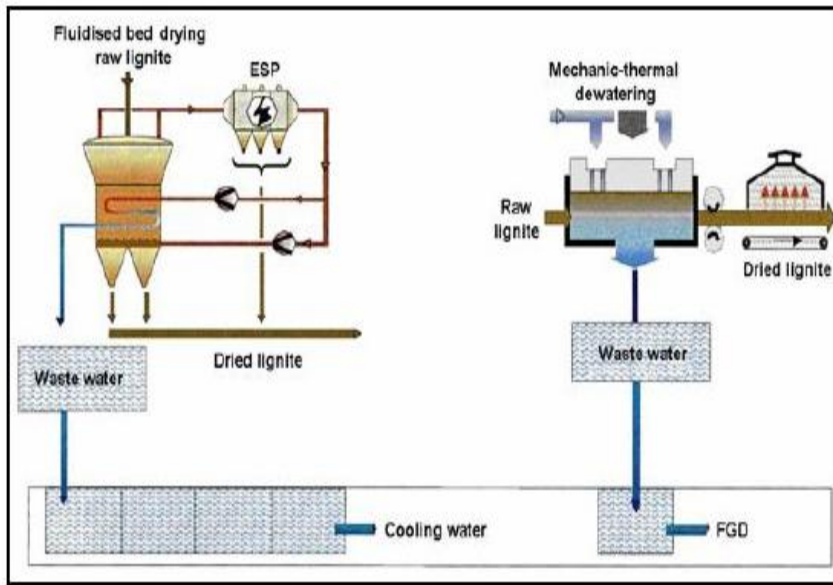
## 4.6 Linyitin ve kömürün yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler

### 4.6.1 Düşük sıcaklık ısı linyit ön kurutma işlemine yönelik pilot tesis

Linyit ön kurutucusu teknolojisi, teoride, linyit tesislerinin veriminin yaklaşık % 4 ile 5 arasında bir artışına neden olması beklenmektedir. Tekniğin amacı, 1000°C'de bulunan baca gazı yerine yaklaşık 120 ila 150 °C arası düşük sıcaklıkla açık madenlerinden direkt ıslak olarak ulaşılan linyiti kurutmaktır. Ayrıca, linyitin su içeriğini buharlaştırmak için gerekli olan enerjinin yoğunlaşan su buharından tekrar elde edilmesi de amaçtır. Bunun için iki farklı işlem vardır:

Birincisi, mekanik – termal dehidrasyon şu anda geliştirilme aşamasındadır. Bu işlem için pilot tesis yaklaşık %22 su içeriğindeki kuru linyitin 12 t/h 'sini üretmektedir. Linyit, suyu ayırmak için 200 °C 'de ve 60 barda sıkıştırılır ve ısıtılır. Sonunda, parçalanmış linyit tekrar ısıtılır.

Linyiti kurutmak için ikinci işlem çoktandır gelişimin son aşamasındadır. Bu, atık su ısıtıcısının dahili kullanımıyla akışkan yatak teçhizatında linyitin kurutulmasını içerir. Kurutucudan dağılan buhar, elektrostatik presipitör yardımıyla linyit partikülleri içeriğinden ayrılır. Sonrasında, açık ısıtıcı pompalama işlemimnde kullanılan bir kompresör yardımıyla tekrar sıkıştırılır ve sonuç olarak kurutucu da ısıtma yüzeyi olarak kullanılan boru bobinler içinde yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırma ısısı böylece linyiti kurutmak için sıvılaştırılmış yatağa iletilir. Tozlarından arındırılmış buharın bir kısmı, linyiti sıvılaştırmak için kullanılır ve vantilatör yardımıyla teçhizata verilir. Bu teknolojinin pilot tesisi %12 su içeriğinde kuru linyitin 90 t/h 'sini üretir. Her iki işlem de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Fluidised bed drying raw lignite	Akışkan yatak kurutma ham linyit
Dried lignite	Kurutulmuş linyit
Waste water	Atık su
Raw lignite	Ham linyit
Cooling water	Soğutma suyu
Mechanic-thermal dewatering	Mekanik-termal dehidrasyon
Dried lignite	Kurutulmuş linyit

Şekil 4.50: Linyit kurutmaya yönelik pilot tesis [137, Elsen, et al., 2001]

### 4.6.2 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve cıvanın eş zamanlı kontrolü

Baca gazı arıtma sistemi fosil yakıtların yakılmasıyla çıkan sülfürü, ve nitrojen oksitler,, cıva gibi ağır metalleri eş zamanlı olarak tutar. Satılabilir yan ürünler üretirken, sistem daha çok kirletici maddenin daha çok tutulma oranıyla bir emisyon ön yakımı kontrol sistemidir.. bu Amerika 'da gösterim altındadır.[189, Caldwell, 2001].

## Prosesin açıklaması

Sistem, bazal buhar ve ağır metaller (cıvanın %100'ü) kadar sülfür oksitler ve nitrojenin de %99'una kadar eş zamanlı tutmak için gaz-fazlı oksitleme prosesidir. Baca gazlarında bulunan sıcaklığın geniş bir dizisi üzerinde laboratuvar seviyesinde, 99 % SO<sub>x</sub> ve 98 % NO<sub>x</sub> oranında tutulma gösterilmiştir. 500 MWlık güç tesisi kuruluşunun tam ölçülü yapımı için mühendislik maliyeti tahminleri, sermaye maliyetinde ve kireçtaşı/SCRlere kıyasla 1/6<sup>th</sup>'lık işletim maliyetiyle %30 ve 50 daha düşüktür. Temel uygulamalar elektrik gücü oluşturmak için kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakıldığı yerlerdedir. Diğer uygulamalar kalhaneler, belediye atık yakma fırınları ve endüstriyel buhar kazanlarıyla bulunabilir.

## Sistemin avantajları

- % 99'a kadar yüksek eş zamanlı SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> tutma oranları
- cıva ve diğer metalik türler gibi ağır metaller tutulacaktır.
- Satılabilir yan ürünler üretir.
- Kireçtaşı ve ya kireç kullanmaz
- CO<sub>2</sub> emisyonuna katkıda bulunmaz.
- Zararlı atıklar üretmek için katalizör kullanmaz.
- Ayraç geri döndürülür.
- Onaylanmış yan ürün teknolojileri kullanır.
- Bir çok tesise uyarlanabilir.
- Tahmini konvansiyonel teknolojilerden daha düşük işletim ve sermaye maliyetleri.



## 5 BİYOMAS VE TURBAYA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ

### 5.1 Uygulamalı proses ve teknikler

#### 5.1.1 Biyomas ve turba boşaltım, depolama ve taşınması

Yakıt taşıma, boşaltma ve depolaması ile biyomas ve turba taşımaya yönelik metotlar birkaç nedenle kömürdekinden farklıdır. Özellikle turba reaktiftir ve uzun süre depoda tutulursa, kendiliğinden tutuşabilir ya da çürüyebilir. Genel olarak turbanın sadece birkaç günlük tüketimi aslında tesis alanlarında depolanır. Turba genellikle uzun yıllar prosesi için bile üretim alanlarının depolarında depolanır.

##### 5.1.1.1 Biyomas ve turbanın nakil ve taşınması

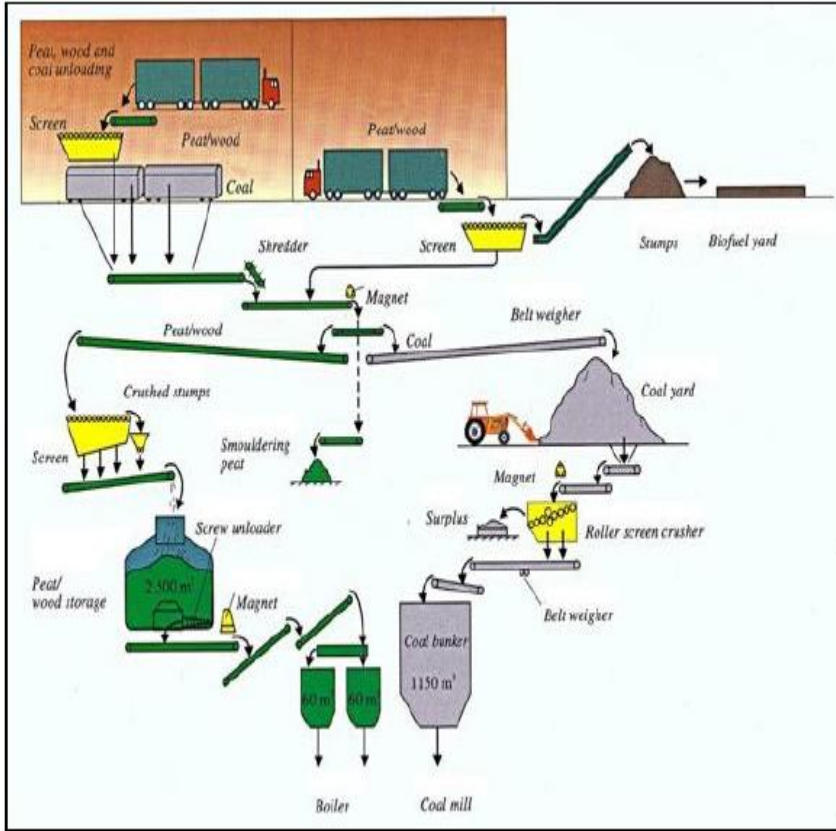
Turba ve odun yakıtlar tır kamyonları, römorklar, demir yolu ve kısa mesafeler için de traktör römorklarıyla bile taşınabilir. Turba işleme ve taşıma ekipmanlarında özel istemler koyan birçok özelliğe sahiptir. Bunlar;

- Nispeten düşük kalori değeri
- Düşük yoğunluk
- Donmaya eğilim (yüksek nem içeriğine bağlı olarak)
- Kendiliğinden yanma riski
- köprüleme
- toz oluşturma eğilimi
- odun ve taşlarla önemli derecede sıklıkla kirlenme

Turba nakliyatının etkisi taşıma methoduna ve mesafeye bağlıdır. Demir yolu nakliyatının çevresel etkisi çok az önemlidir çünkü sadece biraz ses oluşur. Kara yolu nakliyatı sese neden olur ve araç emisyonlarıyla sonuçlanır. Buna rağmen, yürütülen kullanım süresi analizleri turba üretimi ve nakliyatından çıkan emisyonun yakmadan çıkan emisyonla kıyaslandığında çok az bir öneme sahip olduğunu gösterir.

Güç tesisinin yakıt alan istasyonlarında, turba genellikle biyoyakıt gibi diğer yakıtlarla karıştığı ya da direkt buhar kazanı hanesine gönderildiği bölmelere yükünü boşaltır. Büyük taşlar ya da odun paçaları turbadan ayrılmalıdır. Güç tesisinde yük boşaltımından sonra ,turba ve odun, bölmeler ve parçalayıcılar arasından depoya geçer. Ayrılan odun parçalara ayrıldıktan sonra yakıtı geri eklenir. Tipik bir yakıt işleme sistemi (turbanın, odunun ve kömürün yan yakımı) Şekil 5.1'de gösterilmiştir.





Peat, wood and coal unloading	Turba, odun ve kömür boşaltımı
Screen	Elek
Peat/wood	Turba/odun
Coal	Kömür
Shredder	Kağıt öğütücü
Magnet	Mıknatıs
Crushed stumps	Ezilen kütükler
Smouldering peat	Külleniş turba
Screw unloader	Vidalı boşaltıcı
Surplus	Atık
Coal bunker	Kömür ambarı
Coal mill	Kömür değirmeni
Belt weigher	Kemerli tartıcı
Roller screen crusher	Bilyalı elek ezici
Stumps	Kökler
Biofuel yard	Biyoyakıt alanı
Belt weigher	Kemerli tartıcı
Coal yard	Kömür alanı
Smouldering peat	Külleniş turba

Şekil 5.1: Peat, wood and coal handling system  
[58, Eurelectric, 2001]

Toz ayırıştırıcı aletlerle kapalı silo ve depo alanları ince tozlu biyoyakıtı depolarken gereklidir. Talaş ve kabuk, günlük kullanım için kullanılacak bölünmüş ve öğütülmüş yakıt için ayrılmış kapalı depolarla, açık depolarda uzun süreler için depolanabilir.

Yakıt normalde bant taşıyıcılar kullanarak depolardan/silolardan buhar kazanına nakledilir.turba boşaltımı ve işlemi boyunca oluşan toz tesis alanında sınırlı zarara yol açabilir. Kapalı taşıyıcılar herhangi bir toz maddesini azaltmak için kullanılabilir.

Turbayla çalışan güç tesislerinde temel zarar yangın ve patlama riskidir. Kuru turba, ya taşıma bantı üzerinde ya da turba taşıyan tır kamyonlarında buhar kazanına ulaşmadan önce bile kolayca tutuşabilir. Bu yüzden, turbanın nem içeriğinin tesise taşınması boyunca en azından %40 olması genel bir kuraldır. Bu yakıttan kaçan tozun yükselmesini yok eder ve kendiliğinden tutuşma durumunda yangının hızını azaltır.

### 5.1.1.2 Saman nakliyat ve taşınması

Samanın nakliyatına, boşaltılmasına ve depolanmasına yönelik metot kömür, biyomas ve turbanınkinden farklıdır. Büyük CHP tesisleri için samanın işlenmesi neredeyse sadece her biri yaklaşık 400 – 700 kg olan balyalara dayanır. 20 ya da 24 balya taşıyan kamyonlar balyaları tarlardan ya da çiftçilerin depolarından tesislere taşır. Samanın kalite kontrolü (ağırlık ve nem) eş zamanlı yapılırken, kamyonlar özel bir hareketli vinçle yüklenir. Kalite kontrolden gelen bilgi, merkezi lojistik bir bilgisayarda saklanır. Saman partileri (her parti 10 ya da 12 balya) ya saman deposu alanında boş bir yere nakledilir ya da direkt işleme ekipmanına nakledilir. Depo çoğunlukla tamamen otomatikleştirilmiş ve buhar kazanının yaklaşık 2 – 3 günlük tam yüklü kapasitesini tutmak için tasarlanmıştır.

### 5.1.2 Biyoyakıt ve turba ön arıtımı

Turbanın ve odun yakıtın nem içeriği yüksektir. Biyomasın ve turbanın kurutulması yakıt besleme sistemine gelince güvenli bir şekilde yapılabilir, böylece kurutulmuş yakıtın depolanmasına gerek kalmaz. Buhar kurutucular güvenlidir ve düşük çevresel etkiye sahiptirler. Bunlar, kurutma enerjisinin tam olarak ısıtmayı yeniden oluşturduğu özellikle CHP oluşumunda buhar döngüsüne bağlıyken avantajlar sunabilir. Bununla birlikte, faydaların verimine rağmen yeniden oluşan yakıt kurutucu sistemin ekonomik cazipliği çok nadir onaylanmıştır.

Başka bir method daha sonra bacayı besleyen baca gazıyla kurutmaya dayanırdı. Bununla birlikte, parafin ve aromatik bileşikler gibi organik emisyonların olası rejenerasyonu bir problemdi. Parafin elektrostatik presipitatörlerde güçlü yangın riski oluşturduğundan ve aromatik bileşikler koktuğundan ve komşu bölgelere koku sorunu oluşturacağından, bunlar problemlere yol açabilir.

Bazı durumlarda, tesisin daha yüksek verimine ulaşmak için kabuk yakıtlatdan nemi atmada presler kullanılır. Bununla birlikte, presler nem seviyesini %50 ya da daha aşağısına indirmek için düzenli bir şekilde sürdürülmez ve işlenmezse, bu ön arıtım tekniklerinin zararları (suya yüksek BOD salımları, yüksek enerji kullanımı ve bakımı) ön arıttımdan beklenen yakma veriminde artışları dengeler.

Saman balyaları depo alanlarından vinç ve tabaka taşıyıcılarla taşınır ve buhar kazanı fırınına verilmeden önce parçalanır.

Samanları hasat edildikten sonra tarlada bir ay civarında bekletmek yararlıdır, çünkü yağmur saman külündeki suyla çözünen alkalilerin miktarını azaltır. Bu alkaliler sıvılaştırılmış yatağın toplaşması riskini artıran kül eritici sıcaklığı düşürdükleri ve buhar kazanını bozdukları için yakma koşullarına zarar verir. Mevcut suyla çözünebilir alkalilerin miktarı aşırı ısıtıcıların aşınma oranını büyük ölçüde etkiler. Yağmur ayrıca suyla çözünen alkalileri yeni ürünlerin yetişmesi için toprağa geri döndürür. Tarlalardaki samanın doğal kurtulmasının haricinde başka hiçbir kurutma gerekli değildir.

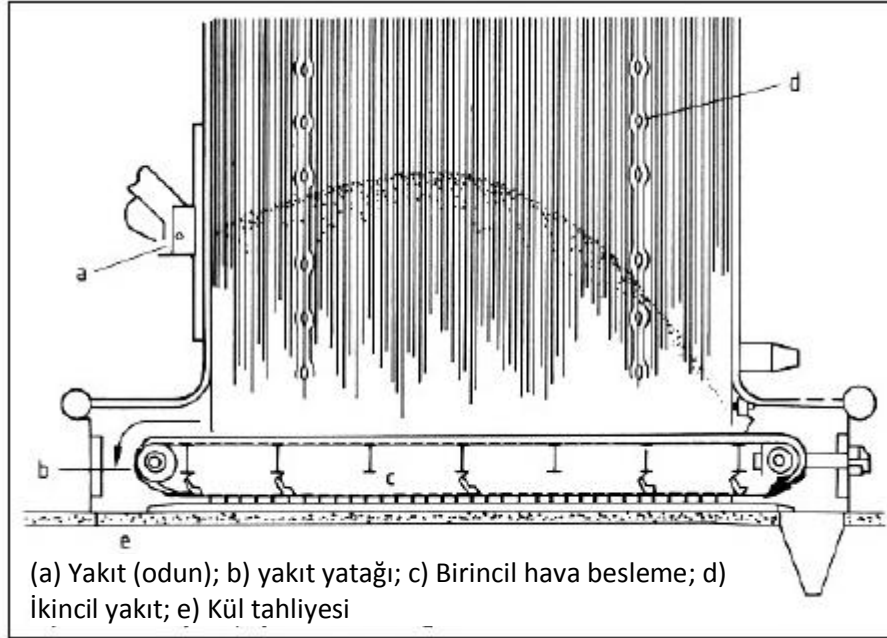
### 5.1.3 Turbanın ve biyomasın gazlaştırılması ve yakımında özel hususlar

#### 5.1.3.1 Izgara ateşleme

Izgara yakımı buhar kazanlarında kullanılan en eski yakma ilkesidir. Akışkan yatak yakımının çok popüler olmaya ve büyük ölçüde ızgara yakımının yerini tutmaya başladığı 1980lerin başına kadar popüler bir yakma sistemiydi. Bugün, 5MW'nin üzerindeki yakıt girişiyle birçok yeni katı yakıtla çalışan buhar kazanları akışkan yatak buhar kazanıdır. Bununla birlikte, bu boyuttaki bir dizide ızgara yakımı bir çok ülkede (ör: İsviçre, Danimarka) bazı özel yakıtlarla (ör: odun, pellet, saman, kontrplak ve sunta atıkları ve yerel atıklar) biraz daha popülerdir, bugün ızgaralar ve ateşçiler 50MW'yi aşmış yakıt girişleriyle büyük yakma tesislerinde ara sıra kullanılmaktadır.

Izgara yakımındaki yakma işlemi, pülverize yakıt brülörleri ve akışkan yataklardakiler kadar iyi kontrollü değildir. Yakma kimyası ve sıcaklık, ızgaradaki yerlerine bağlı olarak aynı yakıt partikülü türü için bile çeşitlenebilir. Izgarada, bütün yakıtlar ilk önce kurutulur, daha sonra eritilir ve son olarak kömür ızgarada yakılır. Yakıt enerjisinin paylaşımının erimesi biyoyakıtlarla %80 civarında olabilir. Modern ızgara yakımı kontrolü uygun vir yakma havası miktarı ve böylece egzoz gazında düşük yanmamış bileşiklerin içeriğini garantiler.

Kömürle çalışan ızgaradaki tipik işletme prensibi biyoyakıtlardan farklıdır. Meyilli ızgaralar aynı şekilde biyoyakıtlar için de kullanılır. Statik veya ya da mekanik olarak aktif olabilirler. Eğer gezici ızgaralar kullanılıyorsa, üzerine homojen bir tabaka verilir. Alternatif olarak, yakıt fırın duvarı üzerinde konumlanmış dağıtıcı adı verilen bir alet aracılığıyla ızgara üzerine verilebilir. (**dağıtıcı - vurucu sistemi**). Dağıtıcı ızgara hareketine karşı yönde gratenin üzerine yakıtı atar. Böylece en büyük partiküller için en uzun yakma süresi elde edilir, çünkü gezici gratenin girişine yakın daha uzun bir mesafe üzerinden fırlatılırlar.



Şekil 5.2: Katı yakıtlara yönelik dağıtıcı-yakıcı ızgara ateşleme  
[79, Bell and Chiu, 2000]

### 5.1.3.2 Samana yönelik yakma

Kömürle saman ortak yakması için, bir dizi dönüşüm teknolojisi mümkündür, fakat saman eğer tek yakıt olarak kullanılıyorsa ızgara ateşleme teknolojisi en yaygın olarak kullanılan çözümdür. Bu çoğunlukla samanın cürüflama\katılaştırma eğilimi yüzündendir. Özel yatak materyali ya da katkı maddeleri gibi bazı özel önlemler alınarak, FBC tesisleri deayrınca saman yakma için kullanılmaktadır.

Normalde titreşimli bir su soğutucu ızgara kullanılır, ve korozyonu kabul edilebilir sınırlar arasında tutmak için buhar dereceleri yaklaşık olarak 500 °C'nin altında tutulmalıdır. Tortuların oluşumu yüzünden çok geniş alanlı süperisitıcıların tasarlanması gerekmektedir. Yüzeydeki tortular korozyona karşı koruyucu bir tabak yarattıkları için, en sıcak süperisitıcılar kurum üfleyicilerle temizlenmezler.

### 5.1.3.3 Pülverize turba yakma

1970'lerin sonunda pülverize yakmanın tüm yakma teknolojileri arasında en mantıklısı olduğu ortaya çıktı, çünkü kömürlü standart teknolojiydi. 1970lerde ve 1980lerin ilk yarısındaki çoğu büyük turba yakan güç tesisleri pülverize yakmalı buhar kazanlarına dayanırlardı. Buna rağmen, turba gibi reaktif yakıtları pülverize yakmanın kurutucu sistemdeki zorluklar nedeniyle sorunlu olduğu ortaya çıktı. Bir başka dezavantaj ise yat kalitesindeki değişiklikler yüzünden yakıt stoğuna duyulan gereksinimdi. 1980lerin sonunda, emisyon kontrolü gereksinimi durumu daha da kötüleştirdi.

Pülverize yakma tahta tortular için nadiren kullanılır. Tesisler nerdeyse her zaman pülverize yakmanın uygulanabilirliği açısından çok küçüktür [60, Alakangas, 1998]. Buna rağmen, birkaç tesis hala odun parçalarını ezmekte ve pülverize yakmayı kullanmaktadır.

Fırındaki kükürt azaltımı, kireç taşı ya da dolomit enjektisiyle gerçekleştirilebilir, fakat yöntem çok verimsizdir ve ekonomik değildir. Bu absorbentlerle klor korozyonunun artması bile mümkündür. Prensip akışkan yatak yakmada kullanılan yöntemle aynıdır. Fakat sınırlayıcı faktörler, daha düşük süspansiyon yoğunluğu ve akışkan yatak yakmadakinden daha yüksek fırın dereceleri tarafından meydana getirilen katılaştırma etkileridir.

### 5.1.3.4 Akışkan yatak yakma

Akışkan yatak yakma (FBC) buhar kazanlarının iki ana çeşidi bulunmaktadır-kabarcıklı (BFBC) ve devirli (CFBC) akışkan yatak yakma temel olarak kömür, linyit, turba gibi farklı katı yakıtların kullanıldığı ve özellikle biyomasın yakıldığı endüstriyel uygulama için kullanılmaktadır. Finlandiya'da, BFBC buhar kazanları, özellikle küçük boyuttaki buhar kazanlarında ve iyi bulunabilirliğin önemli olduğu endüstride biokütle ve turbanın yakması için daha popülerdir. CFBC buhar kazanları kömür yakmanın bulunabilirliğinin önemli olduğu büyük tesislerde daha yaygındır. İsveç'te, CFBC buhar kazanları günümüzdeki en popüler buhar kazanlarıdır.

Kabarcıklı akışkan yatak yakma (BFBC) özellikle homojen olmayan biyoyakıtta yakma için uygun olan modern bir yakma teknolojisidir. BFBC sıvılaştırıcı hava ayırma tabaka üzerinde 0.5-1.5 m yükseliğindeki bir yatağı kapsar. Sıvılaştırıcı hız 1 m/s civarındadır. Kabarcıklı yatağın yoğunluğu 1000 kg/m<sup>3</sup>'tür. Kullanılan tipik yatak materyalleri kum, kül, yakıt, dolomit, kireç taşı vb.'dir. Sıvılaştırıcı yatak materyalindeki partikül boyutu dağıtımı 0.5 - 1.5 arasındadır. Daha küçük partiküller sıvılaştırıcı gaz akışıyla gerçekleştirilir ve daha büyük partiküller dağıtım tabakasına batar.

Devirli akışkan yatak yakma (CFBC) BFBC'den iki yolda ayrılır. Yatak materyali partikülü daha küçüktür, örneğin: 0.1-0.6 mm, ve sıvılaştırıcı hız daha yüksektir, örneğin: 4 - 6 m/s. Bu değişiklikler sıvılaştırıcı koşulları etkilerler öyle ki; yatak materyalinin bölümü fırından buhar kazanının ikinci geçişine aktaran yataktan gerçekleştirilebilir. Fırından çıkan bu partiküller, bir siklon ya da U ışınları gibi başka ayırma yöntemleriyle baca gazı akışından ayrılırlar ve sıvılaştırılmış yatağa geri devir daim edilirler. Ayırma, ikinci geçişin ortasında ve ayrıca elektrostatik presipitatörlerin ve bez filtrelerin kullanılabildiği buhar kazanı geçişinin çıkışındaki bölümde de gerçekleştirilebilir.

1980lerde, FBC teknolojisi pülverize ve ızgara yakmadan turbayla ve tahtayla çalışan marketin yerini aldı. Öyle ki günümüzde FBC yeni tesislerde temel olarak kullanılmaktadır. Bu buhar kazanları tipik olarak 20 MW'de az bir yakıt girişine sahiptirler ve yerel endüstriyel ya da bölgesel ısıtma sistemine hem elektrik hem de sıcaklık verirler. Turbayla çalışan buhar kazanları genellikle değeri düşük kalorifik yakıtları ve bazen de kömürü yakmak için tasarlanırlar.

Ek olarak, turba kurutucularla bağlantılı olan pülverize turba brülörlü eski buhar jeneratörlerinin çoğu FBC kullanmak için yeniden üretilmektedirler.

FBC yakıt kalitesi değişimleri için dayanıklıdır ve yakıt kurutucu ile toz haline getirme işlemine gerek yoktur.

### Akışkan yatak yakmada SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> kontrolü

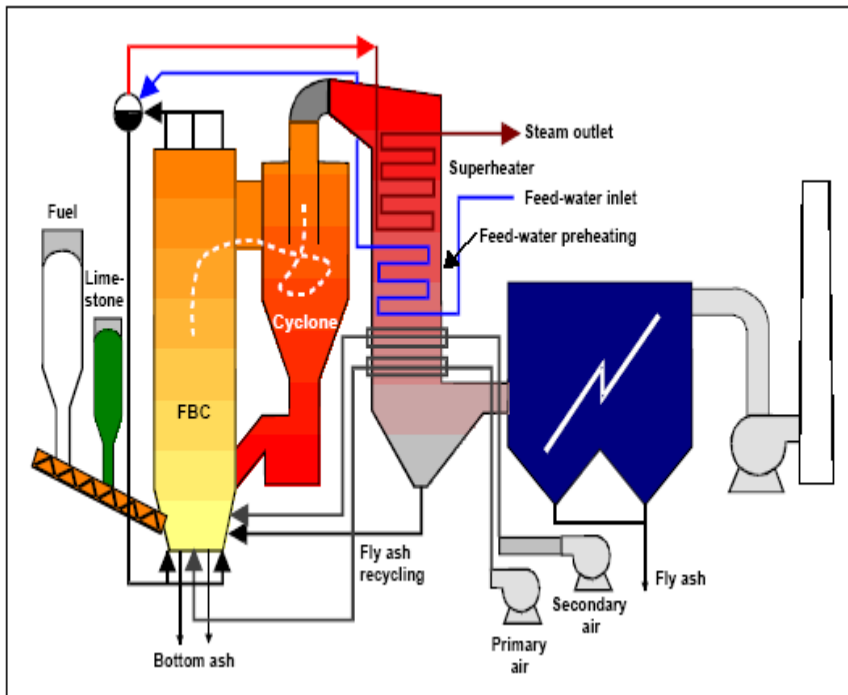
Kükürt içeren bir yakıt yakıldığında, kükürt dioksit ve kükürt trioksit açığa çıkar. Devirli sıvılaştırılmış bir yatakta, dolomit ya da kireç taşı yatak materyali olarak kullanarak kükürt oksitleri ele geçirilebilir. Beyaz mermer ya da kireç taşı yatakta sıcaklığın etkisiyle kalkine edilir ve kalkine edilmiş kireç kalsiyum sülfat oluşturmak için kükürt oksitlerle tepkimeye girer. zengin kükürlü yakıtla sadece %90 lık bir azalma mümkündür. CFBC'deki yatak derecesi (850 °C) kalsiyuma dayanan kükürt yenilenmesi için idealdir.

Kabarcıklı bir yatakta, yakma temel olarak fribord bölgesinde meydana gelir ve yoğunluk süspansiyonu sadece kabarcıklı yatakta gerçekleşir. Yani, kükürt yenilemesinin verimliliği BFBC'de CFBC'dekinden çok daha düşüktür. BFBC'deki azaltma verimliliği tipik olarak %30-40'dır. Daha yüksek bir verimlilik 10'a kadar yüksek Ca/S mole oranları gerektirir.

Düşük yakma derecesi yüzünden akışkan yatak yakmada, termal  $\text{NO}_x$  oluşumundan kaçınılır. Akışkan yatak buhar kazanlarında yakma havayı aşamalandırarak düşük  $\text{NO}_x$  yakması da arttırabilir. Yoğun süspansiyon alanı üzerinde gazların zayıf yatay karışımı yüzünden, CFBCde aşamalandırma daima çok güçlüdür. Yoğun süspansiyon turbülansı bastırır ve değişken yakıt bileşenlerinin yakma bölgesi besleme noktasından yukarıya yayılır.

Nitrojen yakıtı da ayrıca azotlu oksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oluşturabilir. Eğer yatak derecesi  $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üstüne çıkarılırsa, azotlu oksit oluşturan nitrojen yakıtının paylaşımı önemsiz bir değere düşer. Diğer taraftan, yüksek yakma derecesi nitrojen oksitlerinin ( $\text{NO}$  ve  $\text{NO}_2$ ) emisyonunda artışa yol açabilir. BFBClerde fribord daki derece  $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'den çok daha yüksek tutulabildiği için azotlu oksit emisyonlarının riskinden daha kolay kaçınılır.

Güçlü hava yakma aşamalandırma da ayrıca BFBC de uygulanabilir. BFBCnin düşük  $\text{NO}_x$  teknolojisi hala gelişmektedir, ve farklı buhar kazanı şirketleri farklı azaltma oranlarına sahiptirler.



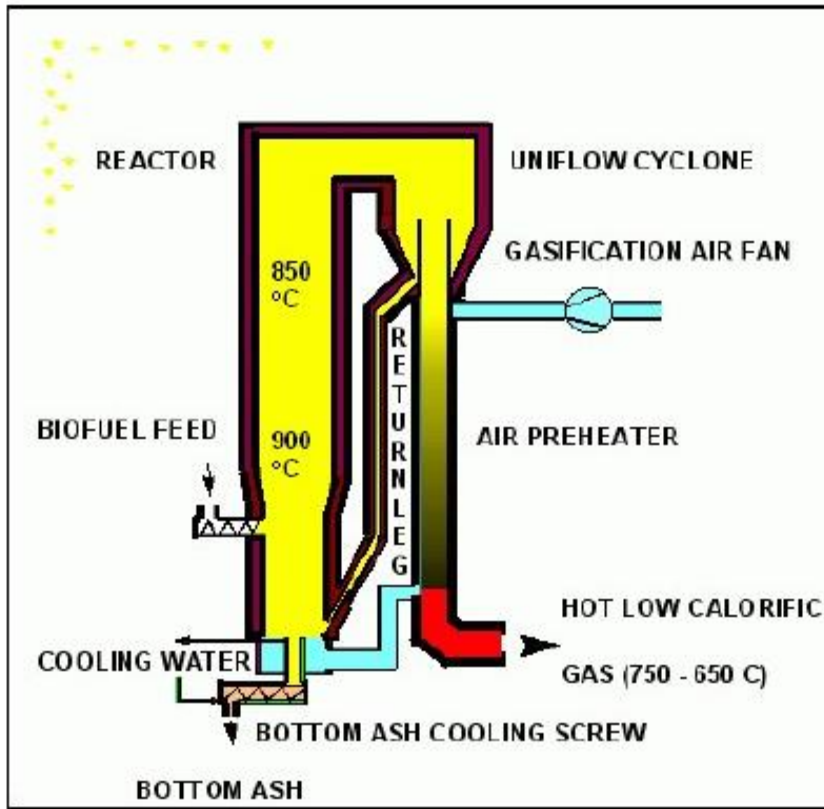
Fuel	Yakıt
Limestone	Kireçtaşı
FBC	FBC
Bottom ash	Kazanaltı külü
Cyclone	Siklon
Superheater	Superheater
Steam outlet	Buhar çıkışı
Feed-water inlet	Besleme suyu girişi
Feed-water preheating	Besleme suyu ön ısıtma
Primary air	Birincil hava
Secondary air	İkincil hava
Fly ash	Uçucu kül

Şekil 5.3: Dolaşimli akışkan yatak buhar kazanı  
[59, Finnish LCP WG, 2000]

### 5.1.3.5 Biyomas gazlaştırma

Atmosferik CFB gazlaştırması (ACFBG), katı yakıtın kısmi oksidasyonla yakılabilir gaza dönüştürüldüğü bir işlemdir. CFB reaktöründeki yatağı sıvılaştırman ve aynı şekilde yakıt bölümünü yükseltilmiş derecedeki gaza oksitlemek için hava kullanılır.

Atmosferik CFB gazlaştırıcı (şekil 5.4), gazlaştırma işleminin gerçekleştirildiği bir reaktörü, devirli yatak materyalini gazdan ayırmak için bir siklonu, ve devirli materyali reaktörün dip bölgesine geri döndürmek için bir geri dönüş borusunu kapsar. Siklondan sonra sıcak ürün gazı, siklonun altında konumlanmış olan hava ön ısıtıcının içine akar. Yüksek basınç hava fanıyla üflenen gazlaştırma hava, bir ayırma ızgarası yoluyla reaktörün dibine beslenir. Yakıt, hava ayırma parmaklığının üstündeki belli bir yükseklikte daha düşük gazlaştırıcı bölümün içine beslenir.



Reactor	Reaktör
Unflow Cyclone	Uniflow Siklon
Gasification Air Fan	Gazlaştırma Hava fanı
Biofuel Feed	Biyoyakıt besleme
Air Preheater	Hava ön ısıtıcı
Returnleg	Dönüş ayağı
Hot low calorific	Sıcak düşük kalorifik
Gas	gaz
Bottom ash cooling screw	Kazanaltı külü soğutma vidası
Bottom ash	Kazanaltı külü

Şekil 5.4:Foster ve Wheeler gazlaştırıcı  
[192, TWG, 2003]

Reaktördeki işletme derecesi, yakıtı ve uygulamaya bağlı olarak tipik şekilde 800-1000 °C 'dir. Reaktöre girildiğinde, yakıt partikülleri hızla kurur ve reaksiyonun ilk başlangıç aşaması , piroliz, meydana gelir. Bu reaksiyonlar süresince, yakıt, gaza, mangal kömürüne ve katrana dönüşür. Mangal kömürünün parçası yatağın dibine akar ve ısı yaratan CO ve CO<sub>2</sub>'ye oksitlenir. Bundan sonra, bu daha önceden bahsedilmiş ürünler reaktörde yukarıya akarken, reaksiyonun ikinci aşaması gerçekleşir. Bu reaksiyonlardan , daha sonra siklona giren ve bazı ince tozlarla sistemi bırakan, yakıcı bir gaz üretilir. Sistemdeki yakıtların çoğu siklonda ayrıştırılır ve gazlaştırıcı reaktörün daha düşük kısmına geri döndürülür. Bu katılar, yağlı sıvılaştırmak için ızgara püskürtme başlıkları boyunca verilen sıvılaştırıcı havayla yakılan char kapsarlar. Bu yakma işlemi piroliz işlemi ve daha sonra da çoğunlukla endotermik reaksiyonlar için gereken ısıyı üretirler. Devirli yatak materyali bir ısı taşıyıcısı gibi hizmet eder ve işlemdeki sıcaklıkları sabitleştirir. İşlenmemiş kül gazlaştırıcıda birikir ve gazlaştırıcının dibinden çıkartılır

Buna rağmen, akışkan yataklar, biyoyakıt külünün düşük yumuşatıcı sıcaklığına karşı oldukça hassastırlar. Gazlaştırıcının içindeki azaltıcı atmosfer daha sonra külün yumuşatıcı sıcaklığını azaltır. Bu gazlaştırma derecesini yukarıdakinden sınırlar. Aşağıdan, gazlaştırma derecesi , tamamlanmamış gazlaştırma yüzünden sınırlıdır, ör: gaz ürünündeki katran bileşenlerindeki artış. Katran, orada sıvılaştığı zaman gaz yıkayıcılarına zararlıdır. Eğer yüksek toz ihraç derecesi benimsenirse, katran filtrelerde kola üretilebilir. Yani, biyoyakıt gazlaştırmanın teknik işletme derecesinin aralığı oldukça sınırlıdır, ve geleneksel güç tesisi teknolojisiyle kıyaslandığında yeni güç tesisi yatırımlarında büyük bir ekonomik dezavantaj olabilir.

### 5.1.3.6 Kojenerasyon (Birleşik Üretim) (CHP)

Kojenerasyon güç tesisleri, çok daha küçük tesis boyutları için sıvılaştırıcı güç tesislerinden ekonomik olarak daha esnekler. Ayrıca özellikle turba ve biyomas yakması için de uygundur. Daha küçük bir tesisle, turba ve biyomas yakıtı, genellikle turba ve biyoküttele büyük maliyet ögesi olan yakıt naklinin maliyetlerini ve çevresel etkilerini düşük tutmaya yardım eden daha küçük bir alan üzerinde toplanabilirler.

Turba ve biyomas günümüzde, yakıttan yararlanmada olanağı yüksek olduğundan, çoğunlukla birleştirilmiş ısı ve güç üretiminde kullanılmaktadır. 1998 yılında, finlandiya'daki geniş yakma tesislerinde kullanılan turba yakıtın yaklaşık %75'i, örneğin, CHP üretiminde kullanılmış, ilgili biyomas tablosunda %85'tir. Ancak İrlanda turbası sadece elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

### 5.1.3.7 Biyomas ve fosil yakıtların birlikte yakılması

Biyomas birlikte yakılmasında ulaşılmak istenen temel hedeflerden biri de, örneğin turba ve kömürle birlikte, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azatılmasıdır. Temel fosil yakıtın yenilenmesine bağlı olarak, 'fosil CO<sub>2</sub>' nin emisyonu, biyomas yakımı nötr CO<sub>2</sub> olarak değerlendirildiğinden, düşer. (biyomasın yakılmasıyla ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu, yeni biyomaslar oluştuğunda sabitlenecektir.) CO<sub>2</sub> azaltımı genel olarak, başka bileşenlerin havaya emisyonlarının da bir şekilde yol açabilmesine rağmen, biyomasın birlikte yakılması yönünde yapılan tartışmadır.

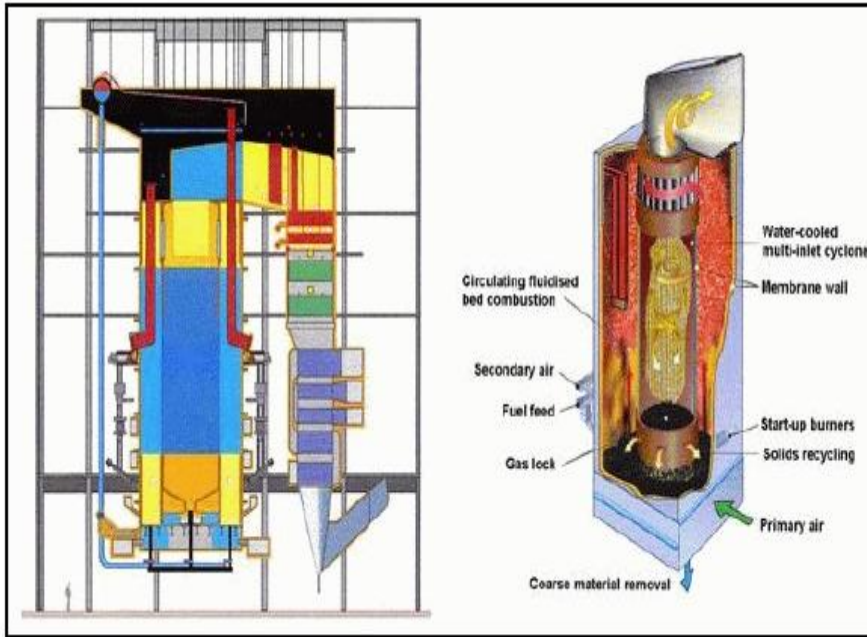
Birçok durumda, herhangi bir alanda, makul fiyatta mevcut biyomas miktarı, biyomasın ekonomik anlamda makul olmasına dayanan bir güç tesisi üretmek için çok küçüktür. Yerel anlamda mevcut bu yakıtları kullanma ekonomisi, var olan bir güç tesisinde ticari yakıtlarla birlikte yakılabildiğinde, önemli ölçüde gelişme gösterebilir. Ancak, birlikte yakılabilecek yakıtlar üzerine düşündürücü ölçüde teknik ve çevresel sınırlamalar vardır. Biyomasın birlikte yakılması, temel yakıtın turba, kömür ya da selüloz ve kağıt endüstrilerinden çıkan odun atıklar olduğu birçok Fin güç tesislerinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Turbanın kullanımı ayrıca, odunun kullanımını da destekler ve daha pahalı yakıtların kullanımını sağlar. Özelliklerine bağlı olarak turba, odunla birlikte yakmaya uygundur. Teknik olarak, aşınma ve bozulma problemleri nedeniyle, var olan tesislerde, sadece odun yakıtı kullanmak, zorluk yaratabilir. Turba yakabilme aynı zamanda, yakıt ihtiyacı için odun yakıtının yetersiz olduğu bölgelerde, sürekli yakıt stoğunu da garanti eder.

Bir başka yaklaşım ise, teknik nedenler dolayısıyla, yerel yakıtın temel ticari yakıtla birlikte yakılamamasıdır. Bu durumda hizmete sunulan yakma binası, daha geniş güç tesisleri ile yerel yakıt bağlantısı sağlamak için kurulur. Danimarka'da saman yakılmasında kullanılan çok sayıda ayrı yakma binası, kömür ya da gazla çalışan geniş yakma tesisleri ile bağlantılıdır. Biyomas ve atık yakıtın gazlaşması, Fin ve Avusturya güç tesislerinde gösterilmektedir

Akışkan yatak yakma (FBC) işlemi, çok farklı türde yakıtlar için düşük emisyonlarda ve yüksek düzeyde yakma koşulları sağlar. Biyomasın kömürle birlikte yakılması, özel SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada da etkili bir yoldur.

CFBC buhar kazanı prosesi, örneğin sadece kömür yakıtı ile tam bir kapasiteye ulaşılabilir, birleştirilmiş yakma ya da sadece biyomasın yakılması ile, çok yakıtlı buhar kazanlarına göre de tasarlanabilir. Kömür ve biyomasın birlikte yakılması işlemi, farklı türlerde yakıt taşıma işlemlerine bağlı olarak, ayrı ve bağımsız yakıt baslama sistemleridir. Bunlar ayrıca, mümkün olan tüm yakıt kombinasyonlarında esnek ve sorunsuz bir işlemi garanti etmelidir.

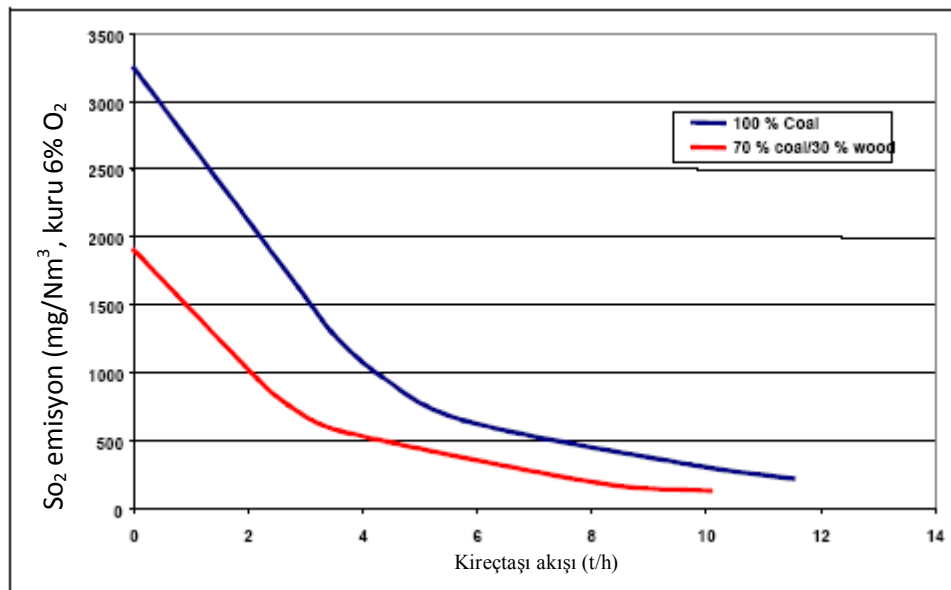


Circulating fluidised bed combustion	Dolaşımli akışkan yatak yakma
Water-cooled multi-inlet cyclone	Su soğutulmuş çoklu girişli siklon
Membrane wall	Membran duvar
Secondary air	İkincil hava
Fuel feed	Yakıt besleme
Gas lock	Gaz kilidi
Coarse material removal	Kaba malzeme ihracı
Start-up burners	Başlangıç brülörleri
Solids recycling	Katı çevrimi
Primary air	Birincil hava

Şekil 5.5: Birlikte yakma için uygulanan çoklu giriş siklonlu endüstriyel CFB buhar kazanı [103, Kvaerner Pulping Oy, 2001]

Kabarcıklı akışkan yatak yakma (BFB) işleminde, sıvılaştırma hızı azaltılmıştır ve siklon sistemi yoluyla ince tanelere dönüş de gerçekleşmez. BFB işlemi, biyomasın birlikte yakılması için oldukça mümkün bir uygulamadır.

Akışkan yatak yakma işlemindeki düşük NO<sub>x</sub> emisyonları, hava aşamalı besleme eklenerek, düşük fırın dereceleri ile sonuçlanır. (genelde, 200 mg/Nm<sup>3</sup>'ün altında). Daha fazla NO<sub>x</sub> emisyonu için, amonyak enjekte sistemi (SCNR) kolaylıkla kurulabilir. (kuru O<sub>2</sub> oranı %6 'da yaklaşık, 100 mg/Nm<sup>3</sup> ya da altında) SO<sub>x</sub> emisyonları, desülfürizasyon koşullarının olumlu olduğu fırına, kireçtaşı enjeksiyonu ile kontrol edilir. Biyoyakıtın lömürle birlikte yakılması, SO<sub>2</sub> emisyonunu ve kireçtaşı tüketimini daha da azaltacaktır. Kömür-biyomas birlikte yakılması işleminde, tüm temel emisyonlar düşük ve özel CO<sub>2</sub> emisyonları, biyomas yakıt alımına oranla azaltılmıştır.



Şekil 5.6: Biyomas birlikte yakmanın SO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisi (500 MW<sub>th</sub>, kömürde 1.2 % S) [103, Kvaerner Pulping Oy, 2001]



Aşağıda biyomas ve temel olarak kömür ve linyit olmak üzere diğer yakıtların birlikte yakılmaları ile ilgili deneyler sunulmuştur:

1. Danimarka'da bir güç tesisinde yaklaşık %20 oranında odun birlikte yakılmıştır. Bu, 25 MW<sub>e</sub> kapasitede ve doğal devirli, ön yıkamalı buhar kazanıdır. Pülverize edilmiş odun, özel olarak ayarlanmış 2 brülörde yakılmıştır. Olumsuz hiçbir etki kaydedilmemiş ve daha yüksek oranlarda birlikte yakma işleminin mümkün olabileceği kabul edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonu, %35 düşmüştür. Saman ve daha az oranda enerji ürünlerinden odun (söğüt) Danimarka'daki en önemli biyomas yakıtlarıdır. Samandaki yüksek potasyum klorür içeriği, ciddi cüruf ve aşınma problemlerinin de bilinen sebebidir.

2. Danimarka güç tesislerinde samanla deneyler yapılmıştır. (150 MW<sub>e</sub>). %25'e kadar birlikte yakma işlemi, 4 hafta ile 4 ay arasında değişen kampanyalarda test edilmiştir. Temel sonuçlar:

- NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları azalmış, HCl ve toz emisyonları artmıştır.
- Isıtıcının aşınma oranında az bir artış gözlenmiştir. Deneylerin toplam süresi, bunun miktarını belirlemek için çok kısadır. (%10'luk birlikte yakma oranında %50'lik artış olduğu tahmin edilmiştir.
- %10'dan fazla saman birlikte yakıldığında, uçucu küldeki alkali içeriği, çimentoda uygulama sınırını aşmaktadır. Betona uygulanması için bu değer %20 birlikte yakma oranından fazla olması gerekmektedir.
- Baca gazına maruz kalan deNO<sub>x</sub> katalizör numuneleri faaliyette ani düşüş göstermektedir.

3. biyomas briketleri, Almanya'da linyitle çalışan bir güç tesisinde birlikte yakılır. (280 MW<sub>e</sub>). yaklaşık %10 miktarda yakıldığında problem oluşmamaktadır.

4. yaklaşık %7 oranında (kütle ağırlıklı) basıncı zeytin çekirdeği (preslenmiş zeytin çekirdeklerin elde edilen odun); linyitle çalışan 3 üniteden oluşan ve toplam kurulum kapasitesi yaklaşık 6 aylık dönemde 550 MW olan bir güç tesisinde (Yunan) birlikte yakılmıştır. Ham linyitle karşılaştırıldığında, basınçlı zeytin taşının bazı farklı özellikleri: daha yüksek klorifik değerde olması, dikkate değer derecede düşük nem ile kül içeriği, ve yüksek uçucu madde içeriğidir. Kül karışımı söz konusu olduğunda; daha yüksek oranda alkali metal oksit konsantrasyonu ve erime derecelerinin düşmesiyle sonuçlanan düşük oranda silis ve alumina bileşenleri öne çıkmıştır. Deneyler, akım işleme parametrelerinde (kütle0 akışı, derece ve basınç), slagging'de ve kömürdeki yanmamış yakıt içeriğinde hiçbir değişiklik göstermemiştir. Basınçlı zeytin çekirdeğinin içeriğindeki önemli miktarda düşük sülfüre bağlı olarak SO<sub>2</sub> emisyonları da azalmıştır.

5. Hollanda'da pülverize edilmiş kömürle çalışan buhar kazanlarında biyomasın birlikte yakılması, termal bazda % 3 oranında işlenmiştir. Bazı tesislerde biyomas, kömürle birlikte pülverize edilir. Atırı fabrikalar ve atık odunun gazlaştırılması ile sağlanan referanslar, bölüm 8.1.3'ün bölümlerinde tanımlanmıştır. Yüksek miktarlarda çalıştırma girişimleri, gelişme aşamasındadır.

6. ABD elektrik tesislerinde odun birlikte yakılmaktadır. Odun, ayrı fabrikalarda işlenir ve brülörlerin en alt dizilerinde baslanır. %10A kadar birlikte yakma işleminde, kazanaltı külündeki yüksek yanmamış karbon içeriği dışında, başka problemle karşılaşılması (için için yanan odun parçaları, kazanaltı külünün boşaltılması sırasında görülebilir)

7. Bir başka ABD güç tesisinde yaklaşık % 5 oranında odun birlikte yakılmıştır. Odun, kömürle birlikte işlenmiştir. Boş fabrika kapasitesinin eksikliğine bağlı olarak bu, sınırlayıcı bir faktördür. Kaynama operasyonu ve verimliliğin etkilerinin az miktarda olduğu belirtilmiştir.

8. Bir defaya mahsus olmak üzere, Amerika Birleşik Devletlerinden biri olan Gürcistan'daki 100 MW. kapasiteli bir elektrik santralinde 124 ton odun birlikte yakılmıştır. İçeriğinde testere talaşı ve ağaç dallarının karışımı bulunmaktadır. Birlikte yakma oranı, kömürün normal yakılmasıyla % 9.7- 13.5 arasında değişmiştir. Kaynama kazanının verimliliğini sürdürmek için, yeterli derecede hava fazlalığı seviyesinde (ekonomizer'de % 4.2 oranında O<sub>2</sub>) işlenerek, iyi bir yanma sağlanmıştır. Buhar kazanındaki ısı dağılımı değiştiğinden, ısıtıcının derecesi düşmüştür.

9. 54 MW. kapasiteli bir güç tesisinde (Gürcistan, ABD) % 40 oranında odunun birlikte yakılmasıyla (enerji ağırlıklı) kısa bir deney uygulanmıştır. Kaynama kazanı ayarlarında ufak bir değişiklik yapılmıştır. Sabit alev elde edebilmek için, (% 36 odun, %17 gaz, %47 kömür) tam yükte doğal gaz da birlikte yakılmıştır. Kaynama kazanının verimliliği, odunun nem içeriğine ve küldeki yanmamış karbon içeriğine bağlı olarak düşmüştür.

## 5.1.4 Baca gazı temizleme

### 5.1.4.1 Izgara ateşlemeden kaynaklı emisyonların kontrolü

Biyomasın (ör: odun, saman vb) veya ızgara ateşleme yakma sisteminde turbanın yakılması sırasında, külün büyük kısmı ızgarada kalır ve kazanaltı külünde toplanır. Çok az miktarda kül, uçucu kül olarak fırından çıkar ve bu küller toz azaltma aletleriyle toplanmalıdır.

#### 5.1.4.1.1 Toz azaltımı

Izgara ateşleme çalışan yakma tesislerindeki tozun, azaltılması için, halihazırda ESP'ler ve bez filtreler, bez filtre daha yaygın olarak kullanılmakla birlikte, uygulanmaktadır.

#### 5.1.4.1.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

Sülfür oksitlerin ve ızgaraya verilen reaktif alkalilerin arasındaki minimum temas süresi nedeniyle ızgaradan sülfürün ihracı mümkün değildir. Fırına kireçtaşı enjekte edilmesi mümkün olmakla birlikte, verimli değildir. Izgara ateşlemeyle çalışan biyomas ve turba kullanan güç tesislerinde, yakıtın sülfür içeriği düşüktür ya da çoğunlukla orta düzeydedir. Bu yüzden, emisyonlar oldukça düşüktür ve desülfürizasyona gerek yoktur.

Daha yüksek sülfür içerikli turbada çoğunlukla kuru enjeksiyon işlemleri uygulanır. Ek odacığın önüne kuru olarak kalsiyum hidroksitin enjekte edilmesiyle, yeterli oranda azaltım elde edilebilir. Fırında kalsiyum oksit aktivasyon yıkayıcı ile birlikte kireçtaşı enjeksiyonu, bazı durumlarda oldukça etkili bir yöntemdir. Bu tedbirler, HCl gib zararlı emisyonların ihracını da sağlar.

#### 5.1.4.1.3 Küldeki yanmamış karbon

Izgara ateşleme ile yakmada ortaya çıkacak yanmamış karbon içeriği göz önünde bulundurulursa hedef, en yüksek derecede verimlilik ya da yakıttan yararlanma sağlayabilmek için mümkün olan en iyi derecede yakma elde etmektir. Ancak teknik özelliklere ve yakıtın özelliklerine bağlı olarak, biyomasın ızgarada yakılması ile, yüksek miktarda yanmamış karbon içeriğine ulaşılabilir.

#### 5.1.4.1.4 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması

Izgara sistemlerindeki düşük yakma dereceleri, NO<sub>x</sub> emisyonlarının tutulması için avantajlıdır. Ancak bir SCR katalizörü çok hızlı şekilde, genelde yaklaşık 3 saatlik işlem sonrasında, deaktif hale gelir bu da sonradan NO<sub>x</sub> azalma oranında önemli derecede düşüdü yaratır. Aşırı yanmış hava, bazen de NO<sub>x</sub> emisyonlarının jenerasyonunu azaltmada kullanılır.

NO<sub>x</sub> azaltma mekanizmaları, kabarcıklı akışkan yatak yakma sistemleri ile aynıdır. Düşük NO<sub>x</sub> yakma verimliliği, ikinci bir kapsamlı hava sistemini ve 2 yakma bölgesi olanağı sağlayan özel fırın tasarımlarını gerektirmektedir.

Yüksek tozlu SCR, potasyum tuzunun oluşumuyla SCR'nin zehirlenmesine yol açtığından, saman ve odunla çalışan tesisler için uygulanabilir bir solüsyon değildir. Ayrıca zehirlenmiş bir SCR'nin rejenerasyonu çok pahalıdır.

#### 5.1.4.2 Pülverize turba yakımından kaynaklanan hava emisyonlarının kontrolü

##### 5.1.4.2.1 Toz azaltımı

Pülverize turba yakımında, külün çoğunluğu, yakma odasının dışına baca gazıyla taşınır. Sadece çok küçük bir kısmı kazanaltı külü olarak toplanır.

Toz ihracı teknolojileri arasında, ESP Avrupa'daki güç tesislerinde (şu ana dek) en yaygın şekilde kullanılan ekipmandır. ESPlar daha sonra arazi doldurabilecek ya da yol inşasında kullanım için ya da çimento ve beton gibi ürünlerin imalatı için geri döndürülebilecek külleri genellikle kuru şekliyle toplarlar. Ayrıca bez filtreler de pülverize turba yakımı tesislerinde kullanılır.

##### 5.1.4.2.2 SO<sub>2</sub> emisyonunun azaltımı

Turba kullanan güç tesislerinde, sülfür içeriği düşük ya da sıklıkla ortadır. Bu nedenle, emisyonlar çoğunlukla o kadar düşüktür ki halihazırda hiçbir kükürt giderme tekniği uygulanmamaktadır.

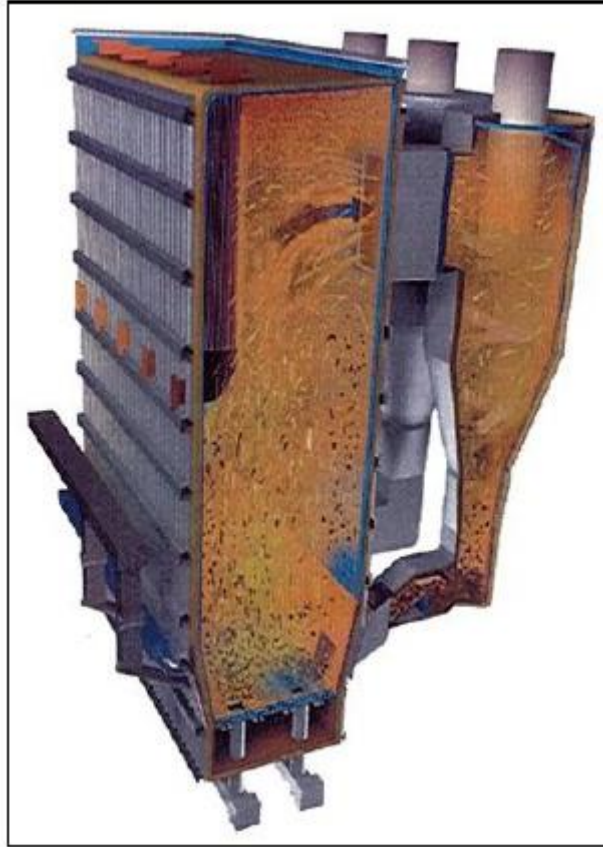
Kuru enjeksiyon işlemi genellikle yüksek sülfür içerikli turbalar için uygulanır. Ek odacıktan önce kuru şekilde kalsiyum hidroksit enjeksiyonu yeterince yüksek azaltım oranına ulaşır. Fırında, kalsiyum oksit aktivasyon gaz yıkayıcısıyla birlikte kireçtaşı enjeksiyonu da bazı durumlarda bayağı etkilidir. Bu tedbirler ayrıca HCl gibi diğer zararlı emisyonları da yok edebilir.

##### 5.1.4.2.3 NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltımı

Turba yakımındaki sıcaklık örneğin taş kömürü yakımının sıcaklığından daha düşük olduğu için, nitrojen oksit emisyonları yakma teknolojisiyle (hava aşamalandırma besleme sistemi) ve/veya SNCR kullanımıyla azaltılabilir.

#### 5.1.4.3 Turba ve biyomasın akışkan yatak yakımından kaynaklı emisyonların kontrolü

Akışkan yatak sistemleri için, yakıt irice öğütülmüş şekilde kullanılır, bu nedenle büyük bir kısım kül kazanaltı külü olarak çıkarılır. Devirli akışkan yatak yakma sistemlerinde (CFBC), yatak alanı daha yüksek hava akışı hızıyla genişletilir ve (bu tarz yakma için gerekli olan) kül baca gazı yan ölçümlerinden geri döndürülmelidir. Merkezkaç presipitatorü işlenmiş kül partiküllerini yenilemek için Şekil 5.7 de gösterildiği gibi CFBC'nin dahili bileşimidir.



Şekil 5.7: Biyomasla çalışan CFBC buhar kazanında yakıt ve yatak materyali akışı [91, Kokk, et al., 2000]

#### 5.1.4.3.1 Toz azaltımı

Biyomas ve turbayla çalışan akışkan yatak yakma (FBC) buhar kazanlarında toz azaltımı için, bez filtrenin sıklıkla tercih edilen bir teknik olmasının yanında hem ESPler hem de bez filtreler halihazırda uygulanmaktadır.

#### 5.1.4.3.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması

Turbayla çalışan FBC buhar kazanlarında desülfürizasyon derecesi önemli derecede kömürle çalışan FBC buhar kazanlarındakilerden daha düşüktür. Finlandiya kökenli bir FBCdeki turbayla elde edilen bilgiye göre, hem turbayla çalışan CFBC'ler için hem de BFBC için ortalama bir Ca/S oranıyla (3 – 5) desülfürizasyon derecesi %30 – 40 civarındadır. Desülfürizasyon, daha yüksek Ca/S oranıyla bile BFB buhar kazanında %45 civarını aşmaz. CFBClerde ulaşılabilir en yüksek desülfürizasyon derecesi %80 civarındaydı, fakat bu ancak çok yüksek bir Ca/S oranıyla mümkün olabilirdi. Yüksek bir Ca/S oranı çökeltmiş uçucu külün yeniden kullanımını riske atar, bu da düşük azaltım oranlarının ( ve sorbent miktarının) tavsiye edildiği anlamına gelir.

Sorbent kullanımı güç tesisi tarafından üretilen külün miktarını artırır. Sorbent özelliklerine bağlı olarak elektrostatik presipitasyonda verim düşüşü olasılığı vardır. Bu, özellikle sülfür oksit emisyonlarını azaltmak için daha fazla miktarda sorbent kullanıldığında, daha çok partikül emisyonuna neden olur.

### 5.1.4.3.3 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

Akışkan yatak yakımındaki (FBC) NO<sub>x</sub> emisyonu genellikle sıradan pülverize yakıt yakımındakinden açıkça daha düşüktür. FBCdeki yakma sıcaklığı genel olarak düşüktür, bu da daha düşük bir termal NO<sub>x</sub> oluşumunu garantiler. Temel olarak bu şartlar altında, bütün NO<sub>x</sub> emisyonları nitrojen bağlı yakıtlardan kaynaklanır. FBCdeki NO<sub>x</sub> oluşumu ilerde hava fazlalığı oranını küçültmek ve yakma havasını aşamalandırarak sınırlandırılabilir. Modern akışkan yatak buhar kazanları, ikincil hava geçitleri sıvılaştırıcı hava girişlerine ek olarak kurulmuştur. Yakma havasının birazı 1 ile 3 seviyesindeki fırınların üst kısmına yerleştirilmiş bu ayrı geçitler arasından enjekte edilir. Böylece, fırının daha alçak kısımları NO<sub>x</sub> oluşumunu engelleyen düşük bir oranla işlenebilir. Yukarı hava geçitlerinden enjekte edilen ikincil/üçüncül hava bütün bir yanma sağlar. Diazot monoksit (N<sub>2</sub>O) üretimi, daha düşük yakma sıcaklıklarında bileşiklerin daha yavaş düşüşüne bağlı olarak FBClerde (özellikle devirli akışkan yataklarda) sıradan pülverize yakıt yakımındakinden daha büyük görünür.

Selektif ya da selektif olmayan katalizör azaltım işlemleri (SCR ya da SNCR) gibi ikincil tedbirler de mümkündür ve İsviçre'deki ve Finlandiya'daki biyoyakıtla çalışan FBC buhar kazanlarına uygulanmıştır. SNCR bu ülkelerde yıllardır yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve biyoyakıt yakımı (genellikle, NO<sub>x</sub> emisyonu: 40 – 70 mg/MJ; NH<sub>3</sub> emisyonu: 3 – 10 ppm) için iyi oluşturulmuş bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. SCR 90'ların ortasında tanıtılmıştır. Enerji sektöründe şu anda SCR ile işletilen altı buhar kazanı bulunmaktadır. Bunlardan beşi yan oluşum için akışkan yataklardır (CFBC/BFBC) ve yan oluşum için küçük (40 MW – biyoyakıt/turba karışımı) bir ızgaradır. Bütün FBC buhar kazanları için, SNCR ve SCR'nin kombinasyonunu (yüksek toz) uygulamak uygun görülmüştür. Izgara tek başına bir SCR'ye (düşük toz) sahiptir. Genellikle SCR'den sonra NO<sub>x</sub> emisyonu 30 mg/MJ'nin (<90 mg/m<sup>3</sup>) altındadır.

SCR'yle problem yakılırken kömürle kıyaslandığında daha hızlı olan katalizörün etkisizleştirilmesidir. Odunla çalışan FBC buhar kazanlarından alınan sonuçlar, katalizörün normal bir sıcaklık üretimi prosesi boyunca bağlı faaliyetinin %20 – 25'ini (ortalama) kaybettiğini gösterir.

Nispeten yüksek etkisizleşme oranı, genellikle baca gazındaki yüksek alkali (temel olarak potasyum) içeriğine bağlıdır. Bu katalizörlerin yeniden oluşturulmasına ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Bu, katalizörü sistemin dışına aldıktan sonra, katalizörü suyla (ve/veya sülfürik asit) yıkayarak (ör; her iki yılda bir) elde edilebilir. Bununla birlikte, sülfasyonla (SO<sub>2</sub> gazıyla işlem) izlenen suyla yerinde yıkama testlerinden alınan umut verici sonuçlar da vardır. Biyoyakıtlar için SCR'nin teknik ve ekonomik fizibilitesini geliştirmek amacıyla, daha çok araştırma gereklidir.

### 5.1.5 Su ve atık su arıtma

Toprağa ya da suya bırakılan kirlenici madde emisyonu büyük turba ve biyomas yakma tesisleri için önemli bir sorun değildir.

### 5.1.6 Yakma tortu ve yan ürünlerin taşınması

Turbayla çalışan bir güç tesisi kireçtaşı enjeksiyonundan kül ve ürünler üretir. Külün büyük bir kısmı baca gazı temizleme sisteminden (elektrostatik presipitator ya da bez filtreler) çıkan uçucu küldür. Toplam kül miktarının % 10 – 20'lik kısmı buhar kazanının dibindeki kazanaltı külleridir. Bu maddeler kullanılabilir ya da imha edilebilirler.

Bu günlerde, turba tek başına çok nadir yakılır, fakat genellikle odun gibi yakıtlarla birlikte yakılır. Bu yüzden, bir çok durumda karışık kül üretilir. Böyle karışık küllerin özellikleri turba külününkinden farklıdır, ve bu nedenle kullanım olanakları belli belirsiz farklıdır.

Turba külü, ham madde olarak ve yol yapım maddesi gibi yapı ve inşaat maddeleri endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca kanalizasyon arıtımında da kullanılabilir. Külün jeoteknik özellikleri ve mineral mineral öğeleri, ticari kullanımdan önce durum bazında incelenmelidir.

Odunun ve turbanın birlikte yakılması, inşaat maddesi olarak kullanımını daha da zorlaştıran küllerin bileşiklerinin belli belirsiz farkıyla sonuçlanır. Mineral agregat stabilizasyonu ve betonda, turba uçucu külü en ince agregat madde veya çimento parçası ile değiştirilmek amacıyla kullanılabilir.

Turba ile çalışan güç tesislerinden çıkan kül bataklık alanları gibi yerlere taşınır. Kesilmiş bataklıklarda külün imhası çevresel olarak uygundur ve ayrıca ekonomik olarak akla uygundur. İrlanda gibi bazı ülkelerde, kül kontrollü arazi dolumlarda imha edilmelidir, fakat bu surumda külün kalitesi ilk önce test edilmelidir (ör;çözünürlük testi) ve daha sonra, arazi dolum alanlarının çevresel izlenmesi yerine getirilmelidir.

Yerleşim planlamalarında çevresel ve sağlıksal yönler dikkate alınmalıdır. Arazi doluma göre, turba külü ve kömür külü bayağı benzerdir. Trafikten ve çalışan makinelerden kaynaklanan toza ve sese bağlı olarak bazı geçici sorunlar oluşabilir. Yerleşimin çevre düzenlemesi kesilmiş bataklıkları çevre düzenine uyduracaktır.

Turba uçucu külü ormanlarda ve tarlalarda gübre olarak da kullanılabilir. Turba külü bitkiler için ferekli olan kireç ve bazı bitki besinleri içerir. Bununla birlikte, sağlıksal ve çevresel yönlerin ve düzenlemelerin her ikisi de, turba külünün gübre olarak ticari kullanımından önce dikkate alınmalıdır.

Saman yakma ünitelerinden çıkan uçucu kül öncelikle yüksek kadmiyum içeriğine bağlı olarak imha edilmelidir. Kazanaltı külleri normalde tarlalara geri götürülür ya da yol yapım malzemesi olarak kullanılır.

## 5.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri

Bölüm 5'in bu kısmında biyomasla çalışan farklı yakma tesislerinde halihazırda uygulanan bir dizi proses ve tekniklere ilişkin örnek sunulmuştur. Bu örneklerin amacı her bir durumda özel sahaya özgü koşullar ile çevresel gereklilikler dikkate alınarak bir bütün olarak çevreye ilişkin yüksek düzeyde koruma sağlamak amacıyla spesifik tekniklerin yeni veya uyarlama tesislerde nasıl uygulandığını ortaya koymaktır. Ancak, Direktif'in 2(11). Maddesinde verilen MET tanımı ile birlikte 'tedbir ve önleme prensipleri ve tedbirlerin olası maliyet ve faydaları göz önünde bulundurularak mevcut en iyi tekniklerin değerlendirilmesinde genel ve özel olarak değerlendirilmesi gereken hususlar' listesine göre toplanan bilgilerden örneklerde açıklanan her bir tekniğin nasıl değerlendirildiği ya da değerlendirilip değerlendirilmediği her zaman açık değildir. Bununla birlikte sunulan çevresel performansın tüm çalışma koşullarında sabit ve sürekli olduğunu, zaman prosesinde herhangi bir sorunla karşılaşp karşılaşmadığı ve çapraz medya etkilerinin neler olduğundan emin olunamaz. Ayrıca tekniğin uygulanmasında itici gücün ne olduğu maliyet ve çevresel faydaların her bir durumu nasıl ilişkili olduğu da her zaman net değildir. Bu nedenle aşağıdaki örneklerde verilen bilgilerin rapor edilen mevcut uygulamaya ilişkin sadece genel belirtiler verdiğinden ve bunların uygun başvuru noktaları olarak ele alınamayacağından bahsedilmektedir. Örnek olarak verilen teknikler LCP'lerin bilgi alışverişinin bir parçası olarak Teknik Çalışma Grubu üyelerinde değerlendirilen ve sunulan bilgilerden kaynaklanmaktadır

### 5.2.1 Biyomas ve turbayla çalışan büyük yakma tesislerindeki emisyonları azaltmaya yönelik bireysel teknikler

#### ÖRNEK 5.2.1.1 TURBA YAKAN CFBC VE BFBC BUHAR KAZANLARINA KİREÇTAŞI ENJEKTELİ KÜKÜRT GİDERME (VAKA İNCELEMESİ)

**Açıklama:** Kireç taşı enjektisinin maksimum SO<sub>2</sub> ihraç verimlilikleri test edilmiştir ve mevcut turbayla çalışan CFBC tesisinde ve mevcut turbayla çalışan BFB tesisindeki desülfürizasyon bedelleri analiz edilmiştir. Araştırmanın amacı, yataktaki *yerinde* kireç taşı enjekteli mevcut turbayla çalışan FBC tesislerinde elde edilebilir. En yüksek desülfürizasyon seviyesini belirlemek ve ayrıca desülfürizasyon bedellerini değerlendirmektir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** CFBC buhar kazanında, yakıtın kükürt içeriği %0.17 olduğu zaman, 200 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) lük en düşük elde edilebilir emisyon seviyesine 10'luk Ca/S oranıyla ulaşıldı. CFBC tesisi normalde 2-4 arasında (kireç taşına bağlı olarak) Ca/S oranıyla 360 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) bir emisyon seviyesinde çalışır. BFB buhar kazanında, kükürtün turba içeriği %0.25 olduğu zaman, en yüksek elde edilebilir desülfürizasyon derecesi 7'lik bir Ca/S oranıyla %45 civarındadır. SO<sub>2</sub> emisyonu 280 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) tir. Daha fazla kireç taşı ilavesi, daha yüksek bir desülfürizasyon derecesiyle sonuçlanmadı. 360 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) seviyesindeki normal BFB tesisi işlemi 2 ile 4 arasındaki Ca/S oranında oluşmuştur.

Buhar kazanı	CFB	BFB
Yakıtta S içeriği (%)	0.17	0.25
<b>NORMAL ÇALIŞMA DÜZEYİ</b>		
SO <sub>2</sub> emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> (=O <sub>2</sub> = % 6))	360	360
Ca/S oranı	2-4	2-4
Kükürt giderme maliyeti (EUR/t ihraç edilen SO <sub>2</sub> )	1300	1400
<b>MİNİMUM ERİŞİLEBİLİR EMİSYON</b>		
SO <sub>2</sub> emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> (=O <sub>2</sub> = % 6))	200	280
Ca/S oranı	10	7
Kükürt giderme maliyeti (EUR/t ihraç edilen SO <sub>2</sub> )	1800	1950
Normal emisyon seviyesi ile erişilebilir seviye arasındaki kükürt gidermeye yönelik marjinal maliyet (EUR/t ihraç edilen SO <sub>2</sub> )	2100	2700
Yarı kuru sprey kulesi teknolojisi ile kükürt giderme maliyeti (EUR/t ihraç edilen SO <sub>2</sub> )	6800	3200

Tablo 5.1: Vaka inceleme sonuçlarının özeti

Eğer yarı kuru sprey kule teknolojisi uygulansaydı, desülfürizasyonun neye mal olacağını değerlendirilmesi yapıldı. Tablo 5.1 den de görülebileceği gibi bu maliyetler yataktaki kireç taşının *yerinde* ilavesindekilerden daha yüksektir.

**Ekonomi:** Normal işlemsel seviyedeki toplam desülfürizasyon maliyeti (SO<sub>2</sub> emisyon 360 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) her iki tesiste de), CFBC buhar kazanından çıkarılan SO<sub>2</sub> için 1300/t EUR ve BFB buhar kazanından çıkarılan SO<sub>2</sub> için 1400/t EUR civarındaydı. Her ikisinde ıslak gaz yıkayıcı pülverize kömür yakmadaki her azaltılmış SO<sub>2</sub> tonunun bedelinden önemli ölçüde daha yüksektirler. Desülfürizasyon derecesi en düşük elde edilebilir seviyelere yükseltildiğinde – CFBC için 200 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) ve BFB için 280 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) -bu ekstra desülfürizasyonun sınırsal bedelleri sırasıyla çıkarılan SO<sub>2</sub> için 2100/t EUR ve çıkarılan SO<sub>2</sub> için 2700/t EUR dir.

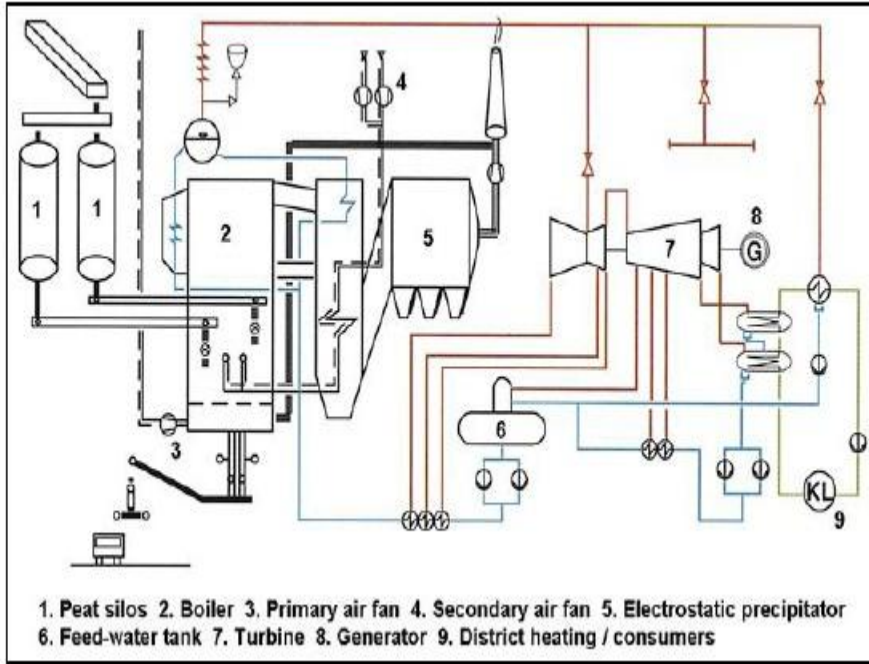
**Uygulamaya yönelik itici güç:** SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

**Kaynak literatür:** [59, Finnish LCP WG, 2000], [100, Kouvo and Salmenoja, 1997].

## 5.2.2 Mevcut biyomas ve turba ile çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansının geliştirilmesi

### ÖRNEK 5.2.2.1 ESKİ PÜLVERİZE TURBA BUHAR KAZANININ MODERN AKIŞKAN YATAK BUHAR KAZANINA DÖNÜŞÜMÜ

**Açıklama:** 1996’ da Finlandiya’da çalışan örnek bir tesisin yakma teknolojisi 20 yıllık eski pülverize bir turba buhar kazanından kabarcıklı akışkan yatak buhar kazanına dönüştürüldü. Eski tesisi dönüştürmek için, orijinal buhar kazanının tüm önü yeni yakma düzenlemelerini inşa edebilmek amacıyla yer değiştirildi. Yeni teknolojiyle, buhar kazanı multi yakıtlı bir buhar kazanı haline geldi. Aynı zamanda, buhar kazanının kapasitesi %20 arttırıldı.



Peat silos	Turba siloları
Boiler	Buhar kazanı
Primary air fan	Birincil hava fanı
Secondary air fan	İkincil hava fanı
Electrostatic precipitator	Elektrostatik presipitator
Feed-water tank	Besleme suyu deposu
Turbine	Türbin
Generator	Jeneratör
District heating/consumers	Bölgesel ısıtma/tüketiciler

Şekil 5.8: Pülverize turba buhar kazanından dönüştürülmüş BFBC buhar kazanı [99, Oulun Energia, 1997]

**Sağlanan çevresel faydalar:** Akışkan yatak yakma teknolojisi baca gazındaki nitrojen emisyonlarının miktarını önceki miktarın yaklaşık yarısı kadar azalttı. Tamamen yenilenmiş ESP sayesinde, toz emisyonları da azaltıldı.

**Uygulanabilirlik:** Mevcut bir pülverize turba buhar kazanının modern bir akışkan yatak buhar kazanına dönüştürülmesi kavramı prensipte aktarılabildir fakat durum bazında doğrulanması gerekmektedir.

**Çapraz medya etkileri:** Daha yüksek verimlilik

**İşletim verileri:** Tesis bir birleşik üretim (CHP) tesisi olarak çalışmaktadır:

- Buhar gücü 242 MW
- Buhar derecesi 540°X
- Yakıt verimliliği 90%

**Ekonomi:** Mot Mevcudu

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Daha yüksek verimlilik elde eden ve tesisin ömrünü uzatan düşük NO<sub>x</sub> ve toz emisyonu seviyeleri .

**Kaynak literatür:** [99, Oulun Energia, 1997].



### **ÖRNEK 5.2.2.2 PÜLVERİZE SİYAH LİNYİTLE ÇALIŞAN BİR ELEKTRİK SANTRALİNDE BİYOMASIN BİRLİKTE YAKILMASI**

**Açıklama:** 1996 da farklı biyomas kaynaklarından yapılan kalıpların birlikte yakılması örnek güç tesisinin farklı ünitelerinde (A ve B ) birkaç deneyde test edildi. Ortak yakma deneylerinin sonuçları burada gösterilmektedir

#### **A ünitesindeki kalıpların birlikte yakılması**

A ünitesi 280 MW 'lık bir nominal termal girişine ve 108 MW<sub>e</sub>.lik büyük güç çıkışına sahiptir.Siyah linyit yakılır ve başlangıç tedbirlerine ek olarak yüksek toz görünüşünde SCR teknikli bir DENOX tesisi gerekliydi.Üstelik, ESP ve ıslak FGD kurulmuştur.Ortak yakma için, ek kurulumlar gerekli değildi.Pervazlar, oldukça yüksek toz emisyonu üreten depo alanındaki linyitle karıştırılmıştır.Pervazlar, silindirik şekildediler, yaklaşık 25 mm çapındaydılar ve 3 farklı biokütle kaynağında oluşturulmuşlardı:

- Saman
- Tahıl tesisleri
- Peyzaj yetiştirme otlakları

Hafta sonlarında , kalıpların her çeşidiyle her biri 24 saatlik periyotta olmak üzere 4 tane deney yapılmıştır. Ek olarak, samanın kalıplarının ortak yakması 3 haftadan fazla bir sürede test edilmiştir. Toplam termal girişteki biyomas payı %4.6 dan 13.3'e değişiklik göstermiştir

#### **B ünitesindeki atık tahta parçalarının birlikte yakılması**

B ünitesi 803 MW lik bir nominal termal girişine ve 316 MW<sub>e</sub>.lik büyük güç çıkışına sahiptir. Emisyon kontrolünün şekli A ünitesindekiyle aynıdır. Tahta parçalar, linyitle karışıkları kömür depolarına verilmiştir. Tahta parçaları, kömür değirmenlerinde hemen hemen çekilmemiş oldukları için yüzen bir yatakta kısmen yakıldıkları ızgara üzerine düşer. Buhar kazanı külünün büyük, yanmamış partikülleri, kömür deposuna geri verilir. Tahta parçalarındaki katışık maddelerin konsantrasyonu belli değerleri geçmemelidir.(Tablo 5.2 ye bakınız) Ağır metaller içeren tahta katkı maddeli yada atık tahtalar yakılmamalıdır. Haziran 1999 dan beri hergün, kütle girişin yaklaşık %12 sinin ve termal girişin %8 ini temsil eden yaklaşık 300-350 ton atık tahta yakılmaktadır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Biyomasın ortak yakılması fosil kaynaklarını korur ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltır. B ünitesindeki tahta parçalarının ortak yakılması siyah linyit tüketimini yaklaşık olarak yıllık 80 000 ton azaltmıştır.

**Uygulanabilirlik:** Biyomas ortak yakım olasılığı tesise özgüdür.

**İşletim verileri:**

#### **A ünitesindeki kalıpların birlikte yakılması**

Ortak yakma deneyleri için kullanılan linyitin ortalama kaliteleri ve 3 biyomas yakıtı tablo 5.2 de gösterilmektedir:

	Siyah linyit	Kalıplar		
		Saman	Tahıl bitkileri	Arazi kültüründen alınan otlaklar
<b>Kalorifik değer (MJ/kg)</b>	17.08	15.51	15.05	15.44
<b>Su içeriği (%)</b>	29.2	10.45	10.7	7.0
<b>Kül içeriği (%)</b>	10.25	6.89	4.34	6.79
<b>Klorin</b>	0.003	0.366	0.034	0.216
<b>Sülfür</b>	1.03	0.079	0.08	0.077
<b>Potasyum</b>	0.07	1.26	0.47	1.55

Tablo 5.2: Birlikte yakma deneylerinde kullanılan yakıtların ortalama nitelikleri

Kömür değirmenlerinin işlemleri %10 dan %40 a kadar değişen biyomas oranlarıyla test edilmiştir. Biyomasın % 40'dan fazlası, değirmenlerle tutulamadı. Kömür değirmenlerinde ezilmesinden sonraki yakıt dağıtımının boyutu tablo 5.3'de gösterilmektedir. %10'luk biyomas oranı için, dağıtımın sadece hafif bir şekilde değiştiği görülebilir, fakat daha yüksek oranlar için, çok ince partiküllerin (<0.09 mm) payı önemli ölçüde azalır. Bu demek oluyor ki; kötü şekilde çekilmiş olan sadece biokütle değil, aynı zamanda kömürün ezilmesinde yüksek oranlardaki biokütlenin varlığından etkilenmektedir.

Yakıt özelliği	Kömür değirmeninde öğütüldükten sonra toplam yakıt kütleindeki boyuta bağlı grupların payı (%)			
	>1.0 mm	>0.2 mm	0.09-0.2 mm	<0.09 mm
Sadece kömür	7	24	19	50
% 10 saman	7	27	16	48
% 27.5 saman	19	36	14	31
% 19.2 tahıl bitkileri	23	35	16	26
% 20.0 araziden alınan çayırlar	22	43	15	20

Tablo 5.3: Farklı oranlarda biyomas için haddelenen yakıtların kalitesi

Artan cüruf üretimi saman kalıplarının 3 haftalık birlikte yakılması boyunca meydana gelmiştir. SCR ve ESP etkilenmemiştir. Farklı testlerin havaya emisyonları Tablo 5.4 te gösterilmektedir.

	Üniteler	Sadece kömür	Kalıpların birlikte yakılması				
			Saman	Saman	Tahıl bitkileri	Arazi çayırları	Saman (üç haftalık test)
<b>Termal giriş payı</b>	%	-	4.6	13.3	8.43	9.7	11
<b>Yakıt karışımındaki nitrojen içeriği</b>	mg/kg	9400	9200	8370	8640	8490	8900
<b>Ham gazdaki NO<sub>2</sub></b>	mg/Nm <sup>3</sup>	442	411	400	387	398	419
<b>SCR sonrası NO<sub>2</sub></b>	mg/Nm <sup>3</sup>	132	132	131	127	130	135
<b>ESP sonrası toz</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	17.7	19.6	36.5	26.9	43	85
<b>FGD sonrası toz</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	2.8	3.2	2.5	2.7	2.9	5.9
<b>Ham gazdaki SO<sub>2</sub></b>	mg/Nm <sup>3</sup>	2870	2800	2600	2733	3111	2842
<b>FGD sonrası SO<sub>2</sub></b>	mg/Nm <sup>3</sup>	125	125	119	110	138	116

Tablo 5.4: Atmofेरik emisyonlar: beş farklı birlikte yakma testi ve tek kömür yakmanın karşılaştırılması

Aşağıdaki sonuçlar, atmosferik emisyonların ölçümlerinden elde edilebilir:

- Ham gazdaki NO<sub>2</sub> konsantrasyonları, birlikte yakmaya bağlı olarak az miktarda azalabilir.
- ESP'nin artmasının ardından, baca gazındaki toz konsantrasyonu, büyük olasılıkla ince partiküllerin yüksek konsantrasyonlarına bağlı olarak, FGD işlemiyle tozun ayrıştırılması, temiz gazda düşük konsantrasyonu garanti eder.
- Biyomas yakıtının sülfür içeriği genel olarak, kömürde olduğundan yaklaşık 10 kat küçüktür. Bu yüzden SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında azalma gözlenebilir. HCl emisyonları, birlikte yakma işlemi için, yüksek miktarda klorür içeriğine bağlı olarak, yaklaşık 3 kat daha fazladır. Fakat emisyonlar, ELV'nin hala sadece %1'i kadardır. Halojenlerdeki artış, uzun vadede FDG'nin bölümlerinde de aşınmaya yol açabilir.
- PCDD/PCDF, tek bir kömür yakma işlemi ile çözülemez. Birlikte yakma işlemi için ölçülen değerler, tespit limitinin üzerinde az miktarda çeşitlilik gösterir. (0.001 – 0.002 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>).

Atık maddenin kalitesi (uçucu kül, kazan külü, alçı taşı, çamur) çok az miktarda etkilenir. Açık ocak şeklindeki madenlerde birlikte çıkarılan bu atıkların, sabitleştirilmiş materyal olarak çıkarımı, aynı zamanda birlikte yakma işleminde de mümkündür.

Üstelik, baca gazının derecesi, birlikte yakma koşulları altında, 5 ile 10 °C arasında yükselir ve küldeki yakılabilen madde payı % 8'i neredeyse ikiye katlar. Bu etmenler, buhar kazanı verimliliğinde azalmaya yol açar.

#### **B ünitesindeki atık odun parçalarının birlikte yakılması**

Burada, 1998 yılında yapılan deneyin sonuçları sunulmuştur. 370 saatlik operasyon sırasında yaklaşık 5400 ton atık odun parçacığı yakılmıştır. Toplam yakıt kütle alımında odun parçacıklarının payı %11.4 olarak hesaplanmıştır. Kömür ve odun parçacıklarının özellikleri ile odun parçacıklarındaki maksimum katkı maddesi konsantrasyonları Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

	<b>Üniteler</b>	<b>Kömür</b>	<b>Odun parçaları</b>
Kalorifik değer		16.4	13.3
Hacim yoğunluğu		0.95	0.24
Enerji yoğunluğu		15.6	3.2
Çentik boyutu	mm	-	1-60: 96% 60 – 100: 3% >100: <1%
<b>Azami katışıklık konsantrasyonları</b>			
B	mg/kg	-	30
C1	mg/kg	-	300
F	mg/kg	-	30
As	mg/kg	-	2
Cu	mg/kg	-	20
Hg	mg/kg	-	0.4
PCP	mg/kg	-	2
Benzo(a)piren	mg/kg	-	0.1

Tablo 5.5: kömür ve odun çentiklerinin özellikleri ile kömür çentiklerinde kabul edilebilir azami katışıklık konsantrasyonları

1999 yılında birlikte yama işlemi ile oluşan atmosferik emisyonlar, Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

	Ünite	% 7 O <sub>2</sub> 'de 199 yılında üç ayrı ölçümden alınan ortalama değerler
Toz	mg/Nm <sub>3</sub>	8
CO	mg/Nm <sub>3</sub>	35
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sub>3</sub>	117
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sub>3</sub>	103
Toplam karbon	mg/Nm <sub>3</sub>	2.3
HCl	mg/Nm <sub>3</sub>	1.1
HF	mg/Nm <sub>3</sub>	<0.1
Cd, Tl	mg/Nm <sub>3</sub>	0.001
Hg	mg/Nm <sub>3</sub>	0.002
PCDD/PCDF	ng TE/Nm <sub>3</sub>	0.0025

Tablo 5.6: Atık odun çentiklerinin birlikte yakılmasına yönelik ölçülen emisyon değerleri

Birlikte yakmaya bağlı olarak, metal ve dioksin/furanların emisyonları değişmemiştir.

**Ekonomi:** Biyomasın şekillenmesi için belirlenen fiyatlar, (EUR/MJ) kömür fiyatlarından yaklaşık dört kat fazladır. Odun parçalarının birlikte yakılması için artan giderler 0.7 milyon euro değerindedir. Odun parçalarının taşınması ve tesis için nakliyat giderleri ise, yaklaşık 8-10 t/EUR değerindedir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Biyomas kalıplarının birlikte yakılması, test edilmiş fakat düzenli bir sistemle yürütülmemiştir. Ancak, işlem için gereken ek giderler ve kömürün korunması, ekonomik şartlarda çalıştırılmasını gerektirdiğinden, atık odun parçacıklarının birlikte yakılması ortaya çıkar.

**Kaynak literatür:** [142, Schmidt and Dietl, 1999], [143, Kindler, et al., 2000].

### 5.2.3 Turba ve biyomas ile çalışan yeni büyük yakma tesislerinin çevresel performansı

#### ÖRNEK 5.2.3.1 BIYOMAS - (ODUN) YAKMAYA YÖNELİK DOLAŞIMLI ATMOSFERİK AKIŞKAN YATAK YAKMA BUHAR KAZANI

**Açıklama:** Tesis, 2 x 45 MW termal alıma sahip iki benzer ünite, 19,8 MWe 'lik geniş elektrik gücü ve 13 MWe 'lik elektrik güç ağından oluşmaktadır. Üniteler sırasıyla 1992 ve 1996 yıllarında inşa edilmiş; elektrik üretmek ve odun atıklarından ısı elde etmek için sunta fabrikalarında kullanılmışlardır. Baca gazı temizleme sistemi, toz ihracı için pulse-jet bez filtreden oluşur. NOx emisyon seviyelerine nispeten düşük sıcaklık değerleri, hava aşamalandırma (hava yakma girişi için 3 aşama) ve baca gazı devirdaimi yoluyla ulaşılabilir. Odundaki düşük sülfür içeriğine bağlı olarak, kirecin eklenmesine gerek yoktur. Termal benzin bu işlemden, ısı aktarımını sağlamakta kullanılır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Odunun yakılması ile neredeyse hiç CO<sub>2</sub> açığa çıkmadan işlem tamamlanır. (süre gelen ormancılık varsayıldığında) yakıt, sunta üretimi sırasında oluşan bir yan üründür ve bu yüzden daha uzağa taşınmasına gerek yoktur. Sadece odunların korunması ile arındırılan odunlar yakılmaktadır. Elektrik üretimi ve ısı prosesi toplamda %85 oranında enerji (yakıt) verimliliği sağlamaktadır. Az miktarlarda (0.3 m<sup>3</sup>/h; 2592 m<sup>3</sup>/yr 1999 yılında ) atık su oluşmaktadır ve belediyeye ait kanalizasyon sistemlerinde beslenir.

**Uygulanabilirlik:** Akışkan yatak yakma, yakılabilir özellikte olan çok çeşitli yakıtlara göre olması ile bilinir. Bu yüzden yakıtın yakılması ile ilgili hüçbür sınırlandırma olmamalıdır. Tesislerin sıkıştırılmış tasarımı nedeniyle, mevcut boş alan oldukça azdır.

**Çapraz medya etkileri:** Buhar kazanının çalışması ve ihracı, belli miktarda kül üretimini sağlar.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, 102589 MWh'e 'lik elektrik ağı ve 634223 MWh (= 74456 ton akım) değerinde ısı prosesi üretilmiştir. Aynı yıl, %15.8 oranında enerji verimliliği ve %68 termal verimliliğe ulaşılmıştır. Bu iki ünite çoğunlukla yüklem bölümlerinde sırasıyla 8021 ve 6031 saatlik işleminden geçmiştir

	İzleme	% 7 O <sub>2</sub> 'de ölçülen emisyonlar	
		Ünite 1	Ünite 2
O <sub>2</sub> içeriği (%)		5-5.5	6.5-7.5
Baca gazı hacmi (m <sup>3</sup> /s)		33153	86453
Toz (mg/Nm <sup>3</sup> )		4 <sup>1)*</sup>	2.2 <sup>1)*</sup>
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )		2.9 <sup>1)*</sup>	2.3 <sup>1)*</sup>
NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )		164 <sup>1)*</sup>	339 <sup>1)*</sup>
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )		147 <sup>1)*</sup>	178 <sup>1)*</sup>
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )		7.3 <sup>1)*</sup>	8.8 <sup>1)*</sup>
HF (mg/Nm <sup>3</sup> )		0.04	0.1
Dioksin/Furanlar (ng TEQ/m <sup>3</sup> )		0.013	0.006
Σ Cd, Ti (mg/Nm <sup>3</sup> )		0.004	0.003
Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )		0.001	0.001
Σ Ağır Metaller (mg/Nm <sup>3</sup> )		0.015	0.006
Toplam organik C (mg/Nm <sup>3</sup> )		2.0	2.0
<b>Notlar:</b>			
1) Yıllık ortalama değer			
* Günlük ortalama değerlere denktir			

Tablo 5.7: 1999 yılındaki hava emisyonları

İki ünite 360916 t/yr (25.8 t/h) odun, 170000 Nm<sub>3</sub>/yr doğal gaz, ve 3943 t/yr hafif fuel oil tüketmiştir. Odun parçaları ve odun tozları ile dolu iki ayrı ambardan odunlar yakma odasına verilir. Ortalama odun özellikleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Nitelik	Değer
Kalorifik değer (MJ/kg)	14.7
Kükürt içeriği (wt-%)	<0.1
Su içeriği (wt-%)	18
Kül içeriği (wt-%)	4

Tablo 5.8: Yakılan odunun özellikleri

Su boşaltımları (0.3 m<sup>3</sup>/h), kül soğutması ya da feed-su arındırması ile sonuçlanır. Nötralize etme işleminden sonra atık su kanalizasyona boşaltılır. İşlemden oluşan tek atık madde küllerdir.

	Kazanaltı külü	Uçucu kül
Nicelik (t/yr)	1314	7726
Spesifik Nicelik (g/kWh <sub>e</sub> )	13	75
Kullanım/Atım	Göçük kaplama (Pazar fiyatı: EUR 25/t)	Madencilik için dolgu malzemesi (Pazar fiyatı: EUR 50/t)

Tablo 5.9: 1999 yılında üretilen kül miktarları

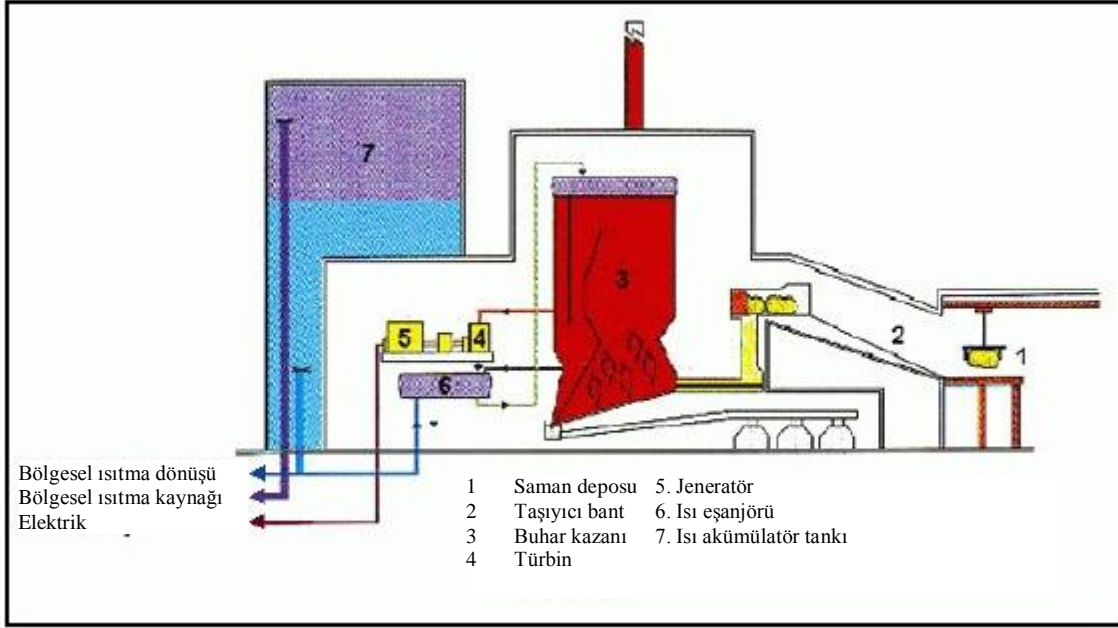
**Ekonomi:** Tüm tesis giderleri yaklaşık 51.3 milyon euro değerindedir. Akım üretiminin toplam fiyatı 8.46/t euro ve EUR 0.077/kWh<sub>el</sub> 'dir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Tesis inşa etmenin amacı, ürün atıklarının enerji jenerasyonunda kullanılmasını sağlamaktır.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### ÖRNEK 5.2.3.2 SAMAN YAKMAYA YÖNELİK BEZ FİLTRE VE ÖĞÜTÜCÜ BUHAR KAZANLI CHP TESİSİ

**Açıklama:** Danimarka'da yer alan bir tesis (A tesisi), ocak ızgarası ile çalışan pervaneli ıslak buhar kazanı alt depolayıcısı ve hava aşamalı akım sürücüsüdür. Izgara eğimli ve aynı zamanda da titreşimlidir. Tesis, Danimarka'daki saman yakan başka bir tesisin daha gelişmiş teknoloji kullanan yeridir (B tesisi). Tesisler arasındaki fark ise akım derecesinin buhar kazanında 520 °X 'den 540 °X 'ye yükselmesidir. A tesisine uygulanan farklı ısı derecesi, düşük basınçla sonuçlanan, ısı derecesinin 95 °X olduğu B tesisi ile karşılaştırıldığında, 85 °X 'tir bu yüzden daha yüksek elektrik verimliliği sağlanır. Elektrik verimliliğinde %10 oranında artış ile sonuçlanır. Tesisin toplam kapasitesi 10 MW<sub>e</sub> ve 20 MJ/s ısı değerindedir. Toplam ısı jenerasyonunun yıllık 400 TJ olduğu tahmin edilmektedir. Birlikte jenerasyon işlemi yoluyla, yakıt enerjisinden yararlanma, elektrik ve ısının yarı yarıya jenerasyonundan %30 daha fazladır. Bölgesel ısıtma ürünleri ısı ihtiyavının %90'ını karşılamaktadır. Yıllık saman tüketimi, yaklaşık 40000 ton'dur. Kış döneminde tam üretim ile günde yaklaşık 200 ton saman yakılmaktadır.



Şekil 5.9: Saman yakan yakma tesisi

**Sağlanan çevresel faydalar:** CHP tesisinin bir yararı da yakıttaki enerjinin daha iyi kullanılmasıdır. Tesis, %32'si sadece elektrik üretiminde olmak üzere enerjinin %92'sini kullanmaktadır. Samanın yakılmasının nötr CO<sub>2</sub> ile sonuçlandığı kabul edilmektedir. Danimarkalı çiftçilerin depoladıkları saman ve küller, tarım alanlarına gübre olarak geri dönmektedir. Tesis, toz azaltma sistemi ile donanımlıdır: bu da pulse-jet temizleme işlemi kullanan bez filtre ve teflon iplerle sıralanmış, Nomex filtresi ek materyalden oluşur. Bu yöntemle tozun %99'unu ihraç etmek mümkündür. Toz/uçucu kül parçaları daha sonra kazanaltı külünde karıştırılır ve gübre olarak kullanılır, uçucu külden kalan parçalar, kadmiyum içeriği nedeniyle boşaltılır. Tesis, NO<sub>x</sub> ya da SO<sub>2</sub> Azaltım ekipmanları ile donanımlı değildir.

Genel olarak, SO<sub>2</sub>'nin straw yakan yakma tesislerindeki varyasyonlarının, genel yıllık ortalamadeğeri 150 mg/Nm<sub>3</sub> ile 50 to 300 mg/Nm<sub>3</sub> (günlük ortalama değer) arasında olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. HC 1 emisyonlarında, yıllık ortalama değer 100 mg/Nm<sub>3</sub> iken, 50 to 300 mg/Nm<sub>3</sub> (günlük ortalama değer)'dir. Dioksin/furan'ın (PCDD/DF) emisyonu, 1 ng I-TEQ/Nm<sub>3</sub>'ten azdır. NO<sub>x</sub> emisyonları, straw yakan CHP tesislerinde 300 – 400 mg/Nm<sub>3</sub> (kuru, %6 O<sub>2</sub>, saatlik ortalama değer) arasındadır. Zorlayıcı çevre koşulları nedeniyle SCR donanımını uygulamanın ekonomik anlamda makul olduğu düşünülmektedir ve yakma türleri nedeniyle- ör: ızgara ateşlemeli- düşük NO<sub>x</sub> brülörleri makul değildir.

**İşletim verileri:** 2000 yılında, 27258 MWh<sub>e</sub> ve 267732 GJ üretilmiş; 433350 GJ saman tüketilmiştir. Tablo 5.10'da, saman yakan iki ayrı tesisten alınan veriler birlikte listelenmiştir. Ancak, Masnedo'daki (Danimarka) üretim bölümünde odun parçalarının yoğunluğuna dikkat edilmelidir. Emisyonlar, düzenli olarak ölçülmemektedir bu yüzden de Tablo 5.10'da belirtilen emisyon değerleri, örnek deneylere dayanmaktadır.

	Üniteler	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi
Başlangıç	Yıl	1989	1996	2000
Elektrik enerjisi (net)	MW	5.0	8.3	10.6
Isı çıkışı	MJ/s	13.0	20.8	20.3
<b>Buhar</b>				
Basınç	bar	67	92	93
Sıcaklık	°C	450	522	542
Maks. Akış	ton/s	26.0	43.2	43.2
<b>Bölge ısıtma suyu</b>				
Depolama tankı	m <sup>3</sup>	3200	5000	5600
<b>Baca gazı</b>				
Akış, maks	kg/s	9.9	14.0	14.0
Sıcaklık	°C	120	120	130
<b>Saman</b>				
Depolama	ton	350	1000	1000
Tüketim	ton/yıl	25000	40000	40000
Su içeriği	%	10-25	Maks 25	Maks 25
<b>Donanımlar</b>				
Filtre tipi		Bez fitre	Elek. Filtre	Bez filtre
		Sigar yakıcı	Stoker	
<b>% 6 O<sub>2</sub>'de emisyonlar</b>				
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	190-314	72-238	50-214
Toz	mg/Nm <sup>3</sup>	14	21-28	0.7-2
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	530-644	327-443	248-319
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	155-168	131-166	160-190
<b>Verimlilik</b>				
Verimlilik <sub>e1</sub>	%	25	28	32
Verimlilik toplam	%	86	91	92

Tablo 5.10: Üç Danimarka saman yakma bölümüne ait veriler

**Ekonomi:**

Veriler	Ünite	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi
Buhar kazanı tesisi maliyeti	DKK	100 milyon	240 milyon	240 milyon
Spesifik 1995-fiyatı	DKK/MW <sub>e</sub>	23 milyon	28 milyon	23 milyon

Tablo 5.11: Üç Danimarka saman yakma tesisinin maliyetleri

**Kaynak literatür:** [144, CBT, 1998], [145, Sander, 2000].



### ÖRNEK 5.2.3.3 SCNR VE BEZ FİLTRELİ ENDÜSTRİYEL DAĞITICI-YAKICI CHP TESİSİ

**Açıklama:** Burada açıklanan dağıtıcı-yakıcı teknik, Almaya'da ve Fransa'da işletilen neredeyse birbirinin aynı mukavva tesislerinin üç örneğiyle tanımlanmıştır. Tablo 5.12'de, üç tesisin bütün değerli parametreleri özetlenmiştir. Bu tesisler odun tortusunun ve odun tozunun değerlendirilmesi için temel olarak kullanılır ve mukavva üretimi için istenen ısıyı sağlar. Bu yüzden sürekli ve yüksek bir enerji isteği sağlanır.

	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi
Uygulama yılı	1994	1997	2000
Nominal termal giriş (MW)	50	73.5	57.7 (ızgara ateşleme, maksimum 28 MW odun toz brülörü ile gönderilmiştir) + 6.7 (Termo petrol buhar kazanları: odun tozu + ekstra hafif fuel oil)
Brüt elektrik gücü (MW)		16.6 (maksimal) 11 (yıllık ortalama)	13.3
Elverişlilik	İşletim ömrü Çevrim süreleri > 5000s Elverişlilik % 99.8	İşletim ömrü Çevrim süreleri > 5000s	İşletim ömrü Çevrim süreleri > 5000s
Maksimal nominal termal giriş (MW)		63	35 + 6.7
Toplam brüt enerji verimliliği (%)		96.6 max	c. 85%
Ana buhar parametreleri		450°C, 67 bar	455°C, 70 bar
Ana yakıtlar	Üretim kalıntıları, atık odun, demiryolu traversleri vb.		

Tablo 5.12: Üç örnek tesise ait teknik veriler

Tekniklerin aşağıdaki açıklaması, aksi belirtilmediği sürece, örnek üç tesisin hepsine yöneliktir. Dağıtıcı-yakıcı teknik, partikülleri içeri iten enjeksiyon ateşleyicisi yoluyla ızgara üzerinde eşit olarak yakıtın dağıtılmasıyla hava ile soğutulmuş hareketli ızgara ateşleyicisinde yakımdır. Büyük parçalar ızgara üzerinde sabit yatak yakmada eşit olarak yakılırken, küçük parçalar yakma odasının yukarısında akışkan yatakta ayrı ayrı tutuşturulur (bu yakıtın yaklaşık %50'sine uygulanır.). Bu, yüksek bir yakma verimliliği için iyi şartlar ve 4 – 5 saniyelik sonuçların ikame süresini sağlar. Bu yüzden, hava oranı azaltılabilir (işlenmemiş gazdaki O<sub>2</sub> içeriğinin %3'nden daha azı), bu da ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltır.

Akışkan yatağın oluşumu olasıdır, çünkü baca gazının hızı akışkan yatak yakımında oluşan hızla benzerdir. Akışkan yatağın oluşumu ayrıca düşük NO<sub>x</sub> yakımını destekleyen yakıt aşamalandırması anlamına gelir. Ayrıca, 1250 °C 'nin düşük seviyedeki azami sıcaklığı bu etkiyi destekler.

Havanın yarısı jet tablalar yoluyla enjekte edilir, diğer yarısı ise duvardaki ağızlıklar arasından yüksek basınçta üflenir. Böylece, dipteki sitokiyometrik şartlar altında ve aynı zamanda yüksek türbülansla aşamalı yakma gerçekleşir.

Dağıtıcı-yakıcı tesis geniş bir yakıt spektrumuyla şiddetli bir yakma ortaya çıkarır. En iyi şekilde kullanılan sıcaklık geri döndürülmüş yakıtın kontrollü enjeksiyonuyla sürdürülür. CO ve NO<sub>x</sub>'in eş zamanlı azaltımı için yakma odasının ideal adiyabatik sıcaklığı 1300 ile 1400 °C arasındadır.

Gerçekte ulaşılan sıcaklık bunun yaklaşık 150°C altındadır. Termal izolasyon için duvarcılıkla duvarların iç kaplaması gerekli değildir, bu ayrıca buhar kazanı cürufunun oluşmasını engeller ve bu yüzden yüksek işlemsel kullanım süresiyle sonuçlanır (>5000 h).

Aşındırıcı tozun yakımı için, C tesisine kurulmuş 4 adet pülverize yakıt brülörü vardır. Azami nominal termal giriş 28 MW'dir ve tıkaç püskürtme başlıklı brülörleri içerir. Bu ayrıca ekstra hafif fuel oil ile de yürütülebilir.

Isı temel olarak kıymıkların kurutulmasında kullanılır. B tesisinde, 26 t/h'ye kadar döner kurutucularda kurutulur, bu nemliliğin %60 ile 100'den %2'ye düştüğü anlamına gelir. Kurutma, 180°C'lik ısıtılmış tüp desteleriyle dolaylı yoldan gerçekleştirilir. Daha sonra, sıcaklık mukavvayı kurutmak ve birleştirmek için 240 °C de termo benzinle ısıtılmış uç eziciye yönlendirilir. Bu işlemde, yanma havası olarak geri dönen hava, su ve gaz giderme ürünlerinin karışımı oluşur ve böylece buhar kazanında ihtiyaç duyulan havanın %30'u kurtarılır. Bu tasarım, kurutucudan çıkan emisyonun yakılmasından sonra yüksek bir enerji verimi sağlar. Parçalanmış partiküllerin kurutulmasından çıkan egzoz havası kısmen buhar kazanlarına da uygulanabilir. Bütün tesisler partikül emisyonu için gerekli limit değerlerini karşılamak için torba filtrelerle donatılmıştır.

C tesisi tamamlayıcı bir SNCR tesisine uygundur. %25 NH<sub>3</sub> brikimiyle amonyum hidroksit azaltma ayırıcı olarak kullanılır. Bu paslanmaz çelik tankın üst kısmında depolanır. Bununla birlikte, C tesisi dağıtıcı olarak adsorbsiyon işlemiyle donatılmıştır. Bu birleştirilmiş kanal sorbenti enjeksiyonu (kuru adsorbsiyon), daha sonra bez filtreyle ayıracak olan baca gazı akışındaki sulu kireç (=adsorbent) ve aktif karbon/kola öğütülmüş karışımının enjeksiyonuna ihtiyaç duyulur.(dry adsorption). Bu zaman prosesi boyunca, toz, HCl, SO<sub>x</sub>, ağır metaller ve PCDD/F adsorbe edilir ve böylece baca gazından ayrılır. Bu nedenle, bütün odun atığı türleri bu tesiste yakılabilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Odunu biyoyakıt olarak kullanarak, neredeyse nötr bir CO<sub>2</sub> dengesi elde edilebilir. Gücün ve sıcaklığın eş zamanlı kullanılmasıyla, enerji veriminin tamamı %85 ilr 96.6 civarına ulaşabilir. Atık su buhar döngüsünün atık su arıtımından gelecek sadece küçük miktarlarda atık su ortaya çıkar.

Aynı zamanda, yakma teknolojisi ham gazdan elde edilebilecek NO<sub>x</sub> ve CO'nun düşük emisyonlarına olanak sağlar. SNCR ve kanal sorpsiyonu tesisleri torba filtreler gibi azatlım tedbirleriyle birleştirildiğinde, bütün kirletici madde türleri için çok düşük yoğunluklar elde edilebilir.

**Uygulanabilirlik:** Dağıtıcı-yakıcı teknik geniş bir yakıt kuşağı için uygundur, akışkan yatak teknolojisinin performansını aşar ve özellikle yüksek heterojen partiküller ve kirleticiler içeren yakıtlarla birlikte kullanılır.

Burada tanımlanan tesisler, özellikle mukavva ve MDF kereste endüstrisindeki uygulamalar için tasarlanmıştır ve odun tortularının faal değerlendirilmesinden ve ısı için sürekli istemden dolayı ekonomik olarak uygundur. Benzer özellikteki yerler için, bu teknolojinin uygulanması da makuldür.

**Çapraz medya etkileri:** Külün yüksek miktarı bu tesislerden kaynaklanır. Bununla birlikte, su arıtma atık su üretir. Ayrıca baca gazı temizleme tesislerinde kullanılan adsorbent çökeltilmelidir.

**İşletim verileri:** B tesisinden tahakkuk eden atmosferik emisyonlar Tablo 5.13'de gösterilmiştir.

	İzleme	İstatistik	Ölçülen değer (% 11 O <sub>2</sub> 'de)
Toz (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	Ortalama günlük değer	3.4 – 4.3**
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	Ortalama günlük değer	46.7 – 58.3**
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	Ortalama günlük değer	183.9 – 190.7**
C toplam (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	Ortalama günlük değer	1.1 – 1.2**
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	Ortalama günlük değer	8**
Hg (gaz) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	2 saatlik ortalama değerlerin ortalama günlük değeri	0.001**
Dioksin/furanlar (ng TEQ/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli numuneleme, Tek değerler	20 gün ortalaması	0.0019
PAH (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli numuneleme, Tek değerler	4 gün ortalaması	0.0003
Cd (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli numuneleme, Tek değerler	4 gün ortalaması	0.0005
As/Pb/Cu/Ni/Sn (partiküllerde) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli numuneleme, Tek değerler	4 gün ortalaması	0.053
As (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli numuneleme, Tek değerler	4 gün ortalaması	0.0005
Notlar: * tedbire yönelik değer ** Ocak 2001 yılındaki üç günlük ortalama değerlere dayalı aralar			

Tablo 5.13: 2000/2001 yılında ölçülen atmosferik emisyonlar

C tesisi için, 120000 t/yr odunun tüketimi tahmin edilmiştir. B tesisi için farklı türde yakıtlar Tablo 5.14'te listelenen miktarlarda kullanılmaktadır.

Yakıt	Odun tozu	Mukavva parçaları	Ambalajlama/yüklemeden kaynaklı odun kalıntıları	Özel yakıtlar	Kereste	Biyomas taneleri
Toplam yakıt tüketimine katkı	% 30	% 10	% 10	Max % 20	Değişken	Değişken, yaklaşık 15000 t/yr

Tablo 5.14: Farklı yakıt türlerinin B tesisindeki toplam yakıt tüketimine katkısı

Parçaların ebatı 100 mm'nin altında olmalıdır. Buna rağmen, birkaç parça 250 mm kadar olabilir. Bu limit, taşıma bandı gibi taşıma aletleri tarafından belirlenir. Çökeltici yardımıyla yakıtların hazırlanması için, EUR 0.5/t 'lik maliyet 60 MW'lik bir tesis için verilmiştir. Biriken buhar kazanı külü ve uçucu kül inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır.

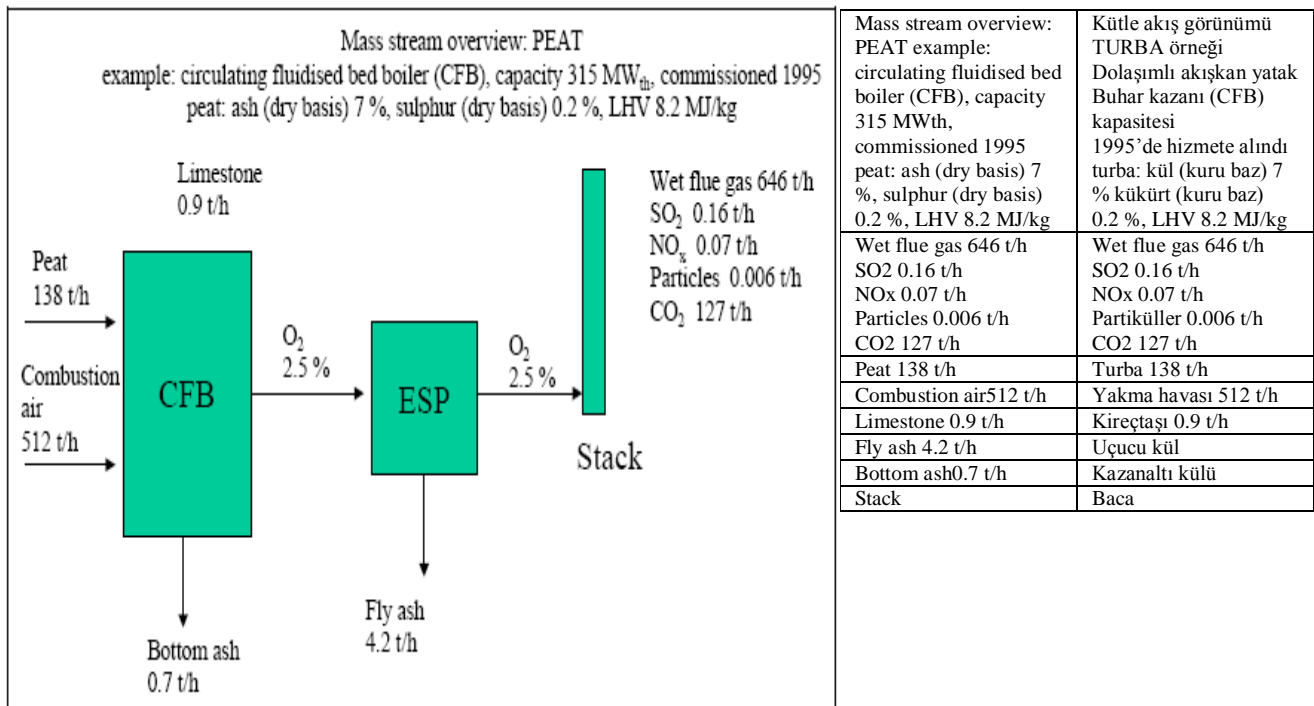
**Ekonomi:** B tesisi için yatırımın EUR 36 milyon olarak belirlenmiştir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Yan ürünlerin tekrar kullanılma ihtimali ve odun tortularının ekonomik olarak uygun bir yolla saklanmasına duyulan ihtiyaç.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001], [101, Vaget, 2001], [102, Fischer, 2000], [78, Finkeldei, 2000].

## 5.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

### 5.3.1 Kütle akışına yönelik genel açıklama



Şekil 5.10: Turba ile çalışan CFBC buhar kazanının kütle akış örneği  
[58, Eurelectric, 2001]

### 5.3.2 Büyük yakma tesislerinde kullanılan turba ve biyomasa ilişkin genel açıklama

#### 5.3.2.1 Biyomas

Biyomas, LCP Direktiflerinde enerji içeriğini yenilemek amacıyla yakıt olarak kullanılabilir ormanlıktan ya da tarımdan kalan herhangi bir parça ya da tüm bitki maddesinden oluşan ürünler olarak tanımlanır ve aşağıdaki biyoyakıtlar yakıt olarak kullanılır.

- Ormanlıktan ve tarımdan kalan bitki kalıntıları
- Gıda işleme endüstrisinden çıkan bitki kalıntıları
- İşlenmemiş kağıt hamuru üretiminden ve kağıt hamurundan kağıt üretiminden alınan bitki parçaları
- Tıpa atıkları
- Tabakalarla ve koruyucularla arındırma sonucunda halojenleştirilmiş organik bileşikler ve ağır metaller içerebilecek ve özellikle yapı ve yıkım atıklarından kaynaklanan odun atıklarını içeren odun atıkları haricinde odunlar

Yukarıda listelenmiş yakıtlar genellikle ‘atıklar’ olarak da değerlendirilir ve Atık Yakma Direktifi’nin (WID) dikkate alınması gerekir. Bu özellikle bazı kriterlere göre sadece WID’in haricinde bırakılan bazı atıklar için önemlidir. En büyük önemi işlenmiş kağıt hamuru üretiminden ve yapı/yıkımdan çıkan kirlenmiş odun atıklarının kullanımından kaynaklanan bitki atıkları istisnalarıdır. WID böyle atıkların yakılmasında uygulanır ve yöneticiler/düzenlemeciler böyle düşünceler herhangi bir izinde tam olarak tanınmalıdır. Atıkların yan yakımı için kaynak bu belgenin 8. Bölüm’ünde verilmiştir.

Ağaç kabuğu, odun parçası, karton, sunta ya da kağıt hamuru veya kereste atıkları gibi biyomaslar, yüksek miktarda su içerir ve özel olarak tasarlanmış sloping ızgaralarda (eski bir yöntem) yakılır, buhar kazanları yayıcı-depolayıcı sistemle donanımlıdır ya da akışkan yatak içindedir. Ağaç kabuklarının ve diğer odun türlerinin kimyasal bileşenleri farklı olmasına ve kirli/katı miktarının, kül içeriğinin bileşenlerini etkilemesine rağmen biyomas; ormancılık ve orman endüstrisinden çıkarılmaktadır ve geniş anlamda, belli yaygın yakıt niteliklerine sahiptir. Sülfür içeriği az ve kül içeriği ortadır. (Tablo 5.15) ör: turba ile birlikte yakıldığında odun külü, turbadan sülfür ile tepkiyebilir ve desülfürize eden etken olarak kullanılabilir. Daha yakın deneyler üzerinde, yakıtın nemliliği ve yoğunluğunun farklılıkları önemli ölçüdedir ve bunlar, yakıtın taşınması ve ya yakma işlemlerini etkileyebilir. Tüm bu ayrıntılar, depolama, taşıma, yakma ve baca gazı arındırma işlemleri belirlenirken hesaba katılmalıdır.

	Tomruk kalıntı parçaları	Tüm odun parçaları	Tomruk parçaları	Kök parçaları	Yumuşak tahta kabukları	Huş ağacı kabuğu	Odun kalıntı parçaları	Testere kalıntı parçaları	Testere tozu	Freze parçaları	Öğütücü parçaları	Taneler
<b>Nem içeriği wt-% (taze parçalar)</b>	50-60	45-55	40-55	30-50	50-65	45-55	10-50	45-60	45-60	5-15	5.-15	10
<b>Kuru maddede net kalorifik değer MJ/kg</b>	18.5-20	18.5-20	18,5-20	18.5-20	18.5-20	21-23	18.5-20	18.5-20	19-19.2	19-19.2	19-19.2	19.2
<b>Alınan net kalorifik değer MJ/kg</b>	6-9	6-9	6-10	6-11	6-9	7-11	6-15	6-10	6-10	13-16	15-17	16.8
<b>Alınan hacim yoğunluğu, kg/seyrek m<sup>3</sup></b>	150-300	250-350	250-350	200-300	250-350	300-400	150-300	250-350	250-350	80-120	100-150	500-750
<b>Enerji yoğunluğu, hacim MWh/m<sup>3</sup></b>	0.7-0.9	0.7-0.9	0.7-0.9	0.8-1.0	0.5-0.7	0.6-0.8	0.7-0.9	0.5-0.8	0.45-0.7	0.45-0.55	0.5-0.65	2.3
<b>Kuru maddede kül içeriği wt-%</b>	1-3	1-2	0.5-2	1-3	1-3	1-3	0.4-1	0.5-2	0.4-0.5	0.4-0.5	0.4-0.8	6.2-6.4
<b>Kuru maddede hidrojen içeriği wt-%</b>	6-6.2	5.4-6	5.4-6	5.4-6	5.7-5.9	6.2-6.8	5.4-6.4	5.4-6.4	6.2-6.4	6.2-6.4	6.2-6.4	6.2-6.4
<b>Kuru maddede kükürt (S) içeriği wt-%</b>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<b>Kuru maddede nütrojen (N) içeriği wt-%</b>	0.3-0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5

Tablo 5.15: Farklı tür katı odun yakıtlarının ortalama özellikleri [60, Alakangas, 1998]

Kağıt hamuru ve kağıt değirmenleri tarafından ve ısıtma tesislerinde kullanılan ortaya çıkan biyomas sınıfı, diğer ormancılık işlemleriyle bağlantılı olan yakıt için özel olarak toplanan ormancılık tortusudur, Ör: küçük ağaçlar, ağaç tepeleri ve dalları. Deneycilik, yakıtta özel çeşitli söğüt türlerinin büyümesiyle 20 yıldan fazla bir süredir sürmektedir. Çoğunlukla toplama ve nakliye maliyetleri yüzünden ve sonuç olarak bugüne kadar sadece önemsiz miktarları hali hazırda LCPLerde kullanıldığı için , bu yakıtların ekonomisi pek iyi değildir.

Aslında kullanılan ormancılık tortularının küçük miktarları, özellikle turba ya da ağaç kabuğu tortusuyla çalışan FBC tesislerinde olmak üzere mevcut kurulumlarda genellikle diğer yakıtlarla birlikte yakılırlar. Buna rağmen, turba ya da ağaç kabuğu için tasarlanmış FBClerde bile tüm ormancılık biokütlesi yanma için otomatik olarak uygun değildirlir.

Saman, tahılın tarımsal üretimin bir tortusudur ve aslında yıllık saman üretiminin çoğu tarımsal sektör içinde tüketilir. Saman fazlası ya küçük bölge ısıtma üreten buhar kazanlarında ya da 40 MW<sub>e</sub>'ye kadar olan daha büyük CHP tesislerinde enerji üretimi için kullanılır. Saman, geleneksel güç tesislerinde güç ve ısıya dönüştürülür fakat samana özgü özellikler yüzünden birçok teknik konu göz önünde bulundurulmalıdır. Samanın nispeten yüksek klor içeriği, süper ısıtıcı yüzeyi üzerinde ciddi korozyona sebep olabilir.

Kullanılan diğer biyomas yakıtları zeytin çekirdekleri, titrek kavak kabuğu, kauçuk ağaçları. Tüm bu yakıtlar nispeten yüksek baz (Na,k) içeriğine sahiptirler.

### 5.3.2.2 Turba

Turba, İrlanda'daki ve Finlandiya'daki LCPLer için yakıt olarak önemlidir. turba, yakıt olarak Finlandiya'da , 1970lerin başlarında başlangıç enerji girişinin %0.1'lik payıyla oldukça önemsizdi , fakat artan ithal yakıt fiyatlarıyla turba, 1998'de %16'lık LCP yakıtların payıyla ve başlangıç enerji girişinin %6'lık payıyla güçlü bir pozisyon kazandırır. Finlandiya'da , büyük yakma tesislerindeki turba tüketimi 1.81 Mt'ydi , yani kullanılan toplam LCP yakıtın %16 sıydı. İrlanda'da , 2001 yılında termal bir güç tesisinde kullanılan yakıtın yaklaşık %11'i için 2.9 Mt turba olarak hesaplandı.

Turba, Finlandiya'nın her kısmında meydana gelen ekonomik turba üretimine yetecek kadar derin ve büyüktürler ve sadece küçük bir bölümleri patlatılır çünkü ekonomik ölçüde turba için talep bulunmamaktadır. Turba, kuru maddelere sırasıyla %5 ve %0.5 civarındaki düşük kül ve kükürt içerikleriyle karakterize edilmiş nispeten temiz bir yakıttır. Turba yüksek değışken bir içeriğe sahiptir ve eğer nem miktarı %40'ın altına düşerse (tablo 5.16'ya bakınız) , çok reaktiftir. Büyük alan kullanımı için, mayıstan ağustos'a kadar üretilen ve üretim bölgesinde güneş ve rüzgarla %45-60 'a kadar kurutulan ve sonuç olarak üretim bölgesinin yanına depolanan haddelenen turba olarak kullanılırlar. Yüksek nem içeriğine gelince, turba linyitle kıyaslanabilir fakat kuru maddeye gelince biokütleyle linyitten daha yakındır.



	İstım kazanı kömürü <sup>1</sup>	Haddelen en turba	Kabuk	Odun <sup>2</sup>	Ağır fuel oil	Doğal gaz
Nem %	10	50	55	40	0.5	<0.1
Kuru madde kül %	14	3-6	2-3	0.4	<1	0.0
Kuru yakıtta uçucu madde %	25 – 35		70 – 80	80 – 90		
Kuru maddede kükürt %	<1	0.5	<0.2	0.05	<1	0.0
Yakıt nitrojen bileşikleri %	1	1.7	0.5	0.5	0.3	0.05
C1 (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	<0.1		<0.03	<0.01		
As (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	0.14	0.1	0.01	0.01	0.04	
Cd (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	0.15	0.004	0.015	0.01 – 1.1	-	-
Hg (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	0.003	0.003	0.1	0.001 -0.009	<0.0001	-
Ni (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	0.4	0.3	0.04	0.03	0.9	-
Pb (mg/MJ yakıt LHV) <sup>3</sup>	0.5	0.3	0.15	0.1 - 0.7	0.06	-
Yakıt hacim yoğunluğu (kg/Nm <sup>3</sup> )	1350	350	350	200	987	
Yakıt hacim LHV (GJ/Nm <sup>3</sup> )	34.3	2.9	2.5	2.1	40	
Kuru madde LHV (MJ/kg)	28.7	20	19	19	40.2	48
Düşük ısıtma değeri (LHV) (MK/kg)	25.5	8.4	7.2	10.4	40.1	48
Stoikiyometrik baca gazı (Nm <sup>3</sup> /MJ)	0.278	0.383	0.435	0.357	0.277	0.297
CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /kWh)	0.253	0.281	0.291	0.259	0.246	0.239
CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /MJ) (LHV)	476.1	658.8			402.5	172.8
Güç üretilen ısı oranı (kWh/kWh) (LVH)	90	106-118	113	100	76	54
Elektrik kWh başına yayılan CO <sub>2</sub> (g/kWh)	2.3	2.3-2.7			2.3	1.8
	207	244			175	96

**LHV – düşük ısıtma değeri**  
**Notlar:**  
1) Polonya ihraç kömürü  
2) Odun parçaları  
3) Sadece büyüklük sırası rakamları

Tablo 5.16: Haddelenen turbanın normalde LCP'lerde kullanılan diğer fosil yakıtlar ile karşılaştırılması [59, Finnish LCP WG, 2000]

Turba düşük kalorifik değerli bir hacimli yakıttır. Yani, 100 km'den fazla olan mesafeler üzerinde nadiren ekonomik olarak nakledilebilir. Sonuç olarak, turba yakan tesislerin sayısı, küçük alanlı yerel ortak üretim ya da küçükken orta bölgesel ısıtma sistemi için tesisler sıcaklığını kapsar. Finlandiya'daki bu tesislerin büyük kısmı 50 MW'lık yakıt girişinin altındadırlar ve büyük yakma tesisleri olarak değerlendirilmezler. Buna rağmen, enerji alanında turba yakıtın en büyük tüketicisi LCP ortak üretimini ve 50000'den 200000'e kadar nüfuslu olan şehirlerdeki (çoğunlukla dahili) bölge ısıtma sistemlerinde bulunan ısıtma tesislerini kapsar. Genelde, bölge ısıtma sektörü 1998'de turbanın 0.86 Mt'sini tüketmiştir, endüstriyel ortak üretim ile ısıtma tesisleri 0.58 Mt tüketmiştir ve 155 ve 120 MW<sub>e</sub>'li iki turba yakarak sıvılaştırma tesisleri 0.40 Mt tüketmiştir.

### 5.3.3 Biomas ve turbayla çalışan yakma tesislerinin verimliliği

Daha önce de bahsedildiği gibi, çoğu turbayla ve biokütleyle çalışan güç tesisleri CHP tesisleridir. Elektriğin ve ısının ortak üretimi, yakıtta bulunan enerjinin tüm avantajını kullanmasını sağlar ve tesis verimliliği yüksektir(%85-90). Ortak üretim tesislerinin enerji verimliliği (yakıt verimliliği) seviyesini, genel temelde belirlenmesi zordur. Verimlilik, ısı yükleme ile ısı yüklemesindeki değişiklikler ve fiyat seviyesi ile pazardaki elektrik ihtiyacı, uygulanan teknoloji vb. olan oldukça önemli bölgeye özel konulardır. Ekonomik olarak esnek olunduğu her an, ör: daha basit sadece ısı tesisinin yerine daha pahalı ortak üretim tesisinin inşasını maruz görmek için, yerel ısı talebinin yeterince yüksek olduğu zamanlarda, ortak ısı ve güç üretimi teknik bir seçenek olarak değerlendirilmelidir.

Akışkan yatak yakmaya dayanan biyomas ya da turbayla çalışan sıvılaştırıcı güç tesisleri, genellikle boyut olarak kömürle çalışan tesislerden daha küçüktürler ve buhar derecesi ile basıncı gelişmiş kömürle çalışan güç tesislerinininkinden çok daha düşüktür. Biyomas ve turbayla çalışan FBC güç tesislerinin ısı oranı seviyeleri 3.3-3.6 civarındadır (güç tesisi verimliliği % 28-30). Fakat, sadece birkaç tane tesis bu tek güç üretim yakıtlarıyla çalışırlar. Pülverize turba yakmaya gelince, Finlandiya'da pülverize bir turba buhar kazanında %38-39'luk verimlilik seviyelerine ulaşılmaktadır.

### 5.3.4 Hava emisyonları

#### 5.3.4.1 Biyomasla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları

Biyomas tesislerinin emisyonları, temel olarak yakıtın ve baca gazı uygulamasının bileşimine bağlıdır, fakat (Nox hariç) yakma teknolojisine ya da boyutuna bağlıdır. Nox emisyonları da ayrıca yakma özelliklerine ve DENOX sisteminin varlığına bağlıdır. Eureka Nox emisyonlarının 300 – 400 mg/Nm<sub>3</sub> arasında olduğunu, toz seviyelerinin 10 – 50 mg/Nm<sub>3</sub> arasında olduğunu ve ayrıca turba yakma için, turbayla ya da biokütleyle çalışan yeni tesislerin SO<sub>2</sub> seviyelerinin 200 – 400 mg/Nm<sub>3</sub> olduğunu bildirmiştir.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )						Düşünceler	
			SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl		NH <sub>3</sub>
50-100	GF (dağıtıcı- yakıcı)	SNCR/ FGD(ds)/FF		179-191	0.7-4.6	39-75		7.7-9.4		Dioksinler 0.0014 ngTE/Nm <sup>3</sup> PAH 0.003 mg/Nm <sup>3</sup> Cd 0.005 mg/Nm <sup>3</sup> As/PB/Cu/Ni/Zn 0.053 mg/Nm <sup>3</sup> Toplam Karbon 1.1 – 1.4 mg/Nm <sup>3</sup>
	ABC	FF	2.3-2.9	164-339	2.2-4	147-178	0.04-0.1	7.3-8.8		Dioksin 0.006 – 0.013 ngTE/Nm <sup>3</sup> Cd+Tl 0.003 – 0.004 mg/Nm <sup>3</sup> Hg 0.001 mg/Nm <sup>3</sup>
100-300	ABC	FF	10	90	10	150		5		Dioksin 0.008 ngTE/Nm <sup>3</sup> PAH 0.1 mg/Nm <sup>3</sup> PCB 11 mg/Nm <sup>3</sup>

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme) **PC** (Pülverize kömür yakma) **AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma) **PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)  
**FGD(w)** (Islak baca gazı kükürt giderme) **FGD (sd)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme) **FGD(ds)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)  
**ESP** (Elektrostatik presipitator) **FF** (Bez filtre) **Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)  
**SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı) **SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 5.17: Biyomas ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları (veriler spesifik biyomas yakıtını temsil eder ve mutlaka temsili olmayabilir)

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Elektrik verimliliği (%)	Yakıt verimliliği (%)	Spesifik hava emisyonları (mg/MJ)					
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl
50-100	GF									
	AFBC									
100-300	AFBC	Pm (aşamalı hava)/ESP			6	57	9			
>300										

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme) **PC** (Pülverize kömür yakma) **AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma) **PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)  
**FGD(w)** (Islak baca gazı kükürt giderme) **FGD (sd)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme) **FGD(ds)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)  
**ESP** (Elektrostatik presipitator) **FF** (Bez filtre) **Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)  
**SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı) **SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 5.18: Biyomasla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı spesifik hava emisyonları

## 5.3.4.2 Emissions to air from peat-fired combustion plants

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )						Düşünceler	
			SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl		NH <sub>3</sub>
50-100	GF									
	PC									
	AFBC									
100-300	PC									
	AFBC	FF	10	90	10	150		5		Yakıt (% 50 turba ile % 50 kabuk) Dioksin 0.008 ngTE/Nm <sup>3</sup> PAH 0.1 mg/Nm <sup>3</sup>
	AFBC	ESP	330-450	300-350						
>300	PC									
	AFBC		540-620	900-1000						

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme) **PC** (Pülverize kömür yakma) **AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma) **PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)  
**FGD(w)** (Islak baca gazı kükürt giderme) **FGD(sd)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme) **FGD(ds)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)  
**ESP** (Elektrostatik presipitör) **FF** (Bez filtre) **Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)  
**SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı) **SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 5.19: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Komb. Tek.	Emisyon azaltım tedbirleri	Elektrik verimliliği (%)	Yakıt verimliliği (%)	Spesifik hava emisyonları (mg/MJ)					
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	HF	HCl
50-100	GF									
	PP									
	AFBC									
100-300	PP									
	AFBC	Pm (Aşamalı hava)/kireçtaşı/ESP			136	99	2			
>300	PP									
	AFBC									

Notlar:  
**GF** (Izgara ateşleme) **PC** (Pülverize kömür yakma) **AFBC** (Atmosferik akışkan yatak yakma) **PFBC** (Basınçlı akışkan yatak yakma)  
**FGD(w)** (Islak baca gazı kükürt giderme) **FGD(sd)** (Sprey kurutucu ile baca gazı kükürt giderme) **FGD(ds)** (Kuru sorbent enjeksiyonu ile baca gazı kükürt giderme)  
**ESP** (Elektrostatik presipitör) **FF** (Bez filtre) **Pm(..)** (NO<sub>x</sub> azaltacak birincil tedbirler)  
**SCR** (Selektif katalitik NO<sub>x</sub> azaltımı) **SNCR** (Selektif katalitik olmayan NO<sub>x</sub> azaltımı)

Tablo 5.20: Specific emissions to air from peat-fired combustion plants

### 5.3.5 Yakma ve diğer tesis tortuları

#### **Biyomas ve turba küllerinin özellikleri**

Turba külünün mineral içeriği kumlu toprağın bileşenleriyle çok benzerdir. Kireç taşı, bataklıkların oluşturulduğu şeye dayandığı için, İrlanda'da turba külü bir yakıt olarak kullanıldığında %25-55 CaO içerir. Turba kalitesinin belirleyici etken olmasına rağmen, kullanılan yakma tekniğinin üretilen külün özelliği üzerinde etkisi vardır.

Turba külü, turbanın içindeki mineral maddesinden oluşturulur. Akışkan yatak yakmadaki dip külü de ayrıca yakma çemberinden yatak külünü içerir.

Turba uçucu külü, değişken silis, alüminyum oksit ve demir oksit (%65-75) partiküllerini içeren ince bir tozdur. Diğer büyük çeşitler, alkali ve toprak alkali materyalinin (%10-55) bileşenleri ile yanmamış turba partikülleridir(%0-5). Turba bataklık alanlarının altında yatan kireç taşı temeli nedeniyle, İrlanda'da turba külü %25-55 CaO kapsar. Uçucu kül de ayrıca metaller gibi iz elementlerini kapsar.

#### **Kireç taşı enjekteli yakmadan kaynaklı kül**

Kireç taşı enjekteli akışkan yatak yakmadaki kül, destülfirizasyonun ürün sonunu, tepkimemiş kalsiyum oksidi ve kireç taşı (yaklaşık 15 wt-%) kapsar.

#### **Külün çözünürlüğü**

Uçucu küldeki iz elementlerinin çözünürlüğü, potansiyel çevresel etkiler değerlendirildiği zaman önemli bir etkidir. Alkali ve toprak alkali metalleri (ör: sodyum, potasyum) bor ve klorür gibi diğer mineral elementleri en çözünür bileşenlerdir. Küldeki iz metalleri suda başarısızlıkla çözünürlerdir.

### 5.3.6 Potansiyel gürültü emisyonu kaynakları

İşlem boyunca gürültü endüstriyel değişmez gürültüyle aynıdır. Turba/biyomasla çalışan güç tesisindeki büyük gürültü kaynakları, türbinler, jenaratörler, buhar kazanları, pompalar, fanlar ve güçlendiriciler ile turba/biyomas taşıma işlemleridir. Bunların çoğu binaların içinde bulunmaktadır, bu yüzden gürültüduvar yapılarıyla azaltılır. İşlemsel gürültü, yapısal araçlar ile sınırlanabilir, ö: tamamen örterek ya da susturucular kullanarak.

Pülverize yakıt buhar kazanlarında kömürle ortak yakma için, saman kesmeye gerek duyulduğunda, özel tedbir alınmalıdır. Saman kesmenin iyi bir yolu da , değirmenler (yüksek ses seviyesine sahiptir) kullanılmaktadır. Brülöre yapılan sonraki pnömatik nakliyelere özel ilgi gösterilmelidir.

#### **5.4 Biyomas ve turba yakmaya yönelik MET'in belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler**

Bu bölüm, emisyonları önleme ya da azaltmak için ve termal verimliliği arttırmak için MET'in belirlenmesinde değerlendirilen teknikleri sunar. Hepsi hali hazırda ticari olarak mevcuttur. Bu bölümde, değerlendirilecek teknikler sadece genel olarak tanımlandı, fakat tekniklerin çoğu için daha ayrıntılı tanımlar Bölüm 3'te bulunmaktadır ve gerçek bir durumda uygulandığında bu tekniklerin çevresel performansını ayrıntılarıyla göstermek için Bölüm 5.2'de bazı tekniklerin örnekleri gösterilmektedir. Prensip, Bölüm 3'te tanımlanan genel teknikler biokütle ve turbanın büyük ölçüdeki yakması da uygulanırlar ve genelde MET belirlemede değerlendirilen teknikler olarak görülmelidirler. Daha ayrıntılı tanımlar için, bölüm 3'e bakınız.

Bu belgede tekrarlardan kaçınmak için, Bölüm 3.15'teki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) bakınız.

## 5.4.1 Yakıt boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Biyomas ve turbanın ulaşım ve taşınması</b>							
Bez filtreli kapalı aktarım taşıyıcıları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Rüzgar korumalı açık taşıyıcılar	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Açık taşıyıcı bantlar sadece yumru materyaller (odun parçaları) için düşünülebilir
Biyomas ve turbanın toz kaldırma amacıyla bez filtre ile donatılmış kapalı bir binaya boşaltılması	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Taşıma bantlarına yönelik temizleme cihazları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
<b>Biyomas, turba ve katkı maddelerinin depolanması</b>							
İnce tozlu yakıt materyallerinin kapalı alan veya silolarda depolanması	İnce partikülün azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Farklı kalitede biyomas yakıtlarının ayrı depolanması	Dengeli yakma koşulları	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Kireç/kireçtaşının toz kaldırmalı silolarda kapalı depolanması	İnce partikülün azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Drenaj sistemli kapalı yüzeyler	Toprak ve yüzey suyu kontaminasyonunun önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Atık su arıtımına yönelik ekstra maliyet	Toplanan drenajın durultma havuzunda arıtılması gerekir
Yumruklulu odunların açık depolanması için rüzgar korumaları	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Amonyak su çözümü olarak depolanması	Yüksek emniyet	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Basıncılı sıvı amonyak olarak depolamadan daha az emniyet riski	Mevcut değil	

Tablo 5.21: Yakıtın boşaltım, taşıma ve depolanmasına yönelik teknikler

## 5.4.2 Yakıt ön artımına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimi	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
Yakıt kurutma	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Sınırlı deneyim	Artan verimlilik	İlave kurutucu maliyeti	Düşük değerde ısı yakıt enerjisini yükseltmek üzere güç proseslerinden üretilebilir. Buhar kurutucuları en fazla verimliliğe sahiptir
Biyomas gazlaştırma	Artan tesis verimliliği ile daha düşük emisyon seviyeleri Gaz NOx emisyonunu azaltmak üzere yeniden yakma yakıtı olarak kullanılabilir	Mümkün ancak şu ana dek sadece demonstrasyon ve pilot tesislerde uygulanmıştır	Mümkün ancak şu ana dek sadece demonstrasyon ve pilot tesislerde uygulanmıştır	Sınırlı deneyim		Küçük ölçekte pahalı	Orta vadede, özellikle % 51 – 55’lik beklenen elektrik verimliliği bağlamında gazlaştırma normal yakmaya geçerli alternatif olma potansiyeline sahiptir
Kabuk presleme	Artan yakma verimliliği	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Suya yüksek BOD salınımları ve yüksek enerji kullanımı ile bakım		

Tablo 5.22: Yakıt ön artım teknikleri

## 5.4.3 Yakma teknikleri

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimi	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan yakıt verimliliği, Daha az yakıt tüketimi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Mevcut değil	Yüksek yakıt verimliliği (% 75 - 90) nedeniyle turba ve biyomas günümüzde en fazla kullanılan ısı ve enerji üretimidir
Izgara ateşleme	Saman gibi farklı biyo- yakıtlar için değişir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Dağıtıcı-yakıcı gezici ızgara	Düşük emisyon (yani NOx) seviyeleri ile yüksek yakıt yakımı	Mümkün	Mümkün	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Akışkan yatak yakma (BFBC ve CFBC)	Düşük emisyon (yani NOx) seviyeleri ile yüksek yakıt yakımı	Mümkün	Mümkün	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	Bugün biyomas ve turbaya yönelik temel yakma tekniğidir
Pülverize turba yakma	İyi ekserjetik verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Mevcut değil	

Tablo 5.23: Yakma teknikleri



## 5.4.4 Verimliliği artıracak teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uyulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Mevcut değil	Normalde yaklaşık % 25 civarında olan elektrik verimliliği ile kıyaslandığında yüksek yakıt verimliliği (% 75 - 90) nedeniyle turba ve biyomas günümüzde çoğunlukla birleşik ısı ve güç üretiminde kullanılır
Türbin pervanelerinin değiştirilmesi	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Buhar türbin pervaneleri düzenli bakım araları sırasında üç boyutlu pervanelere dönüştürülebilir
Rejeneratif besleme suyu ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Çok sınırlı	Yeni ve bazı mevcut tesislerde uygulanmıştır	Yok		Rejeneratif besleme suyu ısıtma uyarlaması özel durumlarda da mümkündür
Kabuk presleme	Artan yakma verimliliği	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Suya yüksek BOD salınımı ve yüksek enerji kullanımı ile bakım	Mevcut değil	
Yakıt Kurutma	Artan verimlilik, potansiyel biyomas yakıtlarına yönelik genişleme, daha emniyetli kullanım	Mümkün	Mümkün	Sınırlı			Yeni teknik alternatifler geliştirilmektedir. Kurutma sistemlerinin uygulanması turba veya enerji odunu gibi yaş yakıtlar ile yakıt tüketiminde % 10'luk bir tasarruf sağlayabilir. Birçok alternatif teknoloji ticari olarak mevcuttur. Yaş biyomasların hasat, depolama ve taşınması daha emniyetlidir. Bu nedenle yakıt yakılmadan hemen önce kurutulduğunda birçok fayda sağlanabilir

Tablo 5.24: Verimliliği artıracak teknikler

## 5.4.5 Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
Bez Filtre	Özellikle ince toz (PM 2.5 ve PM 10) gibi partikül at emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Yeni bir bez filtrenin yatırım maliyeti ESP'ninkinden düşüktür ancak işletim maliyetleri yüksektir	
ESP	partikül at emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	

Tablo 5.25: Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

5.4.6 Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Birincil tedbirler</b>							
Biyomas ve turbanın birlikte yakılması	SO <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> emisyonlarının kaynağında azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Daha yüksek N <sub>2</sub> O emisyonları	Yakıt tipine bağlıdır	
Turba ile çalışan FCB buhar kazanlarına (BFBC ve CFBC) kireçtaşı enjeksiyonu	SO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Yatırım rakamları örnek 5.2.1.1'de sunulmuştur	
<b>İkincil tedbirler</b>							
Sprey kuru gaz yıkayıcı	SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz emisyonlarının azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Araziye doldurulması gereken tortular	Yatırım rakamları örnek 5.2.1.1'de sunulmuştur	
Ek odacık veya ESP'den önce kuru formda kalsiyum hidroksid enjeksiyonu	SO <sub>2</sub> , HF, HCl, toz emisyonlarının azaltımı (aktif karbon ile kombine edilmiş ise)	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Düşük SO <sub>2</sub> seviyeleri küle yönelik kullanım imkanlarının daha düşük olacağı anlamına gelir. Yüksek Ca/S oranları ESP'lerle toplanan yan ürün miktarına fazla ilave ve yan ürün kalitesinin büyük ölçüde değişmesine yol açar	Mevcut değil	Sadece BFBC ile CFBC'ye yönelik fırın enjeksiyonu.

Tablo 5.26: Turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

5.4.7 NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Birincil tedbirler</b>							
Düşük fazla hava	NO <sub>x</sub> , CO ve N <sub>2</sub> O azaltımı, ayrıca artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	NO <sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı küldeki yanmamış karbon seviyesini yükseltir	Tesise özgü	
Aşamalı yakma	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Hava aşamalandırma (OFA)	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	küldeki yanmamış karbon seviyesini yükseltir	Tesise özgü	
Baca gazı resirkülasyonu	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	küldeki yanmamış karbon seviyesini yükseltir	Mevcut değil	Standart düşük NO <sub>x</sub> brülörleri turba için mevcut değildir
<b>İkincil tedbirler</b>							
Amonyak veya üreli Selektif Katalitik olmayan Azaltım (SCNR)	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Tesise özgü	
Selektif Katalitik Azaltım (SCR)	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Tesise özgü	

Tablo 5.27: NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 5.4.8 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Cüruf yıkama ve taşıma</b>							
Filtreleme veya sedimentasyon ile kapalı su devresi	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Demineraller ve kondensat parlatıcılarının rejenerasyonu</b>							
Ters osmoz	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
İyon alış verişi	Deminerallerize suyun yaklaşık % 15 – 50' sine kadar atık su tahliyesinde azalma	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Sulu çamurun sudan arındırılması gerekir	Tesise özgü	
<b>Elutriasyon</b>							
Nötralizasyon		Sadece alkalın çalışması sırasında		Yüksek		Tesise özgü	
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcı ve presipitatörün yıkanması</b>							
Nötralizasyon ve kapalı devre çalışması veya kuru temizleme metotları ile değiştirme	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Yüzey akıntı suyu</b>							
Sedimentasyon veya kimyasal arıtma ve dahili yeniden kullanım	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	

Tablo 5.28: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 5.4.9 Yakma kalıntılarının taşıma, azaltım ve yeniden kullanılmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Külün depolama, taşıma ve boşaltımı</b>							
Kazanaltı ve uçucu külün ayrı depolanması	Farklı kül fraksiyonlarının yeniden kullanılmasında daha esneklik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Kapalı silolarda depolama	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Büyük torba veya silo kamyonlarında taşıma	Kaçak toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
<b>Biyomas külünün kullanımı</b>							
Çok düşük ağır metal içerikli biyomas külünün gübre olarak kullanılması	Yakma kalıntılarının yeniden kullanılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Çok yüksek ağır metal içeren ince biyomas külünü kaba külden ayırmak genel uygulamadır. Sadece kaba kül gübre olarak kullanılabilir (besleyici içeriği ve toprak parametrelerine göre)

Tablo 5.29: Yakma kalıntılarının taşıma, azaltma ve yeniden kullanımı

## 5.5 Biyomas ve turba yakımına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET)

Bu bölüm ve içeriğinin anlaşılması amacıyla okuyucunun ilgisi belgenin önsözüne özellikle önsözün beşinci kısmına çekilmiştir: ‘Bu belge nasıl anlanır ve kullanılır’. Bu kısımda sunulan teknikler ve ilgili emisyonlar ve/veya tüketim seviyeleri veya seviye ranjları aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlanan bir süreçle değerlendirilmiştir:

- Sektöre yönelik önemli çevresel hususların - ki bunlar hava ve su emisyonları, termal verimlilik ile yakma tortularındır – tanımlanması
- Bu önemli konulara hitap eden ilgili tekniklerin incelenmesi
- Avrupa Birliği’nde ve dünya çapında mevcut veriler bazında en iyi çevresel performans seviyelerinin tanımlanması
- Bu tekniklerin hayata geçirilmesi ile ilgili olan maliyet, çapraz medya etkileri temel itici güçler gibi performans seviyelerinin erişildiği koşulların incelenmesi
- Direktif Ek IV ve Madde 2(11)’e göre genel anlamda bu sektör için ilgili emisyon ve/veya tüketim seviyeleri ile mevcut en iyi tekniklerin (MET) seçilmesi

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili Teknik Çalışan Grup(TWG) ‘un uzman görüşü , bu adımların her birinde ve bu bilginin burada sunulma biçiminde anahtar rolü oynamışlardır.

Bu değerlendirme temelinde, teknikler ve mümkün mertebe MET kullanımı ile ilgili olan emisyon ve tüketim seviyeleri bir bütün olarak sektöre uygun olduğu kabul edilen ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıtan bu kısımda sunulmuştur. ‘Mevcut en iyi teknikler ile ilgili’ emisyon veya tüketim seviyeleri sunulduğu hallerde, bu sunulan seviyelerin MET tanımı içerisinde bulunan maliyet ve fayda dengesi göz önünde bulundurularak açıklanan tekniklerin bu sektörde uygulanmalarının bir sonucu olarak beklenebilecek çevresel performansı temsil ediyor olduğu anlaşılmalıdır. Ancak bunlar ne emisyon ne de tüketim sınır değerleridir ve bu şekilde anlaşılmamalıdır. Bazı durumlarda daha iyi tüketim ve emisyon seviyelerine erişmek teknik açıdan mümkün olabilir ancak ilgili maliyetler ile çapraz medya değerlendirmeleri nedeniyle bir bütün olarak sektör için uygun MET olarak değerlendirilemezler. Yine de bu seviyelerin özel itici güçlerin mevcut olduğu daha spesifik durumlarda ispat edildiği kabul edilebilir.

MET kullanımı ile ilgili emisyon ve tüketim seviyeleri belirtilen herhangi bir referans koşulu (örneğin; ortalama periyotları) ile birlikte anlaşılmalıdır.

Yukarıda açıklanan ‘MET ile ilgili seviyeler’ kavramı bu belgede başka bölümlerde kullanılan ‘erişilebilir seviye’ ifadesinden ayrılmalıdır. Özel bir teknik veya teknikler kombinasyonu kullanılarak bir seviyenin ‘erişilebilir’ olarak açıklanması durumunda, bu; bahsedilen teknikler kullanılarak iyi durumda bakılan ve işletilen tesis veya süreçte belirli bir zaman dilimi içerisinde o seviyeye erişilmenin beklenebileceği anlamına gelmelidir.

Maliyetler ile ilgili veriler mümkün hallerde önceki bölümlerde sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler ilgili maliyetlerin büyüklüğüne ilişkin kaba bir gösterge sunarlar. Ancak bir tekniğin uygulanmasının asıl maliyeti örneğin vergi, harç ve ilgili tesisin teknik özellikleri gibi özel durumlara bağlıdır. Bu sahaya özgü faktörlerin burada tam olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Maliyetlere ilişkin verilerin olmaması durumunda, tekniklerin ekonomik kapasitesine ilişkin değerlendirmeler mevcut tesislerde yapılan gözlemlerden elde edilir.

Bu kısımdaki genel MET mevcut bir tesisin halihazırdaki performansına karar verme veya yeni bir tesis teklifine karar vermede bir referans noktası olarak düşünülmüştür. Bu suretle tesise yönelik uygun 'MET-temelli' koşulların belirlenmesine veya Madde 9(8) kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesis edilmesine yardımcı olacaklardır. Yeni donanımların burada sunulan genel MET seviyeleri veya bunlardan daha yüksek seviyelerde faaliyet gösterecek şekilde tasarlanabilmeleri öngörülür. Ayrıca her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğine tabi olarak mevcut donanımların genel MET seviyelerinin ötesine geçebilmeleri de düşünülmektedir.

BREF'ler yasal bağlayıcı standartlar koymamakla birlikte endüstri, Üye Ülkeler ve kamuya belirli teknikler kullanılırken erişilebilir emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin kılavuz bilgiler sunmaları amaçlanır. Herhangi bir özel duruma ilişkin uygun sınır değerlerinin yerel hususlar ile IPPC Direktifi hedefleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15.1'deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.



### 5.5.1 Biyomas, turba ve katkı maddelerin boşaltım, depolama ve taşınması

Biyomas, turba; kireç, kireçtaşı, amonyak vb. gibi katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınması sırasında yayılmayı önlemek için kullanılan MET, Tablo 5.30'da özetlenmiştir.

Malzeme	Kirletici veya diğer etkiler	
Biyomas ve turba	<b>Toz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Özellikle ince ahşap materyal ve kuru turba depolarken Kaçak toz oluşumunu azaltmak üzere stok üzerine konulan yakıt yüksekliğini en aza indireyecek yüklenme ve boşaltma ekipmanının kullanılması</li> <li>• Depolama alanlarında kaçak toz oluşumunu azaltacak su sprey sistemleri</li> <li>• Turbanın nem içeriği tesise taşınması sırasında en az % 40 olmalıdır. Bu yakıttan kaynaklı kaçak tozları ortadan kaldırır ve kendi kendine tutuşma halinde yangın hızını düşürür</li> <li>• Araçlar ve diğer ekipmanın uğrayabileceği hasarın önlenmesi için aktarma tertibatının emniyetli zemin seviyesinden yüksek açık alanlara yerleştirmek</li> <li>• Kaçak toz oluşumu en aza indirmek amacıyla taşıma bantları için temizleyici cihazlar kullanma</li> <li>• Kuru turba ve tozlu biyomasa yönelik, toz emisyonlarını önlemek amacıyla taşıma aktarım noktaları üzerindeki iyi tasarlanmış güçlü ekstraksiyon ve filtreleme ekipmanı ile kapalı taşıma bantları kullanmak</li> <li>• saha içerisinde toz üretim ve taşınımını en aza indirecek taşıma sistemlerini modernleştirme</li> <li>• Tasarımı iyi ekipman ile birlikte yapım uygulamaları ve yeterli bakım kullanımı.</li> </ul>
	<b>Su kontaminasyonu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaj, drenaj toplama ve su arıtmalı kapalı alanlarda depolamaya sahip olmak</li> <li>• Partikülleri sürükleyen biyomas ve turba depolama alanlarından yüzey akıntısını (yağmur suyu) toplama ve bu toplanan akıntıyı tahliye öncesi arıtma.</li> </ul>
	<b>Dengeli yakma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dağıtılan samanın kalite kontrollerini yürütmek ve daha sonra verileri merkezi lojistik bilgisayarına kaydetmek</li> <li>• Çeşitli biyomas türünün birlikte yakılması durumunda, yakıt karışımının yakıtların kalitelerine göre kontrol edilebilmesi için iki veya daha fazla depolama sisteminin bulunmasını temin etme.</li> </ul>
	<b>Yangın önleme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kendi kendine tutuşma ile meydana gelen yangınları saptamak ve risk noktalarını belirlemek üzere otomatik sistemler ile kömür ve linyit depolama alanlarını inceleme.</li> </ul>
<b>Kireç ve kireçtaşı</b>	<b>Toz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toz emisyonlarını önlemek için dağıtım ve taşıma aktarım noktaları üzerinde iyi tasarlanmış güçlü ekstraksiyon ve filtreleme ekipmanlı silolar, kapalı taşıyıcılar ve pnömatik aktarım sistemlerine sahip olmak</li> </ul>
<b>Saf sıvılaştırılmış amonyak</b>	<b>Amonyaka göre sağlık ve emniyet riski</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıvılaştırılmış saf amonyağın taşıma ve depolanması için: 100 m<sup>3</sup>'den büyük sıvılaştırılmış saf amonyak basınç rezervuarı çift katman inşa edilmeli ve yeraltına yerleştirilmelidir. 100 m<sup>3</sup> ve daha küçük rezervuarlar tavlama imal edilmiş olmalıdır</li> <li>• Emniyet açısından, amonyak-su çözeltisinin kullanımı sıvılaştırılmış saf amonyak depolama ve taşınmasından daha az risklidir.</li> </ul>

Tablo 5.30: Kömür, linyit ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET

### 5.5.2 Yakıt ön arıtma

Uygulamada odun için biyomasın ön arındırma işleminde, sabit yakma koşullarını garanti etmek, küldeki yanmamış yakıt miktarını ve böylelikle turba emisyonunu azaltmak amacıyla, odunun boyutuna ve kirliliğine bağlı sınıflandırma, MET olarak değerlendirilir. Kullanılan odunun kirli olması ihtimaline karşı odunun kirlilik türünü ve güç tesisine ulaşan her yükleme için kirlitici maddenin analitik bilgisini belirleyecek olan MET'dir. Turba ile çalışan güç tesislerinde termal verimliliği arttırmak için kullanılan kurutma sistemi MET olarak değerlendirilir. Su miktarını azaltmakta ve böylelikle de turba ile çalışan buhar kazanlarında termal verimliliği arttırmakta, turbanın toplanma alanı üzerinde, ara depolama yoluyla turbanın kurutulma işlemi de MET olarak değerlendirilmektedir.

### 5.5.3 Yakma

Biyomas ve turbanın yakılması için; pülverize yakma, akışkan yatak yakma (BFBC ve CFBC) olduğu kadar, odun için yayıcı depolayıcı ızgara ateşlemeli yöntem ve saman yakma işlemi içinse titreşimli, su soğutuculu ızgara, MET olarak değerlendirilir.

Emisyon azaltımını destekleyen artırılmış yakma koşulları ile yüksek buhar kazanı performanslarına ulaşmakta kullanılan modern bilgisayarlı kontrol sistemleri de MET olarak değerlendirilir.

Biyomas ızgara ateşleme sistemleri için, yayıcı-depolayıcı portatif ızgaralar da MET sonuçları arasında yer almaktadır çünkü, nitrojen oksit ( $\text{NO}_x > 200 \text{ mg/Nm}^3$ ) ve karbon monoksit emisyonları genellikle düşüktür. Saman yakma işlemi için titreşimli su soğutuculu ızgaraların kullanımı sırasında akım derecesi, aşınmayı kontrol edebilmek amacıyla yaklaşık  $500^\circ\text{C}$ 'nin altında tutulmalıdır. Pülverize turba yakma tesisleri, düşük termal verimlilikleri dolayısıyla henüz MET olarak değerlendirilememektedir.

### 5.5.4 Termal verimlilik

Hem turba ile çalışan yakma tesislerinde sera gazlarının ve özellikle  $\text{CO}_2$  yayılımlarının azaltılması, hem de termal enerjinin bir ünitesinde üretmek için gerekli olan yakıt( bu anlamda biyomas)'ın azaltımı için, günümüz koşulları açısından bakıldığında en uygun seçenek; termal verimliliği arttırmakta işlemsel tedbirler ve yöntemler kullanmaktır.

Turba ve biyomas yakan güç tesisleri için enerji verimliliği; ısı oranı (yakıt alım enerjisi/güç tesisisi sınırından enerji çıkışı) ve burada ısı oranının tersi olan, üretilen enerji/yakıt alım enerji oranı gibi, güç tesislerinin verimlilikleri olarak değerlendirilir. Yakıt enerjisi daha düşük ısı değeri olarak ölçülmektedir.

Biyomas ya da turba yakan tesisler için ısı ve gücün (CHP) birlikte jenerasyonu, enerji (yakıt) verimliliğini arttırmakta bu güne kadarki en önemli teknik ve ekonomik yoldur çünkü biyomas ya da turba yakan tesisler için elektrik verimliliği genelde düşüktür (%20 – 30). Bu bağlamda birlikte jenerasyon, bu yüzden ekonomik olarak makul, en önemli MET ölçümüdür, örneğin, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan durumlardan biri olan yerel ısı talebinin birlikte jenerasyon tesisin yapısını garanti edecek kadar yüksek olması gibi.

Tesisin MET koşulları altında çalıştırılması ile ilgili ekserjetik verimliliğin, %40- 42 arasında olduğu kabul edilmektedir. MET birlikte jenerasyon tesisinin (CHP) yakıt verimliliğinin, ısı oranına 1.3- 1.1 arasında karşılık veren %75- 90 oranında olduğu kabul edilmektedir. Bu MET seviyelerine tüm çalışma koşulları altında ulaşamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji verimliliği, tesisin ulaşabileceği en yüksek tasarım noktasındadır. Tesisin çalışma periyodu süresince elde edilen gerçek enerji verimlilikleri, yakıt kalitesi vb. gibi işlem sırasındaki yüklemeye bağlı değişiklikler dolayısıyla daha düşük olabilir. Enerji verimliliği ayrıca, güç tesisinin soğutma sistemine ve baca gazı temizleme sisteminin enerji tüketimine bağlıdır.

Mevcut tesislerin termal verimliliğinin artırılması için çok sayıda iyileştirme teknikleri uygulanabilir. Örneğin yakma verimliliği, nem seviyesinin azaltılması için biyoyakıtları ön arındırma işlemiyle genişletilebilir. Nem içeriğinde % 60-40 oranında azalma, termal verimliliğe %10 artış sağlayabilir. Kömürle çalışan tesislerde biyomasın birlikte yakılması da yüksek oranda enerji verimliliği ile sonuçlanabilir.

Genel olarak, verimliliği arttırmak için aşağıdaki tedbirler de göz önünde bulundurulmalıdır:

- Yakma: katı atıklarda ve yakma sonrasında oluşan atık maddelerin içeriğindeki yanmamış gaz ve elementlere bağlı ısı kaybının en aza indirilmesi
- İşlem ara akımının mümkün olan en yüksek basınç ve sıcaklık değeri
- Soğutucu suyun (taze su soğutma) sıcaklığının mümkün olan en düşük derecesi yoluyla son akım türbininin düşük basıncında mümkün olan en yüksek basınç düşüşü
- Baca gazı yoluyla (artan ısıdan yararlanma ya da bölgesel ısıtma) ısı kaybını en aza indirme
- Cüruf yoluyla ısı kaybını en aza indirme
- İzolasyon ile iletim ve radyasyon yoluyla ısı kaybını en aza indirme
- Buharlaştırıcının scorification'ı, besleme su pompalanması gibi uygun tedbirler olarak içi enerji tüketimini en aza indirme
- Buhar kazanı besleme suyunu akım ile ön ısıtma
- Turbinlerin geliştirilmiş pervane geometrisi

MET tedbirlerinin uygulanması ile ilgili enerji verimliliklerinin (yakıt) seviyeleri, Tablo 5.31'de özetlenmiştir.

Yakıt	Komb. Tek.	Ünite termal verimliliği (net) (%)	
		Elektrik verimliliği	Yakıt verimliliği (kojenerasyon, CHP)
Biyomas	Izgara ateşleme	Yaklaşık 20	75 – 90 Spesifik tesis uygulaması ve ısı ile elektrik talebine bağlı olarak  Kojenerasyon (CHP) yüksek yakıt verimliliği sağlayacak en önemli MET tedbiridir ve ısı talebi yeterince yüksek olduğunda değerlendirilmelidir.
	Dağıtıcı-yakıcı	>23	
	FBC (CFBC)	>28 – 30	
Turba	FBC (BFBC ve CFBC)	>28 – 30	

Tablo 5.31: Met tedbirlerinin uygulanması ile ilişkilitermal verimlilik seviyeleri

### 5.5.5 Toz

Biyomas veya turba yakan yeni ve mevcut yakma tesislerinde, çıkan gazların tozdan arındırılması için MET'in, bez filtreli ek odacıkların ya da elektrostatik presipitatörlerin (ESP) kullanımını sağladığı kabul edilmektedir. Bu yolla, biyomas gibi düşük sülfür içeren yakıtların kullanılması sırasında ESP'nin potansiyel azaltma performansı, düşük baca gazı sülfür dioksit konsantrasyonları ile azaltılmaktadır. Bu bağlamda yaklaşık 5 mg/Nm<sup>3</sup> toz emisyonuna yol açan FF, toz emisyonlarını azaltmakta tercih edilen en iyi yöntemdir.

Siklonlar ve mekanik toplayıcılar tek başlarına MET değildirler, fakat baca gazında ön temizleyici olarak kullanılabilirler. Tozdan arındırma ve emisyon seviyeleri ile ilgili MET sonuçları, Tablo 5.32'de özetlenmiştir. İnce partikülleri (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) azaltmak ve ağır metallerin emisyonunu en aza indirmek için, ilgili toz seviyelerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir çünkü toz seviyeleri daha ince toz partikülleri üzerinde tercihen çoğalmaya yatkındırlar.

MET'in ilgili emisyon seviyeleri, günlük ortalamaya, standart koşullara ve %6 oranında O<sub>2</sub> seviyesine bağlıdır; ve genel yükleme durumunu temsil ederler. Tepe yükü için; başlatma ve kapatma dönemleri olduğu kadar, baca gazı temizleme sistemlerinin işlemsel problemleri ve daha yüksek olması beklenen kısa dönem tepe seviyeleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz-emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	İzleme	Uygulanabilirlik	Düşünceler
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler				
50-100	5-20	5-30	FF/ESP	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bez filtre kullanımı ile ilişkili azaltım oranının % 99.95 veya daha fazla olduğu kabul edilir. Bu nedenle biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinde toz gidermede ilk MET seçeneği sayılır</li> <li>ESP kullanımı ile ilişkili azaltım oranının % 99.95 veya daha fazla olduğu kabul edilir.</li> </ul>
100-300	5-20	5-20	FF/ESP	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	
>300	5-20	5-20	FF/ESP	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler	
Notlar: <b>ESP</b> (Elektrostatik presipitator) <b>FF</b> (Bez filtre)						

Table 5.32: MET for dedusting off-gases from biomass and peat fired combustion plants

### 5.5.6 Ağır metaller

Yakıtın mineral içeriği, orijinlerine bağlı olarak farklı maddelerden oluşur. Biyomas ve turba, orijinlerine bağlı olarak farklı maddelerden oluşabilirler. Biyomas ve turba, ağır metaller gibi iz elementlerin belli konsantrasyonlarına sahiptirler. Ağır metallerin yakma işlemindeki tutumları, karmaşık kimya ve fizik işlemlerini gerektirmektedir. Ağır metallerin çoğu temel olarak, yakma işlemlerinde buharlaşır ve daha sonra partikülât maddenin (uçucu kül) yüzeyi üzerindeki işlemlerde yoğunlaşır. Bu yüzden, biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinde baca gazından çıkan ağır metallerin emisyonunu azaltmakta kullanılan MET; tozdan arındırmada kullanılan MET aşamalı sisteminde bez filtrenin ilk seçenek olarak kullanıldığı bez filtrenin (azalma oranı > 99.95 %) ya da yüksek performanslı ESP'nin (azaltma oranı > 99.5 %) kullanımını sağlamaktadır.

### 5.5.7 SO<sub>2</sub> emisyonları

Turbadaki sülfür içeriği genelde düşüktür ve odun biyomas neredeyse hiç sülfür içermez. Odun bazlı biyomaslar bu yüzden, FBC'lerde kükürt arıtma işleminden geçmeden yakılabilir. SO<sub>2</sub> emisyon seviyeleri de bu yüzden sadece yakıttaki sülfür içeriğine bağlıdır ve genel olarak 50 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> = 6 %) 'in altındadır.

Turbanın, yüksek sülfür içeriği ya da diğer yakıtlarla biyomas /turbanın birlikte yakılması işlemiyle örneğin: kömür, temel ve ikinci tedbirler (yakıt karışımına bağlı olarak) aracılığıyla SO<sub>2</sub> azaltımı gibi yollarla yakılması, MET olarak değerlendirilir.

Günümüzde, yeni ve daha küçük boyutlarda LCP kazanları (ör: <100 MW<sub>th</sub>), akışkan yatak yakma işlemleri sürekli olarak uygulanmaktadır. Bu kazanlarda, ıslak desülfürizasyon teknikleri MET ve kuru enjeksiyon işlemi (yatağa kireçtaşı ya da dolomit aklenerek desülfürizasyon yerinde) olarak kullanılmak için oldukça pahalı olan bu sistemler, aynı emisyon seviyelerine ulaşmakta yeteri kadar etkili olabilirler. Bez filtre ya da ESP'den önce kuru halde kalsiyum hidroksit enjeksiyonu ile de yüksek azalma oranına ulaşılabilir. Fırında, kalsiyum oksit aktivasyon yıkayıcı ile birlikte kireç taşı enjeksiyonu da, bazı durumlarda oldukça etkili olabilir. Bu tedbirler aynı zamanda hidroklorik asit gibi diğer zararlı emisyonları da ihraç edebilir. MET kullanımı ile ilgili HC seviyesinin 25 mg/Nm<sub>3</sub>'ten az olduğu kabul edilmektedir.

Turba ile çalışan FBC kazanlarında desülfürizasyon dereceleri, kömürle çalışan FBC kazanlarında olduğundan çok daha düşüktür. Orta seviyedeki Ca/S oranları ile desülfürizasyon (i.e. 3 – 5); turba ile çalışan hem CFBC, hem de BFBC sistemlerinde %30- 40 arındadır. Desülfürizasyon BFBC kazanlarında, yüksek Ca/S oranlarında dahi, %45'ten fazla yükselmez. CFBC'de ise, ulaşılabilen en yüksek desülfürizasyon derecesi %80'dir fakat, son ürün ve yüksek fiyatlar sebebiyle ortaya çıkan problemler dolayısıyla,, MET olarak değerlendirilemez. Yüksek desülfürizasyon (ör: > %80) sağlayan CFBC'de MET, ikinci tedbirin kullanımını gerektiren, fırın içine sorbent enjeksiyonu birleşimi ile sağlanmaktadır.

Birçok FBC kazanlarında, turba ve farklı türlerde odun biyomasları (testere talaşı, odun parçacıkları vb.) birlikte yakılmaktadır. Bu yüzden, turba ve biyomasın birlikte yakılması SO<sub>2</sub> ve aynı zamanda turba ile çalışan yakma tesislerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının azatılmasında, bir başka MET seçeneği olarak kullanılabilir. Odun ve turbanın birlikte yakılması sırasında turbadaki sülfürlerin bazılarının odun külü ile tepkimeye girmesi ve FBC kazanlarında ek bir desülfürizasyon etkeni olarak rol alması da karşılaşılan durumlardandır. kömürün biyomas ile birlikte yakılması ile ulaşılabilen SO<sub>2</sub> seviyeleri bir ölçüde kömürün sülfür içeriğine ve birlikte yakma seviyesine bağlıdır.

Desülfürizasyonun MET sonuçları ve turba yakımının ilgili emisyon seviyeleri, Tablo 5.33'te özetlenmiştir. MET'le ilgili emisyon seviyeleri günlük ortalamaya, standart koşullara ve %6 oranında O<sub>2</sub> seviyesine bağlıdır; genel yüklenme durumunu temsil ederler. Tepe yüklemesi için, başlatma ve kapatma periyotları olduğu kadar, baca gazı temizleme sistemleri ve daha yüksek olması beklenen kısa dönem tepe değerlerinin işlemsel problemleri göz önünde bulundurulmalıdır.



### 5.5.8 NO<sub>x</sub> emisyonları

Genel olarak, biyomas ve turbayla çalışan yakma tesisleri için, birincil ve/veya ikincil tedbirlerin (SNCR ve SCR gibi) bir kombinasyonu kullanılarak nitrojen oksitlerin (NO<sub>x</sub>) azaltımının MET olması düşünülmüştür. Söz konusu nitrojen bileşikleri, özellikle FBC buhar kazanları için diazot monoksitin (N<sub>2</sub>O) emisyonu ve NO<sub>x</sub> olarak ortaklaşa bahsedilen nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), ve nitrojen oksit (NO) biyoyakıtın özellikle odun içerikli biyoyakıtın ızgara yakımı için, dağıtıcı yakıcı teknik (hava ile soğutulmuş hareketli ızgara ateşleyici de yakma gibi), NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için MET olarak düşünülmüştür.

Turbayla çalışan pülverize yakma tesisi için farklı birincil tedbirlerin kombinasyonu MET olarak ele alınmıştır. Bu örneğin, baca gazı geri dönüşümü, aşamalandırılmış yakma (hava aşamalandırma) ve tekrar yakma, etc. gibi diğer birincil tedbirlerle kombinasyonda gelişmiş düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin kullanımı anlamına gelir. Biyoyakıt veya turba yakan FBC buhar kazanlarında, MET hava dağıtımı yoluyla ya da baca gazı geri dönüşümü yoluyla elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonu düşüştür. BFBC ve CFBC yakımından çıkan NO<sub>x</sub> emisyonlarında küçük bir fark vardır. Turba ve biyoyakıtla elde edilen en düşük emisyon değeri CFBC buhar kazanları ile elde edilmiştir, fakat her iki teknik de (BFBC ve CFBC) son zamanlarda hiçbir fark bulunmadan düşük emisyon değerleri geliştirmiştir. FBClerde turba ve biyoyakıt yakımı için birincil NO<sub>x</sub> emisyonu azaltımı yöntemleri kullanılırken ilgili emisyon değerleri : BFBC için 180 – 260 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub>= 6 %), ve CFBC için 155 – 260 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub>= 6 %)’dir. Nispeten daha büyük diziler temel olarak yakıttaki nitrojen içeriğinin varyasyonuna (%0.7 – 2.5 turba için) ve buhar kazanının ebatına bağlıdır. Buhar kazanlarında kireçtaşı enjeksiyonu yoluyla desülfürizasyonun NO<sub>x</sub> emisyonunu 10 – 25 mg/Nm<sub>3</sub> (O<sub>2</sub>= 6 %) ile arttırdığı bildirilmiştir.

Ek olarak, fırınlara amonyak ve üre katılarak gerçekleştirilen selektif katalitik olmayan azaltım (SNCR) MET’ın bir parçasıdır. SNCR tekniğiyle amonyak slip’ten kaçınmak için, düşük bir SCR katalizörü tabakası buhar kazanının tasarruf bölmesinde kurulmalıdır. Bu katalizör amonyak slip’i azaltırken, ayrıca aynı miktarda NO<sub>x</sub> emisyonunu da azaltır. CFBC buhar kazanlarında SNCR + SCR kombinasyonunu kullanarak, 5 mg/Nm<sub>3</sub>’ün altındaki amonyak siple 50 mg/Nm<sub>3</sub>’lük bir NO<sub>x</sub> emisyonu elde edilebilir.

Birincil tedbirlerin kullanımının yanı sıra, SCR NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılma ihtimallerinden biri olarak ve bu yüzden MET’ın bir parçası olarak görülür. Samanla çalışan tesisler için, SCR’nin uygulanması, potasyum bileşiklerinin oluşumundan kaynaklanan hazlı katalizör zehirlenmesi nedeniyle mümkün olmayabilir. SCR 90’ların ortasında tanıtıldı ve şu anda enerji sektöründe SCR ile işletilen biyoyakıtla çalışan altı buhar kazanı bulunmaktadır. Bunlardan 5’i yan oluşum için akışkan yataklardır (CFBC/BFBC) ve birisi de yan oluşum için küçük bir ızgaradır (40 MW – turba ve biyoyakıt karışımı). Bütün FBC buhar kazanları için, SNCR ve SCR’nin (yüksek - toz) kombinasyonunu uygulamak uygundur. Izgara sadece bir SCR2ye (düşük – toz) sahiptir. Genel olarak SCR’den sonra NO<sub>x</sub> emisyonu 30 mg/MJ’nin (<90 mg/m<sub>3</sub>) altındadır.

NO<sub>x</sub> emisyonunun kontrolü ve engellenmesi için ve ilgili emisyon seviyeleri için MET sonucu Tablo 5.34’te özetlenmiştir. MET’la ilgili emisyon seviyeleri günlük bir ortalamaya, standart koşullara ve %6’lık O<sub>2</sub> seviyesine bağlıdır ve tipik bir yük durumu sergiler. Turba yükü için, baca gazı temizleme sistemlerinin işletimsel sorunları, daha yüksek olabilecek kısa süreli tepe değerleri için olduğu kadar başlangıç ve kapanış göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Yakma tekniki	MET ile ilişkili SO <sub>2</sub> emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	Uygulanabilirlik	İzleme
		Yeni Tesisler	Mevcut Tesisler			
50 – 100	Izgara ateşleme	170-250	200-300	Dağıtıcı – yakıcı		Sürekli
	PC	150-250	150-300	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülörü vb. gibi) SCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	FBC (BFBC ve CFBC)	150-250	150-300	Pm kombinasyonu (hava dağılımı veya baca gazı resirkülasyonu ile)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
100 - 300	PC	150-200	150-250	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülörü vb. gibi) gerekli ise SNCR ve/veya SCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	FBC (BFBC ve CFBC)	150-200	150-250	Pm kombinasyonu (hava dağılımı veya baca gazı resirkülasyonu ile)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
> 300	PC	50-150	50-200	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülörü vb. gibi) gerekli ise SNCR ve/veya SCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
	FBC (BFBC ve CFBC)	50-150	50-200	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülörü vb. gibi) gerekli ise SNCR ve/veya SCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli

Notlar:  
**PC** (Pülverize yakma)  
**CFBC** (Dolaşimli akışkan yatak yakma)  
**FGD (ıslak)** (Islak baca gazı kükürt giderme)  
**BFBC** (kabarcıklı akışkan yatak yakma)  
**PFBC** (Basıncılı akışkan yatak yakma)  
**FGD (sds)** (Sprey kurutucu kullanılarak baca gazı kükürt giderme)

Tablo 5.34: Biyomas ve turba ile çalışan yakma tesislerinden kaynaklı nitrojen oksit emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik MET

### 5.5.9 Karbon monoksit (CO)

CO emisyonunun azaltımı için MET iyi bir fırın tasarımıyla, yüksek performanslı izleme ve işlem kontrol tekniklerinin kullanımıyla ve yakma sisteminin bakımıyla beraber gerçekleşen tamamen yakmadır. Yanma koşullarının yanı sıra, NOx emisyonunu azaltmak için iyi bir şekilde kullanılan sistem, PC'den ve izgara yakımından çıkan emisyonlar biraz daha yüksekken, FBC buhar kazanlarından çıkan emisyonların genel olarak aralığın düşük kısımlarında olduğu 50 - 250 mg/Nm<sub>3</sub> düzeni içerisinde CO seviyesi de düşük tutulacaktır.



### 5.5.10 Hidrojen florid (HF) ve hidrojen klorid (HCl)

Biyoyakıt ve turbayla yakma için MET'la ilgili emisyon seviyesi 25 mg/Nm<sub>3</sub>'ten küçüktür. SO<sub>2</sub> azaltımı için sorbent enjeksiyonu gerektirmeyen ve asıl alkali içeriği MET seviyesini karşılamak için yeterli olmayan yakıtlar için, ilave alkali enjeksiyonu MET'in bir parçasıdır.

Yakıt olarak saman kullanan yakma tesislerinde, HCl emisyonlarındaki varyasyon genel olarak yıllık ortalama 100 mg/Nm<sub>3</sub>'lük değerle 50 ile 300 mg/Nm<sub>3</sub> (günlük ortalama değer) arasındadır. Samanla çalışan daha büyük tesisler için, daha yüksek HCl miktarı ölçülürse, ıslak gaz yıkayıcı ya da kuru sprej gaz yıkayıcı sistemlerinin uygulanması, MET'in bir parçası olarak ele alınacaktır. Hem ıslak gaz yıkayıcı hem de sprej kuru gaz yıkayıcı sistemler HCl'yi (%98 civarında bir azalma oranı ile) azaltır. Samanla çalışan bir tesisin işlenmemiş gazında 300 mg/Nm<sub>3</sub>'e kadar olan SO<sub>2</sub> emisyonları da (%80 – 95'lik azaltım oranıyla) azaltılabilir. Bu durumda, HCl ile ilgili emisyon seviyesi 5 ile 25. mg/Nm<sub>3</sub> arasındadır.

HCl oluşumundan dolayı, saman yakımı özellikle buhar kazanının aşırı ısıtma bölümünde yüksek sıcaklık aşımının büyük riskine yol açar.

### 5.5.11 Amonyak (NH<sub>3</sub>)

SNCR ve SCR sistemlerinin bir dezavantajı tepkimeye girmemiş amonyağın havaya bırakılan emisyonudur (amonyak slip). MET'in kullanımıyla ilgili amonyak emisyonu yoğunluğunun 5 mg/Nm<sub>3</sub>'ün altında olması düşünülmüştür.

### 5.5.12 Dioksin ve furanlar

Bazı biyomasla çalışan tesislerde, özellikle odunla çalışan yakma tesislerinde, dioksinlerin ve furanların emisyonu ölçülmüştür ve 0.1 ng/Nm<sub>3</sub>'nin altında bir emisyon seviyesi genel olarak ulaşılabilir görülmüştür.

### 5.5.13 Gürültü

Pülverize yakıt buhar kazanlarında kömürle yan yakma için gereken saman kesilirken özel dikkat gösterilmelidir. Saman kesimi için MET değirmenleri kullanılmaktadır (ki bu yüksek bir ses seviyesine sahiptir). Ayrıca daha sonraki brülörlere pnömatik taşıma yapılırken de özel dikkat gösterilmelidir.

### 5.5.14 Su kirliliği

Farklı atık su akıntıları (bakınız Bölüm 1) turba ve biyoyakıtla çalışan yakma tesislerini işleterek oluşturulur. Suya emisyonu azaltmak ve su kirliliğinden kaçınmak için, Bölüm 5.4.8'de sunulan bütün tedbirler MET olarak ele alınmıştır ve Tablo 5.35'te özetlemiştir.

Teknik	Ana çevresel fayda	Uygulanabilirlik	
		Yeni tesisler	Uyarlamalı tesisler
<b>Islak FGD (Sadece Bölüm 5.4.8 koşulları altında gerekli ise uygulanır)</b>			
Flokülasyon, sedimentasyon, filtreleme, iyon alışverişi ve nötralizasyon ile su artımı	Florid, ağır metal, COD ve partikül atı	MET	MET
Kapalı devre çalışma	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
Atık suların kül ile karıştırılması	Engellenmiş atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Cüruf yıkama ve taşıma</b>			
Filtreleme ve sedimentasyon ile kapalı su devresi	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Demineralizer ve kondensat parlatıcıların rejenerasyonu</b>			
Nötralizasyon ve sedimentasyon	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcısı ve presipitatörlerin yıkanması</b>			
Nötralizasyon ve kapalı devre çalışması veya kuru temizleme metotları ile değiştirme	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Yüzey akıntı suları</b>			
Sedimentasyonlar veya kimyasal arıtma ve dahili yeniden kullanım	Azalmış atık su tahliyesi	MET	MET

Tablo 5.35: Atık su kontaminasyonunun azaltılmasına yönelik MET

Daha önce Bölüm 5.4.1’de bahsedildiği gibi, turba ve biyo yakıtlar direnaja ve kanal toplamayla kurşunlanmış yüzeylerde ya da silolarda veya kapalı depo alanlarında depolanmasının gerektiği MET olarak ele alınmıştır. Yakıt partiküllerini yıkayan depo alanlarının yüzey sızıntısı (yağmur suları) toplanmalıdır ve yük boşaltımından önce arıtılmalıdır. Yükü boşaltılmış suda MET’la ilgili emisyon seviyesi 30 mg/l’den daha az olarak düşünülmüştür.

Yağla kirlenmiş (yıkama) suyun küçük bir miktarının oluşumu güç tesislerinde ara sıra engellenemez. Yağ ayırma kuyuları genel olarak herhangi bir çevresel zarardan kaçınmak için yeterlidir.

Genel olarak, atık su arıtımı için Bölüm 3’te tanımlanmış diğer teknikler bu sektör için MET olarak da ele alınmıştır.

### 5.5.15 Yakma tortuları

Yakma tortularının ve yan ürünlerin arazi dolun alanlarında depolanmak yerine endüstri tarafından kullanımına dikkat verilmiştir. Kullanma ve yeniden kullanım bu yüzden mevcut en iyi seçenektir.

Farklı yan ürünlerin yeniden kullanımı için bir çok farklı olasılık vardır. Her farklı kullanım külün kalitesi için farklı kriterler ortaya koyar. Bu MET kaynak belgesinde bu kriterlerin hepsini kapsamak mümkün değildir. Minimum olarak, kriterlerin kalitesi genellikle külün yapısal özellikleriyle ve küldeki yanmamış yakıt miktarı, ağır metallerin çözünürlüğü, vb... gibi herhangi zararlı maddelerin içeriğiyle ilgili olduğunu söylemek yeterlidir.

## 5.6 Biyomas ve turba yakmaya yönelik ortaya çıkan teknikler

### Turba ve biyomasın gazlaştırılması

Bütünleşik gazlaştırma kombine çevriminde (IGCC) basınçlı gazlaştırma katı yakıtlara dayalı büyük ölçekli enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı CO<sub>2</sub>'da dahil olmak üzere emisyonları azaltabilecek yüksek verimli bir teknolojidir. Yüksek uçucu madde içeriği nedeniyle turba gazlaştırma tekniği için ideal bir yakıttır. İskandinav ülkelerinde biyomasla çalışan IGCC teknolojisini geliştirmedeki mevcut durum İsveç'te bir gösterim ünitesinin halihazırda yapım aşamasında olması ile ortadadır.

Samanın gazlaştırılması kömür ile birlikte yapıldığında başarılı bir şekilde test edilmiştir, bu nedenle sadece samanın gazlaştırılması işleminin ticari olarak elverişli hale gelmeden önce daha geliştirilmesi gerekir.



## 6 SIVI YAKITLARA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ

### 6.1 Uygulamalı proses ve teknikler

#### 6.1.1 Sıvı yakıtların boşaltım, depolama ve taşınması

Sıvı yakıtlar, benzin kuyusu, rafineri ve LCP bölgesindeki taşımacılık sistemlerinin varlığına bağlı olarak, boru hattı, gemi, tren ve kamyonla temin edilirler. Sıvı yakıtlar, motorlarda , yerli yakma sistemlerinde ve LCP’lerde doğrudan kullanım için rafinerilerde işlenirler. Boşaltma normalde boru hatlarıyla gerçekleştirilir.

Fuel oil, dikey çelik silindirik (açığa çıkarılmış ya da yüzen çatı) depolama tanklarında depolanır. Tankların sayısına ve istasyonun boyutuna bağlı olarak, tank kapasitesi 1000 m<sup>3</sup>’ten 100000 m<sup>3</sup>’e kadar değişir. Tanklar genellikle, diğer tanklara (ör: ateş, patlama, boru kırılması vb.) sızma ya da hasar olayındaki depo edilmiş fuel-oil hacmi (ör: tüm tankların toplam maksimum kapasitesinin %50-75’i , fakat en azından en büyük olanının maksimum hacmine eşittir)’nin bir kısmını ya da tamamını tutan bir bent (tutma küveti) içinde gruplanırlar. Bent , benzinin akım bölgesi suyuna boşaltılmasını engellemek için benzin durdurucuları kapsmalıdır ve kusursuz şekilde mühürlenmelidirler.

Bölgedeki iklimsel koşullara ve depo edilen fuel-oil’in çeşidine bağlı olarak, depolama tankları, fuel-oil’i (özellikle ağır fuel-oil (HFO) transferi için uygun dereceye getirmek ve önemli bir kirlenme kontrol tekniği olan brülördeki doğru atomlaştırmayı sağlamak için, ısıtma sistemiyle donatılmalıdır. Böyle durumlarda, tanklar düzgün şekilde yalıtılmalıdır. Genellikle fuel-oil’i ısıtmak için kullanılabilen iki çeşit ısıtma sistemi vardır: fuel-oil’in bütün hacmini ısıtan ‘dip’ ısıtıcılar, ya da borulama emmeden hemen önce konumlanmış olan ve tam depolama tankını terkeden fuel-oil’i ısıtan ‘yenileme-’ ısıtıcılarıdır. Hafif distilat benzinin, pompalama ya da atomlaştırma için ısıtılması gerekmemektedir.

Yüzen çatı depolama tankları kullanılmazsa, gazların depolama tankından çıkarılıp dağıtım tankına geri koyulması, sıkça uygulanmaktadır. Sıvılar gönderildiğinde, bağlantı hortumlarının otomatik yeniden bağlanması kullanılır. Dağıtım bağlantıları bentin içinde konumlanır.

Sızıntıları belirlemek ve dolun seviyesini kontrol etmek için yapılan düzenli tank içeriği testleri yaygın olarak uygulanır. Otomatik sistemler, birleşmiş alarmlar, dolun seviyesini kontrol etmek için kullanılırlar. Hareketsizleştirilmiş atmosferler bazen kullanılırlar. Depolama tesislerinin ve boru hattı düzenli kontrolleri yaygın uygulamalardır ve iyi tesis idaresinin parçasıdır.

Sıvı yakıt dağıtımını için kullanılan boru hatları, ortadaki depolama tanklarıyla birleşirler. Depolama bölgesi tanklarından brülörlere yakıt dağıtımını, genellikle havai boru hatları ya da servis çukurları , ya da daha az yaygın olarak gömülü boru hatlarıyla yapılır. Bariyerler yukarı boru hatlarını tehlikeye karşı korumak için kullanılırlar. Yer altı borularını kullanırken, son teknoloji ürünü aralık bırakmanın ve özel yapıların (ör: çelik borular, yer altında valf olmaksızın kaynakla birleştirme bağlantıları vb.) otomatik kontrolüyle çift duvarlı borular kullanılmalıdır.

Eğer zemin suyunun kirlenmesi riski varsa, depo alanı aşılabilir ve yakıt depolanmasına dayanıklı olmalıdır. Sıvı yakıtın parlama noktasına bağlı olarak , patlama tehlikesi olabilir.

## 6.1.2 Sıvı yakıtların ön arıtımı

### 6.1.2.1 Geleneksel buhar kazanlarında kullanılan benzinin ön arıtımı

Büyük yakma tesisleri için yakıt olarak kullanılan ağır ve hafif fuel-oil gibi benzin ürünleri, ulusal ve uluslar arası yakıt şartlarına uyum sağlamak için, bir rafineride işlenirler. Tablo 6.13'te farklı LCP çeşitleri için farklı benzin kaliteleri tanımlanmaktadır. Sıvı yakıtların yakmasındaki önemli katışık madde ise yakıtta ortaya çıkan kükürt miktarıdır. Fuel-oil, kükürt miktarını azaltmak için rafineride işlenebilirken, benzinin kükürt içeriğini azaltmak için gereken teknikler bu belgenin bir bölümü değildir ve Mineral Benzin ile Gaz Rafinerileri için BREF'te tanımlanmaktadır.

### 6.1.2.2 Gaz türbinlerinde kullanılan sıvı yakıtların ön arıtımı

Benzinle çalışan gaz türbinlerinde, sadece rafine sıvı yakıtlar doğrudan kullanılabilirler. Gaz türbinindeki yakmadan önce benzin, gerekli giriş basıncına artırılmalıdır.

Dizel benzini, modern gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanıldığı zaman sodyum, potasyum ve kalsiyum konsantrasyonlarını azaltmak ve türbin pervanelerine zararlı olabilecek katı katışık maddeleri ihraç etmek için , dizel benzinin uygulanması gerekmektedir. Dizel benzin , kendini temizleyen merkezkaç ünitesi ya da elektrostatik çeşit ünitesi olan dizel benzin temizleyici ünitelerden ve tüm gerekli pompalar ile piping ekipmandan oluşan bir 'yakıt arıtma tesisi'nde uygulanır. Tesisten gelen tüm atıklar toplanır ve atık su arıtma tesisine boşaltılır.

Eğer ağır fuel-oil (HFO), modern gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanılacaksa, özel bir arıtma prosedürü gereklidir. Bu durumda, yakıt arıtma tesisi, tepkimeye girmemiş HFO (elektrik ya da buhar bobin çeşidi); benzin emisyonunu ayırmak için de-emulsifiyerdozlama sistemleri, özellikle yüksek kül içerikli yakıtlar için HFO'daki katı katışık maddeleri ihraç etmek için ayırıcılar (merkezkaç ya da elektrostatik çeşit), vanadyum oksidasyon ürünlerinin erime noktalarını yükseltmek için katkı maddesi dozlama sistemleri; ve tüm gerekli pompalar ile boru hattı ekipmanından oluşur. tesisten gelen tüm atıklar toplanır ve atık su arıtma tesisine boşaltılır.

Gaz türbininde kullanımı için herhangi bir yakıtın gereksinimleri:

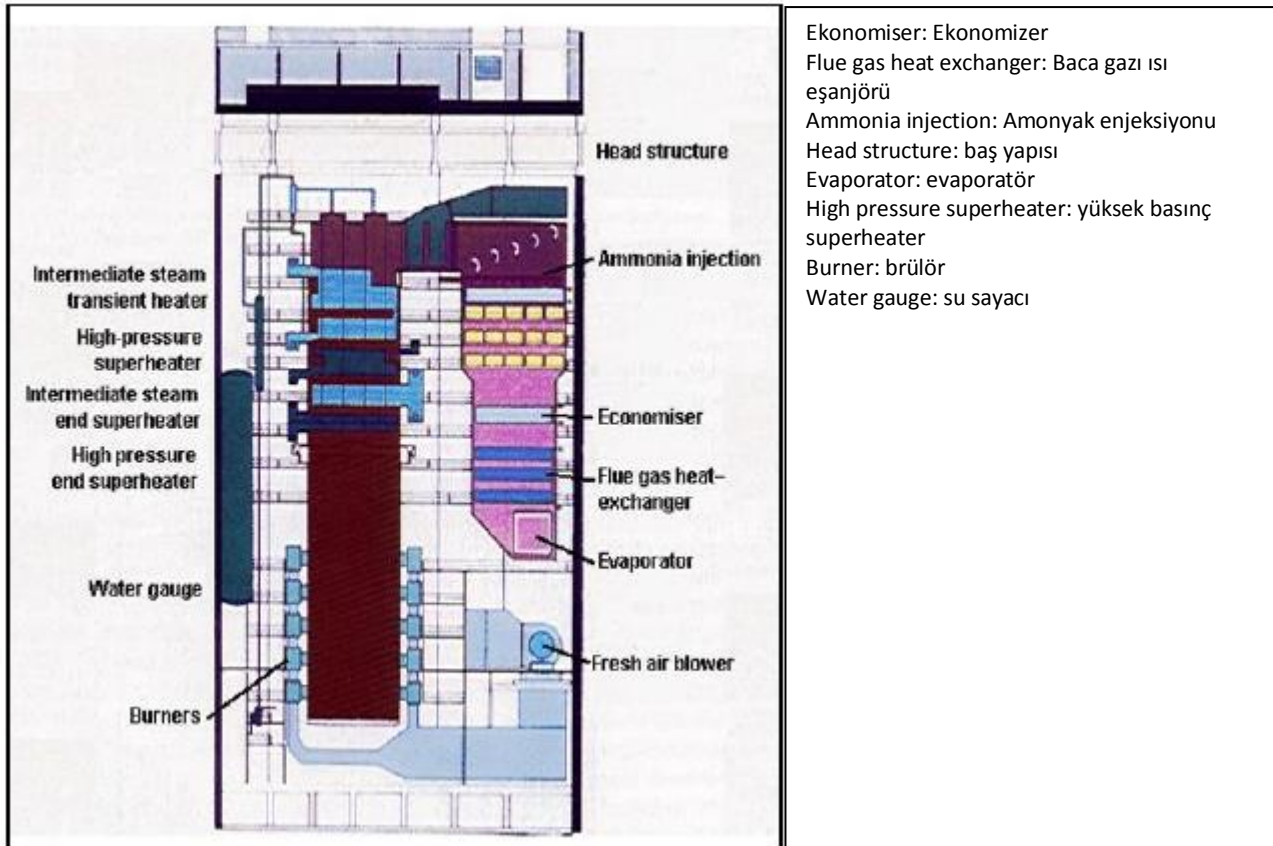
- Yüksek kalorifik değer
- Türbine ısı girişinin yüksek yoğunluğu
- Yüksek temizlik
- Aksesuarlara yada sıcak türbin pervanelerine yönelik düşük çürüme
- Özellikle sıcak türbin bıçakları üzerinde düşük tortulaşma ve bozulma eğilimleri

### 6.1.2.3 Dizel motorlara yönelik sıvı yakıtların ön arıtımı

Doğru pompalama ve işlem koşullarını temin etmek için, dizel motorlar, doğru akış ve yapışkanlıktaki temizlenmiş ve filtrelenmiş fuel-oil'in sürekli stoğuna ihtiyaç duyarlar(HFO'nun altında:730 cSt 50 °C'de )ağır fuel-oil için, HFO arıtma tesisleri gaz türbinleri için kullanılanlara benzerdir, fakat sıradaki farklılıklarla: sadece merkezkaç ayırıcılar kullanılır HFO'yu uygun dereceye kadar ısıtmak için elektrikli ya da buharlı bobin çeşidi ısıtıcıları (ağızlıkta iyi bir atomlaştırma için 12-20 cSt gereken yapışkanlık enjektisini elde etmek için);ve normal durumlarda, vanadyum ürünlerinin erime noktalarını arttırmak için de-emulsifiyer dozlama sistemleri (benzin emisyonlarını ayırmak için) de dozlama sistemleri de kullanılmazlar.

### 6.1.3 Petrolle çalışan buhar kazanları

Ağır fuel-oil gibi sıvı yakıtları yakmak için tasarlanan buhar kazanları kömürün yakılması için kullanılan buhar kazanlarına benzerdirler. tipik bir ağır fuel-oil buhar kazanı Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Ağır fuel oil buhar kazanı  
[43, Wienstrom, 2001]

Sıvı yakıt yakma buhar kazanlarında kullanılan yakma sistemleri, kömürün yakıt olarak kullanıldığı yakma tesislerinde kullanılanlarla benzerdir. homojen bir yakma elde etmek için, 30dan 150 ye kadar  $V_m$  ölçülen ince aerosol zerrelere, mekanik bir işlem ya da basınç altındaki yardımcı sıvı (hava ya da buhar) hareketi yoluyla ya da hatta ikisinin bir kombinasyonu yoluyla, buhar kazanının içine püskürtülür.

Tüm brülör tasarımları doğrudan havayla desteklenir. Ağır fuel-oil kullanıldığında, yakıtın doğru atomlaştırılmasını garanti etmek için brülörde düşük yapışkanlığa ihtiyaç duyulur. bu yapışkanlığı elde etmek için, ağır fuel-oil 120 – 140 °C civarına kadar ısıtılmalıdır. ağır fuel-oil yakmasını geliştirmek için katkı maddeleri kullanılır.

**Duvar -ya da cephe -yakma sistemleri:** yatay olarak cephe ateşlemeli sistemlerde, yakıt yakma havayla karıştırılır. Brülörler, ya sadece ön duvarda ya da hem ön hem arka duvarlarda olmak üzere sıralarda konumlanırlar. İkinci düzenleme ‘karşı yakma’ olarak adlandırılır.

**Teğetsel- ya da köşe-yakma sistemleri:** teğetsel ateşlemeli sistemler tek alev mahfazası kavramına dayanır. Yakıt ve yakma hava küçük bir daireye çizgi tanjantı boyunca dikey fırın köşe rüzgar kutularından yansır.

Ağır yakıtları yakarken dikkate alınması gereken üç temel konu vardır:

- Atomlaştırmadan önce HFO'nun yüksek viskozitesine bağlı olarak sıvılaşmış depoya, nakliyata ve ilave ısıtmaya duyulan ihtiyaç
- Kok partikülleri oluşturma eğilimi
- Aşındırıcı birikmelerin oluşumu

İlk 2 nokta yüksek moleküler ağırlığından ve öğelerin bazılarının asfaltene yapısından kaynaklanmaktadır. İkinci ve üçüncü nokta sülfürün, nitrojenin, vandyumun ve yakıtta diğer metallerin varlığından kaynaklanır.

Emisyonlarla, su ilavesinin fiziksel etkisi atomlaştırmayı geliştirerek daha iyi yakma özelliklerine neden olur. Mikro patlayıcılar aşırı ısıtılış zerrinin içinde buhar baloncuklarının oluşumu, büyüklüğü ve patlamasıyla üretilir. Benzin, yakma sırasında çok yüksek sıcaklığı sürdürebildiğinden, su zerrecikleri aşırı ısıtılabilir. Son olarak emisyon zerrisi su baloncuklarının dahili oluşumu ve bunların hızlı buharlaşması ile parçalanır. Bu işlem ikincil atomlaştırma olarak adlandırılır ve buharlaştırma yüzeyini ve havada yanan türlerin karışımını artırır. Dumanın oluşumu ve partikülün miktarı azaltılmıştır [87, Molero de Blas, 1995].

#### 6.1.4 Endüstriyel uygulamalar için petrolle çalışan yakma tertibatları (proses ısıtıcı)

Proses ısıtıcıdan, bazen proses fırınları olarak ya da doğrudan ateşlenen ısıtıcılar olarak bahsedilir. Bunlar petrol ürünlerini, kimyasalları ve kanallar açısından akan diğer sıvı ve gazları ısıtmak için tasarlanmış ısı transferi üniteleridir. Sıvılar ve gazlar ısıtıcı ya da fırın içine yerleştirilmiş tüplerin bir dizisi arasından akar. Oluşumda geniş olarak çeşitlenmelerine rağmen, tüpler HFO, LFO ve doğal gaz gibi ya da tesislerdeki işlemlerden çıkan yan ürünler gibi özelleştirilmiş standart yakıtları kullanan doğrudan ateşleyici brülörler tarafından ısıtılır. Dikey fırınlar hava ile cebri brülörlerin azaltılmış miktarıyla benzinle çalışır hale gelebilir. Bu yakma sistemi iyi bir hava kontrolü sağlar, hava fazlalığını azaltır, enerji verimliliğini artırır ve kirlenici madde miktarını azaltır. Hava yakımı enerji oluşumunu azaltan bir yolla önceden ısıtılabilir.

Yükü içermek için tüplerin kullanılması diğer endüstriyel yakma uygulamaları ile kıyaslandığında benzersizdir. Tüplerde sıvıların ısıtılması, bunları fırın iskeletinde ısıtmaya göre birçok avantajı vardır. Avantajlar; sürekli işlemler için daha iyi bir uygunluğu, daha iyi kontrol edilebilirliği, daha yüksek ısıtma oranını ve daha çok sıkıştırılmış ekipmanı içerir.

Isıtma aşağı doğru akıntıyı işlemek için ya da tüplerdeki kimyasal tepkimeleri artırmak için sıvının sıcaklığını arttırmak amacıyla gerçekleştirilir. İşlem ısıtıcılardaki ısı transferinin birincil şekli, brülörlerde yakıt yakılmasıyla oluşturulan enerjiden kaynaklanan ısı yayılımı ve radyasyonudur. Tasarım ve işlem gereksinimlerine bağlı olarak tipik bir işlem ısıtıcıda 1 brülörden 100 brülöre kadar her yerde olabilir. Brülörler tabanda; ya da yukarı doğru dikey ateşlenen multi seviyede duvarlarda; ya da ısıtıcının merkezine ışınsal ateşlenen duvarlarda yer alır.[180, Baukal and Schwarz, 2001].



### 6.1.5 Akışkan yatak yakma

Akışkan yatak kazanlarında (FBC), sıvı yakıtlar (ör: yüksek sülfür HFO veya atık maddeler) bazen kömür gibi diğer fosil yakıtlara ek olarak yakılabilir. Kireç taşı ile beslenmesi gereken akışkan yatak içinde desülfürizasyon meydana gelir. Benzin yakılması ile üretilen az miktarda küle bağlı olarak, kireçtaşı tüketimi önemli olabilir. Diğer bir etki de, düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarının, akışkan yataktaki düşük yakma dereceleri ile bağlantılı olmasıdır.

### 6.1.6 Kompresyon ateşleme (dizel) motorları

1960 ve 1970lerde motor çalıştıran güç tesisleri çoğunlukla, acil durum, tepe üretimi ve küçük güç ölçüsü üretme gibi kısa dönemlik uygulamaları çalıştırmakta kullanılırdı fakat günümüzde pistonlu motorlar özellikle sürekli çalışan güç jenerasyon uygulamalarında geniş çapta kullanılmaktadır. Hem güç tesislerinde 200 MW<sub>e</sub>'ya kadar üretim sağlayan geniş yüklemeye tabanlı motorlar, hem de daha küçük ve merkezi olmayan eş zamanlı ısı ve güç üretim tesislerinde(CHP) bulunan motorlar, günümüzde geniş çapta yaygındır. Bu trendin bir sebebi de, son birkaç on yılda taban yüklemeye işlemi için uygun olan ve yüksek verimlilik sağlayan orta ve düşük hızdaki motorların geliştirilmesidir. 50 MW<sub>th</sub> ya da daha fazla yakıt alımı ile orta hızdaki dizel motor üniteleri ve 40 MW<sub>th</sub> 'ye kadar yakıt alımı sağlayan (yüksek basınç ve düşük basınç(çift yakıt) türleri ile) piyasada mevcuttur. Düşük hızdaki dizel motor üniteleri, 130 MW<sub>th</sub> ya da daha fazla yakıt alımına ve gaz dizel motor üniteleri ise 85 MW<sub>th</sub> ya da daha fazla yakıt alımına sahiptirler.

Ancak Avrupa'da bunun gibi çok az sayıda tesis, sıvı yakıtlarla güç jenerasyonunu sağlamak için birbirine bağlantılı sistemlerle çalışmaktadır. Uygulamalar, başka yakıt stoğu sağlama olanağı olmayan sistemlerin var olduğu, birbiriyle bağlantısız tesislerle sınırlıdır. (ör: adalarda işletilen sistemler)

Pistonlu motorların bu türdeki uygulamalarda sağladıkları avantajlar çok fazladır, örneğin, yüksek termal verimlilik (düşük yakıt tüketimi), farklı yüklemeye taleplerinin eşleştirilmesinin en iyi şekilde ayarlanması, kısa yapılanma süresi, bakımını kolaylığı ve dayanıklı tasarımı gibi.

Motorla çalıştırılan güç tesislerinin bir diğer cazip avantajı ise, özellikle çevresel anlamda bu tesislerin ısı ve elektrik tüketicilerinin yakınında, kentsel ve ya endüstriyel alanlarda kurulabilmesidir. Böylelikle, taşıma hatlarına daha az gereksinim olacak; ilgili enerji kayıpları ve arazi talepleri azaltılabilecektir. Motorla çalıştırılan CHP tesisleri, endüstriyel uygulamalar, yerel yararlanma şirketleri, konaklamaya ve ticari kullanıma ayrılmış binalar için oldukça uygundur. Isı; akım, sıcak su, sıcak hava vb. olarak tekrar elde edilebilir. Elde edilen ısı için mümkün olan yararlanma seçenekleri; bölgesel ısıtma/soğutma, tuzdan arındırma (desalinizasyon) işlemi ve bazı işlemler için havanın ön ısıtılması işlemidir. Pistonlu motor tesisi için en cazip ısı/güç oranı; genel olarak 3/2 ya da daha fazla orana sahip düşük dereceli ısı sistemleri ile karşılaştırıldığında, yaklaşık 1'dir (yüksek dereceli ısı tesisinde). Bir çok alanda ısıdan yararlanma miktarı, tıkanma noktası konumunu alır (ör: elektrik talebi artmakta fakat ısı talebi sabit kalmaktadır), böylece, yüksek dereceli ısı tesisi kullanılarak, CHP işlemi çok daha kolay yürütülebilir.

Dizel motorlar yakıtta uyum sağlayabilir ve yakıtları, dizel benzin, ağır yakıt benzini, gaz, ham petrol, biyomas ve hatta birkaç durumda orimülsiyon olarak kullanabilir. Bir dizel motorda hava, silindir içine itilir ve piston yoluyla sıkıştırılır. Silindir içine yakıt enjekte edilir ve havanın sıkıştırma ısısı yoluyla yakılır. Yanan hava karışımı ve yakıt, pistonu basınç uygulayarak genişler. Son olarak, yakma ile oluşan ürünler silindirden çıkarılır ve döngü tamamlanır. Yakıtın yakılması ile ortaya çıkan enerji, hareketli piston ile motor çarkına aktarılır. Alternatör, dönen motor çarkına bağlıdır ve elektrik üretir.

Ağır akaryakıt işlemlerinde, yakıt ilk olarak ön temizleme işlemine girer ve motora enjekte edilmeden önce yakıt arındırma sisteminde ısıtılır. Yakıt arındırma sisteminde bulunan filtre ve ayırıcılar, yakıttaki su ve kirletici maddeleri ihraç ederler. Ağır akaryakıt, gereken akışkanlık (viskozite) işleminde enjektörde iyi bir yakıt atomlaşması sağlamak amacıyla, ön ısıtmaya girer. Tanelerin hızlı ve tam yakılmasını sağlayacak kadar küçük olabilmesi için sıvı yakıt basıncı yaklaşık 1100-1800 bar (motorun türüne bağlı olarak) artar. Hafif akaryakıtla yakıtın ön ısıtma ve ayırma işlemi yapılmadan çalıştırılmasına genelde gerek duyulur. Yakıt alımının enjektör tasarımı, yakma işlemi için gereken önemli faktörlerden biridir.

Yakma işlemi kısmen, basıncın arttığı sabit bir hacimde, temel yakma işleminin sabit bir basınçta olduğu durumlarda fark edilebilir. Yakma işlemi sürekli değildir fakat, döngünün bir bölümü süresince ortaya çıkar. Son sıkıştırma basıncı ve derece, iyi bir yakma işlemi garanti den önemli parametrelerdir. Maksimum basınç, oluşabilecek hasarları önlemek amacıyla sınırlandırılmalıdır. Motor materyalleri, maksimum döngü derecesinin 2500 °C'ye ulaşabildiği, 1200 °C'ye kadar dayanıklılık gösterebilir. Bu yüzden bu türdeki yakıtın verimliliği % 40- 50 dolaylarındadır.

### Çift yakıtlı motor

Çift yakıtlı motor, doğal gazın mevcut olduğu ülkeler için geliştirilen, piyasadaki yeni bir motor türüdür. Bu motor türü, çok yönlü yakıt kullanır, düşük basınçta doğal gaz ya da dizel benzin (destek yakıtı vb.), ağır yakıt gibi sıvı yakıtlarla çalıştırılabilir ve tam yükleme ile her iki yakıt modelinde çalıştırılabilir. Gaz modunda motor, verimsiz yakma prensibine göre çalıştırılır ve gazın tamamının yakılması için gereken hava ile karşılaştırıldığında, silindirdeki havanın yaklaşık iki katı kadar hava açığa çıkar. Bu da kontrollü bir yakma ve ani bir darbe yada kendi kendine ateşlenme riski oluşturmadan yüksek özellikte silindir üretimine olanak sağlar. r output without immediate risk of knocking or self-ignition. Gaz motorlarında hava/gaz karışımının piston yoluyla sıkıştırılması, gazı yakma işlemini başlatacak kadar ısıtmaz bu yüzden de, bazı ek enerjinin, küçük yardımcı yakıt akımı enjeksiyonu ile eklenmesi gerekmektedir(örneğin: dizel benzin). Dizel benzin gibi sıvı yakıtlar, daha düşük kendi kendine ateşlenme derecesine sahiptirler ve üst konuma yakın olan silindir, sıvı yakıtı ateşlendirmeye yetecek ısıdadır ki bu da içerideki hava/gaz karışımının yanması için gerekli ısıyı yaratır. Yardımcı yakıt miktarı, tam yükleme sırasında tüketilen toplam yakıtın %1 ya da 2'sinden azdır. Motor, sıvı yakıt kullanıldığında dizel işlemine bağlı olarak ve gaz yakıtı kullanıldığında ise Otto döngüsüne bağlı olarak çalışmaktadır. Yanan yakıt ve hava karışımı, pistonu iterek genişler. Son olarak da, yanma ürünleri silindirden çıkarılarak döngü tamamlanır. Yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji, hareketli piston yoluyla motor çarkına aktarılır. Alternatör dönen motor çarkına bağlıdır ve elektrik üretir. [88, Euromot, 2001].

### 6.1.7 Sıvı yakıtla çalışan gaz türbinleri

Sıvı yakıtlarla güçlendirilen gaz türbinleri (destek yakıtlarda olduğu gibi değil), Avrupa'da çok seyrek uygulanmaktadır. Bunun sebebi özellikle damıtılmış hafif benzinin olmak üzere, bu tür yakıtların yüksek fiyatları; gaz türbin bıçakları üzerindeki sıvı yakıtlar tarafından uygulanan basınç ve doğal gazla karşılaştırıldığında kullanılan diğer sistemlerdir. Bu yüzden uygulamalar çok nadir ve sadece doğal gaz stoğunun var olmadığı koşullarda yapılmaktadır. Yakıtla çalışan gaz türbinlerinin iki türü, günümüzde uygulanmaktadır: dayanıklı gaz türbinleri ve uçak motorlarının aeroderivative olarak adlandırılan gaz türbinleri.

Eksenel basınç yoluyla basınçlı hava yakıt enjektörlerinin bağlı olduğu yakma çemberlerine bırakılır. Yakma tepkimesi sırasında gaz derecesi artar ve 1000- 1350 °C arasında türbine iletilir. Bu sıcak gazların türbinde basınçları azaltılır ki bu da aynı zamanda elektrik jenerasyonunu döndüren hava kompresörünü ve alternatörünü iletir. Açık döngü konfigürasyonunda yakma gazları >450 °C derece ile doğrudan atmosfere bırakılır. Termal verimlilik %30-40 arasındadır.

Gaz türbinleri (GT) çok geniş ölçüde atık gaz yağı (neft yağı) gibi sıvı yakıtla birlikte çalıştırılabilirler. Gaz türbinleri genelde ve özellikle aeroderivative'lerde, damıtılmış hafif akaryakıt ya da gaz yağı ile çalıştırılır. Türbinlerin, yüksek türbin giriş derecelerine sahip son tasarımları ile imalatçıların yakıt stoğu için açıklamaları oldukça yetersiz kalmaktadır. Özellikle metal içerikleri (sodyum, potasyum, kurşun, vanadyum, kalsiyum, sülfür ve küller) bakımından hem ekipman gereksinimleri hem de çevresel standartları karşılamak için gereken kimyasal ve fiziksel özellikler garanti edilememektedir.

### 6.1.8 Kojenerasyon (CHP)

Birlikte üretim, elektriği ve kullanılabilen ısıyı üretmek amacıyla, tek bir işlem kullanır. Isı ve gücün birleştirilmiş jenerasyonu (CHP) gibi birlikte jenerasyon, kanıtlanmış bir teknolojidir, dolayısıyla elektriğin ve ısının (sıcak su ya da buhar) gerektiği başlıca endüstriyel tesislerde uygulanır. Giderlerin korunmasının yanında birlikte jenerasyon, fosil yakıtları daha verimli şekilde kullanarak çevresel yarar da sağlamaktadır. Bu da elektrik ve ısının ayrı jenerasyonu ile açığa çıkandan daha az emisyonu yol açar ve yakıt/exergetic verimliliğini geliştirir.

Herhangi bir fosil yakıtla çalışan kazanlarda işletilen buhar türbinleri, endüstriyel birlikte üretim sistemlerinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Eski buhar kazanlarında, artan basınç akımları elektrik jenerasyonunu çalıştırmak üzere mekanik enerji üreten türbin içerisinde sarf edilir. Üretilen güç, akım basıncının bölgedeki ısı enerji gereksinimini karşılarken türbin yoluyla basıncı ne ölçüde azaltabileceğine bağlıdır

Durağan motorlar oldukça uygundur ve sıcak su üretimi, buhar jenerasyonu (bazen daha genişletilmiş elektrik verimliliği için ek buhar türbinleri ile), deniz suyunun tuzdan arındırılması, bölgesel soğutma sistemleri, havanın ısıtılması gibi birlikte jenerasyon işlemleri için kullanışlıdır. Bu türde bir kurulumun toplam yakıt verimliliği oldukça yüksek olup, bazı uygulamalarda %90 oranındadır. CHP motor uygulamaları için ısı güce oranı genelde, 0.5'e 1.3'tür. Örneğin, birlikte jenerasyon tesisi (CHP) için özel CO<sub>2</sub> emisyonu HFO (ağır akaryakıt) ve %80 oranında toplam tesis verimliliği ile çalıştırıldığında 370 g/kWh değerindedir. (üretilen elektrik+ geri dönüştürülebilir ısı) [88, Euromot, 2001].

Gaz türbinleri yukarıdaki gibi özelleştirilen bir birlikte üretim tesisinde (CHP) kullanılabilir. Endüstriyel kompleksler, geniş ısı/güç oranları ortaya çıktığında, örneğin, 1.5- 3 arasında, elektrik üretebilir.

### 6.1.9 Kombine çevrim yakma

Kombine çevrim fikri, gaz çıkış türbinindeki atık ısıdan yararlanarak tek Joule- döngü verimliliğinin geliştirilmesine duyulan gereksinim ile doğmuştur. Gaz türbininin nispeten daha yüksek dereceli ve buhar türbininin de düşük dereceli bir mekanizma olması nedeniyle bu, doğal bir çözümdür.

Kombine çevrim yakma sistemleri diğer yakıtlarla kullanılabildiği gibi aynı yolla sıvı yakıtlar için de kullanılabilir. Ağır ya da hafif akaryakıt bazen ek yakma olarak, ısı geri dönüşüm kazanlarında ya da destek yakıtı olarak da kullanılabilecekleri doğal gazla çalışan tesislerde ek yakıt olarak kullanılabilir.

### 6.1.10 Havaya emisyonunun kontrolü

Ağır akaryakıt (HFO) kullanıldığında, hava kirliliğine yol açan NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonları sülfürden ve belli bir dereceye kadar da yakıttaki nitrojen içeriğinden açığa çıkar. Partiküller genel olarak kül içeriğinden ve bazen de yakıtın ağır fraksiyonundan (kesir) oluşmaktadır. [146,UFIP, 2001] Partiküllerin varlığı ayrıca operatörlerin ekonomik giderlerine ve ekipmanın bakımını iyi yapılmadığı durumlarda yanmamış yakıt ya da yakma tesislerindeki birikintilere bağlı olarak kayıplara yol açabilir.

### 6.1.10.1 Sıvı yakıtla çalışan buhar kazanlarından kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü

#### 6.1.10.1.1 Partikül at emisyonunun azaltımı

Ağır yakıtların yakımından çıkan partikül at emisyonları iki temel bölüm içerir [87, Molero de Blas, 1995]:

1. Yakıtın organik içeriğinden çıkan maddeler ve bunların yakma işlemini tamamlamadaki başarısızlığı:

- Yanmamış hidrokarbonlar (duman)
- Gaz evreli yakma ve piroliz aracılığıyla oluşan partikül atlar (kurum)
- Küllerle birlikte çıkan sızıntı yakıt ve karbondan üretilen cenospheres (kok)

2. Yakıtın inorganik içeriğinden çıkan kül:

Duman, ince bir sprey şeklinde çıkan hidrokarbon yakıtın yanmamış partiküllerinden çıkabilir. Böyle hidrokarbon partikülleri termal söndürme yoluyla dondurulan tepkimelerin kalıntılarıdır. Yakılmamış hidrokarbonların emisyonları yüksek denklik oranlarının (yakıt açısından zengin şartlar) en yükseğidir. Bunların temel çevresel etkileri, fotokimyasal bir dumanlı sis oluşturmak için havadaki Nox ve güneş ışığıyla reaksiyonudur.

Kurum, yakıt prolizlerini, polimerizasyon reaksiyonlarını, çekirdeklenmeyi, partikül büyüklüğünü ve yanmayı içeren karmaşık bir işlemde buharlaştırılmış organik maddenin gaz evreli reaksiyonunda oluşur. Sarıcı alevlerle yanan yakıt zerrelere yakıt buharlaşmasına ve büyük moleküler yapıların termal sızıntısına neden olan, böylece yakıt kaynağından daha yüksek C/H oranının türüyle sonuçlanan, çok yüksek ısılarla maruz bırakılır. Kurum, en çok yakıt açısından zengin şartlarla oluşabilir ve yüksek oksitlenme bölgelerinde yüksek sıcaklıkta hava ile birleştiğinden normalde tamamen yanar. Örnek ; ikincil hava gaz türbininin yakma odasına enjekte edilir.

Kok partikül atları sıvı fazlı işlemde oluşturulur ve bütün kurumsuz karbonu ve ayrıca kül maddesinin bir kısmını içerir. Böyle partiküller neredeyse küresel, çukur ve gözeneklidir vır boyutları 1 ile 100 Vm arasında değişir.

Kül bozulması ve aşınması ağır yakıtları yakarken büyük bir problemdir. Vanadyum ve sodyum, sırasıyla vanadyum pentoksit ( $V_2O_5$ ) ve sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) oluşturan zararlı elementlerdir. Kül birikintileri metal yüzeylere ısı transferini tehlikeye sokar ve yakma ekipmanlarının aşınmasına, böylece ekipmanların kullanım süresinin azalmasına neden olur. Literatürde [87, Molero de Blas, 1995] verilen değerler sadece 0.32cm kalınlığındaki bir birikintinin türbin gücünde %10'luk bir düşüşe neden olabilir.

Katı partiküller ekipmanın kullanım süresini azaltan çürümeye, aşınmaya ve abrazyona neden olur. Karbon partikül atları yakma odası malzemelerine zarar veren alevlerin ışınsal güçlerini de artırır. Ayrıca, havaya yakılmamış madde kaçırmaktan kaynaklanan ekonomik bir zarar oluşur ve bu yüzden bu yakıt verimliliğinde düşüş anlamına gelir. [87, Molero de Blas, 1995].

Yukarıda bahsedilen etkilerden dolayı, uygun yakma şartları partikül ve kül üretiminin azaltımı için önemlidir. Yapışkan yakıtlar atomlaştırılmadan önce ön ısıtmaya tabii tutulmalıdır. Katkı maddeleri; nyakma ekipmanına zarar vermeden geçen katı, zararsız ürünler oluşturmak için yakma ürünleri ve yakıt bileşikleri ile birleşir ve uygun yakma koşullarını desteklemek için kullanılır. Katkı maddeleri toplanan küllerdeki yanmamış karbon miktarını geniş ölçüde ağırlıkta %5'e kadar azaltılabilir. Amaç, külerdeki yanmamış karbon içeriği göz önünde bulundurularak, en iyi seviyede verim ya da yakıt kullanımı elde etmek amacıyla olası en iyi yakımı elde etmektir. Bununla birlikte, teknik ve yakıt özelliklerine göre HFO yakımında külerdeki yanmamış karbonun yüksek içeriği oluşabilir. Düşük karbon içerikli küller sarı ya da gri olurken, yüksek karbon içerikli küller siyahtır.

Daha eski benzinle çalışan buhar kazanlarında, mekanik atomlaştırılmalı brülörler kurulmuştur. Buhar atomlaştırılmalı brülörlerin gelişmiş tasarımı daha verimli bir HFO yakımı verir ve daha düşük partikül emisyonu ile sonuçlanır. İşlenmemiş gazdaki PM emisyonunun 100 mg/Nm<sup>3</sup> 'den daha düşük yoğunluğu elde edilebilir. Fakat, bu büyük ölçüde HFO'nun kül içeriğine bağlıdır.

Partikül emisyonu normalde ESP'le azaltılır. Partiküller genel olarak kontrollü arazi dolumlarda kullanılan kuru bir şekilde ESP'lerde toplanır. Yakıt yakımından kaynaklanan kül, büyük niktarda karbon içeriğine sahiptir ve bu durumda, yakılabilir. Bununla birlikte, sıvı yakıtın iyi yakma şartları altında, düşük karbon içerikli kül (%20'den daha az) elde edilir ve kontrollü arazi dolumlarda kullanılabilir. Benzin yakan tesislerden çıkan uçucu kül zararlı bir atık olarak kabul edilir.

Daha eski benzinle çalışan buhar kazanlarında, mekanik atomlaştırılmalı brülörler kurulmuştur. Buhar atomlaştırılmalı brülörlerin gelişmiş tasarımı düşük partikül emisyonu ile sonuçlanan HFO'nun daha verimli yanma hareketini gösterir. Büyük ölçüde HFO'nun kül içeriğine bağlı olsa da, arıtılmış işlenmemiş gazdaki 100 mg/Nm<sup>3</sup> 'den daha az PM emisyonu yoğunluğu elde edilebilir. PM'in miktarı daha sonra ESP gibi ikincil toz arındırıcı sistemlerin uygulanmasıyla azaltılabilir.

#### 6.1.10.1.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

İnorganik bileşiklerde de bulunmasına rağmen, kükürt genellikle hidrokarbon yakıtlarda, normalde %3 ağırlığında ve yaygın olarak organik şekilde bulunur. Ağır fueloiller genellikle diğer petrol ürünlerinden daha çok S miktarı içerirler, çünkü rafinaj işlemi boyunca asfaltinlerle birlikte tortuda yoğunlaşmaya eğilimlidir.

Yakmaya özgü yüksek sıcaklıkta ve oksijen yoğunluğunda, kükürt SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SO, CS, CH, COS, H<sub>2</sub>S, S ve S<sub>2</sub> oluşturmak için karbon hidrojen ve oksijenle birleşir. Böyle durumlarda, kükürtün neredeyse hepsi '+4' oksijenleme durumundadır, bu yüzden SO<sub>2</sub> yakmada oluşan baskın kükürt bileşimidir. %20 hava eksikliğiyle bile, kükürtün %90'ı SO<sub>2</sub> formundadır ve %0.1 kadar küçük olan kısmı kalan kısmı kalan sülfür için hesaplanan SO ile, SO<sub>3</sub>'tür.

Daha düşük bir oksijen yoğunluğunda (%40 eksiklik), SO<sub>3</sub> dikkate alınmaya değmezken, H<sub>2</sub>S, S<sub>2</sub> ve HS da önemli miktarlarda mevcuttur. Yakma süresince, bu türler büyük denge yoğunluklarındadır. Gazlar soğudukça, tüketim oranları artar ve ürün oda sıcaklığına ulaşmadan önce 'dondurulabilir'. [87, Molero de Blas, 1995].

Buhar kazanlarında normal işlemlere yakın olan, oksijen açısından zengin ve sitokiyometrik alevlerde, SO<sub>2</sub> ve az miktarda SO<sub>3</sub> mevcuttur. SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oluşumunu azaltmak için olabildiğince düşük olmalıdır. Sülfürik asit buhar kazanlarının en soğuk kısımlarında aşınmanın nedenidir.

Düşük kükürtlü benzinlere geçiş, SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımına önemli bir katkı bulunabilecek bir tekniktir. Benzin kükürt içeriğindeki %0.5'lik düşüş atık gazdaki oksijenin %3'ünde 800 mg/Nm<sup>3</sup> 'lük bir düşüşe neden olur.

Sıvı ya da gaz halindeki yakıtın yada biyoyakıtın eş zamanlı yakımı gibi, yan yakım da bölgesel hava kirliliği üzerinde önemli bir etkiyle SO<sub>2</sub> emisyonunun azaltımına önemli katkılarda bulunabilecek bir tekniktir. Yan yakım aynı brülörde ya da aynı odada bulunan farklı brülörlerde gerçekleştirilebilir.



Tüm hava aşamalandırma tekniklerinin arasında , en yaygın olarak kullanılan benzinle çalışan buhar kazanları ‘servis dışı brülör’ (BOOS) ve ‘aşırı yakma hava’ (OFA)’dır. Modern OFA tasarımlarıyla (en ideal ağızlık tasarımı, ayrı ve türbülanslı hava değişimi) , Nox azaltımları teğetsel yakma ünitelerinde %60’a kadar yüksek olabilirler.

Baca gazı devir daim tipi brülörler , benzinle çalışan buhar kazanlarında kullanılırlar, düşük Nox brülörlerinin çeşitli tüpleriyle eşleşirler [146, UFIP, 2001] ve %20’lik bir NO x emisyon azaltımını gerçekleştirirler. Verimli bir benzin LNB tasarılmasının kilit noktası , brülör aerodinamikleriyle bağlantılı iyi bir benzin atomlaştırmasını sağlamak gerekir; ki böylece NO x düşürülürken küldeki karbon seviyesi artmasın. Uygun bir benzin atomlaştırmasıyla modern LNB tasarımları %50’lik NO x azaltımına ulaşabilirler. Genellikle benzinle çalışan tesisler için, NO x brülörleriyle NO x emisyon azaltımı sınırları 370 - 400 mg/Nm<sup>3</sup> ( 3 % O<sub>2</sub> ‘de).

Benzinle çalışan buhar kazanlarında , yeniden yakma [146, UFIP, 2001] , yeniden yakma yakıtı olarak gaz ya da benzinle uygulanabilir. Gaz, benzinden daha yaygın olarak kullanılır. Yeniden yakma, yeni güç tesisleri için ilginçtir , fakat mevcut üniteye daha az uygundur. Çoğu mevcut benzinle çalışan buhar kazanları, son yıllarda gaz/benzinle yeniden yakma ile donatılmaktadırlar(ör: İtalya 35’ten 660 Mwe’ye kadar üniteye sahiptir). Bazıları düşük NO x brülörleriyle olmak üzere bu ünitelerin hepsinin aynı zamanda en azından OFA ve baca gazı devir daimiyle donatılmış olduğu dikkate değerdir. Yeniden yakma yakıtının toplam termal girişindeki payı %10-20’dir. Yeniden yakma yakıtı için orjinal NO x anahattından denk gelen NO x azaltımı %50-80 ve gaz yeniden yakması için ise %65-80’dir.

SNCR ve SCR sistemleri gibi ikincil tedbirler birçok yakıtla çalışan yakma tesisinde uygulanmaktadır. Özellikle Avusturya, Almanya, İtalya ve Hollanda olmak üzere Avrupa’da SCR sistemleri kullanılır, fakat Avrupa’nın dışında ise çoğunlukla Japonya’da kullanılır. SCR teknolojisinin sıvı yakıtla çalışan güç tesisleri için başarılı olduğu kanıtlandı.

SNCR işlemleri herhangi büyüklükteki yakıtla çalışan buhar kazanlarına uygulanabilir. SNCR işlemi, sıvı NH<sub>3</sub>, gaz NH<sub>3</sub>, ve sıvı üre ile azaltım etmeni olarak katı üre kapsar. Bu azaltım etmenlerinden birisi , derecenin 900 °C olduğu alanlardaki buhar kazanı odalarına enjekte edilir. SNCR tüm oranlarda yakma odasındaki dağıtım derecesinin iyi bilgisine ve enjekte edilen ürünlerin iyi kontrolüne ihtiyaç duyar. Kontrol NH<sub>3</sub> ya da NO<sub>x</sub> izleme ile elde edilebilir. NO<sub>x</sub> azaltımı 10 ppm’den düşük bir NH<sub>3</sub> slip ile %60’a ulaşabilir.

### 6.1.10.2 Sıvı yakıtla çalışan proses ısıtıcılarından kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü

İşlem ısıtıcılarını işlemek için kullanılabilen yakıtların geniş çeşidi nedeniyle, temel olarak NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve toz olan emisyonlar havaya salınırlar. İşlem ısıtıcılarından emisyonları azaltmak için aşağıdaki azaltım stratejileri kullanılır [180, Baukal and Schwarz, 2001]:

□ **yakma modifiyesi (birincil tedbirler):** yakma işlemini modifiye etmek için sayısız yöntem kullanılmaktadır. Düşük- NO x brülör tasarımı popüler bir yöntemdir. Diğer yakma tesislerinde de olduğu gibi, premixed brülörler gibi düşük NO x brülörleri, aşamalandırılmış hava ve aşamalandırılmış yakıt brülörleri, NO x emisyonlarının oluşumunu azaltmak için kullanılırlar. Diğer yollar, düşük hava girişini, aşamalama ve yakıt gaz devir daimini, su ya da buhar enjektisini ve yeniden yakmayı (ör: metan yeniden yakması) kapsar. Mesela NO x emisyonları ısıtıcıya hava sızmasını en aza indirgeyerek de azaltılabilirler. Bazen ‘avare hava’ olarak da varsayılan bir ısıtıcıya hava sızması , hava girişini ve NO x emisyonlarını etkileyebilir. Hava girişini azaltmanın ek yararı ise termal verimlilikteki artıştır. Bu , tasarım hedefleri için kullanılmaktansa yığın dışına taşınan gereksiz hava absorbanları ısısı olarak sonuçlanır

□ **benzinin ve gazın birlikte yakılması:** benzinin ve gazın ortak yakılması işlem ısıtıcılarda birkaç sebepten dolayı gerçekleştirilir:

- SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma
- tüplere ısı transferini en iyi hale getirmeyi amaçlayan alev modelini modifiye etme
- kimyasal tesislerin ya da rafinerilerin dışına ihraç edilemeyen baca gazının kullanımı.

□ **ileri- arıtma (ikincil tedbirler):** en yaygın ikincil tedbirler selektif katalitik azaltım (SCR) ile selektif katalitik olmayan azaltım (SNCR), ve HFO yakarken ESPlar gibi toz arındırma aletlerdir. HFO kullanırken, SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için , ıslak ve kuru FGD de kullanılabilir. İkincil tedbirlerin bir avantajı da çoklu egzoz akımlarının aynı zamanda arıtılabilmesidir, böylece bölge ekonomisini elde etmek.

### 6.1.10.3 Sıvı gazla çalışan (dizel) motorlardan kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü

Ağır fuel-oil yakan tipik bir dizel motorun egzozunda yayılan temel kirleticiler (sıkıştırma ateşleme motoru) , nitrojen oksitler(NO<sub>x</sub>), partikül madde (PM) ve kükürt oksitleri (SO<sub>x</sub>) kapsar. Yüksek yakma derecesinden kaynaklanan yüksek verimlilik sayesinde, karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları düşüktür. Gaz modundaki dual yakıtlı motor, düşük nitrojen oksit emisyonlarına sahiptir (NO<sub>x</sub>) ve bazı hidro karbonların(HC) ve karbon monoksitlerin (CO) emisyonlarını yayar.

#### 6.1.10.3.1 Partikül emisyonlarının azaltımı

Ağır fuel-oil yakılırken, partikül maddesi temel olarak fuel-oilden kül içeriği ile küçük miktardaki kurum, hidrokarbonları ve sülfatları kapsar. Hafif fuel-oil yakarken, partikül madde temel olarak kurum ve Hcleri kapsar.Partiküller için ikincil temizleme ekipmanı, büyük dizel motorları için halihazırda gelişme prosesindedir. Dizel baca gazının farklı derece ve oksijen içeriği yüzünden, dizel partiküllerin elektrikli nitelikleri (ör: dayanıklılık vb.), baca gazı buhar kazanındakilerle kıyasla farklıdır ve ticari yayılmadan önce ESPnin uygun test edilmesi (elektrikli presipitatör) gerekmektedir.yüksek yapışkan ve kükürt benzinleri LCP buhar kazanlarında yakılır. Bu LCP lerdeki SO<sub>2</sub> Gaz yakayıcı kombinasyonunda ,ıslak ESP tekniği partikül ihracı için önışlem olarak uygulanabilir.

Bez filtre (torba filtre) , yeterince yüksek partikül azaltım oranı elde etmek için bir koruma tabakasına ihtiyaç duyar. Benzin yakarken, bu tabaka incedir ve filtrenin performansı verimli değildir.

#### 6.1.10.3.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

Kükürt oksit emisyonu yakıt (yakıtın kükürt içeriğinin oranına) bağlıdır. SO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmanın ilk yöntemi,ticari olarak mümkün olduğu her zaman düşük kükürtlü bir yakıt kullanmaktır.

Dizel motorlarıyla bağlantıda olan mevcut sadece birkaç DESOX tertibatı vardır, ve bunların çoğu sadece sınırlı çalışma tecrübeli küçük ya da orta boyuttadır. Dizel baca gazının buhar kazanı baca gazından farklı olduğu unutulmamalıdır, örneğin; DESOX taki reaksiyonlar üzerinde etkisi olabilecek yüksek oksijen içeriğine sahiptir. DESOX tesisi için yatırım maliyeti, seçilen yöntem göre oldukça değişmektedir. İşlem maliyeti temel olarak ayıraç miktarına ve türüne,suya, elektrik tüketimine,bakım ve ürün sonu atım bedellerine bağlıdır. DESOX sistemi en iyi şekilde çalışmak için uygun bakıma gereksinim duyar. Ayrıca güç tesisi için, büyüktür ve dolayısıyla ek alan gerektirir. Dizel motorunun yüksek özel baca gazı akışı sayesinde (lambda tipik olarak yaklaşık 2.7), DESOX boyutu nispeten büyük olacaktır.



Bugüne kaadrki dizel güç tesislerindeki DESOX referanslarının çoğu, ayrıraç olarak NaOH (yaklaşık 50 wt-%) su çözümünü kullanan ıslak gaz yıkayıcılardır. Baca ayrıracı su çözümüyle yıkanır ve SO<sub>2</sub> ihraç edilir. Sistemin ana bileşenleri, ayrıraç depolama tankı ve nakliye sistemi,devirdaim pompalı bir gaz yıkayıcı ile oksidasyon tankıdır.

Ayrıraç olarak NaOH su çözümü kullanan bir ıslak gaz yıkayıcının bazı avantajları:

- kolaylık
- güvenilirlik (tıkanma riski yok)
- iyi SO<sub>2</sub> ihraç verimliliği
- DESOX yöntemlerine kıyasla daha düşük yatırım maliyetleri (ürün sonu arıtma maliyetleri göz önünde bulundurulmaz, yeniden ısıtma da değerlendirilmez (ilgili mevzuata bağlıdır))

bazı dezavantajlar:

- Pahalı ayrıraç
- Mutedil baca gazı partikül azaltımı
- Düşük egzoz gaz derecesi (baca gazı dağılması için zararlı)
- Yüksek su tüketimi
- Yüksek su akımı boşaltımı ('yan ürün')

Daha büyük dizel güç tesislerinde, düşük işlem maliyetleri nedeniyle (daha ucuz ayrıraç vb.) , diğer DESOX yöntemleri genellikle NaOH-DESOX'dan daha rekabetçidir (çoğu motor ünitesi aynı DESOX ünitesine bağlanabilir vedolayısıyla yatırım maliyetleri düşer). Tüm DESOX yöntemleri büyük miktarlarda yapay suya ihtiyaç duyar ve çevresel ses yolunda dışarı atılması gereken büyük miktarda ürün sonu/yan ürün üretir.Yan ürünün boşaltılması seçenekleri yerel ve ulusal standartlar ile mevcut altyapı sistemine bağlıdır. Yani bunlar durum bazında belirlenecektir.

### 6.1.10.3.3 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

Uygun maliyetli ve teknik olarak uygun ilk ve ikinci egzoz gazı temizleme teknolojileri, günümüzün ürün geliştirmesinin odağındadırlar. Kaynaktaki hava emisyonlarını azaltmak için ilk yöntemin uygulaması, çoğunlukla büyük masraflı olan, oluşumdan sonra onları egzoz gazından ihraç etmeye çalışmak için tercih edilirler. Geçtiğimiz on yıl boyunca, büyük sıvı yakıtla çalışan dizel motorlarındaki NO<sub>x</sub> emisyonları, verimliliğini yükseltmesinin yanısıra makine üzerindeki geniş Ar&Ge çalışmasının sonucu olarak ilk tedbirlerle önemli ölçüde azaltılmıştır. Bazı tedbirler aşağıdakiler kapsamaktadır:

- Düşük NO<sub>x</sub> i yakıt enjekte gecikmesi,su ilavesi için en ideal hale gelmiş bir ana motor gibi, sıvı yakıtla çalışan dizel motorlarının ilk tedbirleri (doğrudan yakma alanına su enjektesi ya da yakıttaki su emülsiyonu ya da yakma havanın nemlendirilmesi)
- Dual yakıt motoru (gaz modunda) genellikle 'yağsız yakma' tekniğini kullanır ve sonuç olarak NO<sub>x</sub> emisyonu düşüktür
- Dizel motorları için uygulanabilir ikinci bir yöntem, ör: SCR (Selektif Katalitik Azaltım).

Yukarıda bahsedilen noktaya göre, NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmanın teknik tedbirleri birincil tedbirlere ve egzoz gazı arıtmasına bölünebilir.

**Düşük NO<sub>x</sub> yakma kavramı:** 'düşük NO<sub>x</sub> yakma kavramının bir elementi ise çok geç yakıt enjektesi zamanıdır. Bu enjekte gecikme yönteminde , yakma derecesi tepesi düşürülür. Başlangıç olarak, bu yöntemin dezavantajı , arttırılmış özel yakıt tüketimiymi, bu yüzden düşük yakıt tüketimini yeniden kurmak için motorun sıkıştırma oranı karşı tedbir olarak arttırıldı; ve bu da daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonları ve fuel-oil tüketimi açısındanaceza almama olarak sonuçlandı.

Yüksek sıkıştırma oranıyla kombinasyondaki çok geç yakıt enjektisi, yakma odası şeklinin tasarımının maliyetli gelişmesinin yanısıra gelişmiş modifiyeli bie enjekte oranını da ister. Gelişmiş yatak enjektisi ekipmanı dolayısıyla bu teknikte kilit elementtir. Dizel bileşenlerin devam eden teknolojik gelişmesi , dizel çevrimin ‘Miller kavramı’yla daha iyi hale gelmesini mümkün kılmıştır. Bu kavramda, turbo kompresör, yakıt enjeksiyon pompaları, yakıt enjeksiyon püskürtme başlıkları ve eksantrik mili gibi bazı parçalar daha da geliştirilmiştir.

Miller kavramıyla kombinasyonda düşük NO<sub>x</sub> yakma kavramını kullanarak, 1990ların başlarındaki aynı motor türüyle kıyasla günümüz motorlarındaki NO<sub>x</sub> yüksek verimlilik sürdürülerek, yaklaşık %40’a kadar azaltılmıştır.

Yakma basıncını düşürmek için enjektinin başlamasının gecikmesi ,NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmanın kolay bir yoludur. Tepe yakma derecesi seviyesini azaltır ve yakma işlemi yavaş yavaş ilerleyerek genişleme işleminin içine taşınır. Modern bir motor için, bu yöntemle NO<sub>x</sub> azaltımı %10 civarındadır.

**Motor hızı:** NO<sub>x</sub> emisyonu motor hızına bağlıdır. Yakıt verimliliği , büyük sondaj, düşük hız motorları, daha hızlı çalışan daha küçük motorlardan daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına sahip olma eğilimindedirler. Motor hızı yavaş olduğu zaman , NO<sub>x</sub> üretimi için daha uzun zaman mevcut olduğu için NO<sub>x</sub> konsantrasyonları yakma odasında daha yüksektirler.

**Egzoz gazı devirdaim uygulaması:** egzoz gazı devir daimi (EGR) büyük sondaj motorlarından NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için de bir yöntemdir, fakat egzoz gazı motora devir daim yapmadan önce soğutulması ve temizlenmesiyle bağlantılı belli sorunları çözmek gerekmektedir. Devir daim edilen gazlar temel olarak karbon dioksit, nitrojen ve yakma alev derecesini düşürmeye yardım eden su dumanını kapsar. Egzoz gazı temizliği, boşaltılması ve arıtılması gereken asidik, kirli ve benzinli çamura yol açar. Temizlenmiş gazda kalan herhangi sülfirik asit parçacıkları, turbo kompresörlerine ve hava soğutucularına saldırabilirler. %15’e kadar EGR için, %50’ye kadar NO<sub>x</sub> azaltımı bildirilmiştir. Buna rağmen, yukarıda bahsedilen sorunlar, EGR uygulamasıyla hesaba katılmadıkları.

**Yakıt/su emisyonu enjektisi:** NO<sub>x</sub> azaltımları yakıtta taze su ekleyerek ve motora temin etmeden önce karışımı emülsiyonlaştırmakla elde edilebilir. Yakıt/su emülsiyonu mevcut enjekte pompası yoluyla enjekte edilir. Enjekte edilen suyun miktarı işlem koşullarına bağlıdır. Programlı bir kontrol ünitesi karıştırma prosedürünü gerçekleştirir. Bu yöntem suyu tam olarak istenilen yere getirir ve enjekte edilen su miktarını en ideal hale getirir. Bu miktar, motorun enjekte aletinin kapasitesiyle sınırlanır. Yakma odasındaki suyun hareketsiz gaz etkisi , daha sonradan NO<sub>x</sub> üretimini azaltan yakma derecesini ve ayrıca egzoz gaz akışındaki bileşenlerin termal yükünü azaltır. Bağlantılı yakıt tüketimi ceremesi ,her %10’luk su enjektisi (yakıt tüketimine bağlı olarak) için, %1’e kadar artış gösterir. NO<sub>x</sub> azaltımı , artan su enjektisiyle neredeyse doğrusaldır. NO<sub>x</sub> emisyonunu %20-30 azaltmak mümkündür. Bu çözüm ayrıca, dizel egzoz gazında kalan zararlı bileşenleri etkileyebilir ve CO ile HC gibi yanmamış emisyonlardaki azaltım, bu yöntemi kullanan gaz üzerinde işlem yapılırken bildirilmiştir. Ağır yakıt yeniden ısıtmasındaki duman kabarcıkları enjekte sistemine zarar verebildikleri için emülsiyon kalitesi önemlidir.

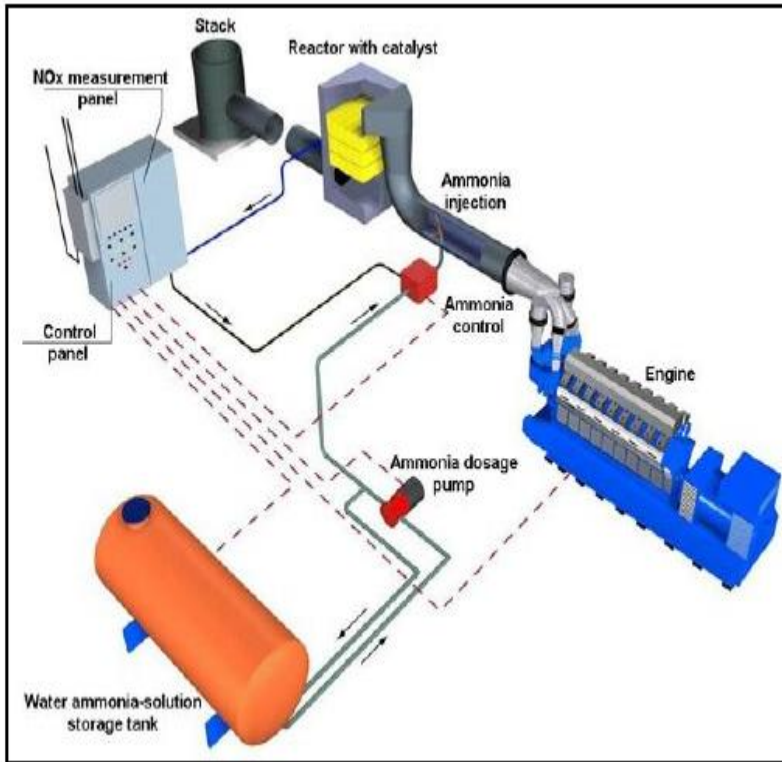
**Direkt su enjektisi:** direkt su enjektisi, emülsiyonlaştırılmış yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir. Motor türüne bağlı olarak , %40-60’a kadar NO<sub>x</sub> azaltımı gerçekleştirilebilir. Doğrudan su enjektisi sadece bazı sıvı yakıt yakan motor türlerine uygulanabilir, bu teknik sadece bazı sevkiyat kurulumlarında kullanılır. Yakıt tüketimi artar ve gereken su miktarı NO<sub>x</sub> azaltım oranına bağlıdır. Ek su enjekte sistemine ve bu sistemin kontrolüne duyulan ihtiyaç nedeniyle, bu yöntem, motor tasarımına daha iyi modifikasyonlar gerektirmektedir. Enjekte edilebilen su miktarı, daha büyük miktarlardaki suyun enjekte edilmesine imkan sağlayan yakıt enjekte pompalarından bağımsızdır. Korozyon, bakım gerekliliklerini arttıran pistonlar ve silindir kafalar üzerinde meydana gelebilir.

**Nemli hava enjektisi:** nemli hava enjektisi temel olarak bir ısı eşanjörünü ve muhtemelen intercoolerin yerini alabilen nemlendirme hücrelerini kapsar. Nispeten sıcak ve kuru olan hava, süpürücü hava derecesini azaltan suyun kısmi buharlaşmasında üniteye beslenir. Silindire beslenen hava, su dumanında nerdeyse doymuştur: motor tarafından emilen su miktarı, su derecesine dayanan süpürme hava derecesi tarafından kontrol edilir. Bu yöntemle, corresponding yakıt tüketiminin yaklaşık iki katı miktarındaki su motor tarafından emilebilir. Böyle aletler için arıtılmış su kullanmak yerine deniz suyu kullanımının, tesis güvenilirliğine uygun olarak olumsuz bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Böyle bir sistemin işlem maliyetleri düştüğü için, bu nokta özellikle kıyasal alanlarda konumlanan tesisler için ilgi çekicidir. Fransa'da motorla üzerindeki nemli hava enjektisinin kullanımı deneylerine göre, bakım maliyetleri düşer, yakma odaları daha temizdir ve yağlama benzin tüketimi de aynı zamanda azalır. Orta hızdaki bir motor üzerindeki NO<sub>x</sub> emisyonlarının %70 azaltıldığı rapor edilmektedir.

Yüksek NO<sub>x</sub> azaltımı, yanmamış bileşenlerin (CO, HC, duman vb.) daha yüksek emisyonlarına yol açar. Tesler, pratik uygulamalarda NO<sub>x</sub>'in %50'ye kadar azatımlarının yanmamış bileşenlerin (CO, vb.) kabul edilebilir emisyonlarına sahip olmak için mantıklı olduğunu göstermektedirler. Etkiler ayrıca yaralı bir derece düşüşüne, turboşarj basıncına ve yakma havaya ne kadar su dumanı ekleneceğine bağlı olan miktara yol açmıştır. Makine boyunca hava kütlesi, herhangi ilave sıkıştırma çalışmaya gerek duymaksızın su dumanı tarafından hafifçe artırılır.valflerde, pistonlarda ve hava alıcılarda çürüme meydana gelebilir, yani artan bakım ihtiyaçları ve maliyetleri. Bu yüzden, çürümenin etkilerini ve olası düzeltme seçeneklerini tahmin etmek için uzun vadeli testlere gerek duyulmaktadır.

**SCR:** günümüzde Avrupa, Asya ve BD'deki güç istasyonlarında ve ortak üretim tesislerinde birkaç yüz tane motor SCR ile donatılmıştır. Dizel ya da düşük dereceli ağır fuel oil (180 cSt, 5% S) için fuel oil ya da artık yakıtlar ya da hatta orimülsiyona kadar değişen çeşitli derecelerdeki sıvı yakıtlarla çalışırlar. SCR, CO ve NH<sub>3</sub> azaltımı için ek bir oksidasyon tabakasıyla donatılabilir, fakat bu kükürt içeren sıvı yakıtları (HFO gibi) işlerken tavsiye edilmez. Bir oksidasyon katalizörü SO<sub>2</sub>'nin bir kısmını SO<sub>3</sub>'e oksitleyecektir, ve dolayısıyla ek partikül oluşturulur(sülfat). Daha büyük bir dizel motoru düşük yanmamış(CO,HC) emisyonlarına sahiptir. NO<sub>x</sub> azaltımı oranı %85-90 olduğu zaman, SCR sistemi yüksek NO<sub>x</sub> azaltma oranlarıyla, karışık ayraç premixing ve enjekte sistemleriyle basit bir kontrol sistemi tarafından kontrol edilebilir ve daha gelişmiş kontrol sistemine ihtiyaç duyulur. Güç üretimi için büyük dizel motorların operatörleri genellikle NO<sub>x</sub>'in yanı sıra CO,HC ve partikül emisyonlarının azaltma görevine sahiptirler. Genellikle, gürültü kirliliği susturucuların kullanımıyla azaltılmalıdır. Oksidasyon katalizörlerini kapsayan SCR sistemleri kendileriyle birlikte bu konuların hepsini tek sistemde karşılama avantajını da getirirler. %90lık NO<sub>x</sub> emisyonlarına ek olarak,ortalama motor gücü için CO ve hidrokarbonlarda %80-90 azalma, partikül maddesinde %30 azalma ve 8-10 Db(A)lık bir gürültü azalması beklenebilir.

Genel olarak, SCR sistemlerinde kullanılan azaltma ayraçları 25 wt-% civarında sulu bir NH<sub>3</sub> çözümdür ya da 40 wt-% civarında üre su çözümdür. Bazı kurulumlarda saf amonyak (%100) kullanılır(çoğunlukla fiyatı yüzünden). Değişik yüklü uygulamalar için, commissioning boyunca motor emisyonları farklı yük seviyelerinde ölçülür. Ölçülen emisyon değerleri daha sonra, değişen NO<sub>x</sub> seviyeleri için azaltma ayraçlarının doğru miktarda egzoz gazı akımına enjekte edildiğini garanti eden kontrol sistemlerine girdirilir. Motor performansı etkilenmesin diye, katalizör türü ve SCR reaktör boyutu her özel uygulamanın basınç düşüş kısıtlamalarına uydurulurlar.[167, Rigby, et al., 2001].



Nox measurement panel	Nox ölçüm paneli
Control panel	Kontrol paneli
Water ammonia-solution storage tank	Su-amonyak çözümü depolama tankı
Stack	Baca
Reactor with catalyst	Katalizörlü reaktör
Ammonia injection	Amonyak enjeksiyonu
Ammonia control	Amonyak kontrolü
Ammonia dosage pump	Amonyak dozaj pompası
Engine	Motor

Şekil 6.3: Sabit motor yakma tesisine uygulanan SCR sistemi  
[97, Euromot, 2000]

Dizel güç tesislerinde SCR'nin uygulanabilirliği göz önünde bulundurulduğunda, aşağıdaki 4 nokta dikkate alınmalıdır:

- Öncelikle, katalizör elementleri üzerinde salt oluşumdan kaçınmak için egzoz gaz derecesine yoğunlaşmalıdır. Yakıtın kükürt içeriğine dayanan belli bir minimum baca gazı derecesi sürdürülmelidir. Yakıtta ortaya çıkabilecek bazı kalıntı metaller 'katalizör zehirleri' olarak hareket edebilirler ve yakıtın kullanılacak kül içeriği, eğer düşük derecede ağır fuel oil kullanılıyorsa tercihen yöntem kurulmadan önce analiz edilmelidir. Bugün SCR ile donatılmış çoğu dizel tesisleri düşük kükürt benzinleri ya da doğal gazla çalışır. Deney gösterdi ki; ağır yakıt ya da diğer artık yakıtlar üzerinde çalışılırken, SCR üzerinde elementleri temiz tutmak ve basınç düşme artışlarından kaçınmak için SCR reaktöründe kurum üfleme sistemi kurulmalıdır.
- İkinci olarak, üretilen amonyakla bağlantılı nakliye ve depolama riskleri en aza indirgenebilir. Bazı yerlerde, uygun endüstriyel altyapı sisteminin eksikliği nedeniyle ayrıca stoğu sınırlı olabilir.
- Üçüncü olarak, SCR teknolojisi yüksek maliyet ve işlem bedellerine sahiptir. Genelde, teknik sebeplerden dolayı her makine kendi SCR ünitesiyle donatılmalıdır. İşlem bedelleri gereken ayrıca miktarına ve SCR tasarımının tasarım verimliliğini sürdürmek için katalizör elementlerin değiştirildiği ya da yeni eklendiği sıklığa bağlıdır (işlemden birkaç yıl sonra). Kullanılan katalizör elementleri uygun şekilde boşaltılmalıdır.
- Son olarak, amonyak slip önlemek için, SCR sisteminin düzenli planlanmış bakıma ya da denetlemeye tabi tutulması önerilmektedir: yıllık. Örneğin, yüksek amonyak 'slip'li zararlı salt tortular, buhar kazanındaki gibi reaktörden sonra mevkilenmiş bileşenlerin iç yüzeyi üzerinde meydana gelebilir.

#### 6.1.10.4 Sıvı yakıtla çalışan gaz türbinlerinden kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü

##### 6.1.10.4.1 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

Düşük kükürt benzinine ya da benzinin ve gazın birlikte yakımına SO<sub>2</sub> emisyonlarına önemli ölçüde katkı yapabilmeyen teknikler olabilirler. Gaz türbinlerinde kullanılan hafif fuel oil kükürt içeriği uygun Direktif 93/12(AB'de geçerli olan belli sıvı yakıtların kükürt içeriğine göre) uygun olarak belirlenir ve %0.05'in altında olmalıdır. Bu çok düşük kükürt içeriği, hafif damıtılmış benzinle yakıtlanan gaz türbinlerinde önemsiz SO<sub>2</sub> emisyon seviyelerini sağlar.

##### 6.1.10.4.2 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

NO<sub>x</sub> oluşumu yakma derecesini düşürerek sınırlandırılabilir. Bu, aşırı alev tepesi derecelerinden kaçınmak için yakıtın yakma havayla karıştırıldığı ön karıştırma brülör tekniği tarafından gerçekleştirilir. Buna rağmen, bu sadece ünite tam yüklemenin yanında çalışırken işler. Flashback'lerden kaçınmak için kısmi yük işletim, açma ve kapama için farklı bir yakma yöntemi uygulanmalıdır. Buhar enjektisi ve su enjektisi de yakma derecelerini ve dolayısıyla NO<sub>x</sub> azaltmak için kullanılırlar.

Daha düşük derecelerdeki gaz türbinlerinde aşama yakamayı uygulamak, farklı bir gaz türbini tasarımına ihtiyaç duyar. Çünkü ayrı yakıt stoklarıyla iki basınç aşaması gerekmektedir.

**Islak azaltma işlemleri:** yakma derecesini düşürmek ve böylece termal NO<sub>x</sub> oluşumundan kaçınmak için, yakma odalarına su ya da buhar enjekte edilir. 'kombine çevrim' ya da ortak üretim sisteminde gaz türbinleri (GT) için enjekte için buhar daha çok tercih edilirken, 'açık çevrim' sisteminde işleyen gaz türbinleri (GT) için, enjekte için su kullanılır.

Özellikle Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya ve Hollanda olmak üzere Avrupa'da döngü tesisleriyle birleşmiş bazı gaz türbinleri de ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için SCR sistemlerine başvurdular. BD'de SCR, sıvı yakıtla çalışanlar da dahil olmak üzere yaygın olarak gaz türbinlerinde kullanılır.

#### 6.1.11 Su ve atık su arıtımı

Bölüm 3'te atık su arıtımı için tanımlanan teknikler büyük ölçüde sıvı yakıtla çalışan tesislerin atık su safalaştırması için uygulanır (buhar kazanları, gaz türbinleri ve durağan motorlar).

Benzinle çalışan LCPlar için su arıtmasının özel gereksinimleri yoktur. Davullardan ve su ya da buhar sızıntılarından su kaybını telafi etmek için demineralize su gereklidir. Su kaitesi buhar kazanı üreticilerinin gereksinimlerini karşılamalıdır ve yani su arıtması gereklidir. Genellikle demineralizasyon bu gereksinimleri karşılamak için yeterlidir.

Gaz türbini ve HRSG, aşağıdaki amaçlar için demineralize su gereklidir:

- Varillerden sızan su için telafi için HRSG için ilave su olarak. Eğer buhar ya da su enjektisi uygulanırsa, su kaybı yapay su eklenerek telafi edilmelidir. Kalite üreticinin gereksinimlerini karşılamalıdır ve bu yüzden genellikle su arıtması gereklidir. Genellikle demineralizasyon bu gereksinimleri karşılamak için yeterlidir.
- NO<sub>x</sub> azaltımı (yaklaşık 1kg yakıtta 1kg su) için su enjektisi. Fransa'da, örneğin gaz türbini kompresörü yıkaması için su enjektisi, toplam yakıt akışının %50-100 arasındadır, demineralize su genellikle kullanılır.
- Çerimiçi yıkama için, su/buhar döngüsünde sıvılaşma kullanılır fakat çoğunlukla demineralised su ayrı bir su yıkama ünitesine temin edilir. Çevrim dışı yıkama için, yıkama etkisini arttırmak amacıyla demineralised suya deterjan eklenir.

Gaz türbininin ve HRSG'nin (uygulanırsa) çalıştırılması, aşağıdaki atık sulara neden olur:

- Kazanın döngü sisteminden aşağıya akan su. Kazan suyunun kalitesini korumakta kullanılan sudur. Kazan suyu genel olarak kazanı amonyak, sodyum hidroksit ve/veya fosfattan kaynaklanan aşınmalara karşı korumak için katkı maddeleri içerir. Uygulamada, aşağıya akan bu su, kanalizasyon sistemlerine söndürülerek boşaltılır ya da suyun izin gereksinimlerini karşılamıyorsa, arındırma tesisine aktarılır.
- Gaz türbinlerin su yıkama işlemlerinden çıkan atık sular, boşaltılabilir, ya da yıkamadan kullanılan deterjanlara ve benzin yakirletilen kompresör su atıkları için materyallerin atılmasına bağlı olan kimyasal atıklar olarak değerlendirilir.
- Bir sistemdir ve su arıtma tesislerinde ayrı ayrı arındırılır.
- Tesisten çıkan, gaz yıkayıcı su gibi klan atık sudur. Genel olarak iç kanalizasyon sistemine boşaltılır.

Motorla çalıştırılan güç tesisi genel olarak, suyu muhafaza eder. Soğutma devreleri yakıt enerji alımının yaklaşık %20-30'unu içerirler. Soğutma devrelerinden başka CHP tesislerinde yararlanılamıyorsa, soğutulmalıdır. 130 MW<sub>e</sub> 'lik dizel yakıtla çalışan ve soğutucu kule donanımlı güç tesisinde tek bir döngü, benzer boyutlarda kömür/benzine dayalı yakma sistemleri ile soğutucu kuleleri bulunan ve yaklaşık 500 m<sup>3</sup>/h ham su (yukarıdaki şekillerde DESOX değerlendirilmemiştir. ) tüketen termel akım türbinli bir tesisle karşılaştırıldığında, 220 m<sup>3</sup>/h ham su tüketmektedir. Hava soğutuculu radyatörler motorla çalıştırılan tesisler için oldukça uygundur. Örneğin; 130 MW<sub>e</sub> 'lik ağır yakıtla çalışan dizel tesisin radyatör donanımlı olması durumunda, gerekli ilave su, (çoğunlukla akaryakıt ve motor yağı ayrıştırıcıları için, motor soğutucu devre için ilave su, turba yıkama suyu vb. ) genellikle 5 m<sup>3</sup>/h dolaylarındadır.

Daha az su gereksiniminin bir sonucu da, daha az miktarda atık suyun boşaltılması ve sonuç olarak da çevredeki suyollarında daha az termal kirlilik olacaktır. Bir başka sonuç ise, bölgedeki farklı su arındırma kimyasallarının daha az miktarda kullanımı, daha az risk ve böylelikle de kimyasal dökülmeler olacaktır.

### 6.1.12 Yakma tortu ve yan ürünlerinin arıtılması

Benzini arındırılması, ünitelerin, modüllerin, filtrelerin, birleşik temizleme ünitelerinin ve tüm yakıt tavlama sistemlerinin merkezkaç ayırımı kapsamaktadır. Benzin ve çamurun yüzdürülmesi ve presipitasyon yoluyla arındırılma sistemleri, bu sistemlerle entegre edilmiştir. Yenilen benzin ya da yakıt, benzinle çalışan yardımcı bir kazanda yakılmaktadır.

Son çamurların dehidrasyonu sağlanır, kurutulur, katı hale getirilir ve ve yakılır; ya da yetkili yükleniciler tarafından hazırlanır. Çamurun dehidrasyonu ile açığa çıkan, benzin ile kirlenmiş ya da yağ içeren sıvıdaki su, genel olarak özel bir sistemde toplanır ve arı olarak boşaltılır. Çamur ayrıca, hava ön ısıtıcılardan, baca gazındaki kazanlardan ve diğer ekipmanlardan çıkan yıkama atık maddelerinin arındırılması ile toplanır.

## 6.2 Uygulamalı teknik ve proses örnekleri

Bölüm 6'nın bu kısmında sıvı yakıtla çalışan farklı yakma tesislerinde halihazırda uygulanan bir dizi proses ve tekniklere ilişkin örnek sunulmuştur. Bu örneklerin amacı her bir durumda özel sahaya özgü koşullar ile çevresel gereklilikler dikkate alınarak bir bütün olarak çevreye ilişkin yüksek düzeyde koruma sağlamak amacıyla spesifik tekniklerin yeni veya uyarlama tesislerde nasıl uygulandığını ortaya koymaktır. Ancak, Direktif'in 2(11). Maddesinde verilen MET tanımı ile birlikte 'tedbir ve önleme prensipleri ve tedbirlerin olası maliyet ve faydaları göz önünde bulundurularak mevcut en iyi tekniklerin değerlendirilmesinde genel ve özel olarak değerlendirilmesi gereken hususlar' listesine göre toplanan bilgilerden örneklerde açıklanan her bir tekniğin nasıl değerlendirildiği ya da değerlendirilip değerlendirilmediği her zaman açık değildir. Bununla birlikte sunulan çevresel performansın tüm çalışma koşullarında sabit ve sürekli olduğunu, zaman prosesinde herhangi bir sorunla karşılaşp karşılaşmadığı ve çapraz medya etkilerinin neler olduğundan emin olunamaz. Ayrıca tekniğin uygulanmasında itici gücün ne olduğu maliyet ve çevresel faydaların her bir durumla nasıl ilişkili olduğu da her zaman net değildir. Bu nedenle aşağıdaki örneklerde verilen bilgilerin rapor edilen mevcut uygulamaya ilişkin sadece genel belirtiler verdiğinden ve bunların uygun başvuru noktaları olarak ele alınamayacağından bahsedilmektedir. Örnek olarak verilen teknikler LCP'lerin bilgi alışverişinin bir parçası olarak Teknik Çalışma Grubu üyelerinde değerlendirilen ve sunulan bilgilerden kaynaklanmaktadır.

### 6.2.1 Sıvı yakıtla çalışan büyük yakma tesislerinden kaynaklı emisyonları azaltmada kullanılan bireysel teknikler

#### **ÖRNEK 6.2.1.1 Fuel Oil / Orimülsiyon İle Çalışan Buhar Kazanlarında Nox Azaltımı Ve Kazan Performansına Yönelik Lokal Yakma Şartlarının İleri Düzey Kontrolü**

**Açıklama:** Endüstriyel buhar kazanlarındaki verimlilik ve NO<sub>x</sub> jenerasyonu, geniş ölçüde fırın içindeki yakıt ve havanın doğru şekilde dağıtılmasına bağlıdır. Sunulan kontrol teknolojisi, yerel yakma işleminin dengeleme stratejilerine ve yakma sistemlerinin ileri düzeydeki izleme teknolojilerine bağlıdır. Bu da dengesiz yakma seneryolarında karşılaşılan yaygın durumları çözmek için daha sınırlı yakma kontrollerine olanak sağlamaktadır. Bu sistem, endüstriyel buhar kazanı fırınlarının her iç bölgesinde, özellikle de kazan yakınlarında alınacak gaz konsantrasyon tedbirlerini sunmaktadır. Bu da sadece performansın ve sonucunda da NO<sub>x</sub> performansının izlenmesine (buhar kazanı verimliliği, NO<sub>x</sub> emisyonları, slagging, yardımcı tüketimler gibi) olanak sağlamakla kalmayacak; ayrıca endüstriyel buhar kazanlarına daha güvenli ve uygun çalıştırma imkanı da verecektir. Bu teknoloji hakkında daha ayrıntılı bilgi için, bölüm 4.2.1'deki teknik örneklerini de inceleyiniz.

**Uygulanabilirlik:** Endüstriyel buhar kazanlarındaki fırının içerisine yeni bir ölçü sistemi uygulamak; açıklıklara, kazanın orijinal tasarımında yer alan denetim kanallarıyla sınırlandırılmadan, gereken her yere konulabilme olanağı sağlar. Bu yolla buhar kazanındaki her brülörün seviyesine göre, ünitelerde önemli hiçbir yapısal modifikasyonlar yapılmadan ölçü yapılabilir. Bu yüzden sunulan kontrol teknolojisi, hem var olan hem de yeni kurulumlarda uygulanabilir. Tablo 6.1, bu ileri kontrol teknolojisini uygulandığı, var olan 4 adet akaryakıt ve orimulsion ile çalıştırılan yakma tesislerinin temel özelliklerini göstermektedir. Bu tesisler, İspanya ve İtalya'da bulunmaktadır.

Tesis	Buhar kazanı tasarımı	Kapasite (MW)	Brülör dağılımı	Yakıt tipi	Atomizasyon
A	Ön	40	2 dikey seviye (seviye başına 3 brülör)	Fuel oil	Buhar
B	Ön	40	2 dikey seviye (seviye başına 3 brülör)	Fuel oil	Hava
C	Ön	60	3 dikey seviye (seviye başına 2 brülör)	Fuel oil	Buhar
D	Teğetsel	320	5 dikey seviye (seviye başına 4 düşük NOx brülörü)	Orimülsiyon (kömür uyarlamalı)	Buhar

Tablo 6.1: Petrolle çalışan buhar kazanlarında sunulan ileri kontrol teknolojisinin uygulanması

**Sağlanan çevresel faydalar:** bu teknolojiyi uygulanması, %30 oranında NOx azaltımını sağlamış; aynı zamanda da CO emisyonlarını en aza indirmiştir. Bu da tüm tesis performansında ( özellikle de akım düzenleme gereksinimlerinin ve SO<sub>2</sub> jenerasyon kontrollerinin azaltımı) önemli gelişmelere yol açmıştır.

İşlemsel veri: gelişme, aşağıdaki temellere dayanmaktadır:

- Tüm oksijen fazlalığının ayarlanması, aynı zamanda da her brülör için yeterli seviyede yerel stikiyometrinin sürekliliğinin sağlanması
- Alev türlerinin ayarlanması(hava alımın uygun kontrolüne dayalı)
- Çalıştırılan her yüklemeye için aktif brülörlerin optimum sayılarının belirlenmesi

Tüm bu düzenlemeler, her brülörün bireysel, işlemsel koşullarının uygun kontrolünün garantisi üzerine, yerel yakma ölçümlerine dayanarak yapılmıştır.

**Çapraz medya etkileri:** Yukarıda bahsedilen doğrudan çevresel yararları ek olarak, yerel yakma koşullarının ileri kontrol işlemi, az miktarda yakıt gereksinimi gibi daha birçok avantaj da sağlamaktadır. Bölüm 4.2.1'deki örneği de inceleyiniz.).

**Ekonomi:** Bu teknolojinin maliyeti günümüzde, uygulanacak ünitenin farklı özelliklerine de bağlı olarak(kapasite,tasarım, temel işlemler vb.), 300000- 700000 EUR'e yaklaşmaktadır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Yakıt giderlerinin ve NOx oluşumlarının azaltılmasının yanında, tekniğin uygulanmasının başlıca sebepleri, fırın içerisindeki oksijen ayarlarının yapılarak ısı oranlarını geliştirilmesi ve fırın içerisindeki derece dağılımının yapılabilmesidir.

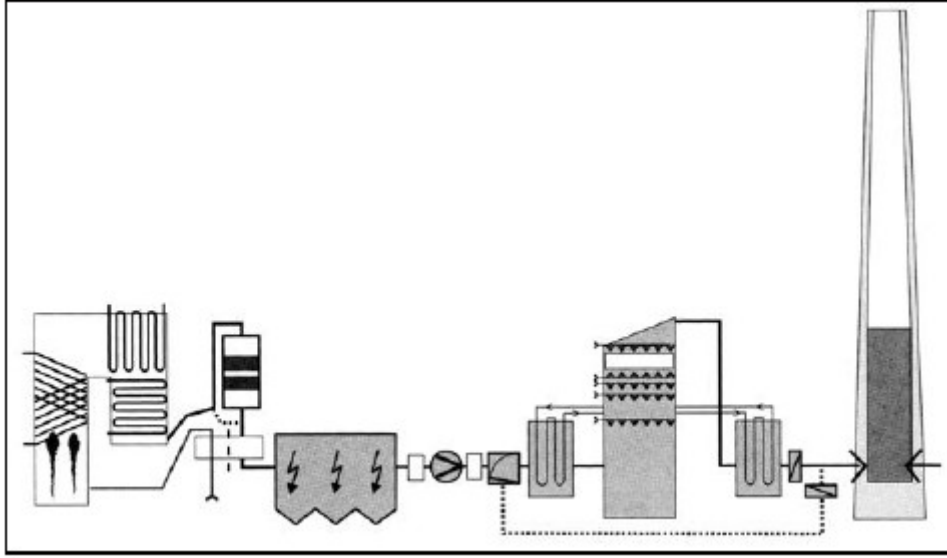
**Referans yazını:** [176, Cañadas and et al, 2001], [177, Rodríguez and et al, 2002], [178, ECSC, 2001].

## 6.2.2 Mevcut sıvı yakıtla çalışan büyük yakma tesislerinin çevresel performansının geliştirilmesi

### ÖRNEK 6.2.2.1 Baca Gazı Arıtma Sistemi Uyarlamalı Ağır Fuel Oil İle Çalışan Buhar Kazanı

**Açıklama:** iki benzer ünite, 2 x 420 MW<sub>e</sub> güç üretim kapasitesi ve 2 x 1007 MW termal alım oranında 2 x 386 MW net elektrik kapasitesine sahiptir. Ham petrol, ağır akaryakıtın üretildiği rafineri yakınına boru hatları aracılığıyla aktarılır. Tesis 1965 yılında kurulmuş ve baca gazı arıtma kurulumu ile 1990 ve 1994 yıllarında yenilenmiştir. >%90 ayırma kapasitesi ile ıslak desülfürizasyon; >%70 ihrac kapasitesi ile yüksek toz halinde SCR kurulumunu da kapsamaktadır. Üstelik, GRP ile 180 m boyunda yüksek baca içerisine hat döşenmesi, asit partiküllerinin ve tozun emisyonlarını azaltmıştır. Buhar kazanı(Benson, iki hava akımı), 14 adet düşük NOx brülörü, aşırı yanan hava ve yakma hava ön ısıtıcı ile donanımlıdır. Benzin, 340000 m<sup>3</sup> toplam hacme sahip 5 adet tankta depolanır. Tanklardan iki tanesi, depolanan ılık benzinden ayrılmıştır. Elektrostatik presipitator (ESP) ve ıslak gaz desülfürizasyonu (FGD) birlikte, baca gazındaki toz içeriğini en az %80 oranında azaltmaktadır.





Şekil 6.4: SCR, ıslak FGD ve ısı displasman sistemi uyarlanmış ağır fuel oil ile çalışan elektrik santrali

**Sağlanan çevresel yararlar:** Geliştirilen baca gazı arındırma işlemi, temiz gazda elde edilebilecek  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  konsantrasyonlarının nispeten daha düşük olmasına olanak sağlar. Bacanın geliştirilmesi, çevredeki tesislerin asit partiküllerinin etkilerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

**Uygulanabilirlik:** İkinci baca gazı arındırma işlemi, var olan ağır akaryakıtla çalışan kazanlara eklenebilir. Bacanın, asit partikül kontrolü için geliştirilmesi, yerel koşullara bağlıdır. Burada, temiz gazdaki  $\text{SO}_3$  konsantrasyonu, suda çözülebilirliği ve baca duvarlarında yoğunlaşabilirliği sayesinde, en önemli parametredir. Yüksek orandaki asidik sıvı daha sonra, yakın çevreye aktarılır. Genel olarak baca gazındaki  $\text{SO}_3$  konsantrasyonları, ıslak FGD sistemlerinde yalnızca %20- 30 oranında azaltılabilir. Diğer yandan FGD, baca gazı derecesini düşürür ve su buharı içeriği artırır. Bu iki etki de, bacadaki asitin yoğunlaşmasını artırır.

**Çapraz medya etkileri:** ESP'nin çalıştırılması ile uçucu kül açığa çıkar. Islak FGD ile atık su ve alçıtaşı üretilir. Baca gazı arındırma işlemi tesisin net elektrik verimliliğini azaltır.

**İşletim verileri:** 1998 yılında, ilk ünite 1544 saatlik işlem sırasında  $443.5 \text{ GWh}_e$  ve ikincisi de 1017 saatlik işlem sırasında  $299 \text{ GWh}_e$  net elektrik üretmiştir. Yıllık elektriğin ortalama net verimliliği %36.7 olarak değerlendirilmiş ve 961 adet eşdeğerde tam yüklemeye saatine ulaşılmıştır.

	İzleme	Ölçülen emisyon seviyeleri (mg/Nm <sup>3</sup> ) (% 3 O <sub>2</sub> 'de yıllık ortalama değer)		Spesifik emisyonlar (g/MWh <sub>e</sub> )	
		Ünite 1	Ünite 2	Ünite 1	Ünite 2
Os içeriği (%)	Sürekli	4.5	4.5		
Baca gazı hacim akış hızı (106 m <sup>3</sup> /h)	Sürekli	1.3 (Tam yük)	1.3 (Tam yük)		
Toz (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	10	15	20.5	30.2
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	50-250	50-250	52	235
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	121	131	331	355
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	50	50	20.5	20.7
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	0.2 <sup>1)</sup>	<0.1 <sup>1)</sup>	0.08	0.04
HF (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	<0.1 <sup>1)</sup>	<0.1 <sup>1)</sup>	<0.04	<0.04
NH <sub>3</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli		<0.1 <sup>1)</sup>		<0.04

Notlar: 1) bireysel sonuçların ortalama değerleri

Tablo 6.2: 1998 yılındaki atmosferik emisyonlar

Yakılan ağır fuel oilin miktarı 179'dir, bu 0.242 kg/kWh<sub>e</sub>'lik özel tüketim anlamına gelir. Yakıtın kükürt içeriği %3.5 ve kül içeriği %0.056'dır.

Yan materyal	Tüketim	Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )
HCl, (%30 solüsyon)	122	160
NaOH, (%50 solüsyon)	27	36
Sönmüş kireç	20	27
Ezilmiş kireçtaşı	13811	13500
FeCl <sub>3</sub> , (%40 solüsyon)	14	19
NaOH (%25 solüsyon)	7.5	20
NH <sub>3</sub>	458	620
Hafif fuel oil	2952	4200

Tablo 6.3: 1998 yılındaki önemli yan materyallerin tüketimi

Tek geçişli soğutma sistemi 97.15 milyon m<sup>3</sup>/yr'ye ihtiyaç duyar ve bu da tam yükte 100000 m<sup>3</sup>/h'lik özel bir isteğe denk gelir. Atık su, tam su yumuşatma tesisinde rejenerasyon boyunca üretilir. Bu suyun yıllık ortalama akış hızı 12 m<sup>3</sup>/h'dir. Ortalama AOX yoğunluğu 1 mg/l'den küçüktür, bu 0.015 g/MWh<sub>e</sub>'den daha azı demektir. PH değerinin ayarlanmasından sonra, bu atık su alıcı suya bırakılır. Atık suyun diğer büyük bir kaynağı ise ıslak FGD'lerdir. Tam yükteki atık suyun akış hızının ortalama değeri 23 m<sup>3</sup>/h'dir. Atık su arıtılır ve daha sonra Tablo 6.4'te gösterildiği gibi ortalama bir kirlilik yoğunluğuyla alıcı suya boşaltılır.

	Ortalama değer	Ortalama değerlere temel olarak ölçüm sayısı	Ortalama spesifik yük (g/MWh <sub>e</sub> )
pH değeri	9.2	77	
COD (mg/l)	27.9	27	0.83142
Ntotal (mg/l)	85	1	2.533
Zn (mg/l)	0.01	13	0.000298
Cr (mg/l)	<0.1	1	<0.0003
Cd (mg/l)	<0.005	27	<0.00015
Cu (mg/l)	<0.1	1	<0.0003
Pb (mg/l)	<0.1	1	<0.0003
Ni (mg/l)	0.028	4	0.0008344
V (mg/l)	0.03	27	0.000894
Filtrelenebilir madde (mg/l)	7.3	77	0.21754
Sülfat (mg/l)	2130	27	63.474
Sülfid (mg/l)	<20	(sadece tesis başlangıcında)	<0.6
Florid (mg/l)	3.3	11	0.09834
Hg (mg/l)	0.002	27	0.0000596
Balık zehirliliği	<2	(sadece tesis başlangıcında)	

Not: 1998 yılından alınan veriler

Tablo 6.4: Arıtma sonrası kükürt giderme tesisinden alınan atık sulardaki katılaşık konsantrasyonları

Atık sudan çıkan emisyonları azaltmak amacıyla, yoğunlaşma için katyonik demineralizasyonun rejenerasyonundan çıkan su, buhar kazanlarına enjekte edilir. Oksijen ve amonyakın eş zamanlı karıştırılması anlamına gelen birleşmiş işlem, suyun akıntı döngüsünde daha düşük bir amonyak yoğunluğunu sağlar. Böylece, demineralörlerin filtreleri için rejenerasyon oranı azalır, bu da azaltılmış su isteği anlamına gelir. Doymuş su yumuşatıcı tesislerin birindeki iyon dönüştürücüsünün reçinesinin değiştirilmesi rejenerasyon için su tüketimini azaltabilir. Su isteğindeki daha ileri bir azaltım yoğunlaştırmayı geri döndürerek ya da FGD sistemine süzen aşçıtaşından çıkan filtrenin geri döndürülmesi ile elde edilebilir.

	İzolasyon	Buhar kazanı külü	Uçucu kül	Alçı ve alçı briketler
Miktar (t/yr)	12.4	17.7	113.8	1767
Spesifik miktar (kg/MWh <sub>e</sub> )	1.08	0.0018	0.0118	1.8
Kullanım/atım	Yeniden kullanma	Maden dolumu	Maden dolumu	Alçı ve beton sanayi

Tablo 6.5: 1998 yılında üretilen tortular

Ses için emisyon sınır değerleri yakındaki yerleşim alanlarına, bu durumda 530 – 1200 m uzaklığa kurulmuştur, bağlıdır. Ses emisyonunu azaltma tedbirleri ses geçirmez güvenlik değerleri ve baştan sona ses bariyerleri ile oluşturur. Yerleşim alanlarındaki ses seviyesi 26 ve 46 dB(A) arasındaki değerlere ulaşır.

**Ekonomi:** Baca gazı kontrol teknikleri (ıslak FGD ve SCR) için yatırım toplamda, EUR 25 milyon olarak belirlenmiştir. (1990 ve 1994 yılları arasında).

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Islak FGD ve SCR ile uyarılma, daha sıkı emisyon değerlerinin uygulanmasından kaynaklanır. GPR ile bacanın iç kaplaması, asidik birikim sorunlarına bağlı olarak gereklidir. Bununla birlikte, yeni maddelerin uygulanması baca aşınmasında bir azalmaya ve böylece işletme giderlerinde bir azalmaya neden olur.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### ÖRNEK 6.2.2.2 HAFIF FUEL OİL İLE ÇALIŞAN GAZ TÜRBİNİ VE BUHAR KAZANINDAN OLUŞAN TEPE YÜKÜ ELEKTRİK SANTRALİ, OPSİYONEL KOMBİNE ÇEVİRİM İŞLETİMİ

**Açıklama:** Örnek tepe yüklü güç tesisi, gaz türbininden (260 MW<sub>th</sub> oranında termal giriş, 60 MW<sub>e</sub> elektrik gücü) ve buhar kazanından (838 MW<sub>th</sub> temiz hava ile, birleşmiş döngü işleminde) oluşur. Buhar türbini 265 MW<sub>e</sub>'e kadar oluşur. Birleşik döngü işleminde, gaz türbininin baca gazı, buhar kazanında yakma havası olarak kullanılır. 1972'de ağır fuel oil yakmak için güç tesisi görevlendirilmiştir ve hafif fuel oil yakmak için 1993'te bir uyarılma ile geliştirilmiştir. 1994'te hem buhar kazanı hem de gaz türbini su enjeksiyonu sistemi ile donatılmıştır. Mineralleri giderilmiş su 3 ile 22 bar arası basınçta koni şekilli püskürtme başlıkları ile donatılmış boru yoluyla sisteme enjekte edilmiştir. Su tüketimi tam yüklü işlemde buhar kazanı için 50 m<sup>3</sup>/h'ye, gaz türbini için 18.7 m<sup>3</sup>/h'ye yükselmiştir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Suyun enjeksiyonu buhar kazanından olduğu kadar gaz türbininden de çıkan NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltır.

**Uygulanabilirlik:** Suyun enjeksiyonu temel olarak, mevcut hafif yakıtla çalışan tesislerin NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılması gerektiğinde, uygulanır.

**Çapraz medya etkileri:** NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak için kullanılan birincil tedbir ne atık su ne de tortu üretmiştir, fakat büyük miktarda mineralleri giderilmiş su tüketmiştir. Bununla birlikte, buharlaştırmayı etkilemek için kullanılması gereken entapi baca gazının içinde kaldığından ve tekrar kullanılmadığından, bütün tesisin elektrik verimliliği azalır. Belseme suyunun artırılması ve yoğunlaşma çamur ve atık su üretir.

**İşletim verileri:** 1998'de, buhar türbini ile 6976 MWh<sub>e</sub> (brüt) ve gaz türbini ile 118 MWh<sub>e</sub> (brüt) üretilmiştir. Tesis 74 saat boyunca işletilmişti ve sadece tepe yüklerini kapsamak için kullanılmıştı. Tablo 6.6 1998'deki atmosfer emisyonunu özetler.

	Ölçüm	Ölçülen emisyon seviyesi (% 3 O <sub>2</sub> 'de günlük ortalama değer)	Spesifik emisyonlar (kg/TJ <sub>yakıt</sub> )
O <sub>2</sub> içeriği (%)	Sürekli	3	
Baca gazı akış hızı (m <sup>3</sup> /s)	Sürekli	853523	
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	143.3	40.5
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	4.77	1.35

Tablo 6.6: 1998 yılında buhar kazanından (tek çalışma) kaynaklanan atmosferik emisyonlar

	Ölçüm	Ölçülen emisyon seviyesi (% 3 O <sub>2</sub> 'de günlük ortalama değer)	Spesifik emisyonlar (kg/TJ <sub>yakıt</sub> )
O <sub>2</sub> içeriği (%)	Sürekli	3	
Baca gazı akış hızı (m <sup>3</sup> /s)	Sürekli	965000	
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	259.7	76
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	129.8	38

Tablo 6.7: 1998 yılında kombine çevrim çalışmasına yönelik atmosferik emisyonlar

2012.1 ton hafif fuel oil buhar kazanında ve 47.9 ton da gaz türbininde yakıldı. Tek geçişli soğutma sistemi, tam yüklü işlemde kendine yakın olan nehirden 40000 m<sup>3</sup>/h suya ihtiyaç duyar. Birincil soğutma sisteminden çıkan atık su ve yoğunlaşma işleminden çıkan atık su kanalizasyona atılır. Besleme su arıtımından çıkan atık su (tam yükte 250 m<sup>3</sup>/h) nitrleştirilmeden sonra nehire geri bırakılır. Atık sudaki kirletici maddelerin yoğunlaşması 1998 yılı için Tablo 6.8'de özetlenmiştir.

	<b>Bireysel ölçümlerden alınan sonuçlar (1998) (mg/l)</b>
AOX	0.023 – 0.039
COD	10 – 23
P	0.12 – 0.2
N	42 – 45
Zn	0.078
Cr	0.0038
Cd	0.0003
Cu	0.0044
Pb	0.0053
Ni	0.0036

Tablo 6.8: Besleme suyu arıtımından nötralize edilmiş sudaki katılaşık konsantrasyonları

Asıl tortular atık su arıtımından çıkan yağlayıcı made ya da çamur formunda kullanılır.

**Ekonomi:** Tesisin uyarlanması için (su enjeksiyonu, yeni brülörler ve gaz türbini için yakma odası) toplam yatırım değeri EUR 12.8 milyon olarak belirlenmiştir, bunun EUR 10.25 milyonu gaz türbininin uyarlanması içindir ve geri kalanı buhar kazanı için gereklidir.

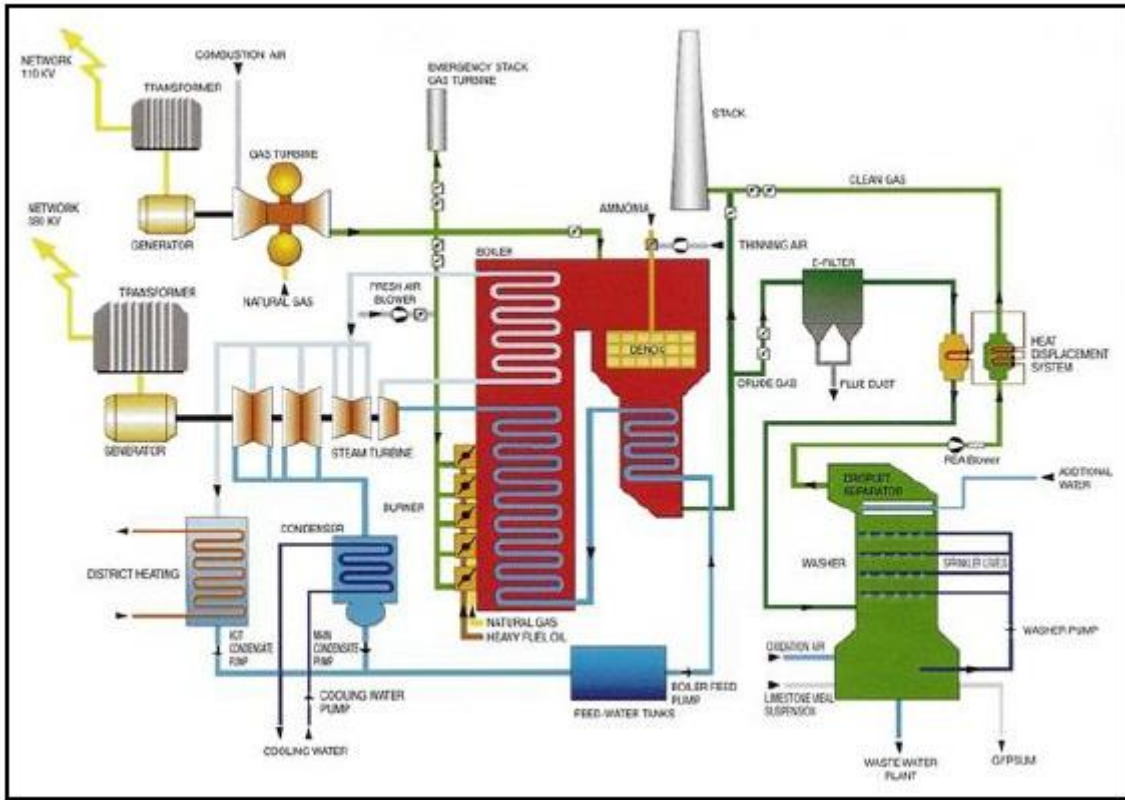
**Uygulamaya yönelik itici güç:** Su enjeksiyonu sistemi emisyon sınır değerlerine uymak için eklenmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### 6.2.3 Yeni sıvı yakıtla çalışan tesislerin çevresel performansı

#### **ÖRNEK 6.2.3.1 AĞIR FUEL OIL / DOĞAL GAZLA ÇALIŞAN KOMBİNE GAZ TÜRBİNİ - BUHAR TÜRBİNİ – BACA GAZI TEMİZLEMELİ BÖLGE ISITMASI ELEKTRİK SANTRALİ**

**Açıklama:** Örnek güç tesisi düşük kükürt içerikli ağır fuel oil ve doğal gazı sürdürmek için , birleşik gaz türbini-buhar türbini – bölge ısıtması tesisi olarak tasarlanmıştır. Tesisin şemasal planı Şekil 6.5’te gösterilmiştir.



Şekil 6.5: Ağır fuel oil ve doğal gaz ile çalışan kombine gaz türbini buhar türbini bölgesel ısıtma elektrik santrali [43, Wienstrom, 2001]

Gaz türbininden gelen egzoz gazları buhar kazanına, ara süper ısıtma ve cebri çekiş ateşlemeli Benson çift çekişli cebri sürekli akım buhar kazanına yönlendirilir. Gaz türbini egzoz gazı, ağır fuel oil/doğal gaz düşük NO<sub>x</sub> emisyonuna oksijen sağlayan yakma havası olarak kullanılır (20 birleşik fuel oil doğal gaz aşamalı brülör; tam bir duvar şeklinde ayarlanmış, 5 seviyede yakma.).

Buhar kazanında oluşan buhar orta bir aşırı ısıtmayla tekrar ısıtma türbinini- 4 aşamalı yoğunlaştırmayı devam ettirmek için kullanılır. Buhar türbini, bölgesel ısıtma ağı için termal enerji kaybolmadan 355MW civarında elektrik enerjisi ürününe sahip olan jeneratörleri çalıştırır. 350 civarında ürüne denk olan termal enerji kaybıyla 310 MW azaltılır.

### Baca gazı temizleme

- birincil tedbir olarak, yüksek tozlu SCR sistemi tarafından izlenen düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin denitrifikasyonu
- kükürt dioksiti azaltmak için zorlanmış oksitlenme alçıtaşı işlemiyle ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcıları
- baca gazının tozundan arındırılması için elektrostatik presipitatör (ESP)

**Sağlanan çevresel faydalar:** Gaz türbini, buhar kazanı ve bölgesel ısıtma sisteminin kombinasyonu yakıt verimliliğini arttırdığı kadar elektrik verimliliğini de artırır. Ölçülen emisyon seviyeleri aşağıdaki gibidir.

Kirletici	Ölçülen emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )	Azaltım oranı (%)	Kullanılan teknik
NO <sub>x</sub>	90	>80	Birincil tedbir olarak düşük NO <sub>x</sub> brülörü ve ikincil tedbir olarak selektif katalitik azaltım sistemi (SCR), < %2 SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> dönüşümü verir (yasal gereklilik)
SO <sub>2</sub>	60-90	96	Yapay oksitleme alçıtaşı prosesi ile ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcı
CO	15-20		
Toz	10-30	>95	Elektrostatik presipitatör (ESP). Temiz gazdaki toz konsantrasyonu işletim moduna bağlıdır (ağır fuel oil veya doğal gaz)
NH <sub>3</sub>	0.1		
Not: Ölçümler sürekli yapılmıştır, günlük ortalama, % 3 O <sub>2</sub> ağır fuel oil, tam yük			

Tablo 6.9: Ölçülen emisyonlara genel bakış

FGD tesislerinden çıkan atık su, yakıttan metaller ve kireç taşından eylemsiz maddeler gibi kirletici maddeleri içerir. Bu kirleticiler pH düzenleyerek ve çökeltme ayraçları eklenerek çöktülebilir. Daha sonra çökelti ayrılabilir. Tortusal çamur, oda filtresi presi ile taşınır, kurutulur ve boşaltılır.

Kirletici	Konsantrasyon (mg/l)	Spesifik emisyonlar (mg/t ağır fuel oil tesis edilen yakma kapasitesi)
As	0.001	
Pb	0.03	20
Cd	0.003	10
Co	0.002	
Cr total	0.03	100
Cu	0.003	100
Hg	0.0001	10
Mn	0.030	
Ni	0.03	100
Sn	0.001	
Tl	0.031	
V	0.073	100
Zn	0.05	200
as F olarak hesaplanan florid	0.1	
Cl olarak hesaplanan Klorid	400	
N olarak hesaplanan Amonyak	0.85	
P olarak toplam fosfor	0.150	
N olarak toplam nitrojen	76.6	
SO <sub>4</sub>	1215	
S olarak hesaplanan sülfid	0.1	40
SO <sub>3</sub> olarak hesaplanan sülfid	10.2	
C olarak hesaplanan TOC	8.6	

Tablo 6.10: Baca gazı temizlemeden arıtma sonrası ölçülen su emisyonları

**Uygulanabilirlik:** gaz türbinleri yeni tesislerin tasarımına entegre edilebilir, fakat bunlar mevcut sıvı yakıtla çalışan buhar kazanlarını yeniden güçlendirmek için de kullanılabilir. Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri; SCR, ESP ve ıslak FGDler gibi hem birincil hem ikincil tedbirler, baca gazı temizleme sistemleri yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir. Out-coupling the heat yakıt verimliliğini artırır, fakat bölgesel ısıtma ağına ihtiyaç duyar.

**Çapraz medya etkileri:** 35000 işlem saatinden sonra, katalizör oksalik asitle yıkanmalıdır. 42000 çalışma saatinden sonra (ve 35000 çalışma saatinden sonra yıkama)  $SO_2/SO_3$  dönüşümü %0.7 civarında ve katalizör faaliyeti % 96 olarak tahmin edilmiştir. Katalizörün parça değişimi tahmini 70000 çalışma saatinden sonra gereklidir.

Hem FGD sistemi için su arıtma tesisleri hem de yan ürün alçıtaşının kurutulması atık su üretir. Alçıtaşı çimentoda ve inşaat endüstrisinde kullanılır.

### İşletim verileri:

Yakıt: Ağır fuel oil (2 % S, <100 ppm V, <60 ppm Ni, 40600 kJ/kg kalori değeri)

Doğal gaz (36100 kJ/kg kalori değeri)

Çalışma saatleri (kaynak yıl 1999):

6566.5 h elektrik üretme

5937.5 h bölgesel ısıtma

Verimlilik : $el_{,net} = 45.21$  % (doğal gaz)

$el_{,net} = 34.35$  % (ağır fuel oil, gaz türbinesiz işlem)

$total = about 80$  % (bölgesel ısıtma durumunda)

İzleme: devamlı kontroller:  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO, toz,  $O_2$ , baca gazının sıcaklığı ve hacmi, atmosfer basıncı, ortamın hava sıcaklığı ve baca gazı hacmi ( $1.1 \cdot 10^6 m^3/h$ )

### Ekonomi:

Teknik	Yatırım maliyetleri	İşletim maliyetleri
SCR	14 milyon EUR toplam maliyet: Yapım, katalizör, amonyak depolama, botu hattı ve kontrol ekipmanı dahil	1.3 milyon EUR /yıl: Amortisman, enerji gereksinimi, personel ve bakım dahil
ESP	1.44 milyon EUR	0.64 milyon EUR/yıl: Uçucu kül tahliyesi ve amortisman dahil
FGD Tesisi	47.2 milyo EUR: İlgili yan tesisler dahil	7.6 milyon EUR: Amortisman, kireçtaşı ve alçıtaşı dahil

Tablo 6.11: Uygulamalı kaldırma tekniklerinin yatırım ve işletim maliyetleri

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Hava ve su emisyonunun azaltımı kadar elektrik ve yakıt verimliliğinin artırılması

**Kaynak literatür:** [44, /Avusturya Çevre Bakanlığı), 2000].

### ÖRNEK 6.2.3.2 SCR SİSTEMİ İLE DONATILMIŞ FARKLI HFO VE DİZEL GÜÇ TESİSLERİ

**Açıklama:** Örnek güç tesisi Avrupa'da ve Amerika'da bulunmaktadır. Tesislerin kapasitesi 21 MW<sub>e</sub> ile 49 MW<sub>e</sub> civarında değişir. Güç tesileri ana yakıt olarak ağır fuel oil ya da dizel kullanır. Her motor ya da tesis  $NO_x$  azaltımı için SCR(Selektif Katalizör Azaltımı) üniteleriyle donatılmıştır. SCR sisemlerinin ek bir avantajı da 8 ile 10Db(A) civarı ses azaltımı kadar, bir ölçüye kadar kurum ve hidrokarbon gibi diğer kirleticileri azaltmadaki etkileridir.



**İşletim verileri:** Aşağıda verilen Tablo 6.12’de, HFO ve dizel tesislerin başlıca performans parametreleri verilmiştir.

	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi	D Tesisi
<b>Konum</b>	AB	AB	AB	AB
<b>Hizmete alınma yılı</b>	1997	2002	1999	2001
<b>Tesis türü</b>	Birleşik ısı ve güç (CHP) tesisi	Güç üretimi	Birleşik ısı ve güç (CHP) tesisi	Güç üretimi
<b>Yakıtlar</b>	Doğal gaz (ana) gaz yağı (pilot yakıt ve yedek)	HFO (% 2-3 S)	Ana yakıt olarak dizel yakıt	Hafif fuel oil
<b>Yakma tekniği</b>	2 gaz dizel motorlar	S HFO motorları	3 dual yakıt motorları	30 dizel motorlar
<b>Kapasite</b>	31.6 MW	34 MW	21 MW	49 MW
<b>NO<sub>x</sub> performansı</b>				
<b>İkincil tedbir</b>	SCR (ayraç: aköz 33 wt-% NH <sub>3</sub> )	SCR (ayraç: aköz NH <sub>3</sub> )	SCR (ayraç: aköz üre)	SCR (ayraç: aköz üre)
<b>% 15 hac. O<sub>2</sub>'de SCR'siz NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	n.a.	1528	1388	1460
<b>% 15 hac. O<sub>2</sub>'de SCR'li NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	180 (destek modunda dizel modu)	153	150	145
<b>SCR üzeri NO<sub>x</sub> azaltım oranı</b>	n.a.	90%	89	90
<b>% 15 hac. O<sub>2</sub>'de Amonyak slip (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	20	<2.7 yeni katalizör	<2 yeni katalizör	<2 yeni katalizör

Tablo 6.12: SCR ile donatılmış HFO ve dizel elektrik santrallerinin emisyon seviyeleri

**Kaynak literatür:** [147, Wärtsilä NSD, 2001], [88, Euromot, 2001], [181, Ceramics GmbH, 2002], [78, Finkeldei, 2000].

## 6.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

### 6.3.1 Büyük yakma tesislerinde kullanılan sıvı yakıtlara genel bakış

İşlenmemiş belirli bir petrolün bileşimi eşsizdir ve kısaca tanımlanamaz. Kabaca, alicyclic, cyclic and aromatic hidrokarbonları, S, N ve O bileşikleri ve Ni, Fe, V, Mo, Cl, F vb... içeren diğer bileşiklerin parçalarını içerir.

Ağır petroler işlenmemiş benzinden türetilen ürünlerdir. Böylece, oluşumları kaynak hammaddeninkiyle çeşitlenir. Tamamen ya da büyük şekilde tortullardan ya da işlemden yoğunlaşmış şekilde kalan maddeler gibi petrol rafinaj işlemlerinin dibinde kalanlardan oluşur. Bu bileşikler için atmosferik damıtma sıcaklığı 540 °C'yi aşar ve diğer hafif ürünlerin tamamı rafine buharından yok olduktan sonra ortaya çıkar.

Petrolerin bazı fiziko-kimya özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir:

Nitelik		Dizel yağ	Hafif fuel oil	Ağır fuel oil	Rafineri taban ürünü
İçerik:					
Karbon	%			84	85-88
Hidrojen	%	0.5	<0.2	11	8-12
Kükürt	%	0	<0.2	<4	1-4
Su	%	0	<0.1	<1.5	<0.5
Sediment	%			<0.25	<0.2
Sodyum	ppm			30 ile 200	
Vanadyum	ppm			50 ile 200	200-350
Kinematik vizkosite (20 °C)	mm <sup>2</sup> /s		<9.5	<9.5	
Kinematik vizkosite (100 °C)	mm <sup>2</sup> /s			<40	
Parlama noktası (tutuşma)	°C	>55	>55	>70	
15 °C'de yoğunluk	kg/dm <sup>3</sup>	0.85	0.87	0.95 ile 1	
Yüksek ısıtma değeri	MJ/kg	>46	45	43	
Düşük ısıtma değeri	MJ/kg		42	39.5 ile 41	38-40

Tablo 6.13: Likit yakıt genel özellikleri  
[58, Eurelectric, 2001]

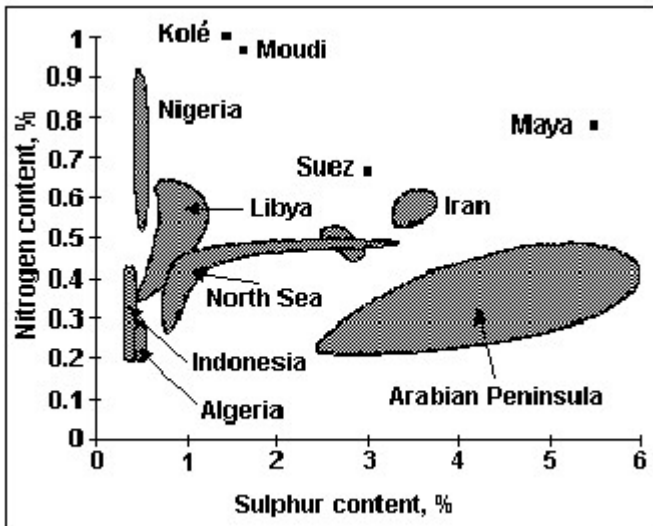
Nitelik	Yüksek kükürt	Orta kükürt	Düşük kükürt
<b>Kükürt (wt-%)</b>	2.2	0.96	0.50
<b>Karbon (wt-%)</b>	86.25	87.11	87.94
<b>Hidrojen (wt-%)</b>	11.03	10.23	11.85
<b>Kül (wt-%)</b>	0.41	0.26	0.16
<b>Kül (wt-%)</b>	0.08	0.04	0.02
<b>Vanadyum (wt-%)</b>	350	155	70
<b>Nikel (wt-%)</b>	41	20	10
<b>Sodyum (wt-%)</b>	25	10	<5
<b>Demir (wt-%)</b>	13	9	<5

Tablo 6.14: Çeşitli tipik ağır fuel oilerin kimyasal özellikleri  
[87, Molero de Blas, 1995]

	15 °C'de kg/m <sup>3</sup>	1010
	50 °C'de cSt	350
	%-vol	28 – 31
	%-wet	max 3 %
	mg/kg	0.14 – 0.2
	mg/kg	300 – 365
	mg/kg	30
	mg/kg	6
	MJ/kg	27 – 28

Tablo 6.15: Orimülasyon özellikleri  
[97, Euromot, 2000]

Nitrojen ve kükürt içerikleri en önemli kimyasal parametrelerden ikisidir. Aşağıdaki grafik, coğrafik kaynağa göre vakumlanmış tortuların çeşitli türlerindeki nitrojen ve kükürt dağılımını göstermektedir. Bu Şekil, bir çok durumda düşük kükürt ve nitrojen içeriğinin aynı zamanda elde edilmesinin mümkün olmadığını göstermektedir.



Nitrogen content, %	Nitrojen içeriği %
Kole	Kole
Moudi	Moudi
Nigeria	Nijerya
Suez	Suez
Libya	Libya
Nort Sea	Kuzey Denizi
Indonesia	Endonezya
Algeria	Cezayir
Arabian Peninsula	Arap yarımadası
Sulphur content, %	Kükürt içeriği %
Maya	Maya
Iran	İran

Şekil 6.6: Coğrafi konumlarına göre HFO'da (vakum tortuları) kükürt ve nitrojen içerikleri  
[87, Molero de Blas, 1995], [146, UFIP, 2001]

Fuel oiller arasında, ağır fuel oil (HFO) en önemli LCP yalıttır, oysa hafif fuel oillerin (LFO) küçük bir miktarı çoğunlukla yüksek fiyatına bağlı olarak büyük yakma tesislerinde kullanılır. Hafif fuel oiller düşük kükürt içeriğine sahiptir, çünkü kükürt rafinaj işleminden yok edilir. Genelde, FGD olmadan HFO kullanımı ulusal düzenlemelerle sınırlandırılmıştır: örneğin Finlandya'da izin verilen en yüksek HFO kükürt içeriği %1'dir. Bazı HFO nitelikleri bayağı yüksek kükürt içeriğine sahiptir, bu durumlarda baca gazı kükürtünün giderilmesi (FGD)kül içeriği gereklidir. HFO'nun kükürt içeriği düşüktür genellikle %0.2 nin altındadır, fakat baca gazından partikül ihracı gerekir. Benzin alevi sıcaklığı yüksektir, fakat benzinin nitrojen içeriği düşüktür ve bunun sonucu olarak orta seviyede bir NOx oluşumu vardır. [59, Finnish LCP WG, 2000].

### 6.3.2 Sıvı yakıtla çalışan yakma tesislerinin verimliliği

Sıvı yakıt kullanan temiz ve yeni buhar kazanı için buhar kazanı verimliliği son olarak %95 (LHV) civarında olduğu bildirilmiştir. Başlıca kayıplar bacadaki, baca gazı atığından, kül ve radyasyon kayıplarındaki, yanmamış karbondan kaynaklanır.

### 6.3.2.1 Petrolle çalışan buhar kazanlarının verimliliğini artırma teknikleri

Benzinle çalışan buhar kazanlarının verimliliği yakıtın yapısıyla ve ortam havasının derecesiyle bağlantılıdır. Buna rağmen, bazı parametrelerin en ideal hale getirilmeleri mümkündür:

- **Küldeki yanmamış karbon:** yakmayı en ideal hale getirmek külde daha az yanmamış karbona yol açar. Yakma modifikasyonu ile NO<sub>x</sub> azaltma teknolojilerinin yanmamış karbonu arttırmaya yönelik eğilim gösterdiği unutulmamalıdır.
- **Hava fazlalığı:** hava aşırılığının miktarı buhar kazanı türüne bağlıdır. Tipik olarak, % 5 aşırı hava benzinle çalışan buhar kazanları için yaygındır. Yakma kalitesi (CO ve yanmamış karbon olulumuna bağlı olarak), çürüme ve güvenlik sebeplerinden dolayı, aşırı havayı daha fazla azaltmak pek mümkün değildir.
- **Baca gazı sıcaklığı:** temiz buhar kazanını bırakan baca gazı derecesi (yakıt türüne bağlı olarak) sülfirik asidin sıvılaştırılması tarafından asid korozyonundan kaçınmak için geleneksel olarak 120 ve 220 °C arasındadır. Buna rağmen, bazı tasarımlar bu dereceyi 100 °C'nin altına düşürmek için azaltımı ekonomik olarak kısıtlayan özel kaplamalarla, hava ısıtıcılarının ikinci bir aşamasını da dahil ederler.

### 6.3.2.2 Yardımcı ürünlerin enerji tüketimi

Yardımcı ürünlerin enerji tüketimi bir dizi parametrelere bağlıdır:

- **Kirlilik kontrolünün seviyesi:** gelişmiş FGD daha fazla enerji tüketir ve kirlilik kontrolü genelde verimlilik üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir
- **Yardımcı ürünlerin tasarımı:** buhar kazanı yardımcıları tasarım değerlerine kıyasla (olası sızıntılar, alternatif yakıtlar, başlatma gereksinimleri, fazlalık sistemleri vb.) parametrelerdeki tüm varyasyonlara dayanabilmek için büyük boyutlu olmalıdırlar. Bu teknik seçenekler sözde koşullar ve yakıt tasarımı altında ideal olmayan yardımcı enerji tüketimine yol açar.

## 6.3.3 Hava emisyonları

## 6.3.3.1 Sıvı yakıtla çalışan buhar kazanı tesislerinden kaynaklı hava emisyonları

Yakma tekniği	Kapasite	Emisyon Azaltım Tedbirleri	Hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )								Düşünceler
			SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Toz	CO	NH <sub>3</sub>	V	Ni	Diğer metaller	
Ağır fuel oil buhar kazanı	100-300	FGD(w)/SCR/ESP	130	247	5	17					Tesis biri SNCR ile donatılmış dokuz üniteyi kapsar
	>300	FGD(w)/SCR/ESP	50-250	121-131	10-15	50					HCl 0.1 – 0.2 mg/Nm <sup>3</sup> HF 0.1 mg/Nm <sup>3</sup>
	>300	SCR/FGD(w)/ESP	<130	<130	<5	<10	0.6				SO <sub>3</sub> 4.5 mg/Nm <sup>3</sup>
	>300	FGD(w)/SCR/ESP	90	60-90	10-30	15-20	0.1				
	n.a.	Kaldırma belirtilmemiştir	1700	600-1200	30-1500	>50					% 1 S ile fuel oil
Hafif fuel oil buhar kazanı			126	1.1-141	1-3.9	1-14.6					
Kombine çevrim yakma (hafif petrol)	n.a.	Kaldırma belirtilmemiştir		259		129					
Likit yakıt ile çalışan türbinler	n.a.	Su veya buhar enjeksiyonu	30-110	120-350							
Notlar: <b>ESP</b> Elektrostatik presipitator <b>FGD(w)</b> Islak baca gazı kükürt giderme <b>SCR</b> Selektif katalitik NO <sub>x</sub> azaltımı											

Tablo 6.16: Normal çalışma ve sabit yükte likit yakıtla çalışan yalpa tesislerinden kaynaklı hava emisyonları

Madde	Kömür	Ağır yakıt	Orimülsiyon
Dioksin ve furanlar (pg/Nm <sup>3</sup> )	2.193	2.492	2.159
PAH (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.0606	0.0507	0.0283

Tablo 6.17: Farklı yakıtların yakılmasından PAH ve dioksin emisyon seviyeleri [192, TWG, 2003]

### 6.3.3.2 Endüstriyel uygulamalarda kullanılan proses ısıtıcılarından NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

Kontrol tekniği	Azaltım oranı (%)
Hava aşamalı brülör	25-35
Yakıt aşamalı brülör	40-50
Düşük fazla hava brülörü	20-25
Harici baca gazı resirkülasyonlu brülör	50-60
Dahili baca gazı resirkülasyonlu brülör	40-50
Dahili baca gazı resirkülasyonlu hava veya yakıt aşamalandırma	55-75
Harici baca gazı resirkülasyonlu hava veya yakıt aşamalandırma	60-80

Tablo 6.18: Farklı düşük NO<sub>x</sub> brülör tiplerinin NO<sub>x</sub> azaltımı [180, Baukal and Schwarz, 2001]

Kontrol tekniği	Kontrollü emisyonlar (mg/Nm <sup>3</sup> )	Azaltım oranı (%)
Düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	n.a.	25-65
Hava aşamalı borular	n.a.	35-51
Fiber brülör	20-40 (gaz ateşlemeli)	
Amonyak enjeksiyonu	n.a.	43-70
Üre enjeksiyonu + düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	n.a.	55-70
SCR	40-80	65-90
SCR + düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	50-80	70-90

Tablo 6.19: Proses ısıtıcılarda NO<sub>x</sub> kontrolü [180, Baukal and Schwarz, 2001]

### 6.3.3.3 Sıvı yakıtla çalışan motor tesislerinde ölçülen emisyonlar

Ağır fuel oil: >1 wt-% S ve <0.08 wt-% kül	Partikülât <75 mg/Nm <sub>3</sub>
Ağır fuel oil: <1 wt-% S ve <0.06 wt-% kül, CCR <12 wt-%	Partikülât <50 mg/Nm <sub>3</sub>
Dizel petrol (max. 0.02 wt-% kül)	Partikülât <30 mg/Nm <sub>3</sub>

Tablo 6.20: Likit yakıt ile çalışan motorların partikülât emisyonları [148, Euromot, 2002].

Motor tipi	NO <sub>x</sub> Emisyonu (yakıt: ağır fuel oil)	Düşünceler
Düşük NO <sub>x</sub> için optimize baz motor	NO <sub>x</sub> <2300 mg/Nm <sup>3</sup>	2000'e kadar üretimde olan standart dizel motor
Likit yakıt ateşlemeli motorlar	NO <sub>x</sub> <4800 mg/Nm <sup>3</sup>	HFO (% 25 S) SO <sub>2</sub> , 3800 mg/Nm <sup>3</sup> %5 O <sub>2</sub> , kaldırma yok
Düşük NO <sub>x</sub> için optimize baz motor (ikinci üretim)	NO <sub>x</sub> <2000 mg/Nm <sup>3</sup>	Bugün üretimde olan standart dizel motor
Enjeksiyon geciktirme	Tipik olarak % 10 ile 20 NO <sub>x</sub> azaltımına kadar (motor tipine bağlı)	Yakıt tüketim artışı tipik olarak %3'e kadar olan enjeksiyon gecikme derecesine bağlıdır
Su ilavesi	NO <sub>x</sub> <1300 to 1600 mg/Nm <sup>3</sup>	Çoğunlukla gemilerde kullanılır, yakıt tüketim artışları
Not: referans noktası 15 vol-% O <sub>2</sub> , kuru gaz, 0 derecede verilen, 101.3 kPa. Sabit durum % 85 ile 100 motor yükü		

Tablo 6.21: Motor modifikasyonları ile erişilebilir tipik NO<sub>x</sub> emisyonları  
[148, Euromot, 2002], [58, Eurelectric, 2001]

Aşağıdaki tablolarda (seçilmiş referanslardan tedbirleri kullanan), sıradakiler uygulanır:

Emisyonlar kuru gazda mg/Nm<sub>3</sub> ( verilen 0 °C, 101.3 kPa'da Nm<sub>3</sub>)'te , 15 vol-% ya da 5 vol-% O<sub>2</sub>'dir.

SO<sub>2</sub> seviyesi yakıtın küküt içeriğine bağlıdır ve partikül emisyonları da temel olarak fuel oil'in kül içeriğine bağlıdır.

Diğer türlü belirtilmediği sürece, yakıt ağır fuel-oil(HFO)dir. Sabit durum tam motor yüküdür.

Donanım	Fuel oil Swt-% veya SO <sub>2</sub> (MCR = mikto karbon tortusu)	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> olarak)	Toz (ISO 9096 veya denk diğer metod), ortalama	Düşünceler
Baz düşük NO <sub>x</sub> motoru, NO <sub>x</sub> için optimize	1.88 wt-%s, 0.05 wt-% kül, 13.8 wt-%MCR	2163-2178	56 – 60	Carayib'deki 70 MW'lik elektrik santrali
Baz düşük NO <sub>x</sub> motoru, NO <sub>x</sub> için optimize	1.88 wt-%s, 0.06 wt-% kül, 13.6 wt-%MCR	1739 - 1881	54 - 61	Orta Amerika'daki 100 MW'lik elektrik santrali
Not: mg/Nm <sup>3</sup> - kuru, 15 vol - % O <sub>2</sub> , kuru gaz				

Tablo 6.22: NO<sub>x</sub> optimize motor kullanımı  
[148, Euromot, 2002]

Donanım	Fuel oil S wt-% veya SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> ( NO <sub>2</sub> olarak)	Toz (ISO 9096, veya denk ölçüm metodu),ortalama	Düşünceler
SCR	0.45 wt-% S	325 (dry, 15 vol-% O <sub>2</sub> , kuru gaz)	44	Asya'daki 30 MW'lik elektrik santrali
SCR	Dizel DIN 51603 ve DIN 590	> % 90 azaltım <90 mg/Nm <sup>3</sup> (% 5 O <sub>2</sub> 'de)	n.a.	Dört SCR reaktörü, dört pompalı üre dozlama ünitesi, dört kontrol sistemli Almanya'da dizel elektrik santrali <20 mg/Nm <sup>3</sup> 'e kadar CO'nun % <70'i
SCR	Gas yağı	180 mg/Nm <sup>3</sup> (% 15 O <sub>2</sub> 'de)	n.a.	Birleşik Devletler'de 31.6 MW, CHP elektrik santrali
SCR	HFO (2 – 3 % S)	153 mg/Nm <sup>3</sup> (% 15 O <sub>2</sub> 'de)	n.a.	34 MW elektrik santrali
SCR	HFO (1 % S)	91 mg/Nm <sup>3</sup> (% 15 O <sub>2</sub> 'de)	n.a.	3.8 MW deniz propülisyonu
SCR	Dizel	150 mg/Nm <sup>3</sup> (% 15 O <sub>2</sub> 'de)	n.a.	21 MW CHP elektrik santrali
SCR	Light fuel oil	145 mg/Nm <sup>3</sup> (at 15 % O <sub>2</sub> )	n.a.	49 MW elektrik santrali

Tablo 6.23: SCR'li dizel motor tesislerinden ölçülen NO<sub>x</sub> emisyonları (mg/Nm<sub>3</sub>)  
[148, Euromot, 2002], [167, Rigby, et al., 2001], [181, Ceramics GmbH, 2002], [78, Finkeldei, 2000]

Donanım	Fuel oil S wt-% veya SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> olarak)	Toz (ISO 9096, veya eşdeğer ölçüm metodu), ortalama	Düşünceler
Yavaş hız motoru + 'su ilavesi'	2 wt-% S HFO	1540	55	Karayib'deki 20 MW'lik elektrik santrali
Not: Birimler mg/Nm <sup>3</sup> (kuru, 15 vol-% O <sub>2</sub> )				

Tablo 6.24: Birincil metod: su ilavesi kullanılmıştır [148, Euromot, 2002]



## 6.3.3.4 Su emisyonları

Yakma tekniği	Atık su kökeni	Atık su arıtımı	Atık sudaki konsantrasyonlar (mg/l)						
			Hidrazin	Filtrelenebilir madde	Sülfat	Sülfit	Florid	Hg	Sülfid
Ağır fuel oil buhar kazanı	Islak FGD	Fil/Pre/Floc/Sed/Neu		7.3	2130	20	3.3	0.002	
	Kondensat ve besleme suyunun arıtımı	Neu/Sed		17					0.8
<b>Notlar</b>									
Fil = Filtreleme		Pre = Presipitasyon		Floc = Flokülasyon		Sed = Sedimentasyon		Neu = Nötralizasyon	

Tablo 6.25: Normal çalışma ve sabit yükte petrolle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları

Yakma tekniği	Atık su kaynağı	Atık su arıtımı	Spes. atık su akış hızı (m <sup>3</sup> /MW <sub>th</sub> )	Atık sudaki konsantrasyonlar (mg/l)										
				Cl	AOX	COD	P	N	Zn	Cr	Cd	Cu	Pb	Ni+V
Ağır fuel oil buhar kazanı	Islak FGD	Fil/Pre/Floc/Sed/Neu	0.11	9.2		27.9		85	0.01	0.1	5	0.1	0.1	0.058
	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	0.056		1			840						
Kombine çevrim (hafif yakıt)	Kondensat ve besleme suyu arıtımı	Neu/Sed	0.32		0.031	16.5	0.16	43.5	0.078	0.0038	0.0003	0.0044	0.0053	0/0036
<b>Notlar</b>														
Fil = Filtreleme		Pre = Presipitasyon		Floc = Flokülasyon			Sed = Sedimentasyon			Neu = Nötralizasyon				

Tablo 6.26: Normal çalışma ve sabit yükte petrolle çalışan yakma tesislerinden kaynaklı su emisyonları

### 6.3.3.5 Atık ve tortular

Yakma ve baca gazı arıtması tortularının (küller) ve FGD ünitesindeki alçıtaşının yanısıra, çoğu diğer güç tesislerinin atıkları ve tortuları da suyun bakımı ve arıtılması gibi yan kuruluşların etkinliklerinin ürünü olacaklardır. Bu yan kuruluş etkinlikleriyle bağlantılı olan atık maddeler, metal parçası, kullanılmış benzin, paketleme materyalleri, kompresörleri/gaz türbinlerini yıkamak için kullanılan sıvılar, iyon değiştirici ve aktif karbonu kapsarlar. Sıradan yerli atık da ayrıca üretilecektir.

Tablo 6.27 ve Tablo 6.28 benzinle çalışan geleneksel güç tesislerindeki yıllık tortu miktarlarını göstermektedirler.

<b>Tortu</b>	<b>Ortalama yıllık miktarlar (t/MW)</b>
Ham su karbonizasyonundan kaynaklı kireç tortuları	0
Yüklü iyon alışverişi reçineleri	0.003
Mucurlar	0.033
Demir hidroksid çamuru	0.937
Sedimentasyon çamuru	2.056

Tablo 6.27 Ham su tavlama kaynağından kaynaklanan tortular  
[58, Eurelectric, 2001]

<b>Tortu</b>	<b>Ortalama yıllık miktarlar (t/MW)</b>
FGD atık su tavlama kaynağından kaynaklı çamur	0.371
Proses atık arıtımından kaynaklı tortular	0.19
Nötralizasyon çamuru	0.004
Gaz yıkama temizleme sularından kaynaklı tortular	0.169
Ayırıcılardan kaynaklı tortular	0.293
Çökelttiler	2.338

Tablo 6.28 Atık su arıtımından kaynaklı tortular Eurelectric  
[58, Eurelectric, 2001]

Tablo 6.29 ve Tablo 6.32 sıvı yakan yakma tesislerindeki dip küllerinin ve uçucu küllerin analizinin örneklerini göstermektedir.

Parametre	Birim	A Tesisi	B Tesisi
Cl	%		<0.01
F	%		<0.001
S	%		0.11
As	mg/kg	8.8	5
B	mg/kg		158.0
Ba	mg/kg		850
Be	mg/kg		1.0
Bi	mg/kg		3.3
Co	mg/kg		44.0
Cr	mg/kg	204.7	127.7
Cu	mg/kg	63.2	92.8
Li	mg/kg		81.0
Mn	mg/kg		582.5
Mo	mg/kg		3.8
Ni	mg/kg	214.9	94.0
Pb	mg/kg	9.9	9.0
Se	mg/kg	0.6	n.n*
Sn	mg/kg		22.7
V	mg/kg	96.6	204.2
Zn	mg/kg	38.9	89.0
TOC (als C)	%C		7.93

\* n.n Tespit edilebilir sınırların altında

Tablo 6.29: İki farklı tesisteki kazanaltı külünün analizi  
[192, TWG, 2003]

Parametre	Birim	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi	D Tesisi
Cl	%		<0.1	0.01	0.01
F	%			<0.001	0.005
S	%		<1	0.52	
PCDD/PCDF	ng TEQ/kg		<1		
Ag	mg/kg			0.3	
As	mg/kg	106.0	<50	32.5	75
B	mg/kg			231.0	
Ba	mg/kg			3170	
Be	mg/kg			8.0	
Cd	Vg/kg	740	<500	n.n.	<1000
Co	mg/kg			81.5	1
Cr	mg/kg	194.9	<400	150.5	321
Cu	mg/kg	88.4	<100	155.5	767
Hg	Vg/kg	860	<1000	<0.2	<1000
Li	mg/kg			131.0	
Mn	mg/kg			510.0	487
Mo	mg/kg			12.5	
Ni	mg/kg	90.0	<250	197.2	89
Pb	mg/kg	45.2	<100	81.2	45
Sb	mg/kg			n.n.	
Se	mg/kg	2.8		n.n.	
Sn	mg/kg			6.7	
Tl	mg/kg		<2	n.n.	
TOC (as C)	%C		<8	1.75	
V	mg/kg	263.6		301.1	280
W	mg/kg			2.0	
Zn	mg/kg	236.1	<300	209.5	290
PCDD/PCDF	ng TE/kg		<1	209.5	290

\* n.n. Tespit edilebilir sınırların altında

Tablo 6.30: Üç farklı tesisten alınan uçucu küllerin analizi  
[192, TWG, 2003]

Tablo 6.33'da üç farklı elektrik santralinde üretilen filtre keki analizi gösterilmiştir.

Parametre	Birim	A Tesisi	B Tesisi	C Tesisi
Cl	mg/kg			
F	mg/kg			
TS 40 °C	%	44.3-58.6	57.1 - 66.7	
C	%	13.0-34.9	2.5 - 6.8	
Silikat	%	1.2-4.0	7.5 - 14.2	
Sülfat	%	24.2-43.1	10.0 - 35.7	
Karbonat	%	1.0-3.9	2.7 - 7.8	
Al	%	0.077-1.413	1.78 - 24.33	
As	mg/kg	1-16	16 - 46	41
Ba	%	0.005-0.010	0.029 - 0.093	
Ca	%	14.83-19.52	17.78 - 25.28	
Cd	Vg/kg	n.n.	n.n.	4.000
Co	mg/kg	33-99	13 - 35	182
Cr	mg/kg	8-76	25 - 66	93
Cu	mg/kg	16-46	43 - 91	90
Fe	%	0.43-0.90	2.6 - 4.48	
Hg	Vg/kg	n.n.*	n.n.*	76
K	%	0.020-0.094	0.31 - 0.64	
Na	%	0.025-0.115	0.14 - 0.32	
Mg	%	3.09-8.22	0.27 - 0.52	
Mn	%	0.014-0.033	0.04 - 0.12	2200
Mo	mg/kg	2-62	2 - 12	
Ni	%	0.170-0.491	0.002 - 0.006	11100 (mg/k)
Pb	mg/kg	21-47	25 - 66	103
Sb	mg/kg	10-21	1 - 12	
Sn	mg/kg	n.n.-4	2 - 10	
V	%	0.450-0.794	0.01 - 0.02	34000 (mg/kg)
Zn	mg/kg	19-425	82 - 342	758
* n.n. Tespit edilebilir sınırların altında				

Tablo 6.31: Üç farklı filtre kekinin analizi  
[192, TWG, 2003]

### 6.3.3.6 Atık su arıtma tesisinden kaynaklı tortular

Aşağıdaki tablo, ortalama %1.89 kükürt içerikli HFO kullanan bir güç tesisinde işleyen atık su arıtmasındaki filtre basıncındaki basınç filtre kabuğunu temel bir örneği olarak göstermektedir. Tesis, SCR, ıslak ESP ve ıslak FGD ünitesiyle donatılır.

	Test Standardı	Birim	*	Minimum	Maksimum	Ortalama
<b>Kuru Madde 105 °C</b>	OeN G 1.074	%		43.4	64.3	50.7
<b>Karbon</b>	OeN G 1.072	% C	<15	14.6	28.7	21.2
<b>Silikat</b>	gravimetrik	% SiO <sub>2</sub>	<40	2.1	4.1	3.0
<b>Sülfat</b>	DIN 38.405-D19	% SiO <sub>4</sub>	<65	21.6	51.2	37.7
<b>Karbon dioksit</b>	OeN G 1.072	% CO <sub>2</sub>		0.6	10.6	3.7
<b>Alüminyum</b>	DIN 38.406-E22	% Al	<10	0.188	0.390	0.298
<b>Arsenik</b>	DIN 38.406-E22	ppm As	<30	11	36	22
<b>Baryum</b>	DIN 38.406-E22	% Ba	<0.2	0.007	0.016	0.010
<b>Berilyum</b>	DIN 38.406-E22	ppb Be	<10	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Kalsiyum</b>	DIN 38.406-E22	% Ca	<30	9.79	14.07	11.77
<b>Kadmiyum</b>	DIN 38.406-E22	ppb Cd	<10	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Kobalt</b>	DIN 38.406-E22	ppm Co	<30	29	74	53
<b>Kromiyum</b>	DIN 38.406-E22	ppm Cr	<200	11	41	20
<b>Bakır</b>	DIN 38.406-E22	ppm Cu	<100	12	46	27
<b>Demir</b>	DIN 38.406-E22	% Fe	<10	0.65	1.74	0.98
<b>Civa</b>	OeN ISO 5.666	ppm Hg	<10	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Potasyum</b>	DIN 38.406-E22	% K	$\Sigma < 1$	0.015	0.054	0.033
<b>Sodyum</b>	DIN 38.406-E22	% Na		0.027	0.127	0.057
<b>Magnezyum</b>	DIN 38.406-E22	% Mg	<10	5.15	8.53	6.35
<b>Manganez</b>	DIN 38.406-E22	% Mn	<5	0.026	0.061	0.038
<b>Molibdenyum</b>	DIN 38.406-E22	ppm Mo	<100	30	96	55
<b>Nikel</b>	DIN 38.406-E22	% Ni	<0.5	0.106	0.448	0.262
<b>Kurşun</b>	DIN 38.406-E22	ppm Pb	<500	23	109	54
<b>Antimon</b>	DIN 38.406-E22	ppm Sb	<30	2	37	20
<b>Gümüş</b>	DIN 38.406-E22	% Ag		n.d.	n.d.	n.d.
<b>Kalay</b>	DIN 38.406-E22	ppm Sn	<500	n.d.	7	1
<b>Talyum</b>	DIN 38.406-E22	ppb Tl	<10	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Vanadyum</b>	DIN 38.406-E22	% V	< 2	0.045	0.989	0.561
<b>Çinko</b>	DIN 38.406-E22	ppm Zn	< 1.000	94	282	170
<b>Not:</b> * İşletim Deneyimleri (kılavuz değerler) Yakıt: HFO (S 1.89 % ortalama değer)						

Tablo 6.32: HFO kullanan bir elektrik santralinde işletilen atık su atık arıtım tesisindeki filtre presinden alınan pres filtre kekinin başlangıç analizi örneği  
[192, TWG, 2003]

## 6.4 Sıvı yakıtların yakılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler

Bu kısımda sıvı yakıtların yakılmasından kaynaklanan emisyonları önleme ve azaltma ile termal verimliliğin artırılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilen teknikler sunulmaktadır. Bu tekniklerin tümü halihazırda teknik ve ticari olarak mevcuttur. Bu bölümde değerlendirilecek teknikler genel olarak açıklanmıştır ancak tekniklerin çoğu için Bölüm 3’de daha ayrıntılı açıklamalar sunulmuş olup bu tekniklerin gerçek durumlarda uygulandıklarında çevresel performanslarını ayrıntılı bir şekilde göstermek amacıyla Kısım 4.2’de bazı teknik örnekleri verilmiştir. Prensip olarak Bölüm 3’de açıklanan genel teknikler büyük oranda kömür ve linyit yakımı için de geçerlidir ve genel olarak MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler olarak düşünülmelidir. Daha ayrıntılı açıklamalar için Bölüm 3’e bakınız.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15’deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.

## 6.4.1 Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
Retansiyon havuzu içinde gruplanan depolar	Azalan su ve toprak kontaminasyonu riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut Değil	Retansiyon havuzu hacmin tümünü veya bir kısmını kapsamak üzere tasarlanmalıdır (tüm tankların maksimum kapasitesinin %75'i ancak en azından en büyük tankın maksimum hacmi)
Depolama tanklarının taşmasını önleyecek otomatik kontrol sistemleri	Azalan su ve toprak kontaminasyonu riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut Değil	
Yer altındaki borulara yönelik otomatik aralık kontrollü çift duvarlı boru	Azalan su ve toprak kontaminasyonu riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut Değil	
Depolama tesisi ve boru hattının düzenli kontrolü	Azalan su ve toprak kontaminasyonu riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut Değil	
Toz kaldırmalı silolardaki kireç/kireçtaşı kapalı muhafazası	İnce partikül emisyonları riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut Değil	
Drenaj sistemli kapalı yüzeyler (yağ ayırıcıları dahil)	Toprak ve yeryüzü suyu kontaminasyonunun önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Atık su arıtımı maliyeti	Toplanan drenaj sularının yakıt veya yağlama yağı kontaminasyonunu önlemek üzere arıtılması gerekir
Amonyak-su solüsyonu olarak amonyak depolaması	Daha yüksek emniyet	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Basınçlı sıvı amonyaktakinden daha az depolama riski	Mevcut değil	

Tablo 6.33: Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

## 6.4.2 Likit yakıtla çalışan buhar kazanlarının verimliliğini artıracak teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Yakma çevrimi</b>							
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan verimlilik	Mümkün	Çok sınırlı	Yüksek			
Türbin pervaneleri değişimi	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Buhar türbin pervaneleri düzenli bakım aralarında üç boyutlu pervanelerle değiştirilebilir
Yüksek buhar parametrelerine erişecek ileri materyallerin kullanılması	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	İleri materyallerin kullanılması 300 bar buhar basıncı ve 600 °C buhar sıcaklığına olanak sağlar
Kritik ötesi buhar parametreleri	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Duble yeniden ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Çok sınırlı	Çoğunlukla yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Rejeneratif besleme-suyu ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Bazen mümkün	Yeni tesislerde ve bazı mevcut tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	Yeni tesisler besleme suyu sıcaklığının yaklaşık 30 °C olmasına neden olan 10 aşama kullanır
Emisyon azaltma ve buhar kazanı performansına yönelik yakma koşulları İleri bilgisayarlı yakma kontrol sistemleri	Artan buhar kazanı verimliliği	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Tesise özgü	
<b>Tesis ekipmanının enerjetik optimizasyonu</b>							
Düşük fazla hava	Artan verimlilik ve azalan NOx ve N <sub>2</sub> O emisyonları	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Egzoz gazı sıcaklıklarının düşürülmesi	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Mevcut değil	
Baca gazında düşük CO konsantrasyonu	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Düşük NOx emisyonları yüksek CO seviyelerine yol açar	Mevcut değil	NOx ve CO emisyonlarının optimize edilmesi gerekir
Isı birikimi (Isı depolanması)		Mümkün	Mümkün			Mevcut değil	CHP modundan üretilen enerjiyi artırır

Tablo 6.34: Likit yakıtla çalışan buhar kazanlarının verimliliğini artıracak teknikler



Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Baca gazı temizleme ve tahliyesi</b>							
Soğutma kulesi tahliyesi	FGD tesisi sonrası baca gazı yeniden ısıtma gerekli değildir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yüksek	Baca inşa ve bakımı için ilave maliyet gerekli değildir	
<b>Soğutma sistemi</b>							
Farklı teknikler							Soğutma BREF'e bakınız

Tablo 6.35: Likit yakıtla çalışan buhar kazanı verimliliğini artıracak teknikler (Tablo 6.28'nin devamı)

#### 6.4.3 Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Düşük kül/kükürt yakıt veya doğal gaz	Partikül ve SO <sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok		
ESP	Partikül madde ve ağır metal azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok		ESP buhar kazanları için geniş ölçüde kullanılır. İkincil partikül azaltım metotları dizel motorlar için yenidir. İlk ticari ESP kurulum aşamasındadır
Bez Filtre	Özellikle ince toz (PM <sub>2.5</sub> ve PM <sub>10</sub> ) ile ağır metal ve partikül emisyonlarının azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok		FGD ile birlikte kullanıldığında azaltılabilecek yüksek yangın riskinden dolayı FF ESP'ye göre daha az önemsizdir.
Likit yakıtla çalışan motorlara yönelik partikül filtre	Partikül emisyonlarının özellikle is partiküllerinin azaltılması	Mümkün		Sınırlı			Partikülata yönelik ikincil temizleme cihazları daha büyük dizel motorlar için halihazırda gelişim aşamasındadır
Yakma katkı maddeleri	Tozun kaynağında azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Yakıt fiyatının % 1-3'ü	
Düşük asfaltan fuel oil	Toz emisyonlarının kaynağında azaltımı					Yakıt fiyatının %10'undan az	Mevcut ise rafine prosesine bağlıdır

Tablo 6.36: Toz ve ağır metal emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikleri

6.4.4 SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Düşük kükürt fuel oil kullanımı	Kaynağında SO <sub>2</sub> emisyon azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Fuel oil türü ve kalitesine bağlıdır	
Petrol ve gaz birleşik yakımı	Kaynağında SO <sub>2</sub> emisyon azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Eş zamanlı azaltılan NO <sub>x</sub> ve CO <sub>2</sub> emisyonları	Yakıt fiyatı farklılıklarına bağlıdır	Enerji tüketim optimizasyonuna yardımcı olabilir
Akışkan yatak yakma (FCB)	Buhar kazanı içinde SO <sub>2</sub> emisyon azaltımı	Mümkün	Mümkün değil	İyi	Eş zamanlı azaltılan NO <sub>x</sub> emisyonları		Katı yakıtlarla birlikte yakma için geçerlidir

Tablo 6.37: SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler (birincil)

	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Alçı üretimi ile Islak kireç/kireçtaşı gaz yıkayıcı	SO <sub>2</sub> , toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün ancak 100 MW altındaki tesislerde nadiren uygulanır	Mümkün	Yüksek	Kullanılan kireçtaşı kaynağı nedeniyle, As, Cd, Pb ve Zn emisyonları biraz yüksek olabilir. Su emisyonları Atık gazlar yeniden ısıtılmadığında baca çıkışında baca dumanı oluşumu	Tesise özgü	Islak gaz yıkama tekniklerinin yüksek maliyeti nedeniyle, bu teknik sadece daha büyük tesisler için daha ekonomik çözümdür. Mevcut ıslak gaz yıkayıcı absorberdeki akış yapısının optimize edilmesi ile geliştirilebilir
Denizsuyu gaz yıkayıcı	SO <sub>2</sub> , toz emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Su tahliyesi civarında azalan pH seviyesine neden olma eğilimi, ağır metal ve geriye kalan külün su ortamına emisyonu	Tesise özgü	Denizsuyu gaz yıkayıcısının kullanımı, kirliliğin su ortamına etkisi nedeniyle ciddi derecede su ortamına bağlıdır
Diğer ıslak gaz yıkayıcı tipleri	SO <sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması	Mümkün ancak yeni tesisler için nadiren uygulanır	Bireysel tesise bağlıdır	Çok sınırlı	Tekniğe bağlıdır	Mevcut değil	Diğer kirletici maddelerin azaltılması spesifik tekniğe bağlıdır
Sprey kuru gaz yıkayıcı	SO <sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Toprağa doldurulması gereken kalıntılar		Sprey kuru gaz yıkayıcıları öncelikle toz üretir, sadece etkili ihraç sistemleri ile (FF, ESP) toz emisyonlarını azaltırlar
Diğerleri	SO <sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması ve kombine teknikte NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün ancak yeni tesislerde nadiren uygulanır	Bireysel tesise bağlıdır	Çok sınırlı		Mevcut değil	Diğer kirleticilerin azaltımı spesifik tekniğe bağlıdır

Tablo 6.38: SO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler (ikincil tedbirler)

## 6.4.5 NOx ve N2O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Düşük fazla hava	NOx, CO, HC ve N <sub>2</sub> O emisyonları azaltımı, artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	Sadece buhar kazanı ve proses ısıtıcılar için
Hava aşamalandırma (OFA)		Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	Sadece buhar kazanı ve proses ısıtıcılar için
Baca gazı resirkülasyonu		Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	Sadece buhar kazanı ve proses ısıtıcılar için
Düşük NOx brülörleri (düşük NOx brülörlerinin ikinci veya üçüncü üretimi)	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Eksik yakma eğilimi		Sadece buhar kazanı ve proses ısıtıcılar için Daha eski tesisler modern düşük NOx brülörlerinin alev uzunluğu nedeniyle sorunlarla karşılaşabilir
Yeniden yakma	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	Sadece buhar kazanları için
<b>Motor ve gaz türbinlerine yönelik birincil tedbirler</b>							
Motor modifikasyonları (Bölüm 6.1.10.3.3)	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün değil	Yüksek		Tesise özgü	Sadece motorlar için
Direkt buhar enjeksiyonu	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Artan yakıt tüketimi		Sadece dizel motorlar ve gaz türbinleri için
Direkt su enjeksiyonu	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Artan yakıt tüketimi		Sadece dizel motorlar ve gaz türbinleri için
Su/yakıt emülsiyonu veya nemli hava enjeksiyonu	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Sınırlı			Sadece dizel motorlar ve gaz türbinleri için
<b>İkincil tedbirler</b>							
Selektif Katalitik Olmayan Azaltım (SNCR)	NOx azaltımı, ama azaltım oranı SCR'dekinden çok daha azdır	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip ve amonyak sülfat tuzu oluşumu	Tesise özgü	Sadece buhar kazanları ile proses ısıtıcılar için
Selektif Katalitik Azaltım (SCR)	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Tesise özgü	HFO ateşlemeli motorlar ile birlikte buhar kazanı, proses ısıtıcı ve dizel için
Kombine teknikler	NOx ve SO <sub>2</sub> azaltımı	Mümkün	Sınırlı	Sınırlı		Mevcut değil	Kombine teknikler SCR tekniklerine kıyasla sadece küçük bir pazar payına sahiptir

Tablo 6.39: NOx ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 6.4.6 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Islak FGD</b>							
Flokülasyon veya sedimentasyon ile su arıtımı	Florid, ağır metal, COD ve partikül atılımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Sulu çamur kömüre dahili olarak, veya FGD tesisinde veya maden endüstrisinde dolgu malzemesi olarak ilave edilebilir	Tesise özgü	
Çökeltme veya biyolojik ayrıştırma ile amonyak azaltımı	Azalan amonyak içeriği	Sadece SCR/SNCR nedeniyle atık sularındaki amonyak içeriği yüksek olduğunda uygulanabilir		Yüksek		Tesise özgü	
Kapalı devre çalışma	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Demineralizer ve kondensat parlatıcılarının rejenerasyonu</b>							
Nötralizasyon ve sedimentasyon	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Atılacak çamurun sudan arındırılması gerekir	Tesise özgü	
<b>Elutriasyon</b>							
Nötralizasyon		Sadece alkalın işletimi ile		Yüksek		Tesise özgü	
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcısı ve presipitatörün yıkanması</b>							
Nötralizasyon ve kapalı devre işletimi veya kuru temizleme metotları ile değiştirme	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Yüzey suyu akıntıları</b>							
Sedimentasyon veya kimyasal arıtım ve dahili kullanım	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Yağ ayırıcı sistemlerinin kullanılması	Az su vetoprak kontaminasyon riski	Mümkün	Mümkün	Yüksek			

Tablo 6.40: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 6.5 Sıvı yakıtların yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET)

Bu bölüm ve içeriğinin anlaşılması amacıyla okuyucunun ilgisi belgenin önsözüne özellikle önsözün beşinci kısmına çekilmiştir: 'Bu belge nasıl anlanır ve kullanılır'. Bu kısımda sunulan teknikler ve ilgili emisyonlar ve/veya tüketim seviyeleri veya seviye ranjları aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlanan bir süreçle değerlendirilmiştir:

- Sektöre yönelik önemli çevresel hususların - ki bunlar hava ve su emisyonları, termal verimlilik ile yakma tortularıdır – tanımlanması
- Bu önemli konulara hitap eden ilgili tekniklerin incelenmesi
- Avrupa Birliği'nde ve dünya çapında mevcut veriler bazında en iyi çevresel performans seviyelerinin tanımlanması
- Bu tekniklerin hayata geçirilmesi ile ilgili olan maliyet, çapraz medya etkileri temel itici güçler gibi performans seviyelerinin erişildiği koşulların incelenmesi
- Direktif Ek IV ve Madde 2(11)'e göre genel anlamda bu sektör için ilgili emisyon ve/veya tüketim seviyeleri ile mevcut en iyi tekniklerin (MET) seçilmesi.

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili Teknik Çalışma Grubu (TWG) tarafından yürütülen uzman kararları bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu değerlendirme temelinde, teknikler ve mümkün mertebe MET kullanımı ile ilgili olan emisyon ve tüketim seviyeleri bir bütün olarak sektöre uygun olduğu kabul edilen ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıtan bu kısımda sunulmuştur. 'Mevcut en iyi teknikler ile ilgili' emisyon veya tüketim seviyeleri sunulduğu hallerde, bu sunulan seviyelerin MET tanımı içerisinde bulunan maliyet ve fayda dengesi göz önünde bulundurularak açıklanan tekniklerin bu sektörde uygulanmalarının bir sonucu olarak beklenebilecek çevresel performansı temsil ediyor olduğu anlaşılmalıdır. Ancak bunlar ne emisyon ne de tüketim sınır değerleridir ve bu şekilde anlaşılmalıdır. Bazı durumlarda daha iyi tüketim ve emisyon seviyelerine erişmek teknik açıdan mümkün olabilir ancak ilgili maliyetler ile çapraz medya değerlendirmeleri nedeniyle bir bütün olarak sektör için uygun MET olarak değerlendirilemezler. Yine de bu seviyelerin özel itici güçlerin mevcut olduğu daha spesifik durumlarda ispat edildiği kabul edilebilir.

MET kullanımı ile ilgili emisyon ve tüketim seviyeleri belirtilen herhangi bir referans koşulu (örneğin; ortalama periyotları) ile birlikte anlaşılmalıdır.

Yukarıda açıklanan 'MET ile ilgili seviyeler' kavramı bu belgede başka bölümlerde kullanılan 'erişilebilir seviye' ifadesinden ayrılmalıdır. Özel bir teknik veya teknikler kombinasyonu kullanılarak bir seviyenin 'erişilebilir' olarak açıklanması durumunda, bu; bahsedilen teknikler kullanılarak iyi durumda bakılan ve işletilen tesis veya süreçte belirli bir zaman dilimi içerisinde o seviyeye erişilmenin beklenebileceği anlamına gelmelidir.

Maliyetler ile ilgili veriler mümkün hallerde önceki bölümlerde sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler ilgili maliyetlerin büyüklüğüne ilişkin kaba bir gösterge sunarlar. Ancak bir tekniğin uygulanmasının asıl maliyeti örneğin vergi, harç ve ilgili tesisin teknik özellikleri gibi özel durumlara bağlıdır. Bu sahaya özgü faktörlerin burada tam olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Maliyetlere ilişkin verilerin olmaması durumunda, tekniklerin ekonomik kapasitesine ilişkin değerlendirmeler mevcut tesislerde yapılan gözlemlerden elde edilir.

Bu kısımdaki genel MET mevcut bir tesisin halihazırdaki performansına karar verme veya yeni bir tesis teklifine karar vermede bir referans noktası olarak düşünülmüştür. Bu suretle tesise yönelik uygun 'MET-temelli' koşulların belirlenmesine veya Madde 9(8) kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesis edilmesine yardımcı olacaklardır. Yeni donanımların burada sunulan genel MET seviyeleri veya bunlardan daha yüksek seviyelerde faaliyet gösterecek şekilde tasarlanabilmeleri öngörülür. Ayrıca her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğine tabi olarak mevcut donanımların genel MET seviyelerinin ötesine geçebilmeleri de düşünülmektedir.

BREF'ler yasal bağlayıcı standartlar koymamakla birlikte endüstri, Üye Ülkeler ve kamuya belirli teknikler kullanılırken erişilebilir emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin kılavuz bilgiler sunmaları amaçlanır. Herhangi bir özel duruma ilişkin uygun sınır değerlerinin yerel hususlar ile IPPC Direktifi hedefleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15.1'deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.

### 6.5.1 Sıvı yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım,depolama ve taşınması

Sıvı yakıtların boşaltılması, depolanması ve taşınmasındaki salınımları önlemede MET ve ayrıca kireç, kireç taşı,amonyak vb. katkı maddeleri Tablo 6.41'de özetlenmektedir.

Materyal	Kirlenici	MET (ayrıntılı liste değil)
Likit yakıt	Su kontaminasyonu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tüm tankların maksimum kapasitesinin veya en büyük tankın maksimum hacminin %75'ini kapsayacak kapasitede su geçirmez yığınlarda tutulan likit yakıt depolama sistemlerini kullanma. Depolama alanları dağıtım sistemlerinden ve tankların üst kısmından gelebilecek sızıntıların durdurulabilecek bir şekilde tasarlanmış olmalıdır. Tank muhteviyatı gösterilmeli ve depolama tanklarının taşmasını önlemek amacıyla ilgili alarmlar kullanılmalı ve otomatik kontrol sistemleri uygulanabilmelidir. Depolama tanklarının taşmasını önlemek için planı dağıtım ve otomatik kontrol sistemlerinin kullanımı uygulanabilir</li> <li>Sızıntıların hemen tespit edilebilmesi ve araçlar ile diğer ekipmandan gelecek hasarın önlenmesi için boru hatları emniyetli zemin seviyesinden yüksek açık alanlara yerleştirilmeli. Şayet gömülü boru hatlarının kullanılması durumunda, istikametleri belgelenebilir gösterilebilir ve emniyetli hafriyat sistemleri benimsenmelidir. Erişilemeyen borular için, otomatik aralama kontrollü çift perdeli borular uygulanması (çelik borular, kaynaklı bağlantılar ve yer altı bölümünde vana bulunmaması vb.) MET'dir.</li> <li>Yakıtı su ile sürükleyen yüzeydeki birikintileri (yağmur suyu) yakıt depolama alanlarından toplama ve boşalmadan önce toplanan bu akıntıya müdahale edilmelidir.</li> </ul>
Kireç ve kireçtaşı		<ul style="list-style-type: none"> <li>toz emisyonlarını önlemek için dağıtım ve taşıma aktarma noktaları üzerinde iyi tasarlanmış güçlü ekstraksiyon ve filtreleme ekipmanlı silolar, kapalı taşıyıcılar ve pnömatik aktarım sistemlerine sahip olmak</li> </ul>
Saf sıvılaştırılmış amonyak	Amonyaka göre sağlık ve emniyet riski	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sıvılaştırılmış saf amonyakın taşıma ve depolanması için: 100 m<sup>3</sup>'den büyük sıvılaştırılmış saf amonyak basınç rezervuarı çift katman inşa edilmeli ve yeraltına yerleştirilmelidir. 100 m<sup>3</sup> ve daha küçük rezervuarlar tavlama imal edilmiş olmalıdır</li> <li>Emniyet açısından, amonyak-su çözeltisinin kullanımı sıvılaştırılmış saf amonyak depolama ve taşınmasından daha az risklidir</li> </ul>

Tablo 6.41: Likit yakıt ve katkı maddelerinin boşaltım, depolama ve taşınmasına yönelik MET

## 6.5.2 Motor ve gaz türbinlerinde kullanılan sıvı yakıtların ön arıtımı

Gaz türbinleri ve motorlarda yakıt olarak kullanılan dizel benzin için, merkezkaç temizleme türünü ya da elektrostatik türünün dizel benzin ünitelerinden oluşan yakıt arındırma tesisleri, MET olarak değerlendirilir. Ağır akaryakıt yakma ile (HFO) yakıt arındırma tesisleri HFO'yu ısıtma işleminde (elektrik ya da buhar halka türü) ısıtıcılar; benzin emülsiyonlarını ayırmada de-emulsifier doz sistemlerini; katı impuritylerin ihracı için, ayırıcıları (merkezkaç ya da elektrostatik tür); vanadyum oksidasyon ürünlerinin erime noktalarını yükseltilmesi için ek doz sistemlerini kullanmaktadır. Referans, belgenin 6.1.2.2 ve 6.1.2.3 bölümlerinde tanımlanan ölçümlerde verilmiştir.

## 6.5.3 Sıvı yakıtla çalışan buhar kazanlarına yönelik MET

### 6.5.3.1 Termal verimlilik

Sera gazlarının azaltımında özellikle desıvı yakıtla çalışan yakma tesislerinde açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazının azaltımında mümkün olan en etkili seçenek, günümüz şartlarına bakıldığında, termal verimliliğini arttırmakta kullanılan işlemsel ölçü ve tekniklerdir. Bu da emisyon azatımı ve buhar kazanı performansını en üst düzeye çıkarmakta, yakma koşullarını kontrolü için gelişmiş bilgisayarlı kontrol sistemlerinin uygulanması ile bağdaşmaktadır. CO<sub>2</sub> hapsi ve boşaltımı için uygulanan ikinci tedbirler, belgenin 10.2 ekinde tanımlandığı gibi, gelişmenin çok erken aşamasındadırlar. Bu teknikler gelecekte kullanıma uygun hale getirilebilir fakat, henüz MET olarak değerlendirilmezler.

Güç tesislerinin yoğunlaştırılmasında, enerji verimliliği etkilidir ve üretilen enerji/yakıt alım enerji yüzdesi gibi, burada ısı oranının tersi olarak anlaşılacağı, güç tesisi verimliliğinin ısı oranı(yakıt alım enerjisi/güç tesisi sınırlarından çıkış) olarak değerlendirilir. Yakıt enerjisi, ısı değerini düşürücü olarak ölçülmektedir. Bölüm 6.2.4'te listelenen ölçüler uygulanarak, iki kez tekrar ısıtma işlemi ve en gelişmiş yüksek derece materyallerinin kullanımı termal verimliliği artırır; sıvı yakıtla çalıştırılan yoğunlaştırıcı güç tesisleri, taş kömürü yakan tesisler ile karşılaştırılabilen verimliliklere ulaşabilir.

Isı ve gücün birlikte yakılması (CHP), yedek enerj sisteminde enerji verimliliğini arttırmakta teknik ve ekonomik anlamda en etkili araçtır. Birlikte yakma bu yüzden üretilen enerjini her ünitesi için atmosfere yayılan CO<sub>2</sub> miktarını azaltmada en etkili MET yöntemi olarak kabul edilmektedir. CHP, yerel ısı talebinin, daha az ısı ya da elektrik üreten tek bir tesisin yerine, daha maliyetli birlikte yakma tesislerini garanti edecek kadar uygun maliyetli yeni güç tesislerinin üretimini amaçlamalıdır. Isı talebi yıl içinde değişiklik gösterdiğinden, CHP tesislerinin elektrik üretimi için gereken ısı oranı dikkate alındığında, çok esnek olması gerekmektedir. Ayrıca tesisler, bölge yükleme işlemleri için yüksek verimlilikler de sunmalıdır.

MET koşulları altında işletilen CHP tesisleriyle ilgili olarak ekserjetik verimliliğin, (bknz. Bölüm 2.5.7) bölgeye özgü uygulamalara bağlı olarak 3-1.1 oranında ısıya eşit olarak %45- 55 ve %75-95 oranında da enerji (yakıt) verimliliği sağladığı kabul edilmektedir.

MET seviyelerinin tüm işlemsel koşullarda uygulanabilir olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji verimlilikleri tesisin en geniş tasarım noktasında bulunmaktadır. Tesislerin işlem süreçleri boyunca elde ettikleri gerçek enerji verimlilikleri, işlem sırasında meydana gelen yakıt kalitesi gibi yükleme değişikliklerine bağlı olarak azalma gösterebilir. Enerji verimliliği ayrıca, güç tesisinin soğutucu sistemine, coğrafi konumuna (bknz. Tablo 2.3) ve baca gazı temizleme sisteminin enerji tüketimine de bağlıdır.

Sıvı yakıtla çalıştırılan mevcut güç tesisleri için, çok sayıda yenileme ve güçlendirme teknikleri, termal verimliliği arttırmak amacıyla uygulanabilir. Bölüm 2.7.9'da tanımlanan teknik terimler, mevcut güç tesislerinde verimliliği arttırmak amacıyla MET yönteminin bir parçası olarak değerlendirilebilir. Emisyonların azaltımını destekleyen arttırılmış yakma koşulları ile buhar kazanının yüksek performansını elde edebilmek için geliştirilmiş bilgisayarlı kontrol sistemlerinin kullanımı da MET olarak değerlendirilir.



Genel olarak, verimliliği arttırmada aşağıdaki tedbirler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Yakma: katı atıklar ve yakma sonrasında oluşan atık maddelerde bulunan yanmamış gaz ve elementlere bağlı ısı kaybının en aza indirilmesi
- Çalışan ara akımın mümkün olan en yüksek basınç ve derecesi. Net elektrik verimliliğinin artırılması için tekrarlanan akım aşırı ısıtması
- Akım türbinlerinin ucunda mümkün olan en düşük soğutucu su derecesi(taze su soğutucusu) yoluyla alçak basınçta mümkün olan en yüksek basınç düşüşünü sağlamak.
- Baca gazı yoluyla (atık ısıdan ya da bölgesel ısıdan yararlanma) ısı kaybını en aza indirme
- İzolasyon ile ortaya çıkan radyasyon ve kondüksiyon yoluyla ısı kaybını en aza indirme
- Buharlaştırıcının değerlendirilmesi, besleme su pompasının en yüksek verimliliği vb. gibi uygun tedbirler olarak iç enerji tüketimini en aza indirme
- Akım ile buhar kazanı besleme suyunun ön ısıtılması
- Türbinlerin pervane geometrisinin geliştirilmesi

### 6.5.3.2 Toz ve ağır metal emisyonları

Sıvı yakıtla çalıştırılan yeni ve mevcut yakma tesislerinden çıkan gazların tozdan arındırılması için MET, elektrostatik presipitatörlerin (ESP) ya da bez filtrenin kullanımı olarak da değerlendirilebilir. Siklonlar ve mekanik toplayıcılar tek başlarına MET olarak değerlendirilemezler fakat, baca gazı yolunda ön temizleme aşaması olarak kullanılabilirler.

Sıvı yakıtlar, özellikle HFO, genel olarak vanadyum ve nikel gibi ağır metalleri içerirler. Temel olarak, ağır metallerin çoğu yakma işlemleri sırasında buharlaşır ve işlem sonrasında partikül madde (uçucu kül gibi) üzerinde yoğunlaşır. ESP, HFO yakımı sonrasında baca gazından tozun arındırılmasında kullanılan en yaygın tekniktir. FF de uygulanan teknikler arasındadır fakat FF'nin FGD ile birlikte uygulanması durumunda azaltılan, artan yangın riskine bağlı olarak daha az önem taşımaktadır. Bu yüzden toz ve ağır etallerin emisyonunu azaltmada kullanılan MET, yüksek performanslı ESP'lerin( azalma oranı %99.5) ya da yukarıda bahsedilen noktalar göz önünde bulundurularak bez filtrenin (azalma oranı %99.5) kullanımı ile sağlanacaktır.

Ağır metallerin periyodik olarak izlenmesi MET'tir. Üç yıla kadar her yılın sıklığı, kullanılan sıvı yakıtın türüne bağlı olarak, önerilir. Özellikle toplam Hg'nin sadece partiküllere ait bölümü değil, her parçasının izlenmesi gerekmektedir.

İlgili toz seviyeleri ince partikül atları azaltmakta( $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ ) ve ağır metallerin emisyonlarını en aza indirmede,ince toz partikül atları üzerinde tercihen çoğalmaya yatkın olduklarından dolayı göz önünde bulundurulması gerekmektedir. 300 MW<sub>th</sub> üzerinde kapasitesi olan yakma tesisi için toz seviyeleri,desülfirizasyonun MET sonucu partikül at maddelerin azaltımını sağlayan ıslak gaz yıkayıcı (FGD)'ya bağlı olarak düşebilir.

Tozdan arındırma ve ilgili emisyon seviyeleri için MET sonuçları Tablo6.42 de özetlenmiştir. İlgili MET emisyon seviyeleri günlük ortalamaya,standart koşullara ve%3 oranında O<sub>2</sub> seviyesine bağlıdır; tipik yükleme durumunu temsil ederler. Tepe yükleme için başlatma ve kapatma periyotları olduğu kadar baca gazı temizleme sistemlerinde karşılaşılan işletimsel problemleri,yüksek değerde olabilen kısa dönem zirve değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	İzleme	Uygulamabilirlik
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler			
50-100	5-20 <sup>(3)</sup>	5-30 <sup>(2)</sup>	ESP/FF	Sürekli <sup>(1,2)</sup>	Yeni ve mevcut tesisler
100-300	5-20 <sup>(3)</sup>	5-25 <sup>(4)</sup>	FGD(ıslak) kombinasyonu ile ESP/FF (spesifik tesis büyüklüğüne bağlı olarak)	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler
>300	5-10 <sup>(5)</sup>	5-20 <sup>(6)</sup>	FGD (ıslak) kombinasyonu ile ESP/FF	Sürekli	Yeni ve mevcut tesisler
Notlar:					
ESP (Elektrostatik presipitator)		FF (Bez filtre)	FGD(ıslak) (Islak baca gazı kükürt giderme)		
1, 2	Endüstri ve bir Üye Ülke ıslak FGD uygulaması olmaksızın sadece ESP'lerle kontrol edilen toz emisyonları durumunda sunulması gereken emisyon seviyelerini bildirmiştir. Aşağıdaki seviyeler önerilmiştir:				
3, 5	ESP'ye yönelik 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> , periyodik izleme				
4, 6	ESP için üst seviye 30 mg/Nm <sup>3</sup>				
1 – 6	ESP için üst seviye 50 mg/Nm <sup>3</sup>				
3 – 6	Mevcut elektrik santrali kapasitesine bakılmaksızın buhar atomizasyonu veya katkı maddesi kullanımlı brülörler için 50 – 100 mg/Nm <sup>3</sup>				
4, 6	Endüstri ıslak FGD kombinasyonu ile ESP veya FF'ye yönelik 30 mg/Nm <sup>3</sup> üst limiti ortaya atmıştır				
2	Bir Üye Ülke 100 MW kapasite üzerindeki mevcut tesislere yönelik MET ranjının 10 - 50 mg/Nm <sup>3</sup> arasında olması gerektiğini önermiştir, çünkü bu seviyeler Üye Ülke emisyon sınırlarına uygundur. Bir Endüstri temsilcisi 50 mg/Nm <sup>3</sup> civarında toz emisyonu sağlandığından söz etmiştir. Yıl başına karşılık gelen 20 ton toz azaltımı sağlamak üzere bu seviyenin bez filtre veya ESP kullanılarak 30 mg/Nm <sup>3</sup> civarına düşürülmesi MET'i temsil etmez.				

Tablo 6.42: Likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı proses gazlarının tozdan arındırılmasına yönelik MET

### 6.5.3.3 SO<sub>2</sub> emisyonları

Genel olarak, sıvı yakıtla çalışan takma tesislerinde, düşük sülfürlü yakıt benzinin /ya da desülfürizasyonun kullanımı, MET olarak kabul edilir. Ancak, düşük sülfürlü yakıt benzininin tesislerde kullanımı ile 100 MW<sub>th</sub> 'lik kapasite sağlanabilir, birçok durumda, sadece yardımcı olarak kullanılır fakat genel olarak SO<sub>2</sub> azaltımında yeterli bir yol olarak kullanılamaz. Doğal gaz kullanımının mümkün olduğu alanlarda, gazın ve benzinin yakılması da MET olarak değerlendirilmektedir.

Düşük sülfürlü yakıt benzininin yanında MET olarak değerlendirilebilen ve piyasanın baca gazı desülfürizasyon tekniklerinde %90'dan fazla payı olan teknikler başlıca, ıslak gaz yıkayıcı (azaltma oranı %92-98), sprey kuru gaz yıkayıcı desülfürizasyonudur (azaltma oranı %85- 92). Kuru sorbent enjeksiyonu gibi kuru FGD teknikleri başlıca birçok tesis için 300 MW<sub>th</sub>'den az termal kapasite ile kullanılmaktadır. Islak gaz yıkayıcı ayrıca HCl, HF, toz ve ağır metallerin azaltılmasına da olanak sağlamaktadır. FGD sistemini uygulayan mevcut tesisler, SO<sub>2</sub> emisyonlarını absorber kabındaki akış örneğini geliştirerek azaltmaktadırlar. Islak gaz yıkama işlemleri, küçük tesisler için maliyeti oldukça yüksek bir seçenek olacaktır bu yüzden 100 MW<sub>th</sub>'den az kapasiteye sahip tesisler için MET olarak değerlendirilemez.

Deniz suyu gaz yıkayıcı işlemi, yüksek güvenilirliği, çamur taşıma gerektirmeyen basit bir işlem olması ve yan ürün üretmemesi nedeniyle, MET sonucunun bir bölümü olarak değerlendirilmektedir. Denizsuyu, gelgit akımları, gaz yıkayıcı su çıkışına yakın denizel bölge (aquatic) vb. yerel koşullar, olumsuz çevresel ve ekolojik etkilerden kaçınmak amacıyla özenle değerlendirilmelidir. Etkiler, güç tesisinin genel bölgesindeki pH derecelerinin olduğu kadar artık metaller (ağır metal) ve uçucu küllerin alımı ile de azaltılmaktadır.

Desülfürizasyon ve ilgili emisyon seviyeleri için MET sonuçları Tablo 6.43 de özetlenmiştir. MET in ilgili emisyon seviyeleri günlük ortalamaya, standart koşullara, %3 oranında O<sub>2</sub> seviyelerine bağlıdır ve tipik yüklem durumunu temsil ederler. Tepe yüklem için başlatma ve kapatma periyotları için olduğu kadar, baca gazı temizleme sistemlerinde karşılaşılan işlemsel problemlerin, yüksek olabilen kısa dönem zirve değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	Uygulanabilirlik	İzleme
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler			
50-100	100-350 <sup>(1)</sup>	100-350 <sup>(2)</sup>	Düşük kükürlü fuel oil Gaz ve petrol birleşik yakma FGD (dsi) veya FGD (sds)	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
100-300	100-200 <sup>(3)</sup>	100-250 <sup>(4)</sup>	Düşük kükürlü fuel oil Gaz ve petrol birleşik yakma FGD (dsi) veya FGD (sds) FGD (ıslak) (tesis büyüklüğüne bağlı olarak) Deniz suyu gaz yıkama NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> azaltımı için kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
>300	50-150 <sup>(3)</sup>	50-200 <sup>(6)</sup>	Düşük kükürlü fuel oil Gaz ve petrol birleşik yakma FGD (dsi) veya FGD (sds) FGD (ıslak) (tesis büyüklüğüne bağlı olarak) Deniz suyu gaz yıkama NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> azaltımı için kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
Notlar					
<b>FGD (ıslak)</b> (Islak baca gazı kükürt giderme) <b>FGD (sds)</b> (sprey kurutucu kullanılarak baca gazı kükürt giderme)					
<b>FGD (dsi)</b> (Sorbent enjeksiyonu kullanılarak baca gazı kükürt giderme)					
1,2	Aşağıdaki seviyeler Endüstri ve bir Üye Ülke tarafından önerilmiştir: Ranj 200 – 850 mg/Nm <sup>3</sup>				
3, 4, 5	Üst seviye 400 mg/Nm <sup>3</sup>				
5	Üst seviye 200 mg/Nm <sup>3</sup>				
2, 4, 6	Endüstri düşük kükürlü yakıt kullanıldığında MET seviyesi verilmemesi gerektiğini bildirmiştir Yukarıda verilen değerleri öngören Endüstri tarafından verilen mantıksal temel yakıt nitelikleri, kül direnci, baca gazı girişi ve FGD gerekliliğini belirleyen SO <sub>2</sub> konsantrasyonu, ekonomi ile birlikte yüksek net ünite verimliliği gereksinimleri gibi konuların tamamen dikkate alınmamış olmasıdır. Bir Üye Ülke, Endüstri görüşünü desteklemiş ve yüksek verimliliğe sahip ESP'ler ile birlikte dahi yüksek kül direnci ve yüksek kül içerikli düşük kaliteli linyitler kullanılırken sağlanan toz emisyon seviyelerinin doğal kükürt giderimi nedeniyle ıslak FGD gerektirmeyen mevcut tesislere yönelik öngörülen seviyelere hiçbir zaman ulaşılmayacağı iddia etmiştir.				
	Bir Endüstri temsilcisi 50 ile 100 MW arasındaki kömürle çalışan tesislere yönelik olarak 30 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha az toz emisyonlarının çok fazla iyimser olduğu ve kullanımdaki tesisin (özellikle FF) kötüye gitmesi veya toplama değişkenliğine (özellikle ESP'ler) yönelik hiç marj vermez. Halen çok sıkı fakat pratikte ulaşılabilir toz emisyon limiti 50 mg/Nm <sup>3</sup> 'dir.				
6	Bir Üye Ülke, bu seviyeler Üye Ülkelerin emisyon sınırlarına uygun olduğundan MET seviyesinin 10 – 50 mg/Nm <sup>3</sup> arasında olması gerektiğini öne sürmüştür. Azaltım sistemleri bu sınırlara uygun olmak üzere tesis edilmiştir. Yeni elektrik santralleri söz konusu oldukça, şüpheli Üye Ülkenin 20 mg/Nm <sup>3</sup> 'lik bir toz emisyon seviyesinin öngörüldüğü, kömür yakan tesislere yönelik bir programı bulunur				

Tablo 6.43: Likit yakıtla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı sülfür dioksinlerin kontrol ve önlenmesine yönelik MET

#### 6.5.3.4 NO<sub>x</sub> emisyonları

Genel olarak sıvı yakıtla çalıştırılan yakma tesisleri için, SCR gibi temel ve / veya ikinci tedbirlerin kombinasyonu kullanılarak nitrojen oksitlerin (NO<sub>x</sub>) azaltılması, MET olarak değerlendirilir. İnterest nitrojen bileşenleri nitrojen oksit (NO), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), toplamda NO<sub>x</sub> ve nitrüs oksit (N<sub>2</sub>O) olarak ifade edilebilir.

50 MW<sub>th</sub> 'den fazla özellikle 100 MW<sub>th</sub> den fazla kapasitesi olan geniş yakma tesisleri için NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasında MET, SCR ve diğer boru çıkışı teknikleri ile birlikte temel ölçümler olarak kullanılmaktadır. 50 MW<sub>th</sub> 'den küçük tesisler için SCR'nin uygulanması genelde Grekli değildir fakat kullanabilen ve uygulanan bir tekniktir.

Mevcut buhar kazanına SCR sisteminin uygulanmasının ekonomik bakımdan uygunluğu, süre gelen bir ömrünün olması beklenen bir tesis için başlıca sorulardan biridir ki bu da sadece tesisin yaşı ile gerektiği şekilde belirlenemez. SCR'nin kullanımı amonyak emisyonunda kayma dez avantajına sahiptir (amonyak kayması). Amonyak konsantrasyonu için  $5 \text{ mg/Nm}_3$  'den daha az seviye de Bat olarak değerlendirilir ve SCR nin kullanımı ile bağdaştırılır. NOx ve SO<sub>2</sub> azaltımının Bölüm 3.5 te tanımlanan birleştirilmiş teknikleri, MET sonucunun bir bölümü olarak değerlendirilmiştir fakat avantajları, dez avantajları ve uygulanabilirliği, yerel bir düzeyde kanıtlanmalıdır.

100 MW<sub>th</sub>'den daha az kapasiteye sahip yakma tesisleri için farklı düşük NOx temel ölçümlerinin kombinasyonunun kullanımı MET olarak değerlendirilmektedir.

Eski tesislerdeki fırın yüksekliği genel olarak azdır ve yüksek ateş hava alanlarının kurulumunu önleyebilir. OFA için bir oda olması durumunda bile fırının üst bölümündeki yakma gazlarının dayanıklılık süresi yakma işlemini tamamlamak için yeteri kadar uzun olmaya bilir. NOx oluşumu hakkında fazla bilginin olmadığı, yıllar önce inşa edilmiş buhar kazanlarında fırın, daha geniş olacaktır ve daha düşük NOx seviyelerine ulaşılabilir. En iyi sonuçlara düşük NOx yakma işlemi, yeni kurulumlar gibi buhar kazanı içerisine entegre edildiğinde ulaşılabilir.

NOx emisyonlarının, ilgili emisyon seviyelerinin önlenmesi ve kontrolü için MET sonuçları Tablô 6.44 de özetlenmiştir. İlgili MET emisyon seviyeleri günlük ortalama, standart koşullara ve %3 oranında O<sub>2</sub> seviyesine dayanmaktadır; tipik yükleme durumunu temsil ederler. Tepe yükleme için başlatma kapatma periyotları olduğu kadar baca gazı temizleme sistemlerinde karşılaşılan işlemsel problemler ve yüksek olabilen kısa dönem zirve değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Toz emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		Bu seviyelere erişecek MET	Uygulanabilirlik	İzleme
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler			
50-100	150-300 <sup>(3)</sup>	150-450	Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülör vb. gibi) LFO ateşleme için NOx <300 mg/Nm <sup>3</sup> Fuel oil'de maks % 0,2 N ile HFO ateşleme için NOx <360 mg/Nm <sup>3</sup> Fuel oil'de maks % 0,3 N ile fFr HFO ateşleme için NOx <450 mg/Nm <sup>3</sup> SCR HFO ateşleme durumunda SNCR	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli <sup>(6)</sup>
100-300	50-150 <sup>(2)</sup>	50-200 <sup>(3)</sup>	SNCR, SCR ile Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülör vb. gibi) veya kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
>300	50-100 <sup>(4)</sup>	50-150 <sup>(5)</sup>	SNCR, SCR ile Pm kombinasyonu (hava ve yakıt aşamalandırma, düşük NOx brülör vb. gibi) veya kombine teknikler	Yeni ve mevcut tesisler	Sürekli
<p>Endüstri ve bir Üye Ülke aşağıdaki seviyeleri önermiştir  Üst seviye 400 mg/Nm<sup>3</sup>  Üst seviye 200 mg/Nm<sup>3</sup>  Üst seviye 450 mg/Nm<sup>3</sup>  Endüstri 'sürekli' yi 'periyodik' olarak değiştirme talebini ileri sürmüştür.  Mevcut tesislere yönelik mantıksal temel önerilen yeni değerlerin elektrik tesislerinin sadece NOx kaldırma birincil tedbirleri ile yüksek N içerikli ağır fuel oil kullanmasına olanak sağlar.</p> <p>Bir Üye Ülke 300 MW üzerindeki mevcut tesislere yönelik MET ranjının 100 – 400 mg/Nm<sup>3</sup> olması gerektiğini önermiştir, çünkü bu seviyeler Üye Ülkeler emisyon sınırlarına uygundur.</p> <p>Bir TWG üyesi, SCR'lerin performansını yansıttığından ranj alt sınırının 100 mg/Nm<sup>3</sup>'ye düşürülmesi gerektiğini ileri sürmüştür.</p>					

Tablo 6.44: Likit yakıt ile çalışan yakma tesislerindeki nitrojen oksit kontrol ve önlenmesine yönelik MET

### 6.5.3.5 Karbon monoksit (CO)

CO emisyonunun azaltılması için MET iyi bir d-fırın tasarımıyla, yüksek performanslı izleme ve kontrol sistemi tekniklerinin kullanımı ve yakma sisteminin bakımı ile birlikte gerçekleşen tam yakmadır. Yakma koşullarının yanı sıra, NOx emisyonunu azaltmak için en iyi şekilde kullanılan sistem CO seviyesini de 30 ve 50 mg/Nm<sub>3</sub> arasında tutacaktır.

### 6.5.3.6 Amonyak (NH<sub>3</sub>)

SNCR ve SCR sistemlerinin dezavantajı tepkimeye girmemiş amonyağın havaya emisyonudur (ammonia slip). MET kullanımıyla ilgili emisyondaki amonyak yoğunluğunun 5 mg/Nm<sup>3</sup>'ün altında olduğu düşünülmüştür. Ammonium slip sık sık SNCR tekniğinin kullanımında sınırlayıcı etkindir. SNCR tekniği ile amonyak slipten kaçınmak: Baca gazının sıcaklık seviyesi yeterli ise, SCR katalizörünün bir tabakası buhar kazanının ekonomizer bölmesine kurulabilir. Bu katalizör amonyak slipi azaltırken, aynı zamanda ilgili NOx miktarını da azaltır.

### 6.5.3.7 Su kirliliği

Sıvı yakıtla çalışan yakma tesislerince farklı atık su akıntıları oluşur (bakınız: Bölüm 1) suya emisyonu azaltmak için ve su kirliliğinden kaçınmak için, Bölüm 6.4.6'da gösterilen bütün tedbirler MET olarak ele alınır.

Benzinle çalışan güç tesislerinde depolama ya da benzin nakliyatındaki kazaların riski düşünüldüğünde, benzin kirliliği tehlikesi tamamen farklı ölçülere sahiptir. Bununla birlikte, bu problemler genel olarak benzin nakliyatıyla ve depolamasıyla ilgili normal risklerden farklı değildir, bu yüzden bu hususta ele alınacak özel LCP konuları yoktur.

Benzinle kirlenmiş suyun küçük bir miktarın (yıkama) güç tesisinde araya geçmesi engellenemez. Benzin dağıtım kuyuları genelde, herhangi bir çevresel zarardan kaçınmak için yeterlidir.

Islak gaz yıkama desülfirizasyonu için MET sonucu atık su arıtma tesislerinin uygulanmasına bağlıdır. Ağır metalleri yok etmek için ve sudan katı maddeleri azaltmak için atık su arıtma tesisleri farklı kimyasal işlemlerden oluşur. Arıtma tesisi pH'ın ayarlanmasını, ağır metallerin çökertilmesini ve atık sudan çökelti ve katı maddelerin yok edilmesini içerir. Modern teknolojiyle, aşağıdaki parametreler izlenmiştir: pH, iletkenlik, sıcaklık, katı içeriği, klorin içeriği, ağır metal yoğunlukları (Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Zn, V, Pb gibi), florin yoğunlukları ve kimyasal oksijen isteği (COD). Atık su arıtma tesisinden sonra atık suyun özelliği; yakıt özelliğine, desülfirizasyon işlemine ve atık suyun boşaltımına bağlı olarak çok çeşitlenir. Buna rağmen, MET atık su arıtma tesisinin kullanımıyla ilgili olan emisyon seviyeleri Tablo 6.45'te özetlenmiştir.

Islak FGD atık su arıtma tesisinden kaynaklı su emisyonları (mg/l)	
COD	< 150
F	1-30
Nitrojen bileşikler	< 50
Katılar	5-30
Sülfat	1000-2000
Sülfid	< 0.2
Sülfid	0.5-20
Cd	< 0.05
Cr	< 0.5
Cu	< 0.5
Hg	0.01-0.02
Ni	< 0.5
Pb	< 0.1
Zn	< 1

Tablo 6.45: Temsili 24 saat kompozit numune olarak verilen MET – FGD atık su arıtma tesisi kullanımı ile ilişkili emisyon seviyeleri

Suya emisyonlardan kaçınmak ya da bu emisyonları azaltmak için MET tedbirleri aşağıdaki Tablo 6.46'da özetlenmiştir.

Teknik	Ana çevresel fayda	Uygulanabilirlik	
		Yeni tesisler	Uyarlamalı tesisler
<b>Islak FGD'li tesislere yönelik</b>			
Flokülasyon, sedimentasyon, filtreleme, iyon alış verişi ve nötralizasyon ile su arıtımı	Florid, ağır metal, COD ve partikül atılımı	MET	MET
Presipitasyon veya biyolojik ayrıştırma ile amonyak azaltımı	Azalan amonyak içeriği	SCR/SNCR nedeniyle atık sudaki amonyak içeriği yüksek olduğundan sade MET	
Kapalı devre işletim	Azalan atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Demineralizer ve kondensat parlatıcı rejenerasyonu</b>			
Nötralizasyon ve sedimentasyon	Azalan atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Elütrasyon</b>			
Nötralizasyon		Sadece alkalin işletimi sırasında MET	
<b>Buhar kazanı, hava ön ısıtıcısı ve presipitatörlerin yıkanması</b>			
Nötralizasyon ve kapalı devre işletim veya kuru temizleme metotlarıyla değiştirme	Azalan atık su tahliyesi	MET	MET
<b>Yüzey akıntıları</b>			
Sedimentasyon veya kimyasal arıtma ve dahili yeniden kullanım	Azalan atık su tahliyesi	MET	MET

Tablo 6.46: Atık su arıtımına yönelik MET

Bölüm 3'te atık su arıtma için tanımlanan diğer teknikler de genel olarak bu sektörde MET olarak ele alınır.

### 6.5.3.8 Yakma tortuları

Endüstri tarafından yan ürünlerin ve yakma tortularının arazi dolumlarda depolanmak yerine bunların kullanımına büyük dikkat gösterilmiştir. Bu yüzden kullanım ve yeniden kullanım ulaşılabilir en iyi seçenektir.

Farklı yan ürünlerin kullanımında bir çok farklı amaç vardır. Örneğin kullanımın her bir farklı yolu, külün özelliği için farklı kriterler koymaktadır. MET'teki bütün bu kriterlerin bu belgede kapsanması mümkün değildir, fakat kalite kriterleri genellikle tortunun yapısal özelliklerine ve kül, ağır metallerin çözünürlüğü vb. gibi tortulardaki herhangi zararlı maddelerin özelliğine ve içeriğine bağlıdır.

Fuel oil yakımından kaynaklanan kül, HFO yakıldığında, yüksek bir yanmamış karbon içeriği sunar. Bu yüzden, bu kül yakılabilir (endüstriyel fırınlarda) veya FGD ve SCR sistemli bir buhar kazanının yakma odasına tekrar enjekte edilebilir.

Islak gaz yıkayıcı tekniğin nihai ürünü tesis için kuvvetli bir ticari ürün olan alçıtaşıdır. Bu doğal alçıtaşı yerine satılabilir ya da kullanılabilir. Hemen hemen güç tesislerinde üretilen alçıtaşının büyük bir kısmı alçı panel endüstrisinde kullanılır. Alçıtaşının saflığı işlemden sağlanan kireçtaşı miktarını sınırlar.

Yarı sulu desülfürizasyon işleminden elde edilen son ürün; depo alanlarının ve gübrelerin siper edilmesi, maden ocaklarını doldurmak ve su geçirmez yapıdaki kazı setleri için yol yapımı gibi bir çok farklı yapı amaçlarında doğal mineraller yerine kullanılır.



#### 6.5.4 Sıvı yakıtla çalışan gaz türbinlerine yönelik MET

LFO veya dizel gibi su-ıvı yakıt yakan gaz türbinleri için, suyun ya da buharın enjeksiyonu, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için MET olarak ele alınmıştır. Bu günlerde, kuru düşük NO<sub>x</sub> ön karışım brülörleri (DLN) de sıvı yakıtla çalışan gaz türbinleri için mevcuttur. Bu DLN brülörler hatta , sıvı yakıt ve doğal gaz aynı türbinde yakılırsa , kullanılabilir. SCR de kullanılabilir fakat uygulamanın durum bazında dikkate alınması gerektiği ekonomik fizibilitesine bağlıdır. sadece sıvı yakıt kullanan gaz türbinleri için (örneğin , gaz halindeki yakıtların geçici olarak mevcut olmadığı durumlarda), kaynak bu belgenin Bölüm 7.5’inde verilmiştir.

Genel olarak, sıvı yakıtla çalışan gaz türbinleri için, SO<sub>2</sub>’nin azaltılması amacıyla süşük kükürtlü fuel oillerin kullanımı MET olara ele alınmıştır.

#### 6.5.5 Sıvı yakıtla (dizel) çalışan motorlara yönelik MET

Genellikle dizel baca gazları yaklaşık 13 ile 15 vol-% arasında O<sub>2</sub> içerir, bu yüzden MET kullanımıyla ilgili emisyon seviyeleri kaynak nokta olarak 15 vol-% seviyesinde O<sub>2</sub>’ye dayanır.

Bu belgede üye bir devletten ‘dizel motorun’ kapsamı hakkında ayrı bir görüş ortaya çıkmıştır, çünkü dizel motorlar sadece anakara kesişim hattıyla bağlantısı olmayan adalarda güç üretimi için kullanılır. Toplu kurulmuş kapasitelerde 50 MW<sub>th</sub>’yi aşan böyle tesisler, bağlantısı olmayan bu adaların elektrik isteklerinin özelliklerine uyan özel teknik özellikli dizel motorlara bağlıdır. Tesisler tam kapasite ile sadece her yıl kısa zaman periyotları için yani turistik sezonda (yaklaşık iki ay için) çalışır. Yılın geri kalanı için, tesisler kapasitelerinin küçük bir kısmını kullanırlar (yaklaşık 1/4).

Elektrik isteğinin özellikleri tesisin yapılandırılışını belirler, yani en büyük ünitenin kapasitesi sadece toplu kurulmuş kapasitelerin yaklaşık %10-15’ne ulaştığından, bir çok küçük motor gereklidir. Ayrıca, güç üretim ekipmanları, hızlı başlangıç ve kapanışlar için, çok sık ve yüklü varyasyonlar için, siyah – başlangıç kapasitesi elde etmek amacıyla düşük kısmi yük için çok esnek olmalıdır.

Ayrıca, bağlantısı olmayan kesişim hatlarının dayanıklılık için gereksinimleri, adalarda rüzgar gücü oluşumunun yüksek yaygınlığına, bağlı olarak artmış, teşvik edilmiş ve geliştirilmiştir. Bütün rüzgar gücü varyasyonları dizel motorların esnekliğiyle düzenlenmelidir. Yukarıdakilere ek olarak, adalara yakıt desteğindeki zorluklar kadar mevcut yakıtlardaki kısıtlamalar da yakıt fiyatlarını büyük ölçüde artırır.

##### 6.5.5.1 Termal verimlilik

Karbon dioksit emisyonları (en önemli sera gazı) kullanılan yakıt ve ‘prime mover’ verimliliğine bağlıdır. Pistonlu motor gücü tesislerinin yüksek verimliliğini sürdürmek için, CO<sub>2</sub> emisyonları nispeten düşük seviyede tutulabilir.

Motorla çalışan güç tesisleri, daha büyük baz yüklü uygulamalar için olduğu kadar dağıtılmış ısı ve güç üretimi (CHP) için yakıt esnek ve uygundur. Düşük basınçlı buhar oluşumunda BATla ilgili verimlilik %60tan 70'e kadardır. Tamamlayıcı yakmayla (brülörde temel 'yakma havası' olarak kullanılan baca gazı motorunun oksijen içeriğiyle), yüksek basınçlı ve alçak basınçlı buharın büyük miktarı verimli bir şekilde oluşturulabilir. Sıcak su üretiminde (çıkış sıcaklığı genel olarak 80 ile 120 °C arasında değişir), sıvı yakıt halinde %85 civarındaki ve baca gazı halinde %90'a kadar olan toplam verimlilik yüksek oranda uygulamada yenilenen motor soğutma suyu enerjisinin miktarına bağlıdır ve BATla ilgili seviye olarak görülebilir. 200 °C 'ye kadar olan sıcak su baca gazındaki enerjiyi ve motor soğutma enerjisinin bir kısmını kullanarak kesinlikle üretilebilir. Diğer bir avantaj motorların yüksek termal verimliliğidir (düşük yakıt tüketimi ve bunun sonucunda düşük özellikli CO<sub>2</sub> emisyonu). %40 ile 45 civarında (motorun büyüklüğüne göre) değişen MET elektrik enerjisi verimliliği yakıtın düşük ısıtma değerlerine dayanarak hesaplanır.

### 6.5.5.2 Toz ve ağır metal emisyonları

Partiküllerin emisyonları yakıtla ilgilidir. Dizel baca gazının farklı sıcaklığına ve oksijen içeriğine bağlı olarak, dizel partiküllerin elektriksel özellikleri buhar kazanı baca gazından çıkan partiküllere göre farklıdır. Kül içeriği ana parametredir, fakat yakıtın kükürt ve asfaltin içeriği gibi diğer parametreler de partiküllerin emisyonlarını etkiler. NO<sub>x</sub> emisyonu için SCR kullanarak, yakıt türüne ve çıkış sıcaklığına bağlı olarak partikül maddede çok küçük bir düşüş elde edilebilir.

Çünkü partikül emisyonu azaltımı için ikincil temizleme cihazları şu anda gelişme aşamasındadır, daha büyük dizel motorlar için ticari olarak uygun olan her yerde düşük kül ve kükürt içeren yakıtla kombinasyondaki motor tedbirlerinin kullanımı, partikül emisyonunu azaltmak için MET olarak ele alınır.

Büyük kapasiteli bir tesis ayrıca nispeten küçük kapasiteyle birkaç kümeden oluşur. Bu durumda, her bir küme partiküller için özellikle kurum için filtrelerle donatılmıştır. 1.3 MW 'ye kadar yakıt girişinin motorlarından çıkan toz emisyonları 20 mg/Nm<sup>3</sup>'nin altındaki emisyon değerlerine düşürülebilir.

Dört zamanlı motorlardan çıkan partikül emisyonlarının kontrolü ve engellenmesi için MET sonucu ve ilgili emisyon seviyeleri Tablo 6.47'de özetlenmiştir. İki zamanlı motorlardan çıkan toz emisyon seviyeleri daha yüksek olabilir.

Motor tipi	Toz-emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )	İzleme	Düşünceler
Dizel motor	<30 LFO/dizel <50 <sup>(1)</sup> HFO	Sürekli değil her 6 ayda bir	Sabit durum % 85 – 100 motor yükü. 273 K'da ve 101.3 kPa'da 15 vol-%, Nm <sup>3</sup> 'de O <sub>2</sub> - referans noktası.
Destek yakıt modunda dual yakıt motoru (dizel yağ maks. 002 wt-% kül)	<30 LFO/dizel <50 <sup>(1)</sup> HFO	Sürekli değil her 6 ayda bir	Partikül filtre sistemleri 5 MWth üzerindeki motorlar için gelişim aşamasındadır
1	Bir Üye Ülke ağır fuel oil yakan dizel motorlardan kaynaklı toz emisyon seviyelerinin % 15 O <sub>2</sub> 'de 100 mg/Nm <sup>3</sup> 'e yükseltilmesi gerektiğini ileri sürmüştür. Çünkü bu dizel motorlar için (4 zamanlı veya 2 zamanlı) bu değer HFO'ya yönelik toz emisyonlarını daha iyi yansıtır ve kükürt ile asfaltin içeriği gibi kül içeriği haricinde yakıt parametreleri etkisi daha iyi değerlendirilir.		

Tablo 6.47: Birincil motor tedbirleri ile dört zamanlı motorlardan kaynaklı proses atık gazlarının tozdan arındırılmasına yönelik MET

### 6.5.5.3 SO<sub>2</sub> emisyonları

Şu anda, FGD sistemiyle donatılmış sadece birkaç tane dizel güç istasyonu vardır, hatta onlar da sınırlı sayıda işlem saati içindir. FGD sistemi için yatırım maliyeti seçilen işlemsel yönteme göre büyük ölçüde değişmektedir. İşlem maliyetleri ise temel olarak ayıraçın miktarına ve türüne, suya, elektrik tüketimine, bakıma ve herhengi ürün sonu boşaltım bedeline bağlıdır. Bu yüzden, kullanılabildiği yerde kükürt fuel oil ya da doğal gaz kullanımı MET 'nin ilk tercihi olarak görülür. İkinci olarak, düşük kükürt fuel oil ya da doğal gaz mevcut değilse, ikinci FGD sisteminin kullanımı ,SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı için MET olarak kabul edilir.

### 6.5.5.4 NO<sub>x</sub> emisyonları

Özellikle SCR sistemlerini uygulamasında başlangıç yöntemlerinin ya da ikinci tedbirlerin kullanımı , sıvı yakıt yakan motor tesislerindeki NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için MET olarak görülür. Sıvı yakıt yakan dizel motorları için başlangıç yöntemleri:

- 'Miller kavramı'
- Enjektörde gecikmesi
- Doğrudan su enjektörü (DWI)
- Nemli hava enjektörü HAM.

Geçtiğimiz on yıl boyunca, sıvı yakıtla çalışan büyük dizel ve ağır fuel oille çalışan motorlardaki NO<sub>x</sub> emisyonları , önceki değerlere kıyasla SCR kombinasyonu ile birlikte motordaki başlangıç tedbirleri tarafından motorun yüksek verimliliğini sürdürerek önemli ölçüde azaltıldı.

SCR'nin uygulanması için bird sınırlama küçük dizel ve genellikle değişen yüklerle çalıştırılması gereken iki zamanlı motorlar için verilir. Bu üniteler çoğunlukla sadece indirgenmiş saat süresinde işletilmek amacıyla izole edilmiş sistemlerde işletilirler. Elektrik arzına göre, bu motorların günde birkaç kez açılıp kapatılması gerekmektedir.

SCR dizel motorları için uygulanan bir tekniktir, fakat teknik kısıtlamalar nedeniyle sık açma kapama periyodlarını kapsayan çok yük değişimli motorlar için MET olarak görülebilir. İşlem koşulları ve nihai katalizör derecesi gerekli etkili derece aralığının dışında inip çıktığında , SCR ünitesi verimli şekilde işlemeyecektir. Sonuç olarak, SCR, MET'nin bir bölümüdür fakat genel anlamda MET ile bağlantılı özel emisyon seviyeleri bulunmamaktadır.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının önlenmesi ve kontrolü için MET sonucu, tablo 6.48'de özetlenmektedir.

Motor tipi	MET	Uygulanabilirlik	İzleme	Düşünceler
Dizel yağ ile çalışan tesis	Değirmen tipi motor, Enjeksiyon erteleme, su enjeksiyonu SCR	SCR yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir	Sürekli	273 K'da ve 101.3 kPa'da 15 vol-%, Nm <sup>3</sup> 'de O <sub>2</sub> - referans noktası
Destek modunda dual yakıt motoru	Değirmen tipi motor, Enjeksiyon erteleme, su enjeksiyonu SCR	SCR gaz yakıt modu ile destek moduna yönelik ayrıca dual yakıt motorlarına da uygulanabilir	-	273 K'da ve 101.3 kPa'da 15 vol-%, Nm <sup>3</sup> 'de O <sub>2</sub> - referans noktası
Hafif fuel oil ile çalışan tesis	Değirmen tipi motor, Enjeksiyon erteleme, su enjeksiyonu SCR	SCR yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir		273 K'da ve 101.3 kPa'da 15 vol-%, Nm <sup>3</sup> 'de O <sub>2</sub> - referans noktası
Ağır fuel oil ile çalışan tesis	Değirmen tipi motor, Enjeksiyon erteleme, su enjeksiyonu SCR	SCR yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir		273 K'da ve 101.3 kPa'da 15 vol-%, Nm <sup>3</sup> 'de O <sub>2</sub> - referans noktası

Tablo 6.48: MET olarak likit yakıtla çalışan SCR'li motor tesislerine yönelik MET ilişkili NO<sub>x</sub> seviyeleri

### 6.5.5.5 CO ve hidrokarbon emisyonları

Hava emisyonlarının en aza indirgenmesi için, motorun iyi bakımı MET olarak kabul edilir. Bir dizel motoru düşük CO ve hidrokarbon (HC) emisyonlarına sahiptir. CO emisyonları genellikle NO<sub>x</sub> emisyonlarının zıttıdır. CO tam yakmada amaçlanan başlangıç tedbirleriyle azaltılabilir. CO azaltımı için oksidasyon katalizörü gibi ikici tedbirler de ayrıca MET olarak değerlendirilebilir.

Oksidasyon katalizörleri kükürt içeren sıvı yakıt bağlamında önerilmezler. Motorlar için, CO katalizörleri piyasada bulunmaktadır ve MET sonucunun bir bölümü olarak kabul edilirler. İlk birleşik CO/NMHC katalizör bazı kıvılcım ateşlemeli motor tesislerinde kurulmuşlardır ve çalışma deneyimi yeni oluşmaya başlamıştır.

### 6.5.5.6 Su kirliliği

Motor tesisi sadece küçük miktarlarda suya ihtiyaç duyar ve böylece sınırlı su kaynaklarının olduğu bölgelerde çalıştırılabilirler, özellikle eğer radyatör soğutucu kullanılıyorsa. Azaltılmış su ihtiyacıyla birlikte, atık su boşaltımının düşük üretimdir ve böylece sonuç olarak çevreye su kanalına daha az kirliliktir.

## 6.6 Sıvı yakıtların yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler

Yakıt hücre uygulamalarının ,temiz sıvı yakıtlar için gelecekteki enerji tekniği olması beklenmektedir. Çevresel korumada ilerlemeler sunabilirler ve daha yüksek verimliliğe ulaşmaları umulmaktadır(gelecekte tahminen % 70'e kadar). Nitelikli ömür için işlemin sabitliğinin kanıtı, yaygın olarak uygulanmaya başlanmadan önceki temel gerekliliktir. Şu anda, pilot tesislerin boyutu LCPLere kıyasla küçüktür.



## 7 GAZLI YAKITLARA YÖNELİK YAKMA TEKNİKLERİ

### 7.1 Uygulamalı proses ve teknikler

#### 7.1.1 Gazlı yakıtların boşaltım, depolama ve taşınması

Gazlı yakıtlar, ya gaz kuyusundan ya da sıvı doğal gaz basıncını azaltma ve depolama etkinliklerinden boru hattı aracılığıyla LCPLere teslim edilir. Ayrı kuyulardan olan doğal gaz kalitede farklılık gösterir. Genellikle gaz temizlemesi , boru hattındaki nakliye sorunlarını azaltmak için üretim bölgesinde gerçekleştirilir. Şekil 7.1 Avrupa sistemine giren boru hatlarını işaret eden Avrupa doğal gaz ağını göstermektedir. Ana boru hattı sistemindeki basınç 80 bar'dır.



Şekil 7.1: Avrupa doğal gaz ağı  
[111, Eurogas, 1998]

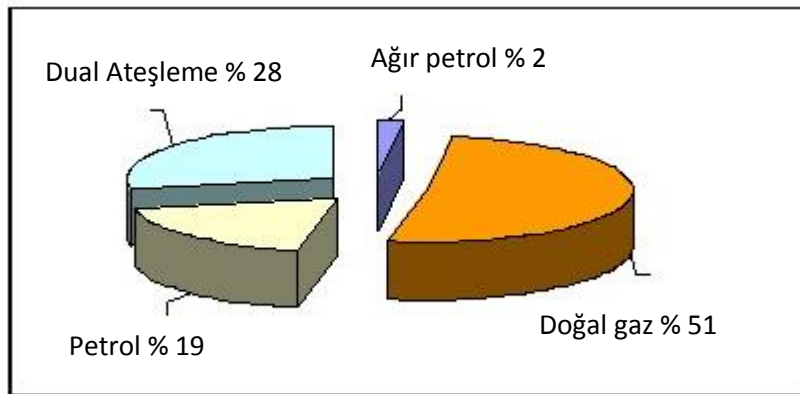
Gaz tedarikçisi ,genellikle doğal gaz için merkezi depo kapasitelerini temin eder. Bazen de, mevcut LCPLer için ayrı depo tankları hala bulunmaktadır. Gaz depo tankları genellikle CHP ünitelerinin yanına konumlanırlar, fakat toplum gaz temini için kullanılırlar. Yeni tesisler için LCP bölgelerinde sahada gaz deposu kullanılmaz. Damıtma, çoğunlukla böyle durumlarda destek yakıtı olarak kullanılır ve sahada depolanır.

Gaz çeşitleri, gaz yakma tesislerinde kullanılabilir. Eğer destek boru hattı basıncı LCP'nin gereken giriş basıncını geçerse, gazın basıncının azaltılması gereklidir. Bu normalde , sıkıştırma için kullanılan enerjinin birazını düzeltmek için büyüme tirbününde gerçekleşir. Güç tesisindeki atık ısı dekompres gazı ısıtmak ve dolayısıyla elektrik çıkışını arttırmak için kullanılabilir. Fuel gazı sonra borularda LCP2ye taşınır.

Gaz türbinleri doğrudan yakma için sadece temiz gazları kullanırlar. Ayrıca, boru hattı basıncı gaz türbininin gereken giriş basıncını geçerse doğal gazın basıncının azaltılması gerekebilir. genişleyen gazın adyabatik soğutucusu, gaz türbininin kompresörüne giren taze havayı soğutmak için kullanılabilir. Diğer kaynaklardan atmosferik basınçtaki gaz yakıtları, özel gaz türbininin yakma odasının gerekli giriş basıncına getirilmelidirler.

### 7.1.2 Gaz türbinleri (GT)

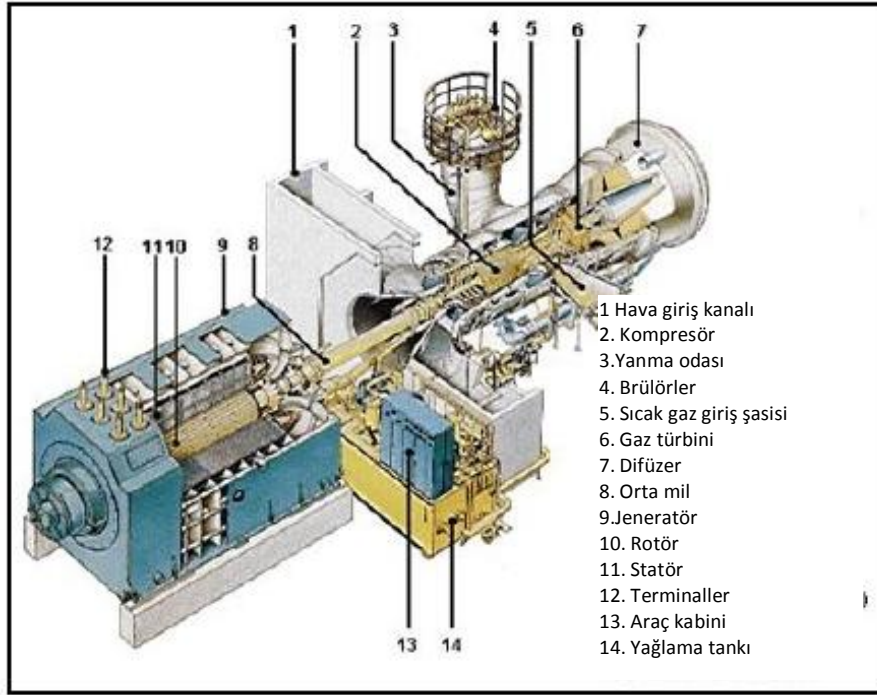
Gaz türbinleri kimyasal olarak yakıt enerjisine bağlı olan transformasyon için mekanik enerjinin içine kullanılır. Elektrik enerjisinin üretimi ve itme pompaları ile kompresörler için uygulanır. Dünya çapında kullanılan gaz türbinlerinin sayısı geçtiğimiz on yıl boyunca önemli ölçüde artmıştır ve bugünlerde gaz türbinleri ana ve orta yüklemelerde elektrik üretimi için artarak kullanılmaktadırlar. Bu artış, makul bir fiyatta doğal gazın bol temini ve daha yüksek ürün, verimlilik ve güvenilirlik ile gaz türbinlerinin yeni üretiminin gelişmesi tarafından açıklanabilir. Şekil 7.2 dünya çapındaki yakma moduyla gaz türbinlerinin ayrışmasını göstermektedir.



Şekil 7.2: Gaz türbinlerinin ateşleme modu – dünya çapındaki durum [32, Rentz, et al., 1999], [164, Lenk and Voigtländer, 2001]

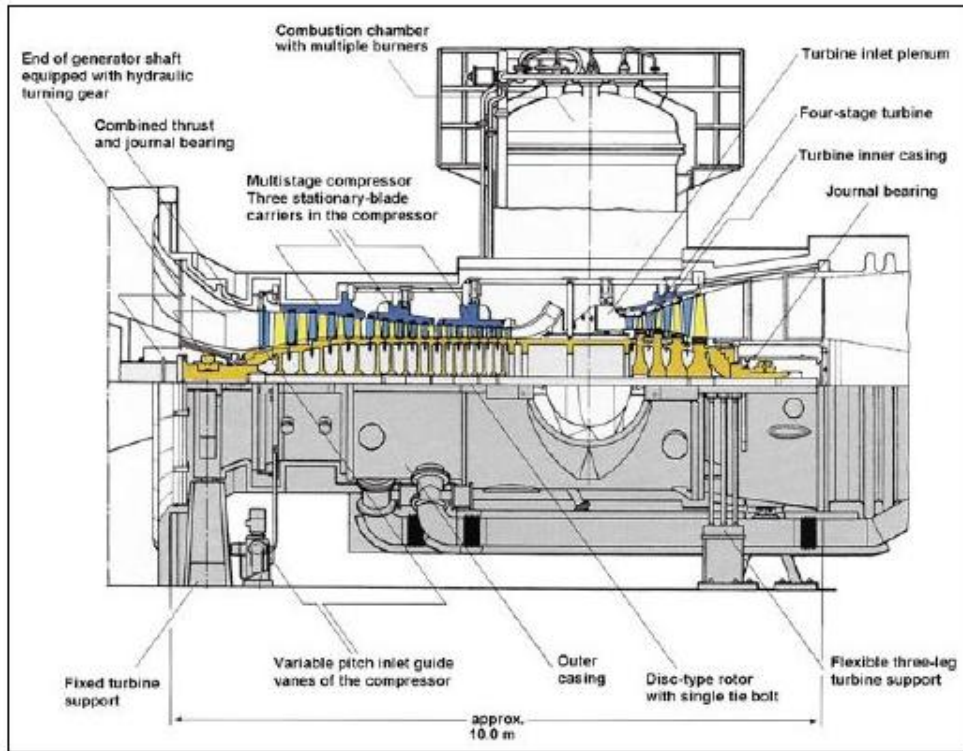
Gaz türbinleri yaklaşık 100 kW<sub>e</sub> 'lık küçük gaz türbinlerinden 310 Mw'e'lık büyük gaz türbinlerine kadar geniş termal kapasite aralığında kullanılırlar. Gaz türbinleri çeşitli gazlı yakıt ve sıvı yakıtlarla beslenebilir. Doğal gaz, gaz türbinleri için olağan gaz yakıtıdır, fakat kömür gazlaştırma ünitelerinden kömür gazı gibi, patlama fırınlarından gaz ve biyomas gazlaştırma ünitelerinden gaz gibi düşük ya da orta kalorifik değerli gazlarla da uygulanmaktadır. Ağır iş gaz türbinleri, naphtha'lardan atık maddelere kadar sıvı yakıt çeşidini yakma kapasitesine sahiptirler. Ham ve residual benzinler gibi yakıt oluşturan külle işlem, çok yönlü arıtma sistemini gerektirir. Gaz türbinlerinde sıvı yakıtların yakılması için uygulanan gereksinimler, Bölüm 6.1.7'de tarif edilmektedirler.

Gaz türbinleri, kombine döngü üniteleri, ortak üretim tesisleri ve birleşik kömür gazlaştırma üniteleri gibi farklı türdeki yakma tesislerinde kururlar. Aeroderivatif gaz türbinleri %42'ye kadarlık verimlilikle 50 MW<sub>e</sub> 'e kadar kullanılabilirler. Ayrıca çoğunlukla kıyıdaki platformlarda kullanılırlar. Güç ürünü 200 – 300 MW<sub>e</sub> olan ağır iş gaz türbinleri (şekil 7.3), %39'a kadar verimliliğe ulaşabilirler.



Şekil 7.3: Ağır hizmet gaz türbini elektrik üretim ünitesi  
[104, Siemens, 2001]

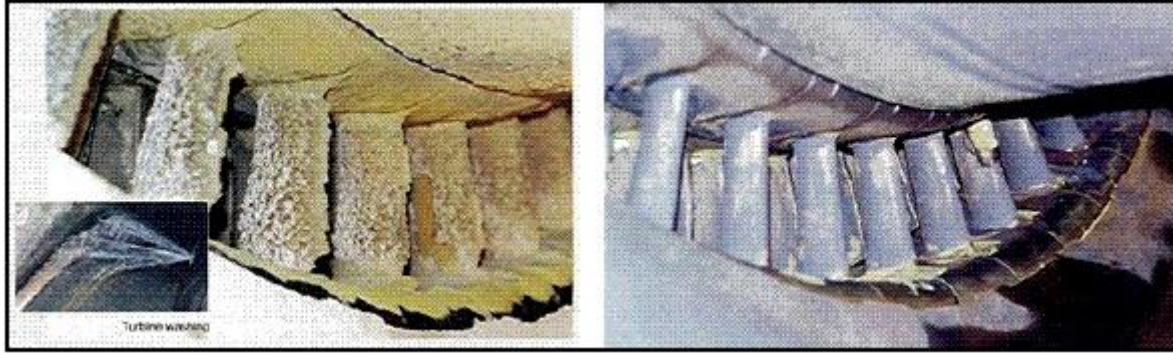
Kombine ısı ve güç ünitelerinde yeni gaz türbinlerinin uygulaması, toplam verimlilik ve emisyonları geliştirme girişiminde artmaktadır. Birleşik ısı ve güç tesislerinin uyguladığı yakıt kullanma değerleri %85 olarak elde edilirken, tek devirli gaz türbinlerinin verimlilikleri %30-42 arasında değiştiği için birleşik devirlerin verimliliği %58'e kadar olabilir. Yeni temiz gaz türbinlerine tam yüklemde ve ISO koşulları altında uygulanan verimlilik değerleri vurgulanmalıdır. Diğer koşullarda, değerler önemli ölçüde düşük olabilirler. Gaz türbinlerini hızlı gelişimi gelecekte daha yüksek verimliliklere ve güç ürünlerine yol açacağı umulmaktadır.



Şekil 7.4: Silo yanma odalı gaz türbini (159 MW)  
[104, Siemens, 2001]



Bir gaz türbini temel olarak üç element içerir: bir kompresör, bir yakma odası ve bir genişleme türbini (Şekil 7.4). ortam havası hava intake sistemi boyunca kompresör tarafından alınır, filtrelenir ve daha sonra aeroderivatif da ya da daha büyük endüstriyel gaz türbinlerinde 10 ve 30 bar arasındaki basınca sıkıştırılır. Gaz türbini büyük miktarda yakma hava tükettiği için, havadaki düşük kirleticiler konsantrasyonunun varlığı , gaz türbininin önemli ölçüdeki kirlenmesiyle sonuçlanabilir. Bu bazı kirleticilerin doğrudan gaz türbinin performansını etkileyen kompresörün pervaneleri üzerinde hızlandırılması yüzünden olabilir. Bu etki ,türbin yıkamasından önce ve sonra türbin fırıldaklarının ilk sırasını gösteren aşağıdaki fotoğraflarda görülebilir. [164, Lenk and Voigtländer, 2001].



Şekil 7.5: Türbin yıkama sonrası türbin vanalarının ilk sırası  
[164, Lenk and Voigtländer, 2001]

Yakma hava bu olguların oluşmasını engellemek için filtrelenir. Yakma oda(lar)sında , yakıt ve sıkıştırılmış hava 1235 to 1430 °C (büyük gaz türbinleri için )kadar ki derecelerde yakılır. Yakma işleminden sonra, gaz türbin boyunca genişler ve kompresörleri (şekil 7.3) itmek için gereken gücün çekilmesiyle jeneratörde elektrik gücü üretilir.

Gaz türbinleri bir ya da iki mille tasarlanır. Tek milli gaz türbinleri, bir devamlı mille konfigüre edilir ve dolayısıyla tüm aşamalar aynı hızda çalışırlar. Bu üniteler, önemli hız değişikliklerinin gerekli olmadığı hatta istenmediği jeneratör itme uygulamalarına en çok uyar. Bazı durumlarda, gaz türbini ve jeneratör arasında bir azalma vitesi kullanılır.

İki milli bir gaz türbininde, türbinin düşük basınç kısmı (güç türbini), kompresörü çalıştıran yüksek basınç kısmından ayrılır. Düşük basınç türbini , çeşitli hız uygulamalarına ideal olarak uyduran geniş hız aralıklarında da çalışabilir. Buna rağmen, güç tesislerinde uygulama için daha az önem sahiptir, çünkü çalışan donanım (ör:jeneratör) parmaklık sıklığına bağlı olarak normal işlem boyunca sabit hıza sahiptir.

Toprak bazlı işletim için çoğu ağır iş türbinlerinde, uçak ya da buhar türbini uygulamalarında kanıtlanmış teknoloji kullanılır. Durağan gaz türbinlerinde uygulanan materyaller, üç ana grupta sınıflandırılabilir: paslanmaz çelikler(demir ağırlıklı),alaşım ağırlıklı nikel ve alaşım ağırlıklı kobalt. Genelde, kompresörlere uyumlu materyaller, buhar türbinlerinin yüksek basınç bölümlerinde uygulananlarla aynıdır. Nikel ağırlıklı materyaller genellikle yakıcı bölümler için uygulanır. Gaz türbini pervaneleri için, nikel ağırlıklı süper alaşımlar, yüksek derecelerdeki iyi mekanik özellikleri nedeniyle uygulanırlar.

Süper alaşımların mekanik özelliklerine göre en ideal seviyeye getirilmesinin bir sonucu olarak, özellikle yüksek derecelerde bunların korozyon dayanıklılığı ideal değildir. Kaplamalar , türbin bıçak materyallerinin korozyon ve oksidasyon dayanıklılığını geliştirmek için kullanılırlar. Kompresör bıçaklarının kaplamaları, korozyon dayanıklılığını geliştirmek için uygulanır (düşük derecelerde, nem ve asit solüsyonlarının sıvılaşmaları bileşenlere karşı aşındırıcıdır.

### 7.1.3 Kompresyon ateşleme motorları

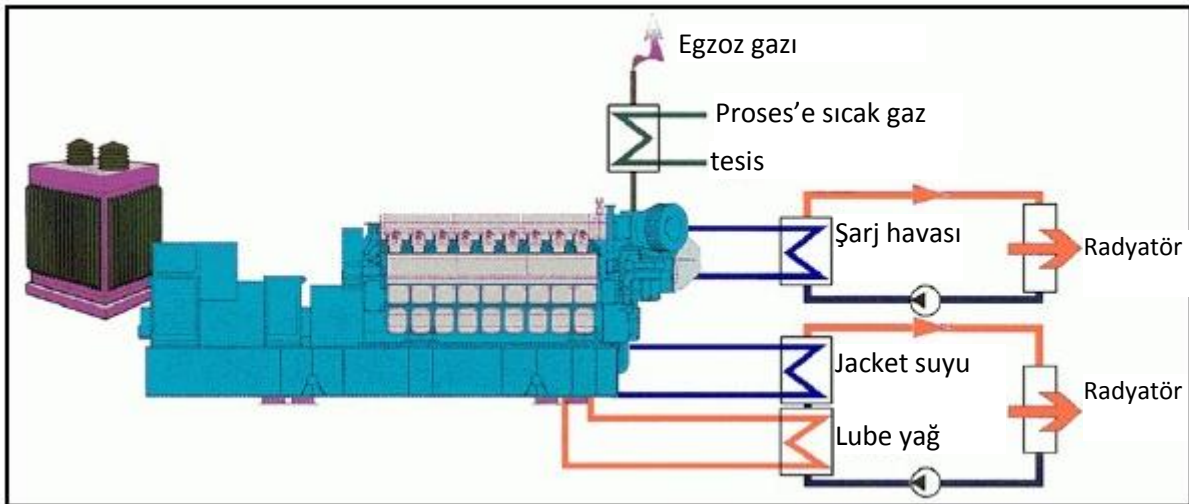
50 MW'nın üzerinde termal alımla gazla çalışan sıkıştırma ateşleme motorları çok nadiren uygulanır ve bu yüzden belgede kısaca tanımlanır. 1960 ve 1970 lerde motorla çalıştırılan güç tesisleri acil durum, tepe yükleme ve küçük ölçülü güç üretimleri gibi kısa dönem çalıştırma uygulamalarında çoğunlukla kullanılmaktaydı. Hem 150 MW<sub>e</sub> 'ye kadar ürün ile yük motoru ile çalıştırılan geniş çaplı güç tesisleri, hem de günümüzde var olan eş zamanlı, merkezden uzak daha küçük ısı ve güç (CHP) üretim tesisleri bulunmaktadır. Bu trendin nedeni bir çok ülkede elektrik sektörlerinin açılması, özelleştirilmesi ve merkezden uzaklaştırılması, gelişme ile birleştirildiğinde, son birkaç on yılda yüksek verimlilik sağlayan orta hızlı motorlar yükleme işlemleri için uygundur. 50 MW<sub>th</sub> veya daha fazlayakıt alımı ile orta hızlı dizel motor üniteleri ile, 40 MW<sub>th</sub> ye kadar yakıt alımı ile gaz dizel motorları (yüksek basınçlı ve alçak basınçlı(çift yakıt) türleri) ve 18 MW<sub>th</sub> yakıt alımı ile kıvılcım ateşlemeli motorlar piyasada bulunmaktadır. [63, Wärtsilä, 2000].

#### 7.1.3.1 Kıvılcım ateşlemeli motorlar

Kıvılcım ateşlemeli gaz -Otto motorları, çoğu zaman lean yakma kavramına göre çalışmaktadır. 'lean yakma' ifadesi, yakma işlemi için silindirde gerekenden fazla hava olması durumu gibi lean karışımının olduğu, silindirdeki yakma hava ve yakıtın oranını tanımlamaktadır. Lean karışımının ateşlenmesini ve yakılmasını sabitleştirmek için, geniş motor türlerinde zengin hava / yakıt karışımı ile ön odacıklar kullanılmaktadır. Ateşleme işlemi, ön odacıkta bulunan bir spark prizi ile başlatılmaktadır ve silindirdeki temel yakıt kaynağının yüksek enerji ateşlemesi ile sonuçlanmaktadır. Yakıt ve havanın yanan karışımı pistonu iterek genişler. Son olarak da yakma sonucunda oluşan ürünler silindirden çıkarılarak döngü tamamlanır. Yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji, hareketli piston yoluyla motor çarkına aktarılır. Dönen motora bir alternatör bağlıdır ve elektrik üretir. Bu motor türü düşük basınçlı gazın yakıt olarak kullanılması için tasarlanmıştır.

#### 7.1.3.2 Çift yakıtlı motorlar

Çift yakıtlı motor, doğal gaz kullanımının uygun olabildiği, piyasada yıllardır geliştirilen yeni bir motor türüdür. Bu motor türü çok amaçlıdır, dizel benzin, ağır benzin, biyoyakıt gibi sıvı yakıtlarla ve ya doğal gazla çalıştırılabilir ve her iki yakıt moduna da tam yüklemeye çalıştırılabilir. Gaz modunda motor, gazın tam yakma işlemi için gereken hava ile karşılaştırıldığında silindirde iki kata kadar fazla hava bulunması gibi lean- yakma prensibine göre çalıştırılırlar. Bu da kontrollü bir yakma işlemine ve işlemin kontrolü sırasında darbe ya da kendi kendine ateşlenme riski oluşmadan yüksek özellikte silindiri ürünü lüştürmesine olanak sağlar. Gaz motorlarında, hava ya da gaz karışımının piston yoluyla sıkıştırılması, gazı yakma işlemi başlatmaya yetecek kadar ısıtmaz, bu yüzden belli miktarda gaz enerjisinin eklenmesi gerekir ve bu da küçük yardımcı yakıt akımının (dizel benzin) enjekte edilmesi ile sağlanmaktadır. Dizel benzin gibi sıvı yakıtlar, gaz ve silindirdeki ısı gibi üst düzeye yakın konumda bulunanlardan, daha düşük kendi kendine yakma derecesine sahiptir. Yardımcı yakıt miktarı, tam yüklemeye toplam yakıt tüketiminin %1 ile 5'i arasında bulunmaktadır. Motor, sıvı yakıt modunda dizel prosesi ve gaz modunda otto-prensibine göre çalıştırılmaktadır. Yakıt ve havanın yanan karışımı, pistonu iterek genişler. Son olarak da yakma ile oluşan ürünler silindirden çıkarılarak işlem tamamlanır. Yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji, hareketli piston yoluyla motor çarkına aktarılır. Dönen motor, bir alternatöre bağlıdır ve elektrik üretir.



Şekil 7.6: Doğal gazla çalışan motor  
[149, Wärtsilä NSD, 2001]

### 7.1.3.3 Yüksek basınçlı gaz enjeksiyon motorları

Yüksek basınçlı gaz enjeksiyon motorları hem sıvı hem de gaz yakıt modundaki dizel prosesine bağlı olarak çalıştırılır. Gaz modunda yardımcı akaryakıt (HFO vb.) (genel olarak toplam yakıt ısı alımının %3-5'i) ve yaklaşık 350-400 bar oranında yüksek basınçlı gaza ihtiyaç vardır. Motor, tam yüklemde sıvı ve gaz modunda çalıştırılabilir. Yaklaşık 40 MW<sub>th</sub> or 20 MW<sub>e</sub> 'ye kadar kapasitesi olan yüksek basınçlı gaz dizel motorları piyasada bulunmaktadır.

### 7.1.3.4 Gaz motorlarını kullanarak birlikte yakma

Gaz motorlarının birleştirilmiş ısı ve güç tesisleri ile yaygın ısı yenileme uygulaması, endüstriyel amaçlar için düşük basınçlı akımı çalıştırması anlamına gelmektedir. Basınç dizisi genel olarak 3-16 bar arasındadır fakat, yüksek akım basıncı ve genişletilmiş akım üretimine yedek yakma ya da yardımcı yakma kazanları ile ulaşılabilir. 8 barlık akım, tuzdan arındırma ve soğutucu absorpsiyon işlemleri için uygundur fakat belli endüstriyel işlemler, yüksek akım basıncı gerektirebilir. Elektrik ve ısı tüketimi arasındaki oran, büyük ölçüde özel endüstriyel bölgelerde uygulamasına bağlıdır. 7- 8'lik akım çalıştıran tipik bir CHP tesisi, sadece akım üretildiğinde ve %90 oranında sıcak su jenerasyonu olduğunda, toplam yakıttan %60- 70 oranında yararlanır. Toplam verimlilik yenilenebilen, motorun su soğutucu döngü motorunun ısı miktarına bağlıdır. Akım jenerasyon sistemi, buhar kazanı gaz çıkış motoru ile paralel bir yardımcı benzin ya da gazla çalışan buhar kazanına sahiptir ve büyük miktarda düşük akım basınçlarını gerektiren uygulamalar a imkan vermektedir. Çıkış gazı motorunun ısısından ayrıca doğrudan ya da dolaylı yoldan (hava ön ısıtıcı- 'LUVU' yoluyla) kurutma, yanar havayı ön ısıtma vb gibi amaçlarda, endüstriyel işlem gerekliliklerine de bağlı olarak geliştirilebilir.

Akım jenerasyon kapasitesini yükseltmenin ikinci bir yolu ise, gaz çıkış kazanını yardımcı yakma sistemi ile kurmaktır. Daha geniş kıvılcım ateşlemeli gaz motorları için oksijen içeriği genel olarak %11- 12 hacimdedir ve yüksek basınçlı gaz dizel motorları için, daha yüksektir. Bu sistem ayrıca yüksek basınçlı akımı çalıştırma ve olanağı sağlar yardımcı yakma işlemi için gereken ek yakıt, yüksek termal verimliliğe sahiptir. Son yıllarda yakma alevinin çıkış gazı motor basıncı ve nispeten baca gazındaki düşük oksijen içeriğine bağlı olarak yardımcı yakma işlemi ile donanımlı, çok az sayıda yenilenen motor türü mevcuttur. [63,Wärtsilä, 2000].

Farklı bir CHP kavramı da, buhar kazanı akım tesisi gibi mevcut çıkış gaz motorları ve soğutucu devirlerin verimliliğinin artırılmasında kullanılan birleştirilmiş besleme su döngüsüdür. Bir gaz motor tesisinin elektrik verimliliğinin yükseltilmesi, tesisin buhar kazanı akımının kurulması ile sağlanacaktır. Akım türbinleri bu uygulamada çoğunlukla tek aşamalı yoğunlaştırma türbinlerinde kullanılır ve uygulanan akım basıncı genel olarak 12- 20 bar arasındadır.

### 7.1.4 Gazla çalışan buhar kazanları ve ısıtıcılar

Gazla çalıştırılan güç tesisi buhar kazanları, bölüm 6'da açıklanan benzin kazanları ile benzerdir. Sadece gaz yakma işlemi için tasarlandığında, yakma odaları biraz daha küçüktür fakat, birçok durumda buhar kazanları acil durumlarda ve ya yakma işlemlerinde sıvı yakıtla çalıştırılabilir halde tasarlanabilir. Yanan yakıt ile oluşan ısı, jeneratör çalıştıran akım türbininde genişleyen fazla ısıtılmış sistemin üretiminde kullanılmaktadır. Akımdan elektriğe verimli şekilde dönüştürebilmek için, gazla çalıştırılan modern buhar kazanları tesisteki verimliliği yoğunlaştırma modunda ve yakıttan yararlanmada %48'e kadar verimlilik sağlayabilir. Isı ve güç üretiminin birleştirilmesinde %98 verimlilik sağlanmaktadır. İki kez ön ısıtmanın uygulanması ve supercritical akım parametrelerinde 290 bar ve 580 °C'lik artış, yüksek verimliliğe ulaşılabilir.

Gazla çalıştırılan buhar kazanlarının bir başka kullanımı da, termal güç tesislerinin farklı türlerinde soğuk başlatma olanakları sağlamakta kullanılan yardımcı buhar kazanları olmalarıdır. Yardımcı buhar kazanları ayrıca binaları ve duraklama periyotları sırasında kullanılan ekipmanları ısıtma amacıyla çoğu güç tesisinde uygulanmaktadır. Bu buhar kazanları, nispeten düşük basınçta superheated akım üretebilmek üzere tasarlanmıştır. Küçük buhar kazanlarına, bu belgede değinilmemiştir.

İşleme endüstrilerinde ve bölgesel ısıtma sistemlerinde gazla çalıştırılan çok sayıda buhar kazanı kurulumu bulunmaktadır. Bunların çoğu, orta boyutlu kurulumlardır. (50- 300 MW gibi) Isı alımının bu seviyeleri için SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonların artan kısıtlamaları, doğal gazdan daha fazla yararlanma olanağı sağlayacaktır. Buhar kazanlarının geniş bölümü acil durumlarda ve birlikte yakma işlemlerinde sıvı yakıtla da baslenebilmektedir.

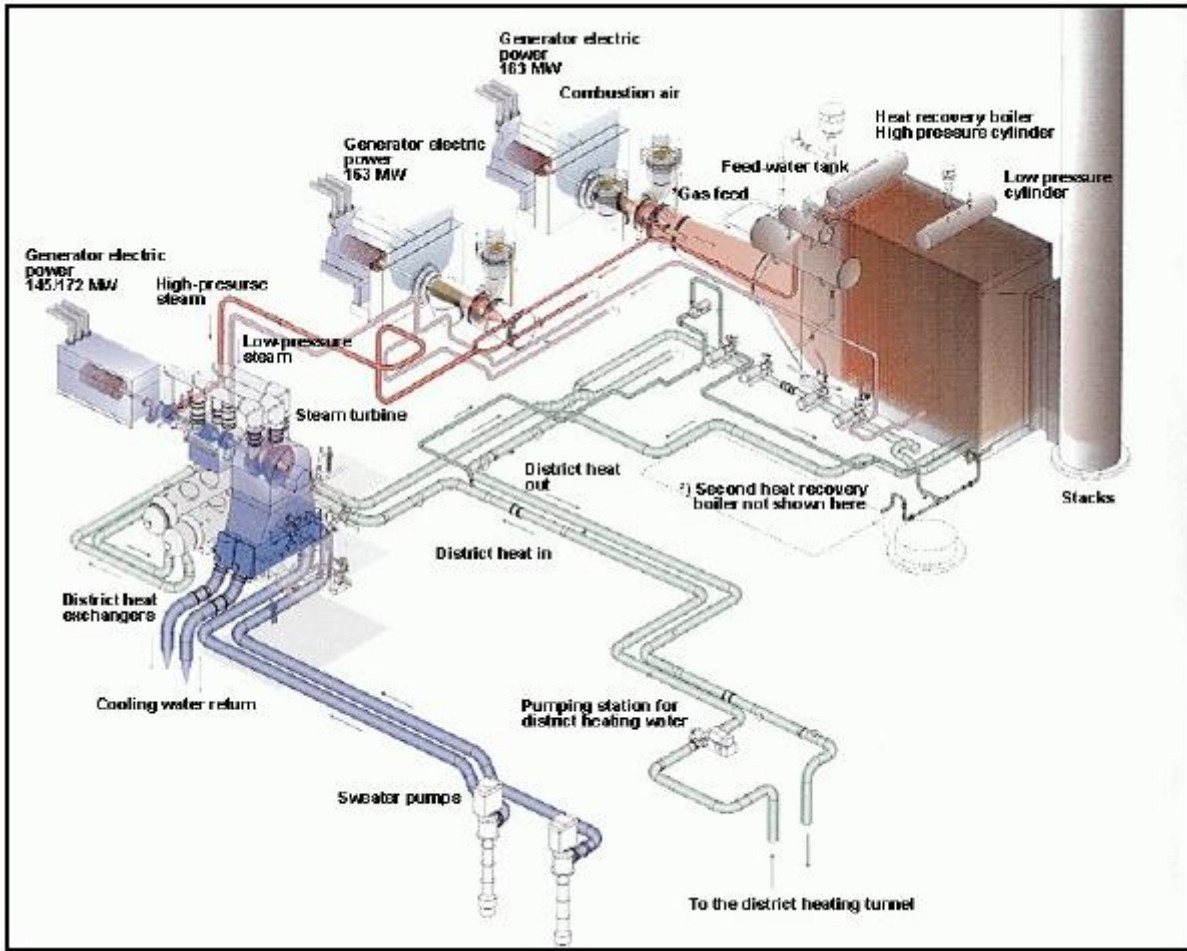
Buhar kazanının brülörleri genel olarak duvarlarda birçok farklı seviyede ( ön yakma ve ya karşı yakma) ya da buhar kazanının dört köşesinde teğetsel olarak planlanabilmektedir. Gazla çalıştırılan buhar kazanları için yakma sistemleri, kömür ya da benzinle çalıştırılan buhar kazanlarına benzemektedir.

Gaz brülörleri ayrıca, bazen işlem fırınları ya da doğrudan yanma ısıtıcıları olarak da ifade edilebilen işlem ısıtıcılarında kullanılabilmektedir. Bu ısı aktarma üniteleri, petrol ürünleri, kimyasalları ve kanallar yoluyla akan sıvı ve gazları ısıtmada kullanım için tasarlanmıştır. Sıvı ya da gazlar, fırın ya da ısıtıcı içerisinde bulunan tüo dizileri yoluyla akmaktadır. Tüpler, düzenleme sırasında değişiklik gösterebilmelerine rağmen, HFO, LFO ve doğal gaz ya da tesis işlemleri ile oluşan yan ürünleri gibi özel standart yakıtlar yoluyla ısıtılmaktadır. Gaz yakıtla, Amerika'daki birçok endüstriyel ısıtma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa'da doğal gaz, LFO ,ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Asya ve Güney Afrika'da, gaz yakıtları artışta olmasına rağmen, genel olarak HFO'lar tercih edilmektedir. Gaz ve sıvı yakıtla çalıştırılan ısıtıcılar hakkında daha ayrıntılı bilgiye, Bölüm 6.1.4 ve 6.1.10.2'de ulaşılabilir.

Gaz yakıtları, kömür, linyit ya da benzinle çalıştırılan buhar kazanlarının başlatılmasına yardımcı olarak kullanılmaktadır. Bu yakma teknikleri Bölüm 4 ve 6'da tanımlanmıştır.

### 7.1.5 Kombine çevrim yakma

Günümüzde, yönetilen yeni güç üretim kapasitesinin yaklaşık yarısı, kombine çevrim güç tesislerinden oluşmaktadır. Teknik ve mali sebeplerden dolayı sadece uygulanabilen kombine çevrim gaz türbin yakıtları (CCGT), doğal gaz ve hafif akaryakıt (destek yakıtı)'dır. Şekil 7.7,Finlandiya'daki gaz türbini kombine çevrimgüç tesisinin 3 bölünebilen planını göstermektedir.



Şekil 7.7: Gaz türbini kombine çevrim elektrik santrali  
[96, Helsinki Energy, 2001]

Birleştirilmiş döngü güç tesislerinde gaz türbinleri verimliliğinde yaklaşık %33-38 oranında güç üretmektedir. Gaz türbini çıkış gazı genelde türbin çeşidi ve ortam koşullarına bağlı olarak 430 – 630 °C arasındadır. Bu sıcak gaz akımın üretildiği ve sonradan da yoğunlaştırıcı güç tesisine benzer ilkede genişletildiği ısı yenileme akım jeneratörü (HRSG) ile sonuçlanır. CCGT tesislerinin dikkat çekici özellikleri ise, CCGT tesislerini doğal gaz yakıtlarının yüksek maliyetlerine rağmen uygun kılan düşük ısı oranları ve düşük yatırım maliyetleridir. Geçen 20 yılda, CCGT tesislerindeki ısı oranı 2.2'den 1.7'ye düşmüştür, örneğin, LHV verimliliği %45'ten %58'e yükselmiştir. Gaz türbinleri günümüzde hala sürekli gelişme halindedir ve 1.67'nin (verimlilik %60'ın üzerinde) altında bir değerde CCGT ısı oranı, gelecekte de mümkün olacaktır. Günümüzdeki CCGT tesislerinde ürünlerin yaklaşık 2/3'ü gaz türbinlerinden ve kalan 1/3'ü de akım türbininden elde edilmektedir. Ancak, yakın zamandaki hizmete alma deneyimleri çok yüksek verimlilik tahminlerine ulaşmakta zorluklar yaşanabileceğini öne sürmektedir.

Gaz türbini hava girişindeki oksijenin 1/3'ünün azı gaz türbin yakıcısındaki yakma işlemi için tüketildiğinden, gaz türbini çıkış gazındaki yakıtın yardımcı yakım işlemi mümkün olabilir. Modern CCGT'lerde bu güç jeneratörü ısı oranında az artışa sebep olabilir. Ancak, endüstriyel birlikte yakma sistemlerinde bu gaz türbin çıkışının HRSG akım jeneratörünü bağımsız olarak kontrol etmede sıklıkla kullanılmaktadır. Birlikte jenerasyon uygulamalarında, yardımcı ayrıca ısı ve güç jenerasyonlarında toplam verimliliği de arttırmaktadır.

Doğal gaz ve hafif akaryakıtın temiz yakıtlar olması gaz türbin yakıcılarda tüm yakma işlemine olanak sağladıkları için, kül, char, ya da CCGT tesislerindeki SO<sub>2</sub> kullanımlarında hiçbir problem yaratmamaktadır. Tek problem, modern tesislerde özel düşük NO<sub>x</sub> brülörlerinin kullanılması ve bazen de HRSG'ye SCR'nin eklenmesi ile kontrol edilen NO<sub>x</sub>'tir. Eski brülörlerde NO<sub>x</sub>, brülörlerin içine spreylene su ve akımlar yoluyla kontrol edilebilmektedir fakat işlem, tesisin ısı oranı harcamasında meydana gelmektedir.

Gaz türbinleri esas olarak çok gürültülüdür, bu yüzden bu türbinler gaz türbini hava girişine ve egzoz gazı çıkış kanallarına monte edilen susturucularla ses azaltıcı özel bölgelere inşa edilmiştir.



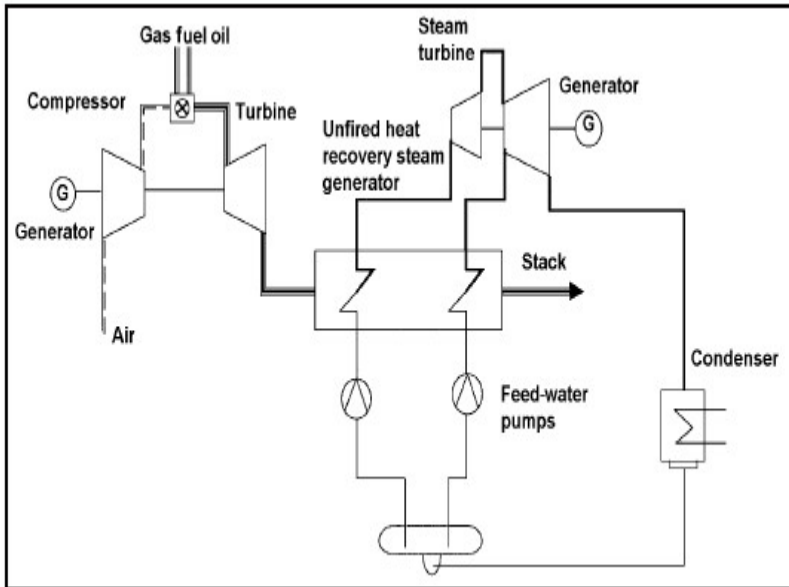
Şekil 7.8: Yakın zamanda Belçika'da inşa edilmiş gaz türbin kombine çevrim elektrik santrali

Güç üretim sektöründe, gaz türbini off-gas'da bulunan enerjinin kullanımı için, birkaç gaz türbini işlem konfigürasyonu ayırıldılabilir:

- İlave yakma olmadan birleşik döngü (HRSG)
- Güç öncelikli birlikte üretim çevrimi (hot windbox).

#### 7.1.5.1 İlave yakma olmadan ya da ilave yakma ile birleşik döngü (HRSG)

Bu işlem içerisinde, yakıt özellikle yakma odasına gönderilir ve hiçbir ilave yakma buhar yenileme jeneratöründe yer almaz. Gaz türbini egzoz gazında bulunan termal enerjiden ısı yenileme buhar jeneratörü tarafından oluşturulan buhar daha sonra buhar türbini yolu ile elektrik üretmek için kullanılır. Bu tür bir birleşik döngü gaz türbini %58.5 kadar yüksek verimlilik elde eder. Genellikle kullanılan yakıt doğal gaz ya da hafif benzindir, fakat gaz türbininin yukarı hareketinin kurması gerektiği gazlaştırma tesisinde kömür kullanımı da mümkündür (bakınız Bölüm 4). İlave yakma teknolojisi olmadan birleşik döngünün bir çizimi Şekil 7.9'da verilmiştir.



Gas fuel oil	Gaz fuel oil
Compressor	Kompresör
Generator	Jeneratör
Air	Hava
Turbine	Türbin
Unfired heat recovery steam generator	Ateşlenmemiş ısı yenileme buhar jeneratörü
Steam turbine	Buhar türbini
Generator	Jeneratör
Stack	Baca
Feed-water pumps	Besleme suyu pompaları
condenser	Kondansatör

Şekil 7.9: Isı yenileme buhar jeneratörlü kombine çevrim elektrik santrali şematiği (HRSG)  
[32, Rentz, et al., 1999]

Çok milli konfigürasyon çoğunlukla gaz türbinlerinin, amacın gaz türbinlerini buhar sisteminden bağımsız bir şekilde işletmek olduğu buhar döngü sisteminden önce kuruluğu ve işletildiği fazlı tesislerde uygulanmaktadır. Çok kısımlı birleşik döngü bir ya da daha fazla gaz türbini ve ortak bir başlık aracılığıyla tek buhar türbini ünitesine buhar sağlayan HRSGlere sahiptir.

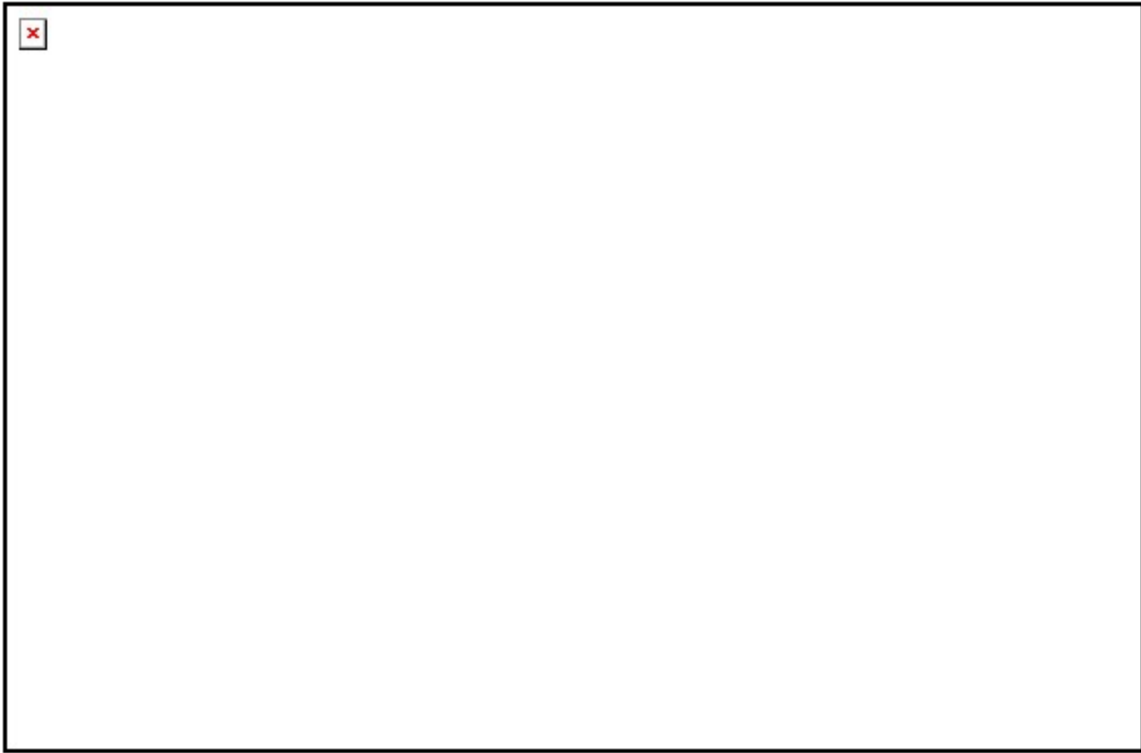
Çok milli birleşik döngü sistemlerinde hızlı açma ve kapama ve işlem esnekliği sağlayan egzoz gazı bypass sistemleri tek kısımlı sistemlerle ya da tek gaz türbinine ve buhar kazanına sahip olan çok kısımlı sistemlerle gereklidir.

HRSGler genel olarak yan türlerle sağlanan ve ısıyı egzoz gazından su buhar döngüsüne dönüştüren, konveksiyon türünün ısı dönüştürücüleridir. Egzoz gazları en yüksek verimliliğe ulaşmak için olabildiğince düşük ısıya soğutulmalıdır. Sıcaklık egzoz gazından asit (kükürt) ürünlerinin olası yoğunluğunun neden olduğu aşınma riski tarafından sınırlandırılmıştır. 100°C'lik egzoz gazı normal olarak düşünülür.

HRSGler yatay (buharlaştırma sisteminin doğal döngüleri ile) ve dikey (buharlaştırma sisteminin yapay döngüsü ile) konfigürasyonlarda kurulmuştur. Seçim yer gereksinimlerine ve/veya müşteri tercihlerine bağlıdır. Her iki tür de yaygın olarak kullanılır.

#### 7.1.5.1.1 İlave yakma ile kombine çevrim (Güç öncelikli birlikte üretim çevrimi)

Güç öncelikli birlikte üretim çevriminde, gaz türbininin egzoz gazının ısısı kömürle ya da gazla çalışan buhar kazanları ile sıradan güç tesislerinde yakma havası olarak kullanılır. Sıradan güç tesisi işlemleriyle bu döngüyü bütünleştirmek için birkaç seçenek mümkündür. Bu bütünleştirmeler yeni tasarımlarda mümkün olmasına rağmen, genel olarak Güç öncelikli birlikte üretim çevrimleri mevcut tesislerin verimliliğini artırmak (bakınız Bölüm 6 örnek 6.2.3.1) ve/veya yan yakma tesislerinin ısı sağlama kapasitesini artırmak için seçeneklerin yeniden güçlendirilmesi olarak geçmişte uygulanmıştır. Gaz türbinleri Güç öncelikli birlikte üretim çevriminin çeşitli türleri 765 MW<sub>e</sub> 'ye (1600 MW<sub>th</sub>) kadar uygulamada kullanılmaktadır ve %48'lere kadar verimliliğe ulaşabilir. Bu teknolojinin şematik çizimi Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10: Güç öncelikli birlikte üretim çevrimi kombine elektrik santrali şematiği [32, Rentz, et al., 1999]

Güç öncelikli birlikte üretim çevrimde (ilave yakmalı birleşik döngü), giriş havasını ısıtan ön hava ısıtıcıların kaldırılması zorunlu ya da gerekli değildir. Genellikle bir gaz türbini buhar kazanının tasarım yakma hava akışı ile yaklaşık olarak aynı egzoz gazı akışı ile seçilir. Gaz türbininin egzoz gazının düşük oksijen içeriğinden dolayı (normal yakma havasına kıyasla), mevcut buhar kazanında daha az yakıt yakılır. Bu, buhar kazanının düşük ortalama sıcaklığı ile ve sonuç olarak buhar kazanında düşük buhar üretimi ile sonuçlanır. Buhar kazanının ısıtma bölümünün ıkışında baca gazının sıcaklığı mevcut durumdaki ile neredeyse aynıdır. Bu, düşük sıcaklıkta fazla ısı il sonuçlanır. Bu fazla ısıyı kullanmak için, buhar kazanda bir adet düşük basınçlı bir adet de yüksek basınçlı ekonomizörler kurulmalıdır. Bu ekonomiserler (mevcut besleme-su ön ısıtıcılara paralel), besleme-suyun bie kısmı önceden ısıtılacaktır ve bu yüzden buhar türbininden buhar çıkartımının miktarı azalacaktır.

İki aşamalı bir yakma işlemi NOx emisyonlarının önemli bir azatılımı ile sonuçlanan mevcut buhar kazanlarındaki gaz türbinlerinin egzoz gazlarını kullanarak da oluşturulabilirler. Bir örnek durumda, %50'lik NOx emisyonu azatılımı Hollanda'da elde edilmiştir.

Gaz türbinlerinin elektrik kapasitesi güç tsisinin toplam kapasitesinin %20- 25'idir.

#### 7.1.5.1.2 Besleme-su ısıtmalı güç öncelikli birlikte üretim çevrimi

Bu proses konfigürasyonu yukarıda bahsedilen iki birleşik döngünün kombinasyonudur. Burada, yoğunluğun ve besleme-suyun bir kısmı ısı yenileme buhar jeneratöründe ön ısıtılır. Gaz türbini veya vargel motor ısı yenileme buhar jeneratörü buhar türbini/buhar jeneratörüne ancak sadece su/buhar tarafı üzerinde bağlanır; bu nedenle yanma havasının yanma havası veya vargel motor egzozu ile değiştirilmesi gerçekleşmez. Reciprocating motorlar düşük basınçlı besleme-su ön ısıtımına uyar.

Besleme su ısıtımını kullanarak, ana taşıyıcı egzoz gazları (gaz türbini ya da vargel motor) besleme-suyun ön ısıtılması yoluyla ısı dönüştürücülerde soğutulur. Genel olarak, her biri düşük ve yüksek basınçlı besleme- ısıtma için olan iki ısı dönüştürücüsü (ya da teller) kurulmuştur. Isı dönüştürücüler mevcut besleme-su (buhar ) ön ısıtıcılarına paralel olarak donatılmıştır.



Ana taşıyıcıdan ısı alımı yok edilebilir ya da azaltılabilir, bu böylece ana taşıyıcının elektrik gücü ürününde bir artışla sonuçlanır. Bu, ana taşıyıcının egzoz gazındaki ısının tamamen ünitenin verimliliğine ve elektrik gücü ürününe katkıda bulunduğunu gösterir. Besleme-su ısıtma ile en iyi çözümün dıpsel döngüde tam bir besleme-su ısıtımı elde etmek için yüksek verimli ve yeterli ısı kapasiteli bir prime mover ile elde edilebileceği görülmektedir.

Bununla birlikte güç üretimindeki artış buhar türbinin akış kapasitesi ile e jeneratörün güç oranlaması ile sınırlandırılmıştır. Bu secenekle verimlilik gelişimi yaklaşık olarak %2 – 5 oranında ana taşıyıcıya ve mevcut buhar türbini kapasitesine bağlıdır.

Gaz türbini egzoz gazındaki uygun ısıyla ünitenin ön ısıtma sisteminin kapasitesi arasındaki bir kıyaslama gerekli ana taşıyıcıların ve ısı kapasitesindeki son artışın rakamlarını belirler.

Arttırılmış esneklik (termal ısı üretimine karşı elektrik gücüne karşı) tanımlanan değişiklikler tarafından elde edilen önemli bir avantajdır. Buhar tesisi ana taşıyıcıdan bağımsız bir şekilde işletilebilir. Buna rağmen, esneklik düşük basınçlı buhar türbini aracılığıyla en yüksek elde edilebilir akışla sınırlandırılmıştır.

Besleme su ısıtma sistemi ile güç öncelikli birlikte üretim çevrimi buhar kazanının yakma işlemi etkilemeyeceğinden, buhar kazanı emisyonu da etkilenmez. Toplam emisyon ana taşıyıcı egzoz gazının katkısıyla etkilenir.

### 7.1.6 Kojenerasyon (CHP)

Yakıt enerjisinin sadece %40 – 60'ı (yakıt düşük ısıtma değeri LHV) sadece elektrik gücü tesislerinde elektrik gücüne dönüştürülebilir. Geri kalanı, düşük sıcaklıktaki atık su, hava ya da her ikisi içinde ısıtıldığından, kaybolur. Alan ısıtmada ve bir çok endüstriyel işlemden son kullanıcılar tarafından büyük miktarda ısı da gerektirildiğinden, soru bu yoğunlaştırıcı güç tesislerinin geri çevrilmiş ısısının nasıl kullanışlı hale getirebileceği sorusuna adar yükselir. Bu soruya termodinamik cevap basittir: geri çevrilmiş ısının sıcaklığını, örneğin alan ısıtma için 70 – 120 °C'ye ve endüstriyel işlemler için 120 – 200 °C'ye, istenilen yararlı seviyeye yükseltmektir. Bununla birlikte, bu güç oluşturma maliyetine yol açabilir.

Yan yakma enerji desteği sistem yapısını etkileyerek enerji verimliliğini artırmanın bir yoludur. Her durumda, yan yakma fosil yakıtlardan elde edilen enerji ve ısının ayrı oluşumuna kıyasla yakıttan tasarruf edebilir. Bölgesel ısı yükü yeterince büyükse, yan yakım da paradan tasarruf edebilir. Teknik olarak, bütün güç tesisleri yan yakma için uyarlanabilir. Bir yan yakma tesisindeki gaz türbinine uygulamanın uygunluğu nispeten düşük yatırım maliyetlerine ve bunun sunduğu yüksek döngü verimliliğine kısmen bağlıdır.

Gaz türbini egzoz gazından çıkan ısı, ısı yenileme buhar jeneratöründe (atık su ısıma buhar kazanı olarak da adlandırılır) buhar üretimi için kullanılır. Buhar birleşik döngüde olduğu gibi, tamamen elektrik üretiminde kullanılabilir ya da kısmen elde edilebilir (veya bazen tamamen) ve bölgesel ısıtma veya deniz suyunun tuzunun giderilmesi gibi değişik amaçlar için ya da kendi işlemlerde daha sonra buharı kullanabilen tüketicilere buhar desteği için kullanılır.

Özel tesis gereksinimlerini karşılamak için bir çok olası konfigürasyon vardır. Güç ve ısı talebine bağlı olarak en yaygın olanlar::

- Oluşturulan buharların buhar tüketicilerine desteği ve ısı yenileyici buhar jeneratörü ile gaz
- Bütün oluşturulan ısıların buhar tüketicilerine desteği ve ters basınçlı buhar türbinli ısı yenileyici buhar jeneratörü ile gaz türbini
- Diğer ısıtma amaçları ve vakumlu buhar yoğunlaştırıcı için buhar çıkartımının kullanımı ve/veya tüketicilere buhar çıkarımlarıyla ısı yenileyici buhar jeneratörü ile gaz türbini. Bu tasarım genellikle ısı/güç oranında daha çok esneklik verir.
- Buharın egzoz gazıyla da oluşturulduğu fakat kısmen gaz türbinine enjekte edildiği buhar enjekteli döngüler (STIG). Bunlar temel olarak aero türev gaz türbinleri ile buhar türbininin uygulaması olmadan kullanılır. Bu döngüler temel olarak aralıklı buhar talepleri ile yan oluşum uygulamalarında uygulanır.

Yan oluşum tesisinin önemli bir ölçümü ısı/güç ürün oranıdır. Açıkça, elektrik gücü ekonomik olarak ısı açısından 2 ile 4 kat daha değerli olduğundan, tüm düşük ısı oranları ile kombinasyonlarda olabildiğince yüksek bir ısı/güç oranı elde etmek için tercih edilebilir. Burada yine, fizik kuralları sınırları belirler. Yukarıda açıklandığı gibi, yenilenmiş ısıların sıcaklık seviyesi ne kadar yüksek ise, işlemde o kadar az güç yada o kadar çok ısı elde edilir. Bu konuda yüksek bir güç/ısı oranı istenir ya da gerekirse, birleşik döngü (CCGT) sıradan buhar işleminden çok daha uygun olur. CCGT yoğunlaştırmasında, güç ürününün 2/3'ü gaz türbininden gelir ve yan yakıma bağlı güç kaybı ürünün 1/3'ünü oluşturan buhar türbininde sadece oluşur. Sadece buhar yan oluşumda Şekiller sırasıyla 0.6 ve 0.3 iken, ominal yükte CCGT'nin ısı/güç ürünü oranı bölgesel ısıtımada 1.1 ve kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde 0.9 olabilir. Yıllık ortalama Şekiller genel olarak siğirlei arasında yük işleminin ve açılış/kapanış döngülerinin bir kısmına bağlı olarak gözle görülür bir şekilde daha düşüktür.

Piyasayda başarılı bir şekilde bulunmak amacıyla yan oluşum için, yüksek bir fiyat ve elektrik talebi ve yeterince büyük bir bölgesel ısı talebi gereken belirleyici parametrelerdir. Küçük güç ve ısı talebi için, tesis boyutu ekonomik süreklilik sınırı altında kalabilir..

	Güç üretimi ısı oranı (1)	Güç ısı oranı (2)	Toplam kojenerasyon sistemi ısı oranı (3)	Ayrılmış sistem ısı oranı; Kömür (4)	Ayrılmış sistem ısı oranı; CCGT (5)
Konvansiyonel kömür yoğunlaştırma	.23				
CCGT yoğunlaştırma	1.8				
Endüstriyel konvansiyonel kojenerasyon (6)	5.0	0.28	1.1	1.36	1.25
Endüstriyel CCGT kojenerasyon	2.4	0.9	1.15	1.67	1.43
DH konvansiyonel kojenerasyon	2.9	0.6	1.1	1.55	1.36
DH CCGT kojenerasyon	2.1	1.1	1.1	1.73	1.47
Sadece ısı buhar kazanları/kömür			1.1		
Sadece ısı buhar kazanları/HFO			1.1		
Sadece ısı buhar kazanları/gaz			1.07		
<b>Notlar:</b>					
1) Yakıt girişi (LHV)/Net güç çıkışı					
2) Net ısı çıkışı/Net güç çıkışı					
3) Yakıt girişi (LHV)/(Net güç + ısı çıkışı)					
4) Konvansiyonel kömür yoğunlaştırma tesislerinde ve sadece ısı buhar kazanlarında (HR = 1.1) ayrı olarak üretilen kombine ısı oranı. 3. sırada gösterilen HR ile karşılaştırılacaktır					
5) CCGT yoğunlaştırma tesislerinde ve sadece ısı buhar kazanlarında (HR = 1.1) ayrı olarak üretilen kombine ısı oranı. 3. sırada gösterilen HR ile karşılaştırılacaktır					
6) Canlı buhar 80 bar 480 °C; geri basınç 4 bar					
Tüm rakamlar nominal tam yük işletimine atıfta bulunur.					

Tablo 7.1: Kojenerasyonun ayrı güç ve ısı üretimi ile karşılaştırılması  
[59, Finnish LCP WG, 2000]

Tablo 7.1’de, sistemin toplam ısı oranları (sağdan son 3 sütun) her sıra için kıyaslanabilir. Yan yakma sisteminde ve aynı ısı ve güç girişiyle fakat farklı üretilen ısı ve güçle dağılmış sistemlerde ne kadar yakıt gerekli olduğunu bildirirler. Her durumda, ister sıradan ister CCGT dayanaklı olsun ayrı sistemin açıkça aynı enerji hizmetini sunan yan yakma sisteminden daha çok yakıt tükettiği görülebilir. Kıyaslama konusu sıradan yığınlaştırma gücü olduğunda, yan yakımla yakıttaki azalma sıradan endüstriyel yan yakma için %20’den bölgesel ısıtma CCGT yan yakma için %57 arasında değişir. CCGT yoğunlaştırma ayrı güç oluşturma olarak düşünülürse, tasarruflar sırasıyla %12 ve %34 daha azdır. Bu şekiller sadece yan yakma aracılığıyla yakıt tasarrufu hakkında genel bir bilgi vermek için alınmıştır; asıl şekiller her zaman her projenin ve parçası olduğu enerji sağlama sisteminin özelliklerine bağlıdır..

Piyasaya başarılı bir şekilde girmek amacıyla yan yakma için, yüksek bir elektrik ücreti ve yeterince büyük bir bölgesel ısı talebi gereklidir. Küçük bir ısı talebi için, tesis boyutu ekonomik rekabet sınırının altında kalır. Genellikle büyük yerel endüstriyel ısı yükleri kağıt hamuru ve kağıt sanayide, rafinelerde ve kimyasal endüstrilerde ve bazı durumlar da da gıda ve tekstil endüstrisinde bulunur. Pistonlu motor oluşumu için bakınız Bölüm 7.1.3.4 ‘gaz motorları kullanan yan yakım’

### Cheng döngüsü

‘Cheng döngüsü’nde, gaz türbininden çıkan egzoz gazının ısısı tamamı gaz türbinine enjekte edilen bir aşım seviyesindeki buhar oluşumunda kullanılır. Uygulamada, Cheng döngüsü değişken ısı talebiyle kullanıcılara normal buhar desteği veren birleşik ısı ve güç (CHP) ünitelerinde uygulanır.ısının gerekmediği ya da çok az gerektiği durumlarda, oluşturulan buhar elektrik gücü üretimi için kullanılabilir. Make-up suyun, egzoz gazıyla havaya boşaltılmasına bağlı olarak bütün bir zara olarak düşünülmesi gereken buhar oluşumu için gerekli olduğuna dikkat edilmelidir. Verimlilik düşmekte olan kompresör oranını ile yükselir. 1200 °C sıcaklıktaki %50 ‘den daha büyük türbin verimliliği hesaplanmıştır. [58, Eurelectric, 2001].

## 7.1.7 Gazla çalışan türbinler ve kombine çevrimlerden kaynaklı emisyonların kontrolü

### 7.1.7.1 Toz emisyonlarının azaltımı

Doğal gazda bulunan yakıt tozu gerekli görülürse üretim sahasında yıkanır. Doğal gaz yakan gaz türbinlerinden çıkan partikülât made ya da toz emisyonları normal işlem altında ya da kontrollü yakma koşullarında çevresel bir endişe değildir.

Kimyasal tesislerin yan ürünleri gibi diğer gazlar toz içerebilir. Bu gazlar doğal gaza kıyasla farklı emisyon sınır değerlerini karşılamak için gereklidir ve eğer bu sınırlar karşılanmazsa, toz emisyonunu azaltmak için birincil ve ikincil tedbirlerle donatılmış güç tesislerinde yakılmalı ya da yan yakılmalıdır.

### 7.1.7.2 SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı

H<sub>2</sub>S formunda doğal gazda bulunan yakıt kükürt üretim sahasında yıkanır. Böylece bütün uygulamalar için SO<sub>2</sub> emisyon sınır değerlerini doğrudan karşılayacak yakıt kalitesi elde edilir. Kimyasal tesislerin yan ürünleri gibi diğer gazlar kükürt içerebilir. Bu gazlar doğal gaza kıyasla farklı emisyon sınır değerlerini karşılamak için gereklidir ve eğer bu limitler karşılanmazsa FGD teknolojisi ile donatılmış güç tesislerinde yakılmalı ya da yan yakılmalıdır.

### 7.1.7.3 NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

#### 7.1.7.3.1 Su ya da buhar enjeksiyonu

Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcılar (DLN) gelişmede önemli bir duruma ulaştığından, sadece şimdiye kadar küçük derecede olmasına rağmen, su/buhar enjeksiyonu NO<sub>x</sub> azaltma tedbiri olarak şu anda Avrupa'da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, mevcut tesisler için, bu en kolay uygulanabilir teknolojidir ve diğer NO<sub>x</sub> azaltma tedbirleri ile kombinasyonlarda uygulanmalıdır. Kanada'da NO<sub>x</sub> kontrollü gaz türbinlerinin yarısı su/buhar enjeksiyonu ile donatılmıştır.

Su/buhar enjeksiyonu ya yakıtın ve suyun karışımının enjeksiyonu yoluyla ya da su veya buharın püskürtme başlıkları aracılığıyla doğrudan yakma odasına enjeksiyonu yoluyla gerçekleştirilebilir. Buharlaşma ya da aşırı ısıtma termal enerjiye ihtiyaç duyar ki bu daha sonra alevi ısıtma da ulaşılmaz hale gelir. Böylece, alev sıcaklığı ve ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonu da düşer. Şekil 7.11'de görüldüğü üzere, emisyon azaltım oranı ağırlıkla kullanılan suyun ya da buharın miktarına bağlıdır. Yüksek emisyon oranlarına ulaşmak için, büyük miktarda su ya da buhar gereklidir: bazen enjekte edilen suyun ya da buharın miktarı yakılan yakıtın miktarından daha yüksektir. Daha yüksek bir emisyon azaltım oranı buhar yerine daha çok suyla elde edilebilir (verilen bir su yada buhar –yakıt oranı için), bu suyu buharlaştırmak için daha çok enerji gerektiği gerçeği ile açıklanabilir (uygulamada aynı NO<sub>x</sub> emisyonu azaltımına ulaşmak için yaklaşık iki kat daha fazla buhar gereklidir.). Buhar enjeksiyonu genellikle çıkış ısısı yenileme sisteminden dolayı buharın hazırda bulunduğu doğal gazla çalışan birleşik döngülerde tercih edilirken, su enjeksiyonun sık sık buharın örneğin basit döngü uygulamalarında ya da boruhattı kompresörlerinde mevcut olmadığı zamanlarda kullanılır.

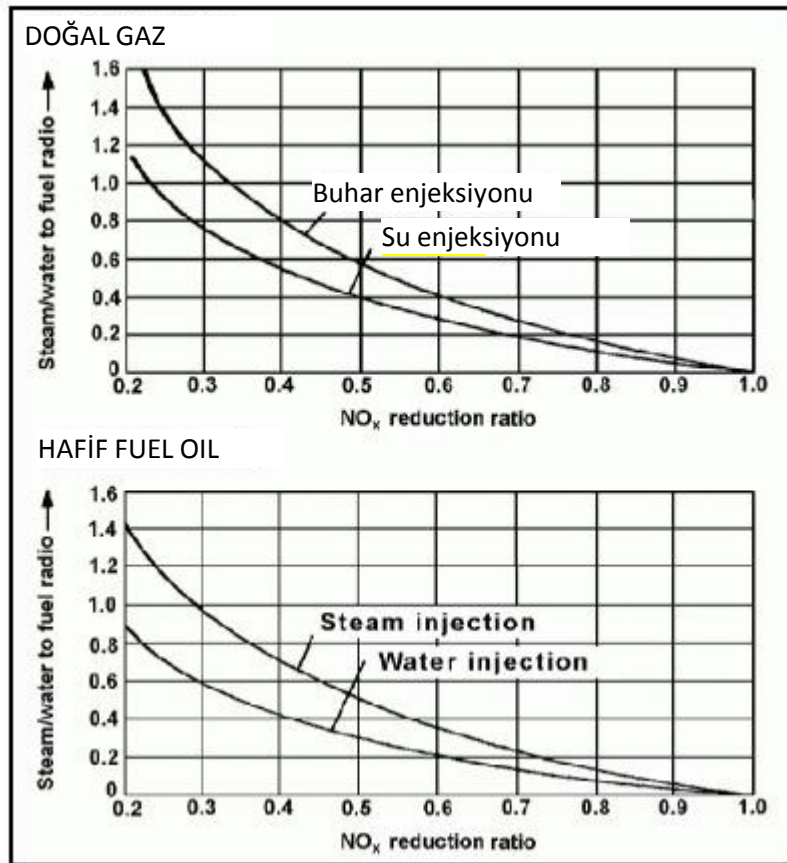
Gaz türbinlerine enjekte edilen su ya da buhar çok yüksek bir saflığa sahip olmalıdır, bu çok yüksek kalitede su arıtma tesisinin kullanımını gerektirir ve sırasıyla imha gerektiren sıvı atıklar üretebilir. Ayrıca, su ya da buhar yüksek basınçlarda genellikle 20 bar ya da daha yüksekinde enjekte edilmelidir. Su ya da buhar enjeksiyonunu kullanımı gaz türbininin kullanım süresini de azaltabilir.

% 60 ile 80 arasındaki emisyon azaltım oranları CO sınırlaması olmadan elde edilebilir. CO emisyon sınır değerine dikkat edilirse, %40 ile 60 arasındaki NO<sub>x</sub> azaltım oranları elde edilebilir. Su/buharın yakıt oranı gaz türbin türüne bağlıdır (örneğin alev için), ve 1 ile 1.2 arasında değişmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonu (%15 O<sub>2</sub> ile) yaklaşık 80 – 120 mg/Nm<sup>3</sup>'e düşürülebilir. Su ya da buhar enjeksiyonu yoluyla azaltım oranları Şekil 7.11'de gösterilmiştir.

Su ya da buhar enjeksiyonu ürün, verimlilik ve egzoz birikim akışı gibi genel gaz türbin parametrelerinde etkili olur. Örneğin; gaz türbininin verimliliği su ya da buhar enjeksiyonu yoluyla azaltılabilir, ve alev dayanıklılık problemleri yüksek su yakıt oranlarında gözlemlenebilir.

[32, Rentz, et al., 1999].

Gaz türbinlerini su ya da buhar enjeksiyonuyla uyarlamak için yatırım bedelleri çok fazla çeşitlenebilir. Bu bedeller temel olarak kullanılan su temizleme ve enjeksiyon aletlerine bağlıdır. su/buhar enjeksiyonu ile oluşan ilave işletme giderleri artmış yakıt tüketimine bağlıdır.



Şekil 7.11: Su veya buhar enjeksiyonu ile NO<sub>x</sub> azaltımı  
[32, Rentz, et al., 1999]

Bu NO<sub>x</sub> azaltım tekniğinin bazı temel dezavantajları artmış CO ve hidrokarbon emisyonları, tesisin termal verimliliğinde düşüş, ve yakıt tüketiminde artıştır. Buhar enjeksiyonu su enjeksiyonundan (su enjeksiyonu için %3 – 4) daha büyük bir verimlilik kaybına neden olur. Ayrıca, suyun ya da buharın doğrudan enjeksiyonu yakıt/su ya da buhar karışımının enjeksiyonundan daha çok madde zorlaması ile sonuçlanır (sıcaklık şokuna bağlı olarak madde yüzeyinde küçük ataklar oluşabilir). Sonuç olarak diğer seçenek tercih edilir. [32,Rentz, et al., 1999].

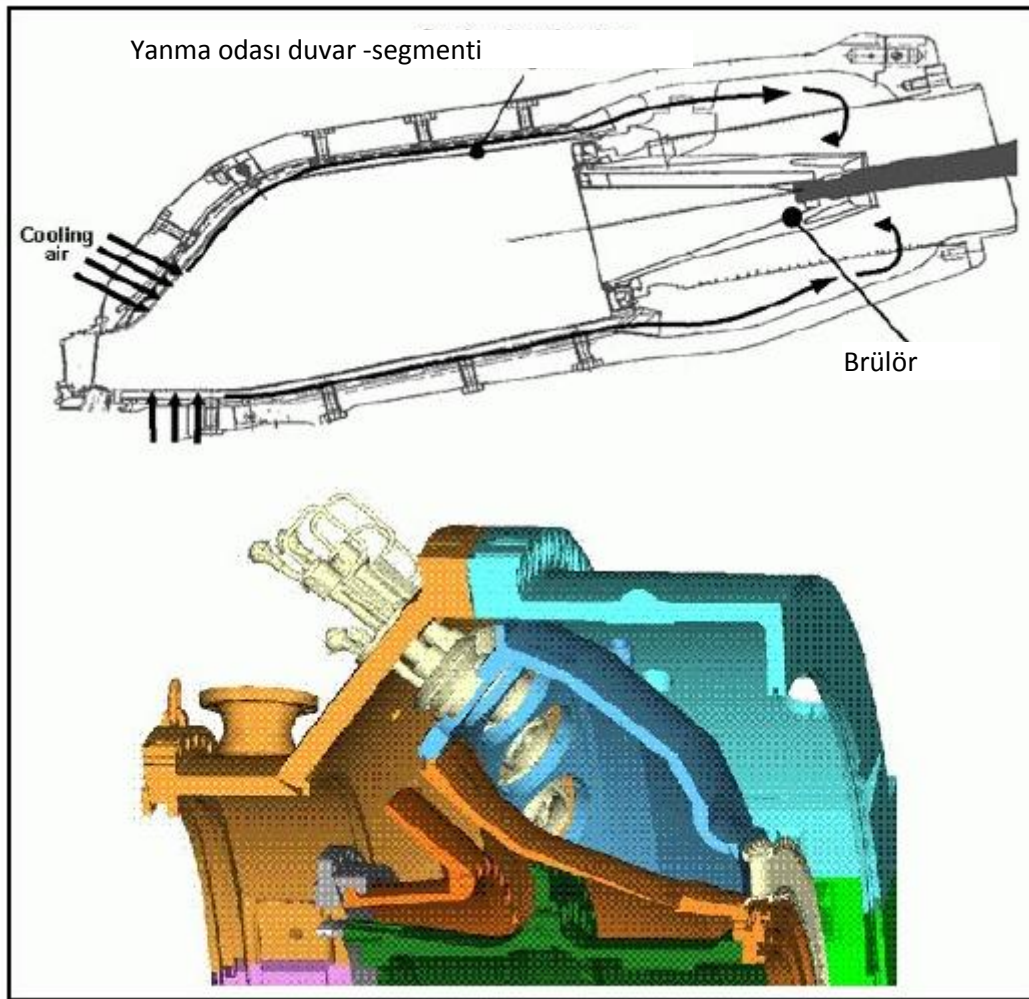
Emisyon seviyeleri türbin yüküne bağlı olarak çok çeşitlenebilir. Bir çok tesiste, buhar sadece yüksek yüklerde üretilebilir, bu emisyonun sadece bu baz yüklü seviyeye ulaşıldıktan sonra azaltılabileceği anlamına gelir. Bu bir çok yük değişimi ile buhar enjeksiyonunun gaz türbinlerinde kullanımını kullanışsız yapar. 140 MW<sub>th</sub> gaz türbini için buhar enjeksiyonu yaklaşık EUR 1.7 milyondur.

NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak için su ya da buhar enjeksiyonu sadece belirli bir sınıra kadar gerçekleştirilebilir. Yakıt brülörüne enjekte edilen buharın akış hızı çok yüksekse, kompresör üzerindeki etki gereklidir. Buharın ( ya da suyun) miktarı aşağı akım türbin bölümüne verilen zararlarla birlikte hata riski ve kullanım süresi üzerindeki özel bir etkiyle yakma odasındaki sorunlardan (brülörler, akıntı kollar, iç kaplama, bağlantı parçaları) da sorumludur. Ayrıca, yakma odasından türbin bölmesine egzoz akışındaki su yoğunluğunun artışı ağızlıkların ve pervanelerin bütünlüğü üzerinde bir etkiye sahiptir. Aslında, ağızlıkların ve pervanelerin yüzeyine egzoz akışından gelen ısı değişim katsayısı su yoğunluğu ile orantılıdır. Bu yüzden gaz türbinleri NO<sub>x</sub>'i kontrol etmek için su ya da buharın büyük miktariyle çalışırsa, bakım masraflarını ve hata riskini artırırken, mekanik hasar ve verimlilik düşüşü oluşabilir.

Su ya da buhar enjeksiyonu işlem için kullanılan suyun hazırlanmasını gerektirir. Diğer gereksinimler için suyun ve buharın kullanılmadığı sahalarda, yatırım ve işletme giderleri yüksektir. 2 ile 250 MW arasındaki termal ısı çıkışı kapasitesiyle, her yıl için düşük işletme saatleri ve değişen işletim koşullarıyla- gaz kompresörlerinin ayrı sahalarda bulunduğu durumlarda, toplam giderler yüksektir. Ayrıca, mevcut gaz türbinleri için, gaz türbininin yanma sisteminin su ya da buhar enjeksiyonu sistemine dönüşmesi gaz türbininin tasarımında ve planında bir miktar değişim gerektirir. Bu teknoloji Avuranın gaz iletim sistemi için yeterli değildir.

#### 7.1.7.3.2 Kuru düşük NOx (DNL) teknolojileri

Son zamanlarda, kuru düşük NOx yakıcılar büyük gaz türbinlerine uygulanmıştır ve küçük tesislerde daha yaygın olmaya başladığı görülmektedir (örneğin; 20 MWe kapasitesinin bile altındaki gaz türbinleri) DNL teknolojisi son zamanlarda kıyıda uzakta işletilen gaz türbinlerine de uygulanmaktadır. (ayrıca bakınız Bölüm 7.1.12 ve 7.5.5).



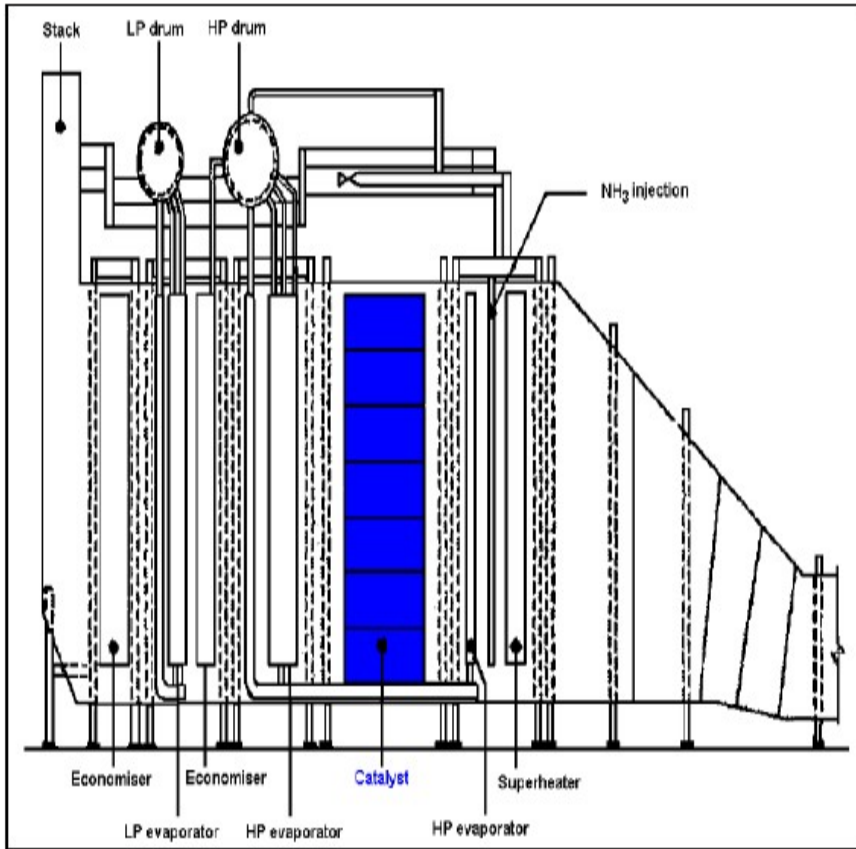
Şekil 7.12: DLN yanma odasının şematiği

Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların temel özelliği (ör:şekil 7.12), hava ile yakıtın karışımıdır ve her iki yakma da iki ardıl adımda meydana gelir. Yakmadan önce, yakma hava ve yakıtın karıştırılmasıyla , düşük NO<sub>x</sub> emisyonları ile sonuçlanan düşük alev derecesi ve homojen bir dağıtım derecesi elde edilir. Günümüzde , kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcıları özellikle doğal gaz kullanan gaz türbinleri için iyi kurulmuş bir teknolojiyi temsil ederler. Fuel oil kullanan gaz türbinleri için ileri gelişmeler gereklidir: çünkü bu türbin işlemlerinde havanın ve yakıtın karıştırılmasının yanı sıra sıvı yakıtların buharlaştırmasının da yakmadan önce gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Partikül boyutunun buharlaşma hızı üzerinde etkisi olduğu için, güncel araştırmalar daha etkili pülverizatör sistemleri geliştirme üzerine yoğunlaşmaktadır. İsveç bir gaz türbini güç tesisinde, neredeyse iki yıl boyunca hafif fuel oil önkariştirme modunda hybrid brülörler kullanılmaktadır: önemli ölçüde NO<sub>x</sub> azaltımı elde edildi, fakat elde edilen değerler doğal gazın yakması için olan kadar düşük değildir. Dual yakıt yakan (gaz/gaz yağı)Gtler için DLN sistemleri de ayrıca gelişme prosesindedirler. Böyle dual yakan DLN sistemleri artık mevcut ve test edilmiş olduğu bir üreticiden anlaşılabilir.

Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakma sistemleri çok etkili ve güvenilirdir. Bugün, endüstriyel kullanımdaki neredeyse tüm gaz türbinleri, kuru düşük NO<sub>x</sub> sistemleriyle donatılırlar.Modern kuru düşük NO<sub>x</sub> brülör uyarlamaları 140 MW<sub>th</sub> 'lık bir gaz türbini için yaklaşık olarak 2 milyon EUR'ya mal olur. Yüksek verimlilikleri yüzünden, özellikle fuel yakıtlarında ya da hidrokarbon üretiminde vb. büyük enerji kayıpları olmadığı için yeni brülörlerin işletilmesi çok ekonomiktir. Yatırım bedelleri yaklaşık %15 daha yüksektir ve bakım maliyetleri DLE olmayan gaz türbinlerinden yaklaşık %40 daha yüksektir. Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakma çok özel modeldir, ör: her üretici , geliştirmek için gerekli araştırmayı doğrulamak için yeterince arz olduğunda her model için teknoloji geliştirir. Daha eski modeller ya da teknoloji için düşük talepli modeller için, kullanılamayabilir. Ayrıca, teknolojinin önceki modelleri , yeni üretilen versiyonlardan daha yüksek NO<sub>x</sub> seviyelerine sahip olabilirler.

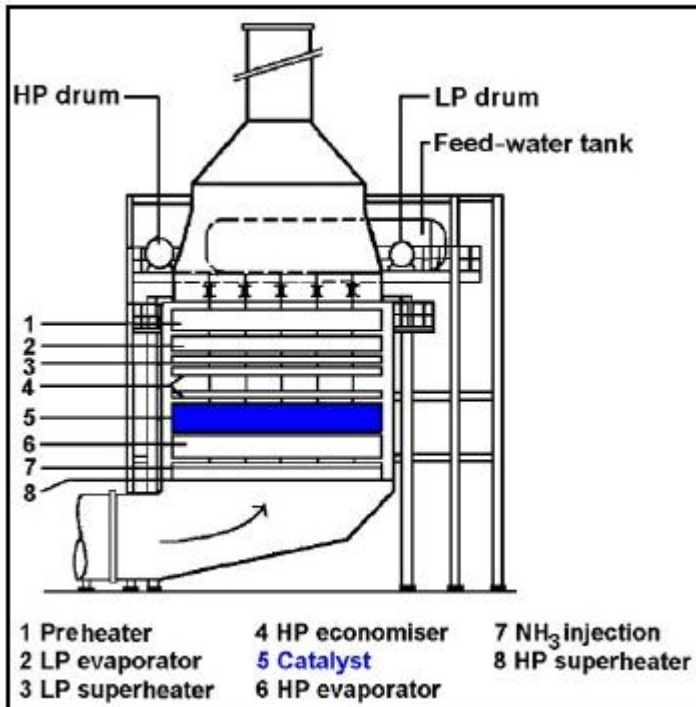
### 7.1.7.3.3 Selektif katalitik azaltım (SCR)

Halihazırdaki çoğu gaz türbini NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için sadece başlangıç tedbirlerini kullanırlar, fakat SCR sistemleri Avusturya ,Japonya, Hollandave Amerika'da (özellikle Kalifornya'da) bazı gaz türbinlerinde kurulmaktadır. Dünya çapında yaklaşık 300 gaz türbinin SCR sistemleriyle donatılmış olduğu tahmin edilmektedir. Gaz türbinlerindeki daha ileri SCR teknolojisi uygulaması Danimaka ve İtalya'da planlanmaktadır.[32, Rentz, et al., 1999]. Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 önce yatay bir HRSG'de ve ikinci olarak dikey akım ayarı ile bir tesiste, CCGT kavramı içinde SCR katalizörlerinin nasıl uygulandığını göstermektedir.[161, Joisten, et al., ].



Stack	Baca
LP drum	LP tamburu
HP drum	HP tamburu
nH3 injection	Nh3 enheksiyonu
Economiser	Ekonomizer
Catalyst	Katalizör
Superhaster	Superheater
LP evaporator	LP evaporatörü
HP evaporator	HP evaporatörü
LP drum	LP tamburu
Feed-water tank	Besleme suyu tankı

Şekil 7.13: HRSG tasarımı ve SCR tertibatı  
[161, Joisten, et al., ]



1 Preheater	Ön ısıtıcı
2 LP evaporator	LP evaporatörü
3 LP superheater	LP superheater
4 HP economiser	HP ekonomizer
5 Catalyst	Katalizör
6 HP evaporator	HP evaporatörü
7 NH <sub>3</sub> injection	NH <sub>3</sub> enjeksiyonu
8 HP superheater	HP superheater
HP drum	HP tamburu
LP drum	LP tamburu
Feed-water tank	Besleme suyu tankı

Şekil 7.14: Dikey akışlı SCR tertibatı  
[161, Joisten, et al., ]



7.1.7.3.4 Gaz türbinlerine yönelik 1993 ile 1999 NO<sub>x</sub> kontrol maliyetlerinin karşılaştırılması

NO <sub>x</sub> kontrol teknolojisi	Türbin Çıkışı (MW)	Emisyon azaltımı (ppm)	1993		1999	
			USD/ton	USD Cents/kWh	USD/ton	USD Cents/kWh
Su/buhar enjeksiyonu	4-5	Uncontr 42	1750-2100	0.47-0.50	1500-1900	0.39-0.09
DLN	4-5	Uncontr 42	820-1050	0.16-0.19	n.a. <sup>2</sup>	n.a.
DLN	4-5	Uncontr 25	n.a. <sup>2</sup>	n.a.	270-300	0.006-0.09
Katalitik comb. <sup>1</sup>	4-5	Uncontr 3	n.a.	n.a.	1000	0.32
Düşük sıc. SCR	4-5	42 9	n.a.	n.a.	5900	1.06
Konvansiyonel SCR	4-5	42 9	9500-109000	0.80-0.93	6300	0.47
Yüksek sıc. SCR	4-5	42 9	9500-109000	0.80-0.93	7100	0.53
SCONO <sub>x</sub>	4-5	25 2	n.a.	n.a.	16300	0.85
SCONO <sub>x</sub>						
Su/buhar enjeksiyonu	20-25	Uncontr 42	980-1100	0.24-0.27	980	0.24
DLN	20-25	Uncontr 25	530-1050	0.16-0.19	210	0.12
DLN	20-25	Uncontr 3	n.a. <sup>2</sup>	n.a.	690	0.22
Katalitik comb. <sup>1</sup>	20-25	42 9	n.a.	n.a.	2200	0.43
Düşük sıc. SCR	20-25	42 9	3800-10400	0.30-0.31	3500	0.20
Konvansiyonel SCR	20-25	42 9	3800-10400	0.30-0.31	3800	0.22
Yüksek sıc. SCR	20-25	25 2	n.a.	n.a.	11500 <sup>3</sup>	0.46
SCONO <sub>x</sub>						
Su/buhar enjeksiyonu	160	Uncontr 42	480	0.15	480 <sup>4</sup>	0.15
DLN	170	Uncontr 25	n.a. <sup>2</sup>	n.a.	124	0.05
DLN	170	Uncontr 9	n.a.	n.a.	120	0.055
Katalitik comb. <sup>1</sup>	170	Uncontr 3	n.a.	n.a.	371	0.15
Konvansiyonel SCR	170	42 9	36000	0.23	1940	0.12
Yüksek sıc. SCR	170	42 9	36000	0.232	2400	0.13
SCONO <sub>x</sub>		25 2	n.a.	n.a.	6900 <sup>2</sup>	0.29
Notlar:						
(1) Maliyetler 1999 yılında ticari hizmete giren Catalytica'nın 'Xonon™' katalitik yakıcı teknolojisi temel alınarak hesaplanmıştır. İmalatçı tarafından sağlanan yıllık maliyet hesaplamaları 'uygulamada gösterilen' tesisleri baz almamıştır						
(2) 'n.a.' 1993 yılında mevcut olmayan veya 1999 yılında eskimiş olan teknolojiyi ifade eder.						
(3) SCONO <sub>x</sub> ™ imalatçısı 83 MW ünitesi için bir rakam vermiştir. Verilen rakam uygun üniet boyutuna oranlanmıştır						
(4) 1990 yılında kurulan bir baz yüklü gaz türbini buhar enjeksiyonu ile donatılmış tek baz yüklü türbindir. Daha sonraki tüm baz yüklü makineler DLN ile donatılmıştır. Bu nedenle, 1993 rakamları buhar jeneratörü için değiştirilmediği varsayılır.						

Tablo 7.2: Gaz türbinlerine yönelik 1993 ve 1999 NO<sub>x</sub> kontrol maliyetleri (uyarlama maliyetleri dikkate alınmamıştır) [182, OSEC, 1999]

Tablo 7.2'de listelenen maliyetler, büyük ölçüde gaz türbininin özel sınır koşullarına bağlıdır ve diğer tesislere nakliye mümkün olmayabilir. Maliyet verileri kıydan uzaktaki tesisler için uygun değildir.

### 7.1.8 Kıvılcım ateşleme (SG) ve dual yakıttan (gaz modu) kaynaklı NOx emisyonlarının kontrolü

Dahili yakma motorlarında NOx oluşumunun oranını yöneten en önemli parametre ,yakma derecesidir; derece ne kadar yüksek olursa, egzoz gazının NOx içeriği o kadar yüksek olur. Yakma derecesini azaltmanın bir yolu da hava/yakıt oranını düşürmektir,yakıtın yakmasından ortaya çıkan aynı özel ısı miktarı sonra , daha düşük maksimum yakma derecesiyle sonuçlanan büyük kütle egzoz gazını ısıtmak için kullanılır. Pistonlu motorlarda lean-burn yaklaşması olarak adlandırılan bu başlangıç tedbiri, gaz türbinindeki kuru düşük NOx yakıcılarla benzerdir. Gaz motoru (SG ve DF) kurulumları lean-burn yaklaşması nedeniyle düşük NOx seviyesine sahiptir. Bazı özel uygulamalarda (ör: Amerika'da erişim olmayan alanlardaki büyük tesisler), gaz türbinleri ek NOx azaltımı için SCR ile donatılırlar.

Gaz modundaki kıvılcım ateşlemeli lean-burn (SG) and dual yakıt (DF) motorları genellikle temel olarak CO ihracı için oksidasyon katalizörüyle donatılırlar. Gaz modundaki kıvılcım ateşlemeli lean-burn gaz (SG)motorları ve dual yakıt (DF) motorlarından NMVOC emisyonu, doğal gaz bileşimine bağlıdır. in force yasaya ve doğal gazın bileşimine bağlı olarak, bazı durumlarda NMVOC ikinci emisyon azaltımı teknikleri gerekli görülebilir ve eş zamanlı CO ile NMVOC azaltımı için oksidasyon katalizörleri uygulanabilir.

SCR durumunda, üres solüsyonu, motorlara uygulana SCR sistemleri için genelde bir azaltım ayırıcı tercihidir. Farklı yüklerle uygulamalar için, hizmete alma boyunca motor emisyonları farklı yük seviyelerinde ölçülürler. Ölçülen emisyon değerleri, azaltma ayırıcının değişen NOx seviyeleri için egzoz gazı akımına doğru miktarlarda enjekte edilmesini garanti eden sistem kontrolüne sokulurlar. Katalizör çeşidi ve SCR reaktörü boyutu , motor performansı herhangi bir değişiklikten etkilenmesin diye her özel uygulamanın basınç düşme kısıtlamalarına uydurulurlar.[167, Rigby, et al., 2001].

### 7.1.9 Gazla çalışan buhar kazanlarından kaynaklı NOx emisyonlarının kontrolü

Buhar kazanları ve yakma sistemleri genel olarak düşük NOx yakma için tasarlanırlar. Temel olarak, NOx emisyonlarını azaltmanın üç farklı yolu vardır:

- Düşük NOx brülörlerin uygulanması. Düşük NOx emisyonları için koşulları, başlangıç yakma bölgesindeki düşük derece ve tam bir burnout için fırındaki baca gazının yeterli uzun retention süresidir. Bu alev derecesini azaltacaktır.
- Büyük miktarda emisyon, NOx termal olduğu zaman, baca gazı devir daimi etkili olabilecek bir yöntemdir. Hem alev derecesini hem de oksijen konsantrasyonunu azaltır.
- İki aşamalı yakma, yakma işlemi boyunca havadaki oksijen ve nitrojen arasındaki reaksiyonu azaltır. Bireysel brülörün çevresinde üç aşamadaki hava stoğuyla ve bireysel brülörlerin üzerindeki hava ilavesi ile bu akımların tam dozlama yoluyla büyük ölçüde düşük NOx emisyonları elde edilebilir.

Gazla çalışan buhar kazanları için standart olan NOx emisyonları 100 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha düşüktür.

### 7.1.10 Su ve atık su arıtımı

Gaz türbini ve HRSG için, demineralize su aşağıdaki amaçlar için gereklidir:

- HRSG için konteynerlerden blowdown suyun telafi etmek. Eğer akım ya da su enjektisi uygulanıyorsa, su kaybı ayrıca yapay suyla da telafi edilmelidir. Kalite üreticilerinin gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir ve dolayısıyla su arıtması gereklidir. Demineralizasyon genellikle bu gereksinimleri karşılamak için yeterlidir.
- demineralize su genellikle gaz türbini kompresörünü yıkamak için kullanılmaktadır. Su/buhar devrinde sıvılaştırma , bazen online yıkama için kullanılabilir ,fakat genellikle demineralize su ayrı su yıkama ünitelerine sağlanır. Çevrimdışı yıkamada , yıkama etkisini geliştirmek için demineralize suya deterjan eklenir.

Gaz türbini ve HRSG (eğer uygulanırsa)'den atık su aşağıdakileri kapsar:

- Buhar kazanı suyunun kalitesini sürdürmek için buhar kazanı devir daim sisteminden taşan su. Çürümeye buhar kazanını korumak için, buhar kazanı suyu genellikle amonyak , sodyum hidroksit ve/ya da fosfat gibi katkı maddelerini içerirler. Pratikte, bu taşan su, söndürülür ve kanalizasyon sistemine ya da eğer su izin gerekliliklerini karşılamıyorsa su arıtma tesisine boşaltılır.
- Gaz türbini su yıkama işlemindeki atık su boşaltılabilir ya da atılacak kompresör materyali yıkama için kullanılan deterjana bağlı olarak bir kimyasal atık olarak göz önünde bulundurulması gerekebilir.
- Benzine ya da benzin içeren sıvılarla kirlenmiş su, genelde bir toplama sisteminin içine toplanır ve ayrı olarak bir arıtma tesisine boşaltılır.
- Gaz yıkayıcı su gibi tesisten artan atık su,normalde yerli kanalizasyon sistemine boşaltılır.

Gaz türbininden daha ileri atık su arıtması(ve/ya da HRSG eğer uygulanırsa), atık su boşaltımı için izin gerekliliklerini karşılamalıdır.

### 7.1.11 Gürültü emisyonlarının kontrolü

Gazla çalışan güç tesislerinde büyük ekipmanların kullanımı gürültü emisyonlarına ve/ya da titreyen makineler yüzünden gürültüyü arttırabilir. Böyle durumlarda, gürültü emisyonları aşağıdaki yollarla azaltılabilir:

- Mahfazalardaki gaz türbinlerini, buhar türbinlerini ve jeneratörleri yerleştirerek
- Mahfazaları düşük gürültü fanlarıyla havalandırarak
- Buhar türbini destek yapısına plakaj ekleyerek
- Yüksek seviye baca susturucularına uyarak
- Mahfazalara buhar kazanı besleme pompaları yerleştirerek
- Soğutucu suyu devir daim etmek için pompaların etrafında bir pompa evi kurarak
- Soğutucu kulelerdeki mutedil gürültü fanlarını işleterek (tek geçişli soğutucu su sistemlerindeki gürültü emisyonlarının soğutucu kulelerdekinden daha az olduğu unutulmamalıdır.).

### 7.1.12 Offshore (deniz dibi) yakma donanımları

Birleşik Krallık (İngiltere) ve Norveç offshore üretim bölgeleri, çelik ya da beton takviyeli yapıları, benzin içeren üstkenar modülleri ve gaz işleme ekipmanlarına dayanmaktadır ve genel olarak güç jüretimi, geniş pompa ve kompresör sürücülerini, acil üretim ve yakma pompası hizmeti için yenilenen içten yanmalı motorlar (dizel) ile gaz türbinlerini kullanır. Bu gibi yakma donanımları, Kuzey Denizin'deki offshore platformlarında, IPPC yönetimi ile kapsandığı gibi çalıştırılmaktadır, örneğin, nominal termal girdi 50 MW'yi aşmaktadır, bir başka deyişle toplamda yaklaşık 270 türbinle çalışmaktadır. Bunlar, çoğunlukla işlemin yapıldığı alanda üretilen doğal gaz tarafından yakılan türbinlerdir. Bölümleri farklı amaçlar için uygun değildir bu yüzden, havaya ateşlenmeli ya da havalandırılmalıdır. Bu sebepten tam olarak işlenememekte ve hem bileşim hem de kalorifik değerinde, bölgeden bölgeye, zamanla bölge içinde bile değişiklik gösteremezler.[124, OGP, 2000].



Şekil 7.15: Kuzey Denizi petrol platformu  
[150, Marathon OIL, 2000]

Teknik sebepler ve güvenlik açısından, çalıştırılan offshore türbinlerin %44'ü 'çift yakıtlı' türdedir ve üreten bölgede hem doğal gazla hem de dizel yakıtla yakılabilir. Çift yakıt türbinleri genel olarak platformun üzerinde uygulanan çalışmalarda gereken elektrik gücünü üretmek için çalıştırılmaktadır. Gaz üretiminin kapatılması gibi rutin olmayan ya da acil durumlarda dizel yakıtla çalıştırılmaktadır. Dizel ayrıca, sadece sınırlı miktarda doğal gazın mevcut olduğu durumlarda başlatma işleminde kullanılabilir. Offshore'da çalıştırılan türbinlerin kalan %56'sı, tek gaz türündedir ve temel olarak gaz sıkıştırması gibi mekanik sürücüler için kullanılmaktadır. [124, OGP, 2000]. Offshore uygulamalarında kullanılan endüstriyel gaz türbinlerinin 2 temel türü vardır: aeroderived gaz türbinleri ve ağır iş gaz türbinleri. Çift yakıt vargel motorları (DF) offshore piyasasında kullanılan yeni temel sürükleyici türdür. Detaylı bilgi için Bölüm 7.1.3.2'yi inceleyiniz.

Gaz türbinlerinin aeroderivative türlerine değişik yüklemeye türlerine heavy duty ünitelerinden daha kolay uyum sağlayabilir ve bu yüzden gaz ve benzin pompalamada olduğu kadar, elektrik güç üretiminde de geniş çapta kullanılmaktadır. Türbin, gaz genişleme ve gaz sıkıştırmanın değişik aşamalarından en yüksek düzeyde performans elde edebilmek için birden fazla eşmerkezli şaft kullanabilirler.

Ağır iş gaz türbinleri temel olarak elektrik üretiminde kullanılır. Çoğunlukla kompresörün, türbinin ve güç türbininin tümünün tek bir şaftta olduğu makinede olarak inşa edilmişlerdir. Başlatma sırasında tüm döneç (rotor), kendini sürdürebilir hıza erişmek için, dizel motor ya da elektrikli motorlar aracılığıyla hızlandırılmalıdır. Güç jenerasyonunda kullanıldığında, elektrik yükleme kaybı olsa bile, iyi hız kontrolü sağlanabilir. [123, DTI, 2001].

Offshore petrol ve gaz tesislerinde, onshore uygulamalarında yaygın olan bazı yakma ekipmanları kullanılmasına rağmen, daha karışık ve potansiyel olarak çevreye bir onshore güç istasyonundan daha zararlıdır ki bu aşağıdaki sebeplere bağlı olarak yüksek maliyetlerle sonuçlanabilir:

- Kurulumu insanların ve ekipmanların getirilmesiyle ilgili lojistik
- Modifikasyon işlemi sırasında uzatılan kurulum periyodu ya da flotel (yüzen otel) kiralama ihtiyacı anlamına gelebilen ek mürettebat için sınırlı cabin kapasitesi
- Yüksek iş saati oranları
- Congested işlem bölgesindeki hot work, güvenlik açısından tehlikelidir bu yüzden işin büyük bir kısmı habitatlar içerisinde (fiyata dahil edilen) ya da tam bir kapanma sırasında (üretim kaybı) yürütülmelidir.
- daha geniş çaplı ve kapsamlı ateş koruma sistemleri de ekipman modifikasyonlarının yanında sürekli olarak değiştirilmelidir.
- Modifikasyonların ek bir boş alana ihtiyacı olduğu durumlarda, mümkünse pahalı yapısal işlemler eklenmelidir.
- Kayıp ya da deferred ürünlerin değeri genellikle arazi temelli tesislerden daha çok önem taşımaktadır.

Buna ek olarak, boş alanlar ve ağırlık, onshore uygulamalarından daha yüksek ekipman yoğunluğuna yol açan değerinin üzerinde bir seviyededir. Ayrıca, genel olarak, ağırlık, boşluk, işlenebilirlik ve güvenliğin dahil olduğu herhangi bir uygunsuz karışıklıktan kaçınılır. [123, DTI, 2001] Bu yüzden birleştirilmiş döngü tesisleri gibi daha karmaşık sistemler, önemli kimyasalların kullanımını ya da baca gazı temizleme aletleri gibi yardımcı offshore ekipmanların kullanımını gerektiren sistemler olarak çok nadiren kullanılmaktadır.

#### 7.1.12.1 Offshore gaz türbinlerinden havaya yayılan emisyonların kontrolü

Nitrik oksit oluşum mekanizmalarının değerlendirmeleri (bkz. 1.3.2.2) termal döngü yoluyla oluşumu azaltmada yakma ekipmanlarının kullanılmasının tüm derece ve direnç sürelerinin sınırlandırılmasını; ayrıca hava ve yakıt karışımının yenilenmesi yoluyla hot spot oluşumlarının en aza indirgenmesini kapsadığını göstermektedir.

Ancak yüksek derecelerde çalıştırma yoluyla termal verimliliğin artırılması, nitrik oksit konsantrasyonlarının artmasına neden olabilir fakat bu fenomen daha çok makinelere özeldir. Buna ek olarak, NO<sub>x</sub> emisyonları bölge yükleme koşullarında artabilir ve bu, tasarım önerileri değerlendirildiğinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Su ve buhar enjeksiyonları, çeşitli gaz türbinleri için uygundur. Bu da yakıt jetlerinin modifiyesini ya da ayrı su enjeksiyon türlerinin kurulumlarını gerektirmektedir. Su, yakıtla birlikte önceden ayarlanan oranda enjekte edilmektedir. Örneğin, 50 MW<sub>th</sub> 'lik bir kurulumun, %65 oranında nitrojen oksit azaltımına ulaşmak için, yaklaşık 3 ton/s suya ihtiyacı vardır. Güç üretiminde az miktarda artış fakat bununla birlikte türbin verimliliğinde az miktarda azalma meydana gelmektedir. Ancak su, en düşük 'yüksek basıçlı buhar kazanı besleme su' niteliğini taşımalıdır; bu nitelik ve nicelikler offshore bölgelerinde her zaman hazır halde bulunmamaktadır.

Gaz türbin odasının içerisine buhar enjekte edilmesi ile nitrojenin termal oksitlerinin azaltılması ve yakıcıyı soğutma sisteminde su enjeksiyonu aynı etkiye sahiptir. 50 MW<sub>th</sub> alım kapasiteli bir kurulumda, 4ton/hr oranında akım elde edilebilmesi için nitrojen oksitlerin %65 oranında azalma gereklidir. Eski yakma sistemlerinde (difüzyon alev teknolojisi) tüm gazlı yakıt türbinlerine uygulanabilen eş zamanlı NO<sub>x</sub> azaltımı ve artan verimlilik için Cheng akım enjeksiyon döngüsü, offshore türbinlerinde de uygulanabilmektedir. Gazla çalışan türbinlerde eski akım enjeksiyonları Bölüm 7.1.7.3.1’de tanımlanmıştır. BREF işlemiyle CO emisyonlarında önemli hiçbir değişiklik kaydedilmeden, NO<sub>x</sub> emisyonunda %40- 60 oranında azalma sağlanabilir. Ancak, Cheng akım enjeksiyon döngüsü NO<sub>x</sub> kontrol tekniğini eski akım enjeksiyon tekniklerinden daha kaliteli hale getiren çözümler sunmaktadır. Cheng sistemi gazlı yakıtların unique karışımına olanak sağlar böylece %95 oranında NO<sub>x</sub> azaltımı sağlanabilecektir. Yine, akımın üretilmesi için gereken yüksek kalitede su, offshore bölgelerinde her zaman bulunmayabilir. [123, DTI, 2001].

Bazı türbin imalatçıları, yeni türbinler ve yanılana ekipmanların sağlanmasında gazı analiz edici ekipmanları kullanan ve motor/yakıt yönetim sisteminde yazılımı entegre eden duru düşük NO<sub>x</sub> emisyon teknolojileri (DLE) geliştirmektedir. Offshore platformlarında su ve akım enjeksiyonlarını uygulanabilir çözüm olmaktan uzaklaştıran, özel kısıtlamaları, boşluk, karmaşıklık ve ağırlık gibi) günümüzde Norveç platformlarının gaz türbinlerinde uygulanmaktadır. [122, Carstensen and Skorpning, 2000]’de belirtildiği gibi DLE türbinleri mekanik sürücü uygulamalarında daha sık kullanılmaktadır. Bunun nedeni güç jenerasyonlarında kullanılan birçok türbinin çift yakıt sistemine sahip olmasıdır. Lean premix özelliklerini olduğu kadar sıvı yakıt yeterliliklerini birleştiren türbinler, henüz yeterli alan deneyimine sahip değildirlir ve bu yüzden bu gibi türbinlerde uygulanmamaktadırlar.

NO<sub>x</sub> RED-GT, yüne ve varolan gaz türbinlerinde uygulanabilir fakat asıl piyasa SAC türbinlerin offshore’undadır. Yakma odasından sonra az miktarlarda amonyak enjekte edildiğinden, NO<sub>x</sub>RED-GT yakma koşullarını ve türbin verimliliklerini etkilememektedir. Teknik hem çift hem de tek yakıtlı türbinlerde kullanılabilir ve yakıt kalitesinden bağımsızdır.

SCR gibi yakma sonrası teknikler, nitrojen oksitlerin düşük emisyon standartlarını karşılamak amacıyla birçok Avrupa ülkelerinde, ayrıca Japonya ve Kaliforniya bölgelerinde bulunan gaz türbinlerinde kullanılabilir. Bu gibi sistemlerde bulunan boşluk ve ağırlıklara ve özellikle amonyakın depolanması/taşınması sırasında karşılaşılan sağlık ve güvenlik problemlerine bağlı olarak bu teknikler, uygulanmamakta ve özellikle günümüzdeki offshore yakma kurulumları için uygulanabilir olarak değerlendirilememektedir.

PEMS olarak adlandırılan Parametrik Emisyon İzleme Sistemleri, CEMS offshore’un sürekli olarak izlenmesi için bir alternatif olarak görülebilir. PEMS Amerika’da NO<sub>x</sub> izleme teknikleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Amerika’da kurulum operatörleri, yeni PEMS’in sürekli emisyon sistemleri ile sağlanabilen’ aynı ya da daha iyi şartlarda kesinlik, güvenilirlik, erişilebilirlik ve yerindelik’ sağlayabildiğini bildirdiği durumlarda CEMS yerine PEMS kullanımı amacıyla uygulanabilmektedir.

### 7.1.12.2 Offshore gaz türbinlerinin verimlilikleri

Açık ya da basit döngü konfigürasyonları çoğunlukla offshore tesislerinde, boşluk, ağırlık ve çalıştırılabilirlik sebeplerinden dolayı kullanılmaktadır. Açık ya da basit döngü konfigürasyonları çoğunlukla boşluk, ağırlık ve çalıştırılabilirlik gibi sebeplerden dolayı offshore tesislerde kullanılmaktadır. Son çıkan geniş gaz türbinlerinden yaklaşık %40 oranında termal verimlilik elde edilebilir. Ancak, çalışma koşulları altında var olan gaz türbinleri için daha tipik rakamlar, %30-35 oranında termal verimliliktedir. Daha yüksek termal verimlilikler, NO<sub>x</sub> üretimini arttırabilen ve böylelikle de hem yüksek termal verimliliklere hem de düşük emisyonlara ulaşmakta daha kapsamlı yakma odalarını tasarımı gerektiren yüksek yakma derecelerine neden olabilmektedir. [123, DTI, 2001].

Türbinlerin tek başlarına verimlilikleri, offshore kurulumlarında toplam enerji verimliliğini sağlayan faktörlerden sadece bir tanesidir. Platformlarda daha etkili enerji üretimi elde edebilmek için çok sayıda faktör göz önünde bulundurulmalıdır ve bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- enerji tüketimini mekanik gerekliliklerinin en aza indirgenmesi için işlemin geliştirilmesi
- yüklemenin değişken olduğu durumlarda geniş, dönen ekipmanlar için değişken hız sürücülerini kullanımı
- basınç düşüşlerini azaltmak için hat boyutlarının geliştirmesi, kısma valfi yerine basınçtan yaralanmak için genişleticilerin ya da hidrolik pompalarının kullanılması
- geri dönüştürülebilir amd bölge yükleme işlemlerinden kaçınmak amacıyla ekipman boyutlandırmanın geliştirilmesi
- giriş ve çıkış sistemlerinin uygulanabilir düzeyde basınç kaybını mümkün olduğunca düşük tutacak şekilde geliştirilmesi ve sürdürülmesi
- gaz türbininin çıkış ısısından platform ısıtma amacıyla yararlanma

## 7.2 Uygulamalı proses ve teknik örnekleri

Bölüm 7'nin bu kısmında farklı yakma donanımlarında halihazırda uygulanan bir dizi proses ve tekniklere ilişkin örnek sunulmuştur. Bu örneklerin amacı her bir durumda özel sahaya özgü koşullar ile çevresel gereklilikler dikkate alınarak bir bütün olarak çevreye ilişkin yüksek düzeyde koruma sağlamak amacıyla spesifik tekniklerin yeni veya uyarlama tesislerde nasıl uygulandığını ortaya koymaktır. Ancak, Direktif'in 2(11). Maddesinde verilen MET tanımı ile birlikte 'tedbir ve önleme prensipleri ve tedbirlerin olası maliyet ve faydaları göz önünde bulundurularak mevcut en iyi tekniklerin değerlendirilmesinde genel ve özel olarak değerlendirilmesi gereken hususlar' listesine göre toplanan bilgilerden örneklerde açıklanan her bir tekniğin nasıl değerlendirildiği ya da değerlendirilip değerlendirilmediği her zaman açık değildir. Bununla birlikte sunulan çevresel performansın tüm çalışma koşullarında sabit ve sürekli olduğunu, zaman prosesinde herhangi bir sorunla karşılaşp karşılaşmadığı ve çapraz medya etkilerinin neler olduğundan emin olunamaz. Ayrıca tekniğin uygulanmasında itici gücün ne olduğu maliyet ve çevresel faydaların her bir durumla nasıl ilişkili olduğu da her zaman net değildir. Bu nedenle aşağıdaki örneklerde verilen bilgilerin rapor edilen mevcut uygulamaya ilişkin sadece genel belirtiler verdiğinden ve bunların uygun başvuru noktaları olarak ele alınamayacağından bahsedilmektedir. Örnek olarak verilen teknikler LCP'lerin bilgi alışverişinin bir parçası olarak Teknik Çalışma Grubu üyelerinde değerlendirilen ve sunulan bilgilerden kaynaklanmaktadır.

### 7.2.1 Gazla çalışan büyük yakma tesislerinde emisyonu azaltmak amacıyla kullanılan bireysel teknikler

#### **ÖRNEK 7.2.1.1 GAZ TÜRBİNLERİNDEN ÇIKAN NO<sub>x</sub> EMİSYONLARININ AZALTILMASINDA BİRİNCİL TEDBİR OLARAK KULLANILAN SU ENJEKSİYONU**

**Açıklama:** Örnek tesiste su enjeksiyonu 25 MW<sub>e</sub>'lik gaz türbininde uygulanmaktadır fakat çok daha geniş türbinlerde kullanımı da mümkündür. Su enjeksiyonu genel olarak yakıt ve su karışımının enjeksiyonu ya da yakma odalarının içerisine hortum başları yoluyla doğrudan su enjektörde edilmesi ile çalıştırılabilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** azaltılan NO<sub>x</sub> emisyonları Tablo 7.3'te gösterilmiştir. Suyun enjeksiyonu ile, NO<sub>x</sub> emisyonları 400 mg/Nm<sub>3</sub>'ten yaklaşık 60 mg/Nm<sub>3</sub>'e indirgenmiştir.

	Ölçülen emisyon değerleri
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	5-7
NOX (mg/Nm <sup>3</sup> )	48-57

Tablo 7.3: Gaz türbinine su enjeksiyonu uygulanması ile NO<sub>x</sub> ve CO emisyonu [44, Austrian Ministry of Environment, 2000]

**Uygulanabilirlik:** Su enjeksiyonu mevcut ve yeni gaz türbinlerine uygulanabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Su enjeksiyonu türbin off-gas da CO miktarını artırabileceğinden, CO'yu CO<sub>2</sub>'ye oksitlendirmek için CO katalizörü kurulmuştur. Gaz türbinine enjekte edilen su ya da buhar çok yüksek saflığa sahip olmalıdır ve bu yüzden bu tekniğin uygulanması yüksek kalitede su arıtma tesislerinin kullanılmasını gerektirir, bu da sırasıyla imha gerektiren sıvı atık üretebilir.

**İşletim verileri:** Gaz türbininin verimliliği %36'dır. NO<sub>x</sub>'i azaltmak için suyun ya da buharın enjeksiyonu sadece belirli bir sınıra kadar yürütülebilir. Yakıt brülörüne enjekte edilen buhar akış hızı çok yüksekse (genel olarak gaz türbini desteği buhar akış hızı ya da yakıt akış hızı üzerinde bir sınır sabitler =1.2), kompresör üzerindeki etkiler gereklidir.

**Ekonomi:**

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Düşük NO<sub>x</sub> emisyonları

**Kaynak literatür:** [44, (Avusturya Çevre Bakanlığı), 2000], [32, Rentz, et al., 1999], [182, OSEC, 1999].

#### ÖRNEK:7.2.1.2 DÜŞÜK NO<sub>x</sub> YAKMA ODASI İLE DONATILMIŞ GAZ TÜRBİNİ

**Açıklama:** Gaz türbini Avusturya'da bölgesel ısıtma tesislerinin bir parçası olarak işletilir. Gaz türbini 40 MW<sub>e</sub>'lik bir kapasiteye sahiptir ve NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltmak için düşük kuru NO<sub>x</sub> yakma odası ile donatılmıştır. Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların temel özelliği yakıt ve su karıştırmanın ve yakmanın her ikisi de 2 başarılı adımda gerçekleşir. Yakmadan önce yakıt ve yakma havasını karıştırarak, homojen sıcaklık dağılımı ve daha düşük bir alev sıcaklığı elde edilebilir, bu daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ile sonuçlanır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Düşük NO<sub>x</sub> ve CO emisyonu seviyeleri

**Uygulanabilirlik:** Kuru düşük NO<sub>x</sub> teknolojisi yeni gaz türbinleri için uygundur ve mevcut gaz türbini çeşitlerinin bir çoğuna uyarlanabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Bulunmamaktadır.

**İşletim verileri:** NO<sub>x</sub> ve CO sürekli olarak ölçülmektedir. Ölçülen veri internet üzerinden yetkili kişiye aktarılır.

	% 15 O <sub>2</sub> 'de yarım saatlik ortalama olarak ölçülen emisyon (mg/Nm <sup>3</sup> )	Düşünceler
NO <sub>x</sub>	33	Kuru düşük NO <sub>x</sub> brülörü, Sürekli ölçüm
CO	35	Sürekli ölçüm
Toz	<1	Hesaplama ile belirlenir
NH	<2	Sürekli olmayan ölçüm

Table 7.4: Kuru düşük NO<sub>x</sub> yanma odalı bir gaz türbininin ölçülen emisyon konsantrasyonları



**Ekonomi:** Uyarlanacak DLN yakıcıların maliyeti farklı imalatçılar tarafından sunulan aynı boyuttaki gaz türbinleri için çok büyük oranlarda değişebilir. Örnek olarak, A imalatçısından teklif edilen yeni bir gaz türbini (5.2 MW) için DLN yakıcının marjinal maliyeti yaklaşık olarak 180000'dir, fakat bunun tersine, B imalatçısından benzer bir DLN yakıcı (5.1 MW) için marjinal maliyet EUR 20000'dir. Bu maliyet tutarsızlığı performans kapasitesine, tasarım karmaşıklığına ve güvenilirlik/bakım etkenlerine bağlıdır. Uyarlama için yatırım maliyetleri EUR 20 – 40/kW<sub>e</sub> olarak tahmin edilmiştir.

Yeni kurulan tesisler için, kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcıların bu günlerde daha önceki sıradan yakıcılardan daha pahalı olmadığı farz edilebilir. Bu yüzden, yeni tesisler için, kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcı kullanmak için ilave maliyet önemsiz olarak düşünülebilir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** NO<sub>x</sub> ve CO'nun düşük emisyon seviyeleri

**Kaynak literatür:** [32, Rentz, et al., 1999], [44, (Avusturya Çevre Bakanlığı), 2000], [182, OSEC, 1999].

### **ÖRNEK 7.2.1.3 ISI YENİLEYİCİ BUHAR KAZANLARI İLE BİRLEŞİK GAZ TÜRBİNLERİNE UYGULANAN SCR SİSTEMLERİ**

**Açıklama:** SCR işlemi büyük yakma tesislerinden çıkan egzoz gazlarındaki nitrojen oksitlerin azaltımı içi yaygın bir şekilde uygulanan bir işlemdir (daha ayrıntılı bilgi için Bölüm 3' bakınız.). Amerika ve Japonya, yaygın olarak Avrupa, özellikle Avusturya, Fransa, Almanya ve Hollanda gibi bir çok ülkede uygulanmaktadır. İtalya'da SCR sadece ticari yakıt kullanmayan bir gaz türbinine uygulanır. Daha fazla uygulamalar Danimarka'da planlanmıştır. Amerika'da (özellikle aşağıda tanımlandığı gibi Kaliforniya'da), SCR gaz türbinlerinin kullanımı yaygın olarak yan oluşum uygulamalarında bulunmaktadır. Tahmini 300 donanımlı ünitenin %85'i 20 ve 80 MW<sub>th</sub> arasında bir kapasiteye sahiptir. Bazı üniteler 3 – 10 MW<sub>th</sub> kapasiteleri arasında değişmektedir [32, Rentz, bknz., 1999].

Örnek olarak:

- A durumunda, basit döngü gaz türbini, %15 O<sub>2</sub>'de ortalama üç saatin üzerinde 5 ppmvd 'lik NO<sub>x</sub> (yaklaşık 10 mg/Nm<sub>3</sub>) sınırıyla, %15 O<sub>2</sub>'de 20 ppmvd 'ye sınırlandırılmış amonyak siple Kaliforniya, Amerika'da konu edilmiş bir izinde açıkça belirtilmiştir. Saptama su enjeksiyonu ve SCR ile 42 MW'lik bir gaz türbini için yapılmıştır. Bu türbin 1995'ten bu yana işlemektedir.[183, Calepa, 1999].
- Başka bir durumda (durum B), birleşik döngü gaz türbini (CCGT), %15 O<sub>2</sub>'de ortalama bir saatin üzerinde 2.5 ppmvd 'lik NO<sub>x</sub> sınırıyla (yaklaşık 5 mg/Nm<sub>3</sub>) %15 O<sub>2</sub>'de 10 ppmvd'ye sınırlandırılmış amonyak siple Kaliforniya Amerika'da konu edilen bir izinde açıkça belirtilmiştir..Bu saptama kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcılarla ve SCR ile 170 MW'de nominal olarak oranlanmış bir gaz türbini için yapılmıştır.[183, Calepa, 1999].
- Üçüncü durumda (durum C), birleşik döngü gaz türbini, %15 O<sub>2</sub> 'de ortalama üç saati aşan 3 ppmvd'lik NO<sub>x</sub> sınırı (yaklaşık 6 mg/Nm<sub>3</sub>) altında %15 O<sub>2</sub>'de 10 ppmvd 'ye sınırlandırılan amonyak siple işletilmektedir.
- . Bu emisyon seviyesi 102 MW'lik birleşik döngü gaz türbininde Kaliforniya Amerika'da elde edilmiştir. Gaz türbini kuru düşük NO<sub>x</sub> yakıcılarla ve SCR ile donatılmıştır. Bu ünite Kasım 1997'den bu yana işlemektedir.183,
- Calepa, 1999].

Son zamanlarda, %15 O<sub>2</sub> 'de ortalama 2.5 ppmvd 'lik NO<sub>x</sub> sınırıyla Kaliforniya Enerji Komisyonu'nun yerleşme işleminde gözden geçirilen diğer büyük kombine çevrim ve kojenerasyon enerji santrali projeleri vardır.

Sağlanan çevresel faydalar:

Parametreler	Değer	Düşünceler
Temiz baca gazında NO <sub>x</sub> konsantrasyonu	5-42 mg/Nm <sup>3</sup>	Referans O <sub>2</sub> içeriği % 15
NO <sub>x</sub> azaltımı	60-85 (95) %	
NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> molar oran	0.9-1.6	

Tablo 7.5: Bir gaz türbininde SCR sistemi kullanılarak ölçülen NO<sub>x</sub> emisyonları

**Uygulanabilirlik:** SCR sistemleri yeni tesislere uygulanabilir, fakat tasarım aşamasında çoktan hesaba katılmış ise mevcut olanlara da uyarlanabilir. Genel olarak SCR sisteminin kullanım süresi herhangi bir rejenerasyon ya da değiştirme olmaksızın 5 – 8 yılı aşmaktadır.

**Çapraz medya etkileri:** Amonyak katkı maddesi olarak kullanılabilir. Bunun kullanımı bir miktar havaya bırakılan amonyakla sonuçlanabilir.

**İşletim verileri:**

Parametreler	Değer	Düşünceler
İşletim sıcaklıkları (°C)	170-510	Metal oksitler (V, Ti), Ti, silika veya W temel alan katalizör
	315-510	Zeolit katalizörü (değerli metal bazlarına dayanır)
Katalizör çevresindeki basınç düşüşü (10 <sup>5</sup> Pa)	0.00047-0.015	

Table 7.6: Bir gaz türbininde SCR sistemi kullanılarak işletim verileri

**Ekonomi:**

Maliyet	Toplam yatırım yüzde payları
Donanım: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reaktör yuvası</li> <li>Amonyak tedariği (depolama, vaporizasyon ve enjeksiyon sistemleri)</li> <li>Baca gazı kanalı</li> <li>İzleme ve kontrol ekipmanı</li> <li>Elektro teknik donanımlar</li> <li>İzolasyon, boyama vb.</li> </ul>	% 30
Yapım ve çalıştırma	% 30
Planlama, lisans	% 10
İlk katalizör dolumu	% 30
SCR ünitesine yönelik toplam yatırımlar	% 100

Tablo 7.7: Gaz türbinlerindeki SCR'ye yönelik maliyet bileşikleri

Katalizör türü	SCR		DLN uyarlama sonrası SCR
	Yeni	Uyarlama	
<b>Katalizör hacim gereksinimleri (m<sup>3</sup>/MW<sub>e</sub>)</b>			
<b>Yüksek sıcaklık</b>	3-4	4-5	3
<b>Düşük sıcaklık</b>	1.5-2	2-2.5	1.5
<b>Katalizör fiyatı (EUR/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Yüksek sıcaklık</b>	12000	12000	12000
<b>Düşük sıcaklık</b>	24000	24000	24000

Tablo 7.8: Gaz türbinlerindeki SCR'ye yönelik maliyet rakamları

İlgili işletim giderleri amonyak, buhar, elektrik tüketimi ile; katalizör değişimi ile, garanti ve vergiler ile; olası personel, kuruluş ve katalizör imhası maliyetleri ile ortaya çıkan giderleri içerir.

Son birkaç yılda SCR teknolojisindeki gelişmeler belirlenmiş bir NO<sub>x</sub> seviyesi hedefine ulaşmak için gerekli olan katalizör miktarında %20'lik bir düşüşle sonuçlanmıştır. Ayrıca, SCR ünitelerinin tasarımında ve kuruluşunda elde edilen artan tecrübe mühendislik maliyetlerini düşürmüştür. Bu iki etken esasen SCR maliyetlerini azaltmıştır. İşletme giderleri ayrıca, amonyak enjeksiyonu sisteminin güç gereksinimini azaltan amonyak enjeksiyonu havasını önceden ısıtmak amacı ile sıcak baca gazının kullanılması gibi yenilikler yoluyla da azaltılabilir. [183, Calepa, 1999], [182, OSEC, 1999].

**Uygulamaya yönelik itici güç:** NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı

**Kaynak literatür:** [32, Rentz, bkz., 1999], [57, (Avusturya Çevre Bakanlığı), 2000], [183, Calepa, 1999].

#### ÖRNEK 7.2.1.4 GAZLA ÇALIŞAN MOTOR TESİSLERİNE UYGULANAN SCR SİSTEMLERİ

**Açıklama:** SCR işlemi, büyük yakma tesislerinden çıkan egzoz gazlarındaki nitrojen oksitlerin azaltımı için yaygın bir şekilde uygulanan işlemdir. SCR yaygın olarak Amerika'daki gazla çalışan motor tesislerinde de kullanılır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Düşük NO<sub>x</sub> emisyonları

**İşletim verileri:** Aşağıdaki Tablo 7.9 gazla çalışan motor tesislerin temel performans parametrelerini listelemektedir:

	<b>A Tesisi</b>	<b>B Tesisi</b>
Yer	Birleşik Devletler	Birleşik Devletler
Hizmete alma yılı	2002	2001
Tesis türü	Güç üretimi	Güç üretimi
Yakıtlar	Doğal gaz	Doğal gaz
Yakma tekniği	20 gaz motoru	5 gaz motoru
Kapasite	111 MW	14 MW
İkincil tedbir	(Ayıraç: aköz üre)	(Ayıraç: aköz üre)
SCR'siz NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	159	187
15 vol-% O <sub>2</sub> 'de SCR yeni katalizörlü NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	5-19	13
SCR üzerinde NO <sub>x</sub> azaltım oranı	88-% 97	% 93
15 vol-% O <sub>2</sub> 'de amonyak slip (NH <sub>3</sub> ) 15 vol-% O <sub>2</sub> 'de	2-6	<2

Tablo 7.9: SCR ile donatılmış iki gazla çalışan motor elektrik santrallerinin emisyon seviyeleri

**Uygulanabilirlik:** SCR sistemleri yeni tesislere uygulanabilir, fakat mevcut olanlara da uyarlanabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Üre katkı maddesi olarak kullanılabilir, fakat havaya bırakılan bir miktar amonyakla sonuçlanabilir. Katalizörün yeniden oluşturulması gerekir.

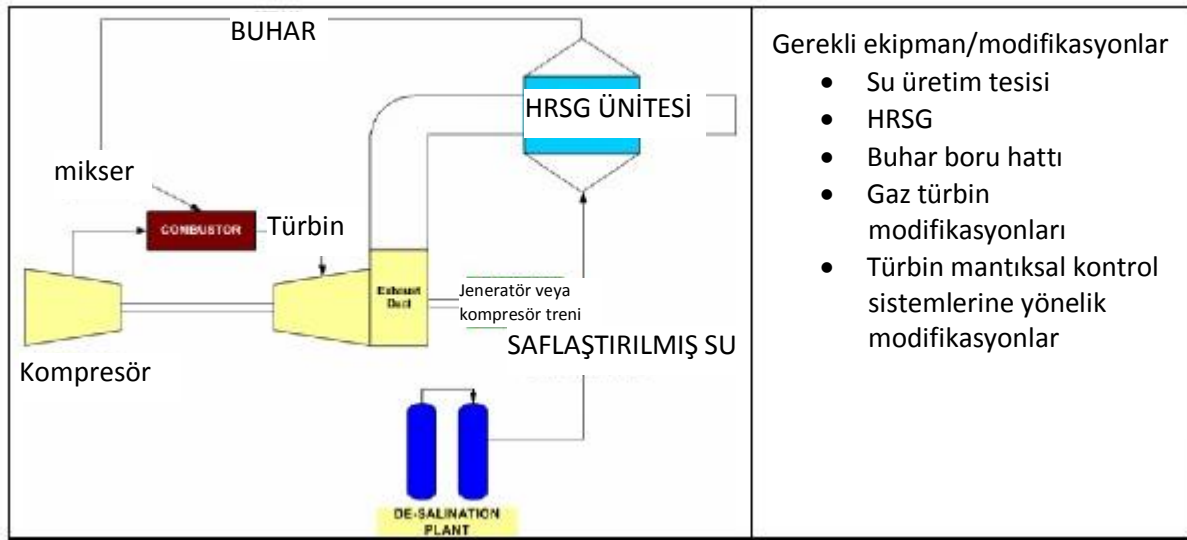
**Uygulamaya yönelik itici güç:** NO<sub>x</sub> emisyonu azaltımı. Bununla birlikte, yüksek nüfuslu alanlarda veya birkaç endüstriye ya da hareketli kaynağa katkıda işlemin sonucu olarak, bölgesel hava kalitesi standartlarının NO<sub>x</sub> ya da ozon emisyonlarının yüksek azaltımını talep ettiği yerlerde genel olarak ele alınır.

**Kaynak literatür:** [78, Finkeldei, 2000], [184, Krishnan, 2002].

### ÖRNEK 7.2.1.5 EŞ ZAMANLI NO<sub>x</sub> AZALTIMI VE VERİMLİLİK ARTIŞI İÇİN CHENG ENJEKSİYON DÖNGÜSÜ

**Açıklama:** Cheng buhar enjeksiyon döngüsü bu NO<sub>x</sub> kontrol tekniğini sıradan buhar enjeksiyonundan daha uygun yapan çözümler sağlar. Cheng buhar enjeksiyonu döngüsü tekniği, CO emisyonunda önemli bir artış olmaksızın NO<sub>x</sub>'in %95'e kadar azaltılabildiği için, buhar ve gaz yakıtın eşsiz karışımını sağlar.

Buhar ayrı bir buhar kazanında üretilirse, işlemin termal verimliliği azaltılır. Buna rağmen, türbinden güç çıkışı ortalama olarak %50 ile, %60'a kadar artar. Buhar üretimi için sıcaklık yenileme buhar jeneratörü (HRSG) kullanılırken, termal verimlilik artar. Üç türbin için buhar bir gaz türbininden egzoz kanalına kurulu olan HRSG tarafından üretilir. Bu tesisi daha az pahalı ve daha az zaman tüketici kılar. Cheng buhar enjeksiyonu döngüsü sıradan buhar enjeksiyonu ile aynı saflıkta su gerektirir.

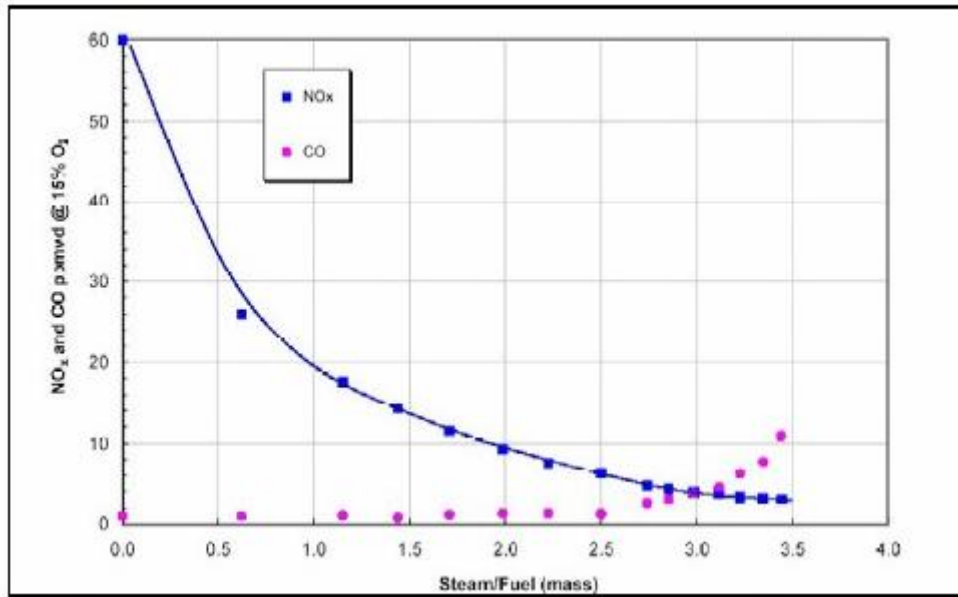


Şekil 7.16: Cheng Buhar Enjeksiyon Çevrimi'nin temel taslağı

Buhar, yakma odasında baca gazı ile aynı sıcaklığa ve basınca ulaşacağından, güç çıkışındaki artış birleşik döngüyle olandan daha büyük olacaktır.

#### Sağlanan çevresel faydalar:

- NO<sub>x</sub> azaltımı (%95'e kadar)
- Buhar enjeksiyonuna bağlı artan CO emisyonu açısından ceza yokluğu
- Diğer buhar enjeksiyonu tekniklerinden daha yüksek olası buhar/yakıt enjeksiyonu
- Üretilen her kWh'lik CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltan termal verimlilikte %45'e kadar artış.



Şekil 7.17: Buhar oranı işlevi olarak NO<sub>x</sub> ve CO emisyonu

Buhar/yakıt oranı	Erişilen NO <sub>x</sub> seviyesi (ppm)	Termal verimlilik
0	Standart konfigürasyon	34.5
1.5	25	39
3	7	44

Tablo 7.10: Modifiye yakıt püskürtme başlıklı konvansiyonel yakıcı türbinlerine yönelik erişilen NO<sub>x</sub> emisyonu ile termal verimlilik

**Uygulanabilirlik:** Cheng Buhar Enjeksiyonu Döngüsü Japonya'da, Amerika'da ve Avrupa'da yaklaşık 100 tesiste kullanılmaktadır. Genelde, bu teknoloji sıradan yakımla ( yayılma alev teknolojisi) bütün gaz yakıtla çalışan türbinlerde uygulanabilir.

Gerekli değişimler ve kurulumlar aşağıda listelenmiştir:

- Yakıt enjeksiyonu ağızlıklarını değiştirme
- GT kontrol sisteminin değiştirilmesi
- Buhar kazanının (HRSG) kurulumunu ve bir egzoz kanalını azaltma
- Buharı HRSG'den GT jeneratör/kompresör takımlarına boru yoluyla aktarmak
- Ya ters geçişim yoluyla ya da acuum damıtma yoluyla üretilecek

**Çapraz medya etkileri:** Diğer buhar enjeksiyonu düşüncelerinin aksine, Cheng Döngüsü de yük değişikliklerini izlemek için güç tesisinin tepe termal verimliliğini sağlayan eşsiz bir kontrol sistemi özelliği gösterir. Bu, türbin yükünün sürekli olmadığı kıyıda uzak tesislerde çok uygulanabilir olmalıdır.

**İşletim verileri:** Cheng buhar enjeksiyonu döngüsü bütün işlemsek yüklerde kullanılabilir. Gerek duyulduğunda, buhar enjeksiyonu işlem sırasında basit olarak kapatılabilir. Verilmiş gücü devam ettirmek amacıyla sadece daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu oranları ve daha büyük yakıt tüketimi kapatma hareketinin etkisi olacaktır.

**Ekonomi:** Hesap örnekleri:

- Kurulan güç: her biri 3x 22 MW each, toplam 66 MW.
- Bir gaz türbininin egzoz kanalına kurulan bir HRSG üç türbin için buhar üretir.
- 2.5'lik buhar/yakıt oranı
- 10 ppm 2den daha azına NO<sub>x</sub> düşüşü
- Kıyıda uzak platformda tesis için destek yapı amacıyla ilave masrafların hesaba katılması gerekir.

	<b>Maliyet (NOK milyon)</b>	<b>Ağırlık (t)</b>
Gaz türbini yeniden inşası	30	-1
HRSG	10	30
Su üretimi için de-salinasyon tesisi	6	16

Tablo 7.11: GE LM 2500 paketinde Cheng buhar enjeksiyon çevrimine yönelik maliyet ve ağırlıklar

**Uygulamaya yönelik itici güç:**

- Sıradan yakma teknolojili (yayıma alev yakıcı) bütün gaz türbinleri için olası Cheng döngüsüne uyarlama
- Değişim için gaz türbini paketinde gerekli küçük aralık. Bu yüzden, DLE/DLN'den daha düşük emisyonlar DLE/DLN türbinleri için hazırlanmamış kıydan uzak tesislerde elde edilebilir.
- Mevcut DLE/DLN sistemlerinden daha düşük bakım masrafı ve uyarlama
- Cheng buhar enjeksiyonuyla sıradan yakma sistemi DLE/DLN sistemlerinden daha yüksek kullanılabilirliğe sahiptir. Bu nedenle, gaz sıkıştırma düzenlerinde daha çok uygulanabilirlik
- CO/UHC trade-off olmaksızın DLE/DLN sistemlerinden daha düşük emisyonlar
- Bir çok kıydan uzak tesisler, değişimler, yatırımlar ve daha düşük kurulum maliyetleri için gereksinimler oluşturan yerleşik HRSG'ye sahiptir.
- Arttırılmış güç çıkışı ya da azaltılmış yakıt tüketimi

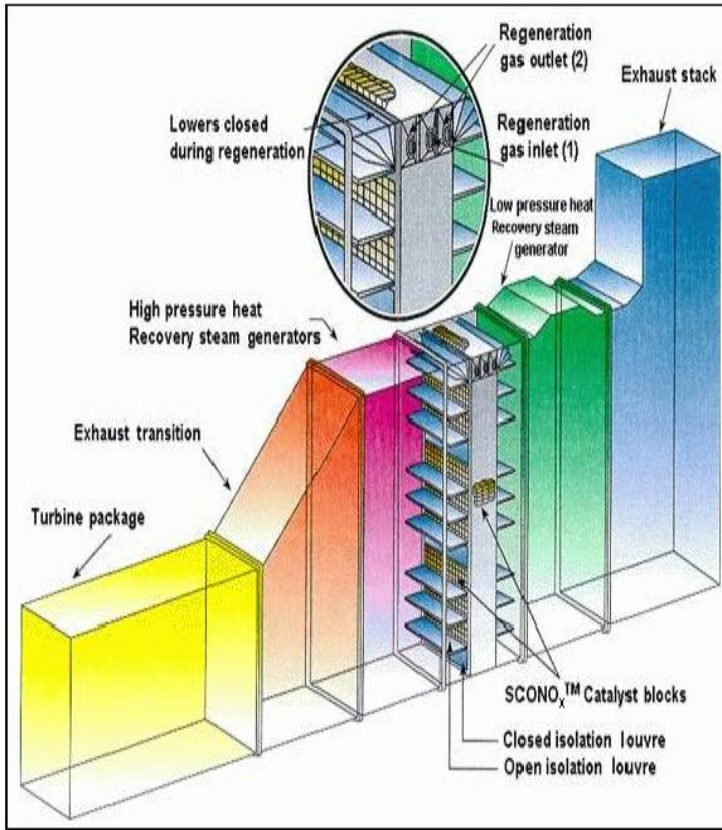
**Kaynak literatür:** [196, ASME, ], [197, ASME, ], [198, ASME, ], [199, Cheng, 1997]

---

**ÖRNEK 7.2.1.6 KOMBİNE ÇEVİRİM GAZ TÜRBİNLERİNDEN KAYNAKLI NO<sub>x</sub> VE CO AZALTIMI İÇİN KATALİZÖR KİRLİLİK KONTROL TEKNOLOJİSİ**

---

**Açıklama:** Örnek teknoloji 2 döngüde işleyen tek bir katalizör kullanır: bu döngüler oksitlenme/absorbsiyon ve rejenerasyondur. Katalizör eş zamanlı olarak CO'yu CO<sub>2</sub>'ye, NO'yu NO<sub>2</sub>'ye oksitleyerek ve daha sonra potasyum karbonat emici kaplamanın kullanımı aracılığıyla NO<sub>2</sub> 'yi yüzeyine absorbe ederek çalışır. Katalizörün rejenerasyonu rejenerasyon gazlarının kontrollü karışımının oksijen yokluğunda katalizörün yüzeyine geçirilmesiyle başarılıdır. Rejenerasyon gazları buhar, hidrojen ve karbon dioksittir. Amonyak kullanmaz ve 150 ile 370 °C sıcaklıkları arasında etkili olarak işler.



Şekil 7.18: Katalizör sisteminin şematik sunumu  
[26, ABB, 2000]

Lowers closed during regeneration	Rejenerasyon sırasında kanallar kapalı
High pressure heat Recovery steam generators	Yüksek basınç ısı yenileme buhar jeneratörleri
Exhaust transition	Egzoz geçişi
Turbine package	Türbin paketi
Regeneration gas outlet (2)	Rejenerasyon gazı çıkışı
Regeneration gas inlet (1)	Rejenerasyon gaz girişi
Low pressure heat Recovery steam generator	Düşük basınç ısı yenileme buhar jeneratörü
Exhaust stack	Egzoz bacası
SCONOx tm Catalyst blocks	SCONOx™ katalizör blokları
Closed isolation louvre	Kapalı yalıtım pançuru
Open isolation louvre	Açık yalıtım pançuru

**Sağlanan çevresel yararlar:** Bu teknolojiyi kullanarak, birleşik devirli gaz türbinleri çok düşük NO<sub>x</sub> emisyon seviyeleriyle çalıştırılabilirler. Aynı zamanda, sistem CO ve metan olmayan değişken organik bileşenlerin emisyonlarını azaltır. Kükürt ihraç katalizörüne ek olarak, bu sistem egzoz gazındaki kükürt bileşenlerini azaltmak için de kullanılabilir.

**Uygulanabilirlik:** Yeni ve uyarlama işlemlerinde uygulanabilir. Böyle bir ünite, buhar kazanının son arkasında ya da bir SCR sistemi için ayrılmış mahfaza içinde 'ısı düzeltme buhar jeneratörü' nde kurulabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Sistem CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> seviyelerinin kalıntısı bacaya yayılır. Katalizörün kamufle ve zehirlenmesi nedeniyle, deionised su ve potasyum karbonat solüsyon (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ile yıllık katalizör temizliği gerektirir. Kullanılan temizlik sıvıları nötrale edilebilir ve kanalizasyon sistemi yoluyla atılabilirler ve toprak ile suya zararsızdır.

#### İşletim verileri:

- 2 ppm'nin altında NO<sub>x</sub> emisyonları (0 °C, 1013 mbar standart koşullarında NO<sub>2</sub> olarak 4 mg/Nm<sub>3</sub>) conversion CO<sub>2</sub> içindeki CO dönüşüm oranı %90'dır.
- Metan olmayan değişken organik bileşenlerinin (NMVOC) yıkımı, 315 °X'te %90'dan daha büyüktür.
- formaldehit ve asetaldehit yıkımı 150 °X'te sırasıyla %97 ve %94'te ölçülmektedir.

**Ekonomi:** Verilen maliyet rakamları, tipik bir 400 MW boyutundaki gazla çalışan güç tesisine denk gelmektedir. Aşağı maliyet tahmini numaraları yıllık 8000 saatlik işleme ve ihraç edilen NO<sub>x</sub> 'in yıllık yaklaşık 666tona (metrik) eşit olan 25 ppm 'den 5'e bir NO<sub>x</sub> azaltımına (standart koşullar 0 °C ;1013 'te NO<sub>2</sub> olarak 10 mg/Nm<sub>3</sub> 'e 50). Maliyetler dahil olanlar, yatırım bedelleri, işlem ve bakım bedelleri ile doğrudan olmayan yıllık bedellerdir.

<u>Yatırım bedelleri:</u>	<u>19.2 milyon EUR</u>
Şunları kapsar:	- tesis ekipmanı - tesis - uyarlama - hizmete alma/başlatma

Bunlar tedarikçideki toplam maliyettir.

<u>Bakım ve İşletim Maliyetleri:</u>	<u>1.6 milyon EUR</u>
--------------------------------------	-----------------------

Bunlar:

- genel bakım
- yeniden üretim döngüsünde buhar ve doğal gaz tüketimi
- üniteye karşı basınç düşüşü (güç tüketimine çevirilmiştir)
- katalizör yenilemesi için ortalama maliyet/yıl (katalizörün ömrü 7 yıldır)
- katalizör boşaltılması/geri verilmesi.

Yükleniciye doğrudan olmayan ek yıllık bedeller dahil edilmemiştir.

25 ppm'den 2'ye NO<sub>x</sub> azaltımı (0 °C; 1013mbar standart koşullarında NO<sub>2</sub> olarak 4 mg/Nm<sup>3</sup>'e 50) ilave katalizör ihtiyacı yüzünden yatırım bedellerindeki artışa katkıda bulunacaktır. Artan doğal gaz ve buhar tüketimi ile artan basınç düşüşü nedeniyle, ayrıca işlem ve bakım bedellerini de yükseltecektir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Çok düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarını ve sınırları karşılamak için gereksinimler, özellikle yoğun nüfuslu alanlarda kurulmuş olan tesisler için amonyak kullanan hava kirliliği kontrol ekipmanını kullanarak ayarlanırlar.

**Kaynak literatür:** [26, ABB, 2000].

---



## 7.2.2 Mevcut gazla çalışan yakma tesislerinin çevresel performansını geliştirme

### ÖRNEK 7.2.2.1 UYARLAMALI YAKMA ODALARIYLA KOMBİNE ÇEVİRİM ISI VE ENERJİ TESİSİ

**Açıklama:** Örnek tesis 1994'te hizmete alınmış olup yardımcı yakma ve bir buhar türbini (48.8 MW<sub>e</sub>) de dahil olmak üzere iki dedicated atık ısı buhar kazanlarıyla (2 x 26.5 MW<sub>th</sub>), iki gaz türbinini kapsar (2 x 67.8 MW<sub>e</sub>). Standart yakıt doğal gazdır. Hafif fuel oil destek yakıtı olarak kullanılır. Gaz türbinlerinin yakma odaları NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için 1997'de yenilendi. Fuel oil işlemindeki NO<sub>x</sub> azaltımı demineralize su enjektisiyle fark edilir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Tesisin boyutu göz önüne alınarak düşük NO<sub>x</sub> tekniği nedeniyle nispeten düşük emisyon seviyeleri elde edilir. Atık ısı kullanmak için tedbirler yüksek bir toplam enerjiye yol açarlar ve böylece kaynakların tüketimini ve CO<sub>2</sub>'nin sonraki emisyonunu en aza indirir.

**Uygulanabilirlik:** Eski bir tesisteki mevcut buhar kazanları bir atık ısı buhar kazanına aktarılabilirler. Genelde, bu türün yenileme tedbirleri mevcut tesislere uygulanabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Emisyonları azaltmak için başlangıç tedbirleri herhangi tortu üretmezler. Giren su arıtması çamur üretir.

**İşletim verileri:** 1999'da, elektriğin toplam 530 GWh<sub>e</sub> ve bölge ısıtmasının 585 GWh'i üretilmiştir. Tesis 4456 saat boyunca işlemdeydi. Elektrik ağı verimliliğinin yıllık ortalama değeri %39.5'e ve toplam enerji verimliliği (ağ) ise %83.1'e ulaşmıştır. Egzoz gazının akış oranı hacmi %14.5 O<sub>2</sub> içeriğinde 2 x 526000 m<sup>3</sup>/h'e kadar yükselmiştir. Tablo 7.12 1999'daki atmosferik emisyonları göstermektedir.

	İzleme	Aylık ortalama değer <sup>1</sup> (% 15 O <sub>2</sub> 'de)	Spesifik emisyonlar (kg/TJ yakıtı)
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	60	46.7
CO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Sürekli	6	3.6
<sup>1</sup> Nominal yük içinyıllık ortalama değere denk			

Tablo 7.12: 1999 yılındaki hava emisyonları

1999'da, doğal gazın 132 milyon Nm<sup>3</sup>'ü ( 43.9 MJ/kWh<sub>e</sub>'e denk)ve hafif fuel oil'in 181 m<sup>3</sup>'ü yakılmıştır.

Tesisin atık su akışı besleme su ile kondansat arıtmasından ve bölgesel ısıtma devresi suyunun arıtmasından (8575 m<sup>3</sup>/yr ) meydana gelir. Ana kaynak, iyon eşanjörlerinin yeniden üretimidir. Bu işlemdeki atık su nötralizasyondan sonra boşaltılır. AOX düzenli olarak izlenen tek maddedir. Ortalama konsantrasyonu 0.097 mg/l'dir. Benzinin ve materyal içeren benzinin 2.9 tonu geri dönüştürüldü ve 1.6 ton filtre materyali boşaltıldı.

Oturmaya ayrılmış birleşik bölge tesisin tek bileşenlerinden sadece 110dan 300 metreye kadarlık bir mesafede olduğu için, geniş ses azaltım tedbirlerinin uygulanması gerekiyordu. Bunlar buhar kazanının akustik yalıtımı ile kanalları, ses absorberleri ile de gürültü bileşenlerinin kapsüllenmesini oluşturur.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Isı ve güç istasyonu , uzun vadede ekonomik fiyatlı bölgesel ısıtmayı sağlayan belediye enerji kavramının bir bölümüdür. Bu yüzden, ısı üretimi elektrik üretimiyle mümkün olduğunca birleştirilmelidir. Tesis için daha yüksek güç limiti ısı talebi ve pazar elektriği imkanlarıyla belirlenir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

---

### 7.2.3 Gazla çalışan yeni yakma tesislerinin çevresel performansı

#### ÖRNEK 7.2.3.1 YARDIMCI BRÜLÖRLÜ VE GAZ İLE FUEL OİL YAKAN KOMBİNE ÇEVİRİM ISI VE ENERJİ TESİSLERİ

**Açıklama:** Almanya'da 1995'te hizmete alınan birleşik devirli ısı ve güç santrali 640 MW<sub>th</sub> toplam nominal termal girişe sahiptir. Yardımcı yakma, bir buhar kazanı ve iki buhar türbini dahil olmak üzere üç tane belirlenmiş atık ısı buhar kazanlı üç gaz türbini kapsar. Buhar kazanı , tepe yük işlemi ve artan stok güvenliğini sağlamak için hizmet eder. Tüm tesisin işlemi ısı talebini karşılamak için en ideal hale getirilir. Gaz türbinlerinin her biri 135 MW<sub>th</sub> nominal bir termal girişe ve 35.5 MW<sub>e</sub> ölümçül tutulmaya sahiptir. Atık ısı buhar kazanlarının her yardımcı yakması 49 MW<sub>th</sub> oranında termal girişe sahiptir. Buhar, türbinlere beslenir ve sözde tepe yükleme ön ısıtıcıları gibi kondansatör ile ısı eşanjörlerindeki bölgesel ısıtma üretimi için kullanılırlar. Buhar ayrıca, işlem buharının ağına beslenir. 1998'de elektrik verimliliği % 40.2'ydi ve toplam verimlilik %59.7'ydi.

**NO<sub>x</sub> emisyonunun kontrolü için başlangıç tedbirleri:** buhar enjektisi için ilave sistem , NO<sub>x</sub> azaltımı için kuruldu. Kontrol sistemi doğal gazın tüketimine oransal akış oranlarıyla yakma odasının içine buhar enjekte eder. Bu , türbinin gücünü ve verimliliğini artırır. Üstelik, NO<sub>x</sub> emisyonları %30'a kadar azaltılır.

**İleri tedbirler:** Elektrostatik presipitatörler , yağlama benzin tanklarının emmesi boyunca (ayırma verimliliği=%92) meydana gelen benzin dumanı ihracı için kurulurlar.

**Sağlanan çevresel faydalar:** daha düşük NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve toz emisyon seviyeleri.

**Uygulanabilirlik:** Tesis eski linyit ve ağır fuel-oil yakan bir CHP tesisinden yenilendi. Eski tesisin buhar kazanlarından bir tanesi yeni teisin tasarımına dahil edildi ve doğal gazla ya da hafif fuel-oil ile çalışacak şekilde yenilendi.

**Çapraz medya etkileri:** Bilinmiyor.

**İşletim verileri:** Tesis, 4885 tam yükleme saatine denk gelen 6538 saat boyunca işlemdeydi. Tüm tesisin emisyon sınır değerleri yardımcı yakmanın güç girişi ile gaz türbininin güç girişi arasındaki orana bağlıdır. Tekli ünitelerin emisyon sınır değerleri O<sub>2</sub> içeriğine bağlı olarak da değiştiği için, dual işlem için saptanan O<sub>2</sub> içeriği , güç girişinin payıyla ağırlıklama ile de hesaplanabilmelidir. Aşağıdaki tablolar , üç işlemsel ifadeyi ve ölçülen emisyonları açıklamaktadır.

İşletim modu	Gaz türbini nominal termal giriş (MW)	Yardımcı yakma nominal termal giriş (MW)	Egzoz gazı hacim akış hızı (Nm <sup>3</sup> /s)	İlgili O <sub>2</sub> içeriği (%)
I	123	35.6	375000	13.3
II	119	8.5	360000	14.5
III	122	0	375000	15.0

Tablo 7.13: Gaz türbini ve yardımcı yakmanın işletim modları

Kirletici	İşletim modu	İzleme	Günlük ortalama değer (mg/Nm <sup>3</sup> )	Spesifik emisyonlar (kg/TJ Girdisi)
NO <sub>x</sub>	I	Sürekli	73	56.16
NO <sub>x</sub>	II	Sürekli	73	53.91
NO <sub>x</sub>	III	Sürekli	82	63.13
CO	I	Sürekli	60	46.12
CO	II	Sürekli	27	19.88
CO	III	Sürekli	9	6.97

Tablo 7.14: 1998 yılında ölçülen atmosferik emisyonlar

1998 yılında, 102.63 milyon Nm<sup>3</sup> doğal gaz ve 123 ton petrol yakılmıştır. Önemli yardımcı stokların tüketimi Tablo 7.15'te gösterilmiştir.

Yardımcı materyal	Yağlar	HCl (% 33)	NaOH (% 50)	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>
Uygulama	Türbinler/ Hidrolik sistemler	Giriş suyu arıtma/tavlama/ atık su arıtımı			
Tüketim (ton)	1.4	169	77	23	7.4
Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )	3.4	410.5	187	55.9	18

Tablo 7.15: 1999 yılındaki önemli yardımcı kaynakların tüketimi

Toplam su hafifletilmesinde kullanılan sistem, buhar kazanı için suya uygulanmaktadır. Yüzeysel su kullanıldığında da karbondan arındırılmalıdır. Tesis ayrı kanalizasyon sistemleri ile çalıştırılmaktadır. Bir tanesi, kanalizasyon gibi haneler içindir ve diğeri de buhar kazanından, soğutucu sistemden, benzin ayırıcılar ve oturma tanklarından çıkan yağmur suyu ve su içindir. Bu atık su alıcı derelere boşaltılır. 1998 yılında, 251180 m<sup>3</sup> soğutucu su ve üretim işlemlerinde oluşan 45182 m<sup>3</sup> atık su boşaltılmıştır.

**Ekonomi:** Tüm tesis için toplam gider, 1998 yılında 118 milyon euro değerindedir. 1998 yılındaki toplam işlemsel giderler ise 56.1 milyon euro değerindedir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Uygulanması zorunlu emisyon limit değerlerinin yüklenmesi, var olan linyit ve ağır akaryakıtlarla çalıştırılan ısı ve güç istasyonlarını yenilemenin gerekliliği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda tesisin ömrünün genişletilmesi ve ekonomik performansın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı birleştirilmiş döngü güç tesisleri inşa edilmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### EXAMPLE 7.2.3.2 YARDIMCI ATEŞLEME OLMAKSIZIN GAZLA ÇALIŞAN KOMBİNE ÇEVİRİM ISI VE ENERJİ SANTRALİ

**Açıklama:** Örnekte Almanya'da 1994 ve 1996 yıllarında toplamda, güç için 380 MW<sub>e</sub> ve bölgesel ısı üretimi için (tasarım aşamasında) 340 MW<sub>th</sub> kapasitede güç tesisi üretilmiştir. İki gaz türbini (GT1 ve GT2 gibi), iki atık su buhar kazanı ve bölgesel ısıtmanın su yolu için üç yoğunlaştırıcıdan oluşmaktadır. Her gaz türbini 21-katlı kompresör ve halka biçimindeki yakma odalarında 72 adet brülör ile donatılmıştır; yüksek ve alçak basınçta akım üretmektedir (77 bar/525 °C ve 5.3 bar/203°C). Akım türbini (arka basınç türbini), sürgülü basınç ile çalıştırılmaktadır ve 108 MW<sub>e</sub> üretmektedir.

**Gelişmiş verimlilik için tedbirler :** Yüksek verimlilik elde etmek için, gaz türbinleri 15-1 basınç oranı ile çalışmaktadır. Türbinin gaz derecesi 1100 °C'ye ulaşmaktadır. Tüm tesiste %47.4 oranında brüt elektrik verimliliğine (tasarım noktasında) ulaşılabilir. Tesis işlemi ısı talebini karşılayabilmek için geliştirildiğinde, genellikle bölge yüklemesi olarak çalıştırılmaktadır. İki türbinli tasarım, bu tür koşullarda yüksek derecede esneklik sağlamaktadır. İşlemde iki türbin ile, %60 ile 100 arasında yüklemelerde yüksek verimlilikler elde edilebilmektedir. Tek bir gaz türbini ile %30 ile 50 arasında yüklemelerde bu verimliliklerine ulaşılmaktadır. Minimum yüklemelerde gaz türbinindeki verimlilik, tüm yüklemesi işlemi ile karşılaştırıldığında %8 oranında azalmıştır. Isı kullanımı aşağıdaki yollarla geliştirilebilir:

- Açığa çıkan gaz ısı kullanımının kontrol edilmesi
- Kısmi yüklemelerde gaz türbinindeki yakma havasının ön ısıtılması
- Transformatörden çıkan atık suyun kullanılması.

Bu tedbirler %90 oranında toplam enerji verimliliği elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Tüm tesis verimliliği Tablo 7.16'da özetlenmiştir.

	Brüt verimlilik	
	Tasarım noktası ile ilgili	1999 yıllık ortalama değer ile ilgili
<b>CHP üretimine yönelik elektrik verimliliği</b>	% 47.4	% 44.8
<b>Sadece güç üretimine yönelik elektrik verimliliği</b>	% 52.6	% 49.6
<b>Toplam enerji verimliliği</b>	% 89.2	% 85.9

Tablo 7.16: Yardımcı ateşleme olmaksızın kombine çevrim elektrik santralının verimlilikleri

**NOx emisyon kontrollerinde temel tedbirler:** Gaz türbinlerinin halka şeklindeki yakma odaları 72 adet düşük NOx brülörü ile donanımlıdır. Akaryakıt işlemindeki NOx azaltımına, demineralize edilmiş su enjeksiyonu yoluyla ulaşılabilir. Yakma hava, kısmi yüklem durumunda ya da buzlanma riskini azaltmada, emisyonları azaltılması için iö ısıtma işleminden geçebilmektedir. Bu tedbirler, doğal gaz için <100 mg/Nm<sup>3</sup> ve akaryakıt içinse <150 mg/Nm<sup>3</sup> NOx emisyonuna olanak sağlamaktadır.

**Ses emisyonunu azaltılması için tedbirler:** Konut alan, bina duvarından sadece 16m uzak olduğundan, çok daha düşük emisyon sınır değerleri elde edilmelidir. Residential alanda tesisten gelen 45dB(A) ses basınç seviyesi, aşağıdaki tedbirlerden yararlanma ile karşılanabilir:

- Yeterli cephe ve çatı
- Yakma hava nın giriş portu için havai gürültü bariyeri ve ses yalıtımı
- Ses geçirmez borular
- yakma hava ve çıkış gazı için kanallar austik absorberlerle donanımlıdır.
- Çift duvarlı baca
- Güvenlik valflarının 'sessiz' tasarımı ve egzoz (dışatım) vantilatör başlığı

**Sağlanan çevresel faydalar:** Düşük NOx teknikleri nispeten düşük emisyonlara, tesissin boyutunun göz önüne alınarak ulaşılmasından sorumludur. Atık ısıyı kullanma teknikleri ayrıca, toplam enerji verimliliğininin daha yüksek olmasını ve böylelikle de CO<sub>2</sub> kaynak ve emisyon tüketimlerinin en aza indirgenmesini sağlayacaktır.

**Uygulanabilirlik:** Tesis, yüksek ısı talebini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu, aynı konfigürasyon tesislerde daha makul işlemlerin başlıca ön koşuludur. Diğer yandan, tesiste tek başlarına düşük emisyonlar sağlayabilen tek bileşenler, farklı tasarımdaki güç tesislerine de entegre edilebilmektedir.

**Çapraz medya etkileri:** Emisyonu azaltmada kullanılan temel tedbirler, herhangi bir atık madde üretmezler. Tesisin çalıştırılması ile oluşan soğutucu su ve atık su, bölgede arındırılmaktadır. Bu yöntemle eleme ve çamurlar üretilmektedir.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, toplam 1182.2 GWh<sub>e</sub> ve 1083.5 GWh bölgesel ısı üretilmiştir. çıkış gazının akış oranı hacmi, 470MW termal alım ile 1450000 m<sup>3</sup>/h değerindedir. Tablo 7.17'de 1999 yılında havaya emisyon değerleri gösterilmiştir.

	İzleme	% 15 O <sub>2</sub> 'de		Spesifik emisyonlar (kg/TJ Girişi)	
		GT 1	GT 2	GT 1	GT 2
<b>Doğal gaz - ateşleme</b>					
<b>NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	Sürekli	76.0	65.7	62.65	55.31
<b>CO (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	Sürekli	6.7	11.3	5.58	9.48
<b>Fuel oil – ateşleme</b>					
<b>NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	Sürekli	79.6	131.4	101.88	112.29
<b>CO (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	Sürekli	19.1	13.6	24.44	11.46

Tablo 7.17: 1999 yılında ölçülen hava emisyonları

1999 yılında, 249.616 million Nm<sup>3</sup> doğal gaz ve 9463 m<sup>3</sup> akaryakıt yakılmıştır. Önemi yardımcı maddelerin tüketimi, Tablo 7.18'de gösterilmiştir.

Yardımcı ateşleme	Yağlar	HCl (% 33)	NaOH (% 50)	NaCl tuzlu su	NH <sub>4</sub> OH
Uygulama	Türbinler/ Hidrolik sistemler	Atık su arıtımı/besleme suyu arıtımı			
Tüketim	1735 litre	72 t	40 t	58 t	300 litre
Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )	1.5	61	34	49	0.25

Tablo 7.18: 1999 yılında önemli yardımcı kaynakların tüketimi

Atık su akışı, besleme suyun ve yoğun maddenin (kondansat) arındırılması ile oluşmaktadır. (12000 m<sup>3</sup>/yr çökelmenin ardından su, belediyeye ait kanalizasyon sistemine beslenir. Daha fazla atık su, buhar kazanının yıkanarak ayrılmasından, tüm sistemin boşaltılmasından ve yoğun maddelerden kaynaklanmaktadır (11014 m<sup>3</sup>/yr). Atık su soğutma işleminden sonra doğrudan belediyeye ait kanalizasyon sistemine beslenir. İyonların rejenerasyonu ile oluşan atık su, absorbe edilebilir organik halojenlerin (AOX) konsantrasyonları için düzenli olarak kontrol edilmektedir. son 5 yıl içerisinde elde edilen ortalama AOX konsantrasyonları, 0.053 mg/l'dir.

**Ekonomi:** Yeni tesisin ve kömürle çalışan eski güç istasyonunun ihracı 1997 yılında yaklaşık 327 milyon euro değerindedir. Ayrıntılı maliyet bilgileri mevcut değildir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Bölgedeki eski ısı ve güç istasyonları, 1996 yılında düşük emisyon sınır değerlerine ulaşamamıştır. Ayrıca ekonomik anlamda makul şekilde daha fazla çalıştırılmamıştır. Yeni tesisler, daha yüksek verimlilik ve çalıştırma için insan gücüne daha az gereksinimi sağlamıştır. Bölge, supply ve disposal için tam bir temel yapı oluşturmuştur. Eski tesis, yenileme ile yeni bir tesisin verimliliğine ulaşamayacağından, bütünüyle yıkılmış ve yenisi inşa edilmiştir.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### ÖRNEK 7.2.3.3 DEMİRYOLU TEDARİK SİSTEMİNE YÖNELİK YARDIMCI ATEŞLEME OLMAKSIZIN DOĞAL GAZ-ATEŞLEMELİ KOMBİNE ÇEVİRİM ISI VE ENERJİ SANTRALİ

**Açıklama:** Örnekte, güç tesisi Alman tren yolunun yedek güç sistemi için 16.67 Hz sıklığında elektrik üretmektedir. İki gaz türbini (GTs) (her ikisi de 180 MW<sub>th</sub>, ya da 60 MW<sub>e</sub>), iki atık ısı buhar kazanı ve bir akım türbininden (57 MW<sub>e</sub>) oluşmaktadır. Bu tesiste, gaz türbinlerinin 16.67 Hz jeneratörlerle kombinasyonu ilk olarak kullanılmıştır. Türbin girişindeki sıcak gaz derecesi 1280 °C'dir. Türbin çıkışında gaz, 1.053 bar'da 540 °C'dir ve atık ısı buhar kazanında maksimum 530 °C derece ve 62 bar'la akım üretmektedir. Atık ısı buhar kazanından sonra baca gazı ekonomizöründen içinden geçer ve son olarak 110 °C ile bacaya aktarılır. Her gaz türbinine akım döngüsü olmadan tek işlem sağlamak için ek bir baca kurulur. Akım, genişlediği tek geçişli akım türbinine aktarılır. Yoğunlaştırıcıdaki basınç 0.07 bar'a düşer. Atık ısı buhar kazanı düşük akım basıncının 198 °C ve 4.5 bar'da üretildiği ikinci bir aşamaya girer. Akım ayrıca akım türbinine de aktarılır. Ters akım soğutucu sistemleri 4 adet fan çalıştıran gözenekli (cellular) radyatör ve soğutucu su pompasından oluşmaktadır.

Tesis 1994 yılında (GT – ünitesi 1) ve 1995 yılında (GT – ünitesi 2) olmak üzere toplanmıştır. Tesisin net elektrik verimliliği tam yüklemde %49.6 oranındadır ve %50 yüklemde, %42'ye düşmektedir. Daha çok azalan yük oranları için gaz türbinlerinden bir tanesi kapatılır ve bu %48 oranında ani verimlilik artışı ile sonuçlanır. %25 oranında yüklem için, verimlilik son olarak %40'a düşer. Gaz türbinini başlatma süresi tam yüklem sırasında 26 dakikadır. İlk gaz türbinin başlatılmasından 14 dakika sonra, ikincisi başlatılabilir. 40 dakikadan sonra, gaz türbinlerinin tek işlemi için 120 MW<sub>e</sub> uygun olabilir. Atık ısı buhar kazanlarının başlatılması için 3- 6 saat arasında süreye ihtiyaç vardır. Birleştirilmiş döngü sistemleri için değişen maksimum yüklem hızı 20MW/dk'dır.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Hibrid brülörünün (difüzyon ve ön karıştırma aşaması ) uyarlanan yanma odası ile birlikte yapımı, düşük NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarını garanti eder. %50 oranında yüksek elektrik net verimliliği, kaynakların yeteli derecede kullanımına olanak sağlar.

**Uygulanabilirlik:** Tesisin tüm tasarımı, demiryolu yedek güç sisteminde elektrik üretimi için geliştirilmiştir. Yine de, tek bileşenler emisyonları geliştirmek için diğer tesislere entegre edilebilmektedir.

**Çapraz medya etkileri:** Soğutucu kule yapay suyu, yavaş dekarbonizasyon tesisinde arındırılmaktadır. Temel olarak kireç içeren çamur üretilmektedir. Bununla birlikte atık su ve az miktarda atık madde de üretilmektedir.

**İşletim verileri:** 1999 yılında, 501 GWh<sub>e</sub> değerinde net elektrik üretilmiştir. eşdeğerde tam yüklemelerin sayısı 2830'dur. Tablo 7.19'da 1999 yılının gaz türbini atmosferik emisyonlarını göstermektedir. Baca gazı akış oranı tam yüklemde 2 x 500000 m<sup>3</sup>/h'dir.

Kirletici	Ölçüm	Ölçülen emisyon seviyeleri (mg/Nm <sup>3</sup> )	Spesifik emisyonlar (kg/TJ Girişi)
Toz			
NO <sub>x</sub>	Sürekli	41.6	32
CO	Sürekli	1.8	1.4

Tablo 7.19: 1999 yılında ölçülen emisyon seviyeleri

1999 yılında, 101.8 million Nm<sup>3</sup> doğal gaz (= 0.2 Nm<sup>3</sup>/kWh<sub>e</sub>) yakılmıştır. Önemli yardımcı maddelerin tüketimleri Tablo 7.20'de gösterilmiştir.

Yardımcı materyal	Yağlayıcılar	Feröz-III-Klorid-sülfat	Hidrat kalsiyum kireç	Amonyak su	HCl	NaOH
Uygulama		Su arıtımı				
Tüketim (t/yr)	0,5	60	70	0,5	20	13
Spesifik tüketim (g/MWh <sub>e</sub> )	1	120	140	1	40	26

Tablo 7.20: 1999 yılında önemli yardımcı kaynakların tüketimi

Tüm tesisin atık su atık hızı tam yükte 75 m<sup>3</sup>/h'dir. 60 m<sup>3</sup>/h'nin bir miktarı soğutma sisteminden kaynaklanır. Bu atık su arıtılmadan ön arıtıcıya atılır. Doymuş su yumşatma tesisinden (15 m<sup>3</sup>/h) çıkan atık sular nötrleştirilir ve soğutma sisteminin atık suyu ile beraber ön arıtıcıya atılır. Bu karışık atık sudaki kirleticilerin yoğunlukları 1999 için Tablo 7.21'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar, suyun güç tesisine girmesinden önce kirliliğin başlangıç seviyesini gösterir.

	14 ölçümden ortalama değer (belirtilmemiş ise) (mg/l)	Spesifik emisyonlar (g/MWh <sub>e</sub> )
C1	339	137
AOX	0.06	0.024
COD	67	27.1
P	17.5	7.07
N	8	3.23
Zn	<50*	-
Cr	<2*	-
Cd	<0.1*	-
Cu	<5*	-
Pb	<3*	-
Ni	<5*	-
Filtrelenebilir madde	8.7	3.52
Sülfat	624	252.2
Hg	<0.1*	-
pH – değer	8.3	-

Tablo 7.21: Elektrik santralinin arık sularındaki katılaşma konsantrasyonları

Tortuların önemli bir miktarının tek kaynağı, çamurun üretildiği soğutma kulesi ilave su arıtımıdır. 1996'da, bu çamurun 214.4 tonu arazi dolmuşta yok edildi ve 50.3 tonu tarımda dağıtım için kullanıldı. Bununla birlikte, türbin yıkamasından çıkan kullanılmış deterjandan 10 ton ve bazı dağıtıcılardan çıkan tortulardan 6 ton üretildi.

Ses kontrolü için yasal gereksinimler, tesisten 500m uzaklıktaki yerleşim alanlarına uyarlanmıştır. Ses azaltıcıların yardımı ile, 30 dB(A)'daki ses emisyonu seviyesine bu uzaklıktan ulaşılabilir.

**Ekonomi:** Toplam yatırım EUR 185 milyondur (1995). Bu, EUR 1043/kW<sub>e</sub>'lik özel bir yatırıma denktir.



**Uygulamaya yönelik itici güç:** 1989'dan sonra Almanya'nın daha önceki doğu kısmında demir yolunun yeniden yapılandırılması aşağıdaki özelliklerde yeni bir güç tesisi binasını gerektirdi:

- Tesisin yapımı için kısa zaman
- Yüksek verimlilik
- Düşük çevresel rahatsızlık
- Düşük yatırım ve işletimsel giderler

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

---

## 7.2.4 Offshore platformlarda işletilen yakma tesislerinin çevresel performansını artırmaya yönelik teknikler

Bu bölüm, offshore platformlarda işletilen yakma tesislerinden çıkan emisyonların önlenmesi ya da azaltılması için teknikleri gösterir. Yüksek çevresel performansı gösteren teknikleri anlatmak için örnekler verilmiştir. Örnek olarak verilen teknikler endüstri tarafından sağlanan bilgiye ve Avrupa IPPC Bürosu tarafından değerlendirilmelere dayanır.

### ÖRNEK 7.2.4.1 PARAMETRİK EMİSYON MODELLEME SİSTEMİ (PEMS)

**Açıklama:** sürekli emisyon izleme sistemleri, (CEMS), uygulanabilir emisyon sınırlama standartları ünitesinde sonuçlar üretmek için kirletici analiz edici ölçümler ve dönüşüm denklemini, garfikleri ya da bilgisayar programlarını kullanarak, gaz ya da partikül madde yoğunluğunun veya emisyon oranının belirlenmesi için gerekli toplam ekipmandır.

Uygun maliyetli bir izleme sistemine ve yedeğine sahip olmak için, CEMS'lerin kötü işleyebilir diye, PEMS 70'lerin başlarında gaz türbinleri için geliştirilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının doğrudan izlenmesi yerine, PEMS ana işlemsel parametrelerden çıkan NO<sub>x</sub> emisyonlarını hesaplar. Bu tarz parametrelerin örnekleri; sıcaklık, basınç ve yakıt tüketimidir. Bugün türbinler, motorlar ve kıvılcımlar için PEMS yaygın olarak NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, toplam hidrokarbonlar, VOC ve CO emisyonlarını izlemek için CEMS yerine kullanılır.

PEMS, tesis kontrol sistemlerinden var olan sensörleri kullandığından, yatırım maliyetleri sadece yazılım gereksinimlerini ve uygulamalarını kapsamak için azaltılır. Ayrıca, mevcut sensörlerin kullanımı CEMS'in talepleri gibi donatımları kullanmak ve ayar etmek için özel yetenekli fazla personel gerektirmez. Hatta PEMS'in CEMS kullanımını periyodik olarak kontrol etmesi gerekmesine rağmen, işletimsel giderler önemli derecede CEMS ile olanlardan daha düşüktür. Sonuç olarak, PEMS'te bacaya monte edilen hiçbir donanıma ihtiyaç yoktur.

Tam bir PEMS matematiksel modülden, kalite sigortası modülünden ve rapor modülünden oluşur. Matematiksel modül üç farklı yolda değerlendirilebilir: (1) birinci ilkelere, (2) istatistiksel gerileme ve (3) yapay zeka, sinirsel örgüler ya da doğrusal olmayan gerilemedir. Birinci ilkelere yolunu kullanırken, NO<sub>x</sub> oluşumlarının fiziko-kimyasal bilgisine dayalı olarak değerlendirilir. İşlemsel özellikler ve türbinlerin tasarımı farklı türbin türleri arasında çeşitlenir. Bu yüzden, her bir türbin için modül NO<sub>x</sub> ölçümleri yoluyla döndürülmeli ve modüldeki etkenleri düzenlemek için işlem parametrelerini kaydetmelidir. İstatistiksel gerileme ve yapay zeka yolları, modülleri geliştirmek için eş zamanlı NO<sub>x</sub> emisyonu ölçümleriyle tarihi işletimsel veri dizisine ihtiyaç duyar.

Kalite sigortası modülü sensör kontrol prosedüründen ve PEMS kontrol prosedüründen oluşur. PEMS, PEMS modülünde kullanılan işletimsel parametrelerin doğruluğundan daha doğru değildir. Sensör sinyallerinin kontrolü, yanlış tahminlerden kaçınmak için sinyal kaymalarını tesbit etmek amacıyla büyük bir öneme sahiptir. Sensör kontrolü ya gereksiz sensörlerden gelen sinyalleri ya da diğer sensörlerden gelen sinyalleri kullanan matematiksel modüllerden değerleri hesaplama ile kıyaslayarak işler. Sistem, sinyal kayması tesbit ederse alarm ses verir. Ayrıca, tam bir PEMS ekstra bir kalite sigortası olarak PEMS kaymalarını da tesbit edebilir.

PEMS yaygın olarak Amerika'da NOx izleme tekniği olarak kullanılabilir ve İngiltere'de en iyi mevcut teknik olarak onaylanmıştır. Amerika'da, tesis, sürekli emisyon izleme sistemleri tarafından sağlananlarla aynı ya da daha iyi güvenilirlik, erişilebilirlik ve zamanlılığa sahip olduğunu belgelerse, tesisin yöneticisi CEMS yerine PEMS kullanımını uygulayabilir. PEMS doğruluğu, hem alternatif PEMS tarafından hem de onaylanmış CEMS tarafından 720 saatlik bir işlem emisyonu izlemesinden hesaplanmıştır. CEMS için ilgili doğruluk 40 CFR 60 Bölümde %20 ve 40 CFR 75Bölümde %10 'dur.( CFR= Federal Düzenlemeler Kodu)

**Elde edilen çevresel faydalar:** Modellemeyi uygulama, gaz türbini yöneticilerinin ekipmanlardan çıkan gerçek zaman emisyon değerlerinin daha çok bilincine varmasını sağlar. Bu kendi içinde, büyük bir faydadır. Sonuç olarak, teknik ekipmanın en iyi işletimini gösterir. Bu kontrol ya elle çalıştırılabilir ya da otomatik olabilir. Paralel kompresör dizilerini çalıştıran kıyıdaki bir sistem sabit bir görevde CO<sub>2</sub> emisyonunda %8lik bir düşüş sağlamak için kullanılmıştır. Teknik gaz türbini performansında bir kötüleşmenin önemini vurgulamak için de kullanılırdı, bu aksi takdirde NOx emisyonlarında bir artışa neden olabilir. Düzenli bir şekilde yönetildiğinde, bu teknik düşük işletim giderleri ile sonuçlanabilir.

**Uygulanabilirlik:** Parametrik modelleme gaz türbinlerinin büyük bir kısmına uyarlanabilir. Bazı yöneticiler bu tekniği, avantajları geniş yer gereksinimlerini, zayıf donatım doğruluğu ve yüksek bakım masraflarını içeren emisyon izleme sistemlerini uydurma seçeneğine tercih ederler. Özellikle kıydan uzak tesislerde, PEMS emisyon izleme için uygun maliyetli çözümler sunar.

**Çapraz medya etkileri:** Bazı durumlarda, enerji tüketimi azaltılabilir. Bir kere kurulduğunda 'sürekli emisyon izleme sistemleri'seçeneğine kıyasla birkaç dezavantajı vardır. Parametrik modelleme, yıllık emisyon raporları için taslak sağlamak amacıyla kolayca kullanılabilen yararlı emisyon izleme bilgisi oluşturmak için de kullanılabilir.

### İşletim verileri:

**Ekonomi:** Yazılım maliyetleri her tesis için EUR 80000'i aşmayabilir. Bununla birlikte, kuruluş ve bakım masrafları dikkate alınmalıdır. Kurulum masrafları, var olan ve böylece bütün gerekli parametreleri izleyebilmek için eklenmesi gereken donatımların seviyesine bağlıdır. Deneyim, kurulum maliyetlerinin yazılım maliyetlerine EUR 160000 daha eklenebileceğini öne sürer. Bir kere kurulduğunda, emisyon sinyalinin yıllık doğrulaması taşınabilir emisyon ölçerler kullanımını gerektirmesine rağmen, çok az bakıma ihtiyaç duyulur. Bunun toplam maliyeti her yıl EUR 30000 civarındadır. PEMS yatırım maliyeti %50 civarındadır ve bakım masrafı CEMS'in 1/3'üdür. Ayrıca, günlük işlem hiçbir özel dikkat ya da maliyet gerektirmez.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Parametrik modelleme ilk olarak yüksek CO<sub>2</sub> vergi seviyelerinin yöneticileri bütün olası uygun kontrol seçeneklerini değerlendirmeye zorladığı Norveç'te uyarı almıştır. Bu itici güç, parametrik modellemenin düşük yakıt maliyetlerine yol açan birkaç gaz kompresörü üzerine kurulduğu kıyı İngiltere'ye harekete geçmiştir. bu doğru ve ucuz NOx izleme sağlar.

**Kaynak literatür:** [119, Guinee, ], [120, Bakken ve Skogly, ], [121, Fripp, ], [206, Pavilion, 2003], [200, Güney Araştırma Enstitüsü, 2000], [201, Macak III, 1996], [202, Lefebvre, 1998], [203, EPA, 2002], [204, The Cadmus Group, 2000], [205, Tronci, et al., 2002].

---

**ÖRNEK 7.2.4.2 ÇOKLU ALANLARIN GÜÇ ENTEGRASYONU**


---

**Açıklama:** Katılım gösteren çok sayıda kurulum için merkezi güç kaynağının kullanımınıdır. Bu da diğer alanlara elektrik kabloları yoluyla güç dağıtan bir ya da iki merkezi güç istasyonunu içermektedir. Örnekler, bir su altı kablosu yoluyla çok sayıda uydu alanlarına güç sağlayan ‘ana’ platformdan oluşmaktadır. Ayrıca, çoklu alan geliştirilmesi, iki merkezi güç istasyonu yoluyla ana halkanın bir parçası olarak beslenmektedir.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Offshore güç tesisleri gaz türbinleri tarafından invariably güçlendirilmektedir. Her platform için bir güç istasyonu yetersiz olabilmektedir. Üretimin güç üretimi sistem iflasının sürdürülmesi için yeterli marjın verebilmek amacıyla geniş ölçüde ‘dönen rezervler’ kullanılmaktadır. Merkezi güç istasyonlarına entegre edilen bir çok alan, gaz türbin verimliliklerinin en yüksek düzeye ve dönen rezervin de en düşük noktaya ulaştığını ve böylelikle CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığını garanti edebilir.

Kurulumlar arası güç entegrasyonu, İngiltere ve Norveç’te çalıştırılmakta ve uygulanmaktadır ayrıca bahsedildiği gibi bazı özel durumlarda ekonomik anlamda makul olabilirler. Ancak, iletim kaybı, birçok durumda en önemli etken olan çevresel kazançlar değerlendirildiğinde, göz önünde bulundurulmalıdır. Emisyon azaltımı, güç jenerasyonunun birleştirilmiş döngü ve/veya düşük NO<sub>x</sub> türbinleri temelinde dayandırıldığında, çok daha önemli hale gelebilmektedir.

**Uygulanabilirlik:** güç entegrasyonu, sadece özel durumlarda kullanılabilen en önemli merkezi projedir. Bunlara, ‘ana’ kurulumuna komşu, yeni manned ya da normal olarak manned platformların kurulumu da dahildir. Mevcut kurulumların entegre edilen güç dağıtım ağları olarak yenilenmesi, bu planlar günümüzde değerlendirilebilse de uygun maliyetli olmayabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Güç istasyonuna adaption güç tüketimini azaltmaya sürekli olarak yol açacaktır.

**İşletim verileri:** [125, Evans and McConnell, 1994] yazını, güç yardımının mevcut tesislerden sualtı kabloları yoluyla sağlandığı tesislere Doğu Brae’nin eklendiği Maraton Brae offshore platformunun deneylerini özetlemektedir. Ek platform ağırlıkları çıkarılmış ve maliyette 98 milyon euroyu geçen koruma sağlanmıştır. Edinilen ilginç bir kar da, kapatma sırasında kurulumun gücünün sürdürülmesi olmuştur. Alaska’da BP’nin üretildiği Prudhoe Bay alanında tek bir güç istasyonu ile yürütülen ve yine ekonomik ve çevresel kazanç getirebilen bir onshore tesis örneği de bulunmaktadır.

**Ekonomi:** Güç entegrasyonu, en önemli merkezi yatırımsır. Kurulumun giderleri belirtilmiştir. Ancak bu fiyatlar, kablo ve kontrol ekipmanlarının kurulumu için belirtilen rakamlarla karşılaştırılmalıdır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Güç entegrasyonunun uygulanması, sadece bazı özel durumlarda değerlendirilmelidir ve tek başlarına emisyon azaltmada kullanıldıkları söylenemez. Ekonomik değerlendirmeler, en önemli itici güçlerdendir. Maraton Brae alanında, var olan temel yapıların kullanımı ve üretim fazlası gücünden yararlanma yoluyla platform giderlerinin azaltımını en yüksek seviye getirmek, en çok ulaşılmak istenen şeydir. Sonuç olarak da emisyon kazançlarına ulaşılmıştır.

**Kaynak literatür:** [125, Evans ve McConnell, 1994], [78, Finkeldei, 2000].

---

**EXAMPLE 7.2.4.3 OFFSHORE GAZ TÜRBİNLERİNE UYGULANAN KURU DÜŞÜK NO<sub>x</sub> (DLN) YAKMA ODALARI**

**Açıklama:** düşük NO<sub>x</sub> kuru yakıcıların temel özellikleri hava karışımının, yakıtın ve yakma işleminin başarılı iki aşama ile gerçekleştirilmesidir. Yakma işleminden önce yakılan hava ve yakıtın karıştırılması ile, homojen derece dağılımlarına ve daha düşük alev derecelerine ulaşılmakta; bu da düşük NO<sub>x</sub> emisyonları ile sonuçlanmaktadır. 1995'ten beri, 11 adet yeni ve tek yakıt gaz türbini, DLN yakma odaları, benzin ve gaz üreten Norveç platformları gibi alanlarda uygulanmaktadır. Ayrıca, var olan iki eski türde gaz türbini de DLE türünde motorlara dönüştürülmüştür.

DLN gaz türbinleri, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, sıkıştırılabilirlik, relative yoğunluk (özel yerçekimi) ve motor kontrolü için klorifik değerler gibi yakıtın bazı gaz özelliklerine ihtiyaç duyarlar.

Motor kontrol sistemleri, belirli bir toleransta uzandıkları sürece bu özelliklerde meydana gelebilecek küçük değişiklikleri ikame edebilirler. Ancak, bu değişiklikler toleransın dışında oluşursa, aktif alımlara gereksinim duyulabilir. Aktif alımlara en yakın parametreler, yakıt gazına özel yerçekimi ve klorifik değerlerdir. Sonuç olarak offshore kurulumları genelde, baca gazının internet üzerinden izlenmesi için, klorimetre ya da kromatograf gibi araçlara ihtiyaç duyarlar.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Düşük seviyelerde NO<sub>x</sub> emisyonları. Ancak çevresel kazançlar, kısmi yükleme ile çalıştırılan türbinlere ve değişiklik gösteren yüklemenin sık türbin hatalarına ve sonucunda da alevlerine neden olacağı durumlara marjinal olacaktır.

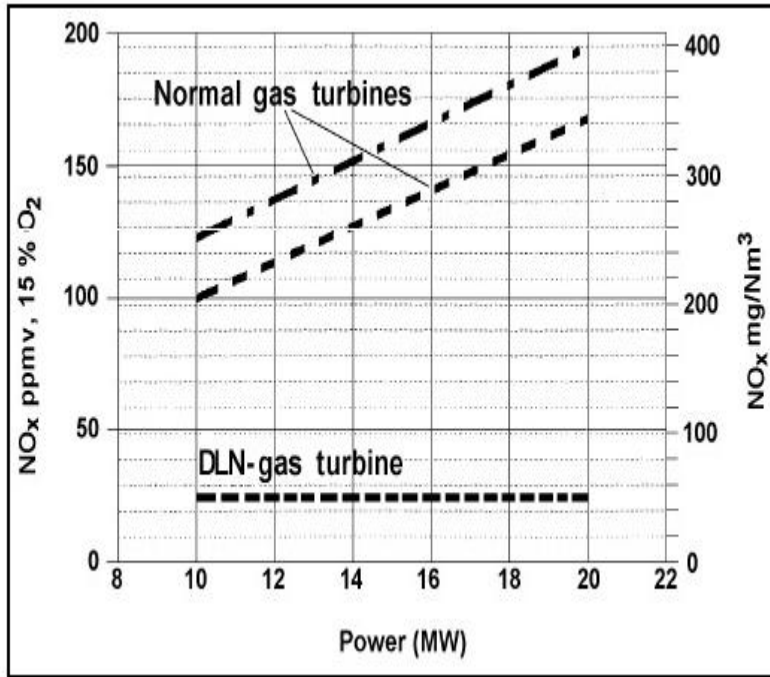
**Uygulanabilirlik:** DLN yakma sistemleri, çok sayıda yeni gaz türbinleri için uygundur. Yenilenen mevcut gaz türbinleri için başlıca iki teknik sınırlandırma vardır. Bunlardan bir tanesi yakıt sistemi ile ilgilidir. Çift yakıt (gaz ve dizel) kapasitesine sahip türbinler henüz olgun olarak değerlendirilmemektedir. Diğer sınırlandırma ise, ekipmanın yaşı ile ilgilidir. Yenileme, ileri düzeyde kontrol sistemini de beraberinde getirecektir böylece gaz kolektörü (manifold) ile yakma işlemi belli miktarda ilave bş alana da gereksinimi doğuracaktır. Bu uygun olamayabilir. Ambalajlardan bazıları tüm bu kazançlı ekipmanları hood içerisinde bulundurmaktadır.

Gaz türbinleri yıllardan beri offshore üretim tesislerinde güvenilir prime mover olarak kullanılmaktadır. Bu yeni yakma teknolojisinin başlangıcı bazı riskler göze alınmadan yapılmamaktadır. Türbinlerin çalıştırılması hem uygunluğuna duyulan itibar ile hem de gaz özelliklerinde ya da çevre derecelerinde belli değişiklikler uygulayan tesislerde, performansı ile zorlayıcı hale gelmiştir. Lean premixing teknolojisi (DLN), offshore tesislerinde kullanılmak için gerekli olgunluk seviyesine ulaşmaya başlamıştır.

İşlemsel deneyimler son zamanlarda DLN türbinlerinin eski brülöre sahip türbinlere göre, işlemin daha sık kapatılması ya da ateş alma ile sonuçlandığını ve daha az güvenilirlik sağladığını göstermektedir. Bu da kısmen DLN'nin daha yüksek işlemsel karışıklığına bağlıdır. 'leaning curve'ün bir parçası olarak bazı gelişmeler kaydedilmiştir fakat, teknolojinin temel özellikleri kolayca iyileştirilememektedir.

**Çapraz medya etkileri:** Düşük seviyelerde NO<sub>x</sub> emisyonları, yüksek CO ve yanmamış hidrokarbon (UHC) ile sonuçlanabilir. Norveç sektörlerindeki prevailing türbin türü, özellikle kısmi yüklemde NO<sub>x</sub> ekipmanları ile eski türbin türlerinden daha düşük termal verimlilikler sağlamaktadır. Kısmi yüklemde elde edilen verimlilik kaybı %13 oranındadır ki bu da CO<sub>2</sub> emisyonlarının %13 oranında artacağı anlamına gelmektedir.

**İşletim verileri:** Tam yüklemde, normal gaz türbinlerinde yaklaşık 360 mg/Nm<sub>3</sub> NO<sub>x</sub> ( 15 % oksijen) emisyon değeri oluşurken, benzer koşullar altında DLN türü yaklaşık 50 mg/Nm<sub>3</sub> NO<sub>x</sub> ( 15 % oxygen) emisyon ve ISO koşulları altında ölçülen %75- 100 yükleme ile 30 mg/Nm<sub>3</sub> CO üretilmektedir.



Normal gas turbines	Normal gaz türbinleri
DLN-gas turbine	DLN-gaz türbini
Generator	Jeneratör
Steam heater	Buhar ısıtıcısı
Steam turbine	Buhar türbini
Seawater	Deniz suyu
Heat consumers	Isı tüketicileri

Şekil 7.19: DLN yanma odalı offshore gaz türbinlerinden NO<sub>x</sub> emisyonları [122, Carstensen and Skorpning, 2000]

**Ekonomi:** Kurulum sırasında gereken kapatma periyotları ve erteleme ya da kayıp üretime bağlı ilgili ekonomik kaybın olduğu kadar, artan bakım giderlerinin de önceki değerlendirmelerden önemli ölçüde yüksek olduğu belirtilmektedir. Gider kazanç analizleri NO<sub>x</sub>'in azaltıldığı her üniteye 23 NOK/kg NO<sub>x</sub> (3 EUR/kg) ile yaklaşık 1000 NOK/kg (125 EUR/kg) arasında değişen büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir. Türbinlerin sadece %20'si 100 NOK/kg NO<sub>x</sub> (12 EUR/kg NO<sub>x</sub>)'den az maliyetle yenilenebilmektedir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** NO<sub>x</sub> değerlerinde düşük emisyon sınırları

**Kaynak literatür:** [122, Carstensen and Skorpning, 2000], [78, Finkeldei, 2000].

#### ÖRNEK 7.2.4.4 GAZ TÜRBİNİ TAHRİKLİ EKİPMANDA YÜKÜN AZALTILMASI

**Açıklama:** türbinle çalıştırılan bir ekipman: kompresör, pompa ve güç jenerasyon ekipmanlarından oluşmaktadır. Bu ekipmanlar doğrudan gaz türbinleri içerisinde çalıştırılabilir ya da gücü gaz türbinine derive eden elektrikli motor aracılığıyla dolaylı yoldan çalıştırılabilir. Yükün azaltılması operatörlere hem hem çevresel hem de maliyet açısından kazançlar sağlayabilir. Yüklemenin azaltılma yollarına örnekler aşağıdakileri kapsamalıdır:

- Kompresör geridönüşümünün azaltılması
- Pompa bypass miktarlarının azaltılması
- Tesisin işlem kontrol döngü ayarı

**Sağlanan çevresel faydalar:** sürekli olarak gaz türbinlerinde yüklemenin azaltılması yakıt tüketiminde bir azalma ve böylelikle de CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma anlamına gelmektedir. Genel olarak, gaz türbinleri çoğunlukla daha düşük hızda çalıştırıldığından, NO<sub>x</sub> emisyonlarında da önemli ölçüde azalma meydana gelecektir. Tesisin sabitliği geliştikçe, alev miktarları da azalacaktır.

**Uygulanabilirlik:** Yükü azaltma teknikleri, hepsi doğrudan ya da dolaylı olarak kurulumdaki her ekipman aletlerine güç sağladıklarından, her türde gaz türbinlerinde uygulanabilmektedir.

**Çapraz medya etkileri:** Aşırı durumlarda kullanılan ekipman miktarı azaltılabilir, ör: üç pompa ikiye indirilip ve maliyetler yeniden azaltılabilir. Benzer şekilde, güç jeneratörü spinning yedeği azaltılabilir.

**İşletim verileri:** Deney, tesise yeni düzenlemeler yoluyla önemli kazanımlar elde edilebileceğini belirtir. Örneğin, bazı tesislerde elle konfigürasyonda yüksek yüzdeli işlem kontrol döngüleri bulunmaktadır. Bu döngüler uygun bir şekilde ayarlanabilirler ve otomatik moda koyulurlar. Sonuç olarak, basınç ayarları gibi böyle değişkenler azaltılabilirler ve bu çalıştırılan yükleri de azaltır. Planmamış shutdowns sayısı azaltılabilir ki bu daha az alevlenmeye yol açar. Merkezkaç kompresörlerinin dalga koruma hatlarını düzgün bir şekilde ayarlamak için harcanan zaman eşit şekilde yararlı olabilir. Buradaki anahtar aç, azaltma verimsizliklerinin yararlarına tesis personelinin farkındalığını geliştirmektedir.

**Ekonomi:** Bu teknikteki çoğu değişiklikler ekipmana küçük modifikasyonlar gerektirir. Bunun yerine, değişiklikler tesisi kontrol etmek içindir ve dolayısıyla küçük sermaye masraflarını gerektirir. Bir kurulum için anahtar döngülerin doğru ayarlanması 25000 GBP den daha az elde edilebilir. Anahtar personelin eğitimi de ayrıca 10000 GBP olabilir. Sonuç olarak, tesis istikrarında bir artışla üretimde çoğunlukla artış vardır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Tarih boyunca , böyle değişiklikleri uygulamak için küçük itici güç var olmuştur. Operatörlerin döngü ayarlamasının kontrolü vb. için elle tekniklere az güvenleri vardı. Döngü ayarlaması güvenli bir şekilde yapılabildiği için, yazılım teknikleri artık böyle hassas teknikleri etkin kılabilmek için mevcuttur. Çoğu operatör yararları farketmiş ve sıhhatli sistemleri yaratmak için böyle teknikleri uygulamışlardır.

**Kaynak literatür:** [78, Finkeldei, 2000], [207, Underbakke and Jakobsen, ]

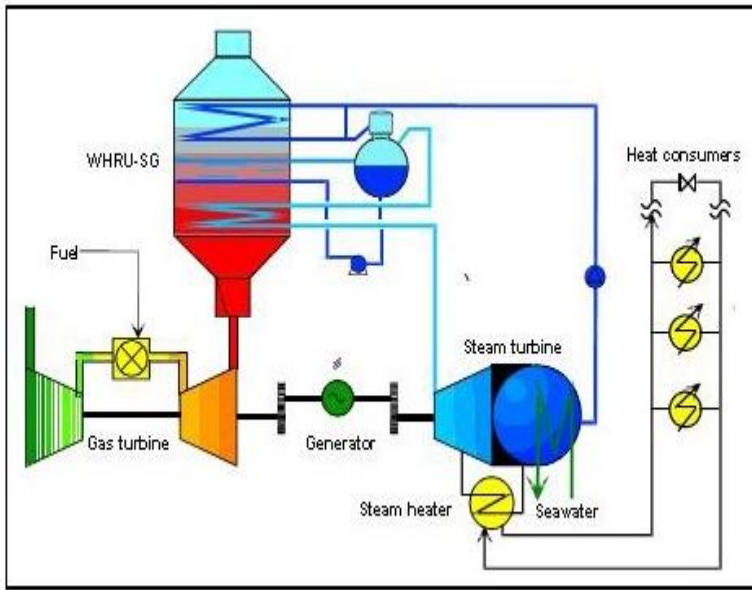
---

#### **ÖRNEK 7.2.4.5 OFFSHORE DONANIMLARIN KOMBİNE ÇEVİRİM ISI VE ENERJİ ÜNİTESİ**

---

**Açıklama:** emisyonlarla ilgili artan yakıt bedelleri ve tereddütler , kıyıda uzak benzin ve gaz tesislerinin enerji muhafazasına dikkatleri çekti. Bu işlemsel prosedürlerde önemli değişiklikleri ve birkaç benzin ile gaz tesislerinde teknoloji gelişmesini teşvik etmektedir. Güç gerksinimini düşük tutmak , gereksiz yakıt tüketiminden kaçınmak ve daha verimli verimlilik sistemleri tasarlamak üzerindeki odak artmıştır. Bunu elde etmenin en verimli yolu , birleşik devirleri (CC) oluşturmak için mevcut ve yeni gaz türbinlerine soğuk işlem alevlerini ve buhar devirlerini kurmaktır.

Birleşik devir kavramı gaz türbini ve buhar türbini sistemlerinin bir kombinasyonudur. Gaz türbini egzozu normalde yaklaşık 500 °C 'de gaz türbininden çıkar. Bu, atık ısı düzeltme ünitelerinde basınç altında buhar üretmek için düzeltilen büyük miktarlardaki enerjiyi temsil eder. Buhar, ilave gücü üreten buhar türbinine The steam is routed to the steam turbinyönlendirilir. Buhar türbini çıkışından düşük buhar soğutucu su(deniz suyu) kullanarak sıvılaştırılırlar ve daha sonra buhar üretimi (WHRU-SG ) için atık ısı düzeltme ünitesine geri yönlendirilebilir. Kapalı devre buhar döngüsü olan buhar dipleme devirinden, WHRU-SG ve buhar türbini. Bu kıyıda gazla çalışan güç tesisleri için geleneksel teknolojidir.



Fuel	Yakıt
Gas turbine	Gaz türbini
Generator	Jeneratör
Steam heater	Buhar ısıtıcısı
Steam turbine	Buhar türbini
Seawater	Deniz suyu
Heat consumers	Isı tüketicisi

Şekil 7.20: Kombine çevrim ısı ve güç offshore santralinin işleyerek akış şeması [25, ABB, 2000]

**Sağlanan çevresel faydalar:** yeni gaz türbinlerine dayanan kıydan uzaktaki ‘basit çevrim’ den kombine çevrime tipik bir verimlilik artışı %37’den %50’ye kadar olacaktır. Bu, yakıt tüketimini ve CO<sub>2</sub> ile NO<sub>x</sub> emisyonlarını tipik olarak %25 azaltacaktır. Daha büyük kıyda kamu amaçlı kombine çevrim tesislerine kıyasla, maliyet ile verimlilik arasındaki trade-off made ve daha büyük tesislerin daha düşük termal kayıplara sahip olması nedeniyle termal verimlilik düşüktür.

Gaz türbininden buhar çıkarımıyla birleşik olarak, ‘kombine ısı ve güç tesisi’ (CHP)’ne ‘kombine çevrimli tesis’ dönüştürülür. Çıkarılan buhar, dolaylı olarak sıvı ısıtıcı ortamın üretimiyle ısı talebini karşılayabilir ya da alternatif olarak buhar, işlem ısıtıcılarında doğrudan kullanılabilir. Isı talebinin büyüklüğüne bağlı olarak, CHP verimliliği %47’den 80’e olacaktır. Yük seviyesi ya da ısı talebi göz önünde bulundurulmaksızın ısı talebi her zaman en yükseğe çıkarılabildiği için, CC ve CHP tesisleri çok esneklerdir.

**Uygulanabilirlik:** Yeni teknolojiler takip edilmesi ve en ideal verimliliğin yanı sıra yatırım maliyetlerini ve ağırlığı izlem ihtiyacı, ısı düzeltme ünitesinin ağırlığını %30’dan %50’ye getirmiştir. Örnek olarak, standart üniteler normalde 200-250 ton iken, bir gaz türbini için tek girişli ısı düzeltme ünitesi yaklaşık 125 tonluk ağırlığa sahiptir. Buhar üretimi için atık ısı düzeltme ünitesinin alan gereksinimi, geleneksel işlem ısı üretimiyle kıyasla %25-50 civarındadır. Buna rağmen, normalde platformun zirvesine yerleştirilen bu ısı düzeltme üniteleri gaz türbinlerinin zirvesine yerleştirilirler. Dolayısıyla, gereken alan normalde mevcuttur.

Nispeten düşük buhar koşulları, kaynaklı türbin kaplamasıyla düşük basınçlı buhar türbini modüllerinin kullanımına imkan sağlar. Sonuç olarak, 15’ten 20 MW’ye buhar türbini kızak ızgarası ağırlığı, karşılaştırılabilir gaz türbininin ağırlığına yakın olan 150-175 ton olacaktır. Böyle bir kızak ızgarası 20Mwlik bir gaz türbini kızak ızgarasınıninkineyle yaklaşık olarak aynı büyüklüktedir.

Sonuç, birleşik devirli tesislerinin genelde hem yeni hem de yenilenmiş offshore uygulamalarının uygulanabilir olmasıdır.





Şekil 7.21: Norveç kıta sahanlığında bir deniz platformuna tesis edilen kombine çevrim elektrik santrali örneği [25, ABB, 2000]

**Çapraz medya etkileri:** birleşik devir kavramı sadece kapalı devredeki aşırı saf su içerdiği için, atık ürünler normal işlem altında çevreye boşaltılmazlar.

- |   |                      |
|---|----------------------|
| ○ Buhar türbini girişinde buhar basıncı:          | 15 bar               |
| ○ Buhar türbini girişinde buhar derecesi:         | 430 °C               |
| ○ Buhar türbini girişinde buhar kütle akışı:      | 17.5 kg/s            |
| ○ Buhar türbini jeneratöründe nominal güç çıkışı: | 15.8 MW <sub>e</sub> |

Verilen buhar bilgisi , aşağıdaki egzoz verisiyle iki geleneksel gaz türbininden ısı düzeltmesine dayanırlar:

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| ○ Egzoz gazı derecesi: | 481 °C                   |
| ○ Nominal güç çıkışı:  | 2 x 25.9 MW <sub>e</sub> |

Offshore buhar devri , tipik olarak geleneksel gaz türbininin nominal güç üretiminin üçte birine düzelecektir.

Buhar devri ,buhar sıvılaştırıcıdaki soğutucu ortam olarak deniz suyuna gereksinim duyar. Buhar türbini yaklaşık 2000 m<sup>3</sup>/h'lik deniz suyu almasına ihtiyaç duyar. Deniz suyu sistemi yatırım maliyetleri ,bazen diğer deniz suyu kullanıcılarıyla birleşilerek azaltılabilir. Soğutucu su maliyetidurumdan duruma göre oldukça çok değişir ve bazı platformlarda yenileme için soğuk su tedarik etmenin maliyeti çok yüksek olabilir.

Ek olarak, buhar devri küçük miktarda elektriğe ve pompalar ile valfleri işlemek için hava aletine ihtiyaç duyar. Küçük miktar amonyak(tipik olarak 1kg/gün), pH 'ı kontrol etmek için buhar devrine eklenir. Su tüketimi tipik olarak 0.5 m<sup>3</sup>/h civarındadır.

**Ekonomi:** Sunulan tahmini maliyet numaraları, bir geleneksel gaz türbini yerine iki gaz türbinine uyan 16 MW'lik tipik bir buhar güç tesisine havale edilir. Birleşik devir tesisi için toplam güç üretimi 67 MW alanında olacaktır. Bir offshore platformunda toplam proje maliyetleri, güçlü bir şekilde alana ve ağırlığa bağlıdır. Benzin platformları için, çoğu durumda gazın serbest ya da nerdeyse serbest mal olduğuna dikkat edilmelidir. Benzin üretimi bölümü boyunca azaltılmış gaz tüketimi, yeniden enjekte edilmesi gereken gazın hacmini artıracaktır. Gaz sıkıştırması kapasitesinin sınırlayıcı bir faktör olduğu durumlarda, bu aslında benzin üretimi kapasitesini azaltabilir ve dolayısıyla yakıt gaz tasarrufuna karşı olumsuz ekonomik dürtüler var olabilir. Kurtarılan gaz değeri sadece tesisin ömrünün sonlarında düzeltilecektir ve bu düşük ağ mevcut değerine sahip olacaktır. Buna rağmen, Norveç sektöründe azaltılmış CO<sub>2</sub> vergisi, özel durumlarda, böyle yatırımları doğrulayabilir.

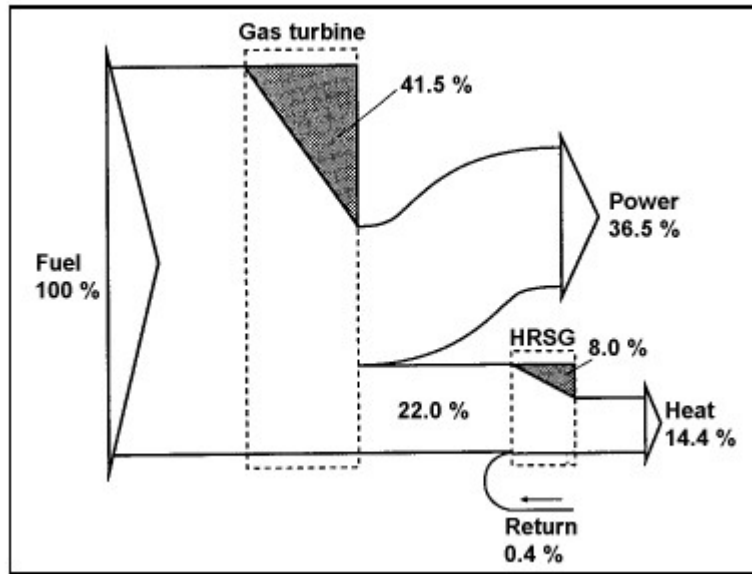
**Uygulamaya yönelik itici güç:** azaltılmış CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları, Norveç sahanlığındaki CO<sub>2</sub> vergileri ve gelişmiş işlemsel istikrar ve güvenilirlik için talepler.

**Kaynak literatür:** [25, ABB, 2000].

---

## 7.3 Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

### 7.3.1 Kütle akışına ait genel açıklama



Fuel 100 %	% 100 yakıt
Gas Turbine	Gaz türbini
Power	Güç
Return	İade
heat	Isı

Şekil 7.22: HRSG'li gaz türbininin Grassmann diyagramı  
[50, Korobitsyn, 1998]

Grassmann diyagramı, yardımcı yakma olmaksızın birleşik devir yoluyla enerji akışını göstermektedir. Gri işaretli alanlar türbindeki ve ısı düzeltme buhar jeneratöründeki (HRSG) dahili enerji kaybını temsil etmektedir.

### 7.3.2 Büyük yakma tesislerinde kullanılan gazlı yakıtların değerlendirilmesi

Doğal gaz, pratik olarak SO<sub>2</sub> ya da partikül emisyonlarına sebep olmayan temiz bir yakıttır. Doğal gaz yakmasından CO<sub>2</sub> emisyonları diğer fosil yakıtlardakinden doğası gereği çok daha düşüktür. Tablo 7.22 büyük yakma tesislerinde yakılan ilgili gazlı yakıtların değerlendirmesini verir.

Madde	Doğal gaz (mol %)	Yüksek fırın gazı (BFG) (mol %)	Rafineri gazı (mol %) *
N <sub>2</sub>	0 - 14	52 - 57	0
CO <sub>2</sub>	1 - 2	20 - 21	4 - 5
CH <sub>2</sub> - N <sub>2</sub> H <sub>10</sub>	84 - 99	0	0 - 46
CO	0	21 - 23	20 - 50
H <sub>2</sub>	0	2 - 4	30 - 45
Kükürt	0	Bir miktar	20 - 1700 mg H <sub>2</sub> S/Nm <sup>3</sup>
Toz	0	Uygulamalı gaz temizleme sistemine bağlıdır ancak normalde < 40 mg/Nm <sup>3</sup>	

\* Rafineri BREF'e bakınız. Ranj gaz tipine bağlıdır (örneğin; rafineri gazı, hidrojen gazı, kok gazı, FCC gazı)

Tablo 7.22: Büyük yakma tesislerinde yakılan ilgili gazlı yakıtların genel görünümü  
[58, Eurelectric, 2001]

Offshore gaz türbinleri , bitişik benzin sahasına doğrudan desteklenen ham doğal gaz yakarlar. Bu gaz , normalde kıyıdağı gaz türbinlerinde kullanılan doğal gazinkinden farklı bir kompozisyona sahiptir. Kuzey Deniz’inde bir benzin sahasındaki tipik bir doğal gaz kompozisyonu Tablo 7.23’te görülebilir.

Bileşik	Mol %	g/mol
Metan	68.69	46.18
CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	14.65	27.01
Etan	8.18	10.31
Propan	4.45	8.22
n-Bütan	1.19	2.9
Nitrojen	0.84	0.98
H <sub>2</sub> O	0.7	0.52
i-Bütan	0.49	1.3
n-Pentan	0.30	0.92
i-Pentan	0.26	0.78
Heksan	0.089	0.32
Heptan	0.06	0.25
Oktan	0.033	0.15
H <sub>2</sub> S	0.007	0.01
Helyum	0.00	0.00

Tablo 7.23: Kuzey Denizi’ndeki bir petrol sahasından alınan işlenmemiş doğal gazların örnek bileşimi [78, Finkeldei, 2000]

Doğal gaz ve rafineri gazları için daha fazla bilgi Mineral Petrol ve Gaz Rafinerisi BREF’de mevcuttur.

### 7.3.3 Gazlı yakıtla çalışan yakma tesislerinin verimliliği

Güç tesislerinin verimliliği, geçtiğimiz on yıl boyunca işlemin idealleştirilmesi ve daha yüksek türbin girişini mümkün kılan soğutucu tekniklerin ve materyallerin sahasındaki yeni gelişmelerle sürekli olarak artmıştır. Birleşik bir devirde, daha basınçlı aşamaların uygulaması ve kabul edilebilir buhar giriş derecesinin artışı (yüksek dereceye dayanaklı materyallerin gelişmesiyle mümkün), buhar devrinin artış verimliliğine de sebep olur. Tablo 7.24, yük temelinde elektrik üretimi için tasarlanmış gazla çalışan güç tesisleri verimliliğinin bir değerlendirmesini verir. Aktarılan verimlilik değerlerinin tam yük ve ISO koşullarındaki yeni , temiz gaz türbinlerine ve once-through soğutucu sıvılaştırıcılara uygulandığı vurgulanmalıdır. Diğer koşullar için, verimlilik işlem moduna olduğu kadar ortam koşullarına ve uygulanan soğutma sisteminin türüne bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği için, değerler daha düşük olabilir.

	Maksimum ünite boyutu	Termal verimlilikler (%)
Konvansiyonel elektrik santrali		38-49
Basit çevrim gaz türbini	275	30-42
Basit çevrim kıvılcım ateşlemeli (SG) veya dual yakıt motorları		40-47
HRSG ile kombine çevrim	400	46-58
Sıcak windbox ile güç öncelikli birlikte üretim çevrimi		50
Notlar: Bu veriler tam yük çalışması sırasında elde edilmiştir. Yük işletimi düşerse, termal verimlilikler de ciddi oranda düşer		

Tablo 7.24: Gaz ile çalışan LCP’lerin verimliliklerine genel bakış

Kombine çevrimin en yüksek verimliliğinin nedeni, baca gazındaki enerji dönüşümünün gaz türbininde nispeten sıcak gazları kullanmakta çok etkilediğinden ve gaz türbininin toplam kapasitenin %65 ila 70'ini vermesindedir.

Arttırılmış ünite verimliliğini ikili ya da üçlü basınçlı ısı yenileyici buhar jeneratörünün kullanımını sağlayan ve daha yüksek aşırı ısıtılmış buhar sıcaklıklarıyla sonuçlanan arttırılmış gaz türbini egzoz gazına ve gaz türbininin arttırılmış yakma sıcaklığına bağlı olarak mümkündür. Egzoz sıcaklığı yeterince yüksekse, yeniden buhar ısıtıcısı ekonomik olarak caziptir.

Çeşitli işlem değişiklikleri, gaz türbinlerinin termal verimliliklerini arttırmak için uygulanabilir. Örneğin, rejenerasyon kompresör boşaltma havasına aktararak, böylece yakıt tüketimini azaltarak verimlilik artabilir, diğer yandan bazı güç azalmaları ile de sonuçlanabilir. Yan yakma yakma işleminde açığa çıkarılan enerjinin hem elektrik hem de yararlı ısı üretmek için kullanıldığı bir düzenlemedir. Elektrik, ya gaz türbininde olduğu gibi sıcak yakma gazlarını doğrudan kullanarak ya da sıradan buhar kazanında olduğu gibi bunları buhar türbinini çalıştırmak amacıyla basınçlı buhar ve yüksek sıcaklık üretmek için kullanarak oluşturulabilir. Bu buhar doğrudan ya da sıradan buhar kazanı durumunda ısı eşanjörü yoluyla veya yakma türbini durumunda egzoz gazından enerji çıkaran ısı yenileyici buhar jeneratörü (HRSG) aracılığıyla alınabilir. Yüksek kalitede yakıtlar aşınma/çürümeden kaçınmak için HRSG'li birleşik döngü tesisleri için kullanılmalıdır. Üretilen elektrik endüstriyel işlemlerde, bölgesel ısıtmada, vb.. gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir.

Bazı etkiler, sıkıştırma ve genişletmede verimsizlik, ısı eklemesi ve geri döndürülüşü süresince basınç kaybı, sıcaklığa özgü çalışma sıvısı ısısının varyasyonu, tamamlanmamış yakma vb... gibi gerçek bir çok döngüde verimliliği azaltanlar olarak ele alınmalıdır. [87, Molero de Blas, 1995].

### 7.3.4 Hava emisyonları

Gazla çalışan yakma tesislerinde, özellikle gaz türbinlerinde, NO<sub>x</sub> emisyonları temel olarak aşağıdaki parametrelerden etkilenen termal NO<sub>x</sub> oluşumuna bağlıdır.[32, Rentz, bakınız., 1999]:

- **Yakıt oluşumu:** Yakıtın hidrojen içeriği arttıkça, NO<sub>x</sub> emisyonları artar. Doğal gazdaki daha yüksek alkin içeriği de NO<sub>x</sub> emisyonunu arttırmaya meyillidir.
- **Alev sıcaklığı:** Yakıt ve hava stokiometrik oranda yakıldığında, en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu ile sonuçlanan en yüksek alev sıcaklığına ulaşır.
- **Yakma alanında yakıt/hava karışımının tutulma süresi:** Tutulma süresi sürekli yakıt ve hava akışıyla brülörlerin arttırılmış miktarını kullanarak azaltılabilir. Bu NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltmak için bir yoldur ve gaz türbini gelişiminde erken bir aşamada uygulanabilir.
- **Atmosfer şartları:** Yakma havasındaki nemin artışı da NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur. Bu etki gaz türbininin yakma odasına su/yakıt emülsiyonu enjeksiyonuna benzeyen azaltılmış alev sıcaklığına neden olur.

Elde edilecek NO<sub>x</sub> kesin egzoz yoğunluğu gaz türbininin türüne bağlıdır. Bununla birlikte, gaz türbininin verimliliğini arttırmak ve NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak arasında bir çelişki vardır (Ayrıca, yüksek gaz türbini verimliliği kesinlikle daha önemlidir, çünkü daha az yakıt gereklidir.). gaz türbini verimliliğini artırma amacı gaz türbininde daha yüksek yakma sıcaklıklarına yol açar. Sonuç olarak, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için alınan tedbirler daha az etkilidir. Buna rağmen, kuru düşük NO<sub>x</sub> yakma odalarına sahip yeni inşa edilen yüksek verimli birleşik döngü tesisleri boru çıkışı NO<sub>x</sub> azaltım tedbirlerini kullanmadan 20 – 50 mg/Nm<sup>3</sup> egzoz yoğunluklarına ulaşabilir (bakınız Tablo 7.25). mevcut tesislerin NO<sub>x</sub> emisyonları bir tek Şekil ile gösterilemez, fakat eski tesislerin 75 mg/Nm<sup>3</sup> seviyesinin altında kalmadıkça çekmesine rağmen, 50 ve 75 mg/Nm<sup>3</sup> arasında değişir. Bununla birlikte, NO<sub>x</sub>'in düşük emisyon değerlerinin yüksek CO emisyonlarına yol açtığına da dikkate edilmelidir.

Artan sıcaklıkla, NO<sub>x</sub> emisyon seviyesi elektrik oluşumunun verimliliğinden daha yavaş artar. Bu nedenle, daha yüksek verimlilikler için teknik gelişmeler mg/Nm<sup>3</sup>'de daha yüksek bir NO<sub>x</sub> seviyesi gösterir.

Gaz türbini tipi	Güç (ISO koşullarında MW)	Proses atık gazı sıcaklığı (°C)	Proses atık gaz hacmi (kg/s)	% 15 O <sub>2</sub> ve ISO koşullarında NO <sub>x</sub> (ppm) emisyonu
GE Frame 6	38.34	539	136.98	25
W 251 B12	49.1	520	171.46	9-25 (9 ppm 1997'den beri)
ABB GTBC	52.6	517	179.17	25
Siemens V64.3	60.5	534	183.7	25
GE Frame 7EA	83.5	530	292.11	9
ABB GTI INI	83.8	505	317.06	15
Siemens V 84.2	106.7	548	346.99	9
ABB GTI In2	109.2	525	375.12	15
W 501 D5	109.8	527	361.97	9-25 (9 ppm 1996'dan beri)
GE Frame 9E	123.4	538	403.7	9-25 (9 ppm 1996'dan beri)
ABB GT 13 E	147.9	516	501.22	25
Siemens V 84.3	152	550	425.01	25
Siemens V94.2	153.6	546	498.95	9
GE Frame 7 FA	159	589	417.75	9
W 501 F	161.3	583	430.46	9-15 (9 ppm 1995'den beri)
ABB 13E2	164.3	525	524.81	25
GE 9FA	226.5	589	601.92	9-25 (9 ppm 1997'den beri)
<b>Notlar:</b>				
GE = General Electric Co. W = Westinghouse ABB Asea Brown Boveri Siemens = Siemens KWU				

Tablo 7.25: Yeni gaz türbinlerine yönelik seçili parametre ve NO<sub>x</sub> emisyon seviyeleri [185, Smith, 1995]

SCR ile donatılmış gaz türbinleri ile, atık ısı buhar kazanları ile (birleşik döngü, yan oluşum) hiçbir büyük sorun gözlemlenmemiş olduğundan, SCR gazla çalışan tesislerden NO<sub>x</sub> azaltmak için kanıtlanmış bir teknik olarak görülmektedir. SCR'nin dezavantajı olarak, amonyağın olası emisyonu kadar, basınç kaybı ve buna bağlı olarak verimlilikte dekayıp bütünleşmiş kirlilik önleme yaklaşımında hesaba katılması gerekir. [32, Rentz, bakınız., 1999]'e göre, SCR kullanılarak Kaliforniya'da 20 mg/Nm<sub>3</sub> elde edilmiştir. Bu sahada, atmosferik hava şartları aşırı ozon yoğunluklarına ya da sürekli yaz dumanı süreçlerine bağlı olarak yılın çoğu için daha kötü olduğundan, 20 mg/Nm<sub>3</sub> ya da daha az NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin karşılanması gerekir. Japonya'da ve Avrupa'da, büyük gaz türbinleri için (>100 MW<sub>th</sub>) 30 – 50 mg/Nm<sub>3</sub> doğal gaz yakımı ile elde edilebilir.

Gaz türbininde kuru düşük NO<sub>x</sub> sistemleri 9 – 42 ppmvd NO<sub>x</sub> (15 % O<sub>2</sub>), gaz için 9 - 50 ppmvd (15 % O<sub>2</sub>) elde eder. Yakıt olarak damıtıcı kullanılırken, kuru düşük NO<sub>x</sub> sistemlerinin kullanılması 42 – 90 ppmvd NO<sub>x</sub> (15 % O<sub>2</sub>), 20 – 30 ppmvd (15 % O<sub>2</sub>) elde eder[190, Davis and Black, 2000].

Dahili yakma motorlarında NO<sub>x</sub> oluşumu oranlarını yöneten en önemli parametre daz yakma sıcaklığıdır. Yakma sıcaklığını azaltmanın bir yöntemi yakıt/hava oranını düşürmektir – yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan aynı özel ısı kalitesi daha sonra düşük NO<sub>x</sub> emisyonları ve daha düşük maksimum yakma ısısı ile sonuçlanan daha büyük egzoz gazı birikimini ısıtmak için kullanılır. 'Zayıf yakma yaklaşımı' olarak adlandırılan bu birincil NO<sub>x</sub> azaltım tedbiri bazı gazla çalışan motorlarda kullanılır. Gaz halinde kıvılcım atan zayıf yakma (SG) ve dual yakıt (DF) motorları temel olarak CO ihracı için sıklıkla oksitlenme katalizörü ile donatılır. Gaz halindeki kıvılcım atan zayıf yakma gazı (SG) ve dual yakıt (DF) motorlarından çıkan NMVOC (metan olmayan uçucu bileşikler) emisyonu doğal gaz tüketimine bağlıdır. Yürürlükte olan düzenlemelere ve doğal gaz tüketimine bağlı olarak, NMVOC ikincil emisyon azaltım teknikleri bazı durumlarda gereklidir ve eş zamanlı CO ve NMVOC azaltımı için oksitlenme katalizörü daha sonra uygulanır.

Donanım	Kullanılan fuel oil veya SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> olarak)* (mg/Nm <sup>3</sup> )	Ortalama toz (ISO 9096 veya eşdeğer diğer metot)	Düşünceler
Gaz dizel, gaz modu	Doğal gaz ana yakıt, Pilot yakıt: ağır fuel oil (2.9 wt-% S, 0.05 wt-% kül, 9 wt-% mikro karbon kalıntıları)	1584-1613	10 ... 13	Asya'daki 120 MWe elektrik santrali
Kıvılcım tutuşmalı gaz motoru, (SG)	N/A	161-190	N/A	Kuzey Avrupa'da 5 MWe tesis
Kıvılcım tutuşmalı gaz motoru, SG (düşük NO <sub>x</sub> )	N/A	71-83	N/A	Amerikadaki 40 MWe tesis 'Normal' oranlı SG ile kıyasla yaklaşık % 3 daha yüksek yakıt tüketimi
Kıvılcım- tutuşmalı gaz motor, SG		5-13		SCR(15 % C <sub>2</sub> )
Dual yakıt motor-gaz modu - LFO modu	<0.05 wt -% S <sub>2</sub> <0.01 wt -% kül	147-177 1531-1751	N/A 6-27	

\* 0°C'de verilen NO<sub>x</sub> emisyonu, % 15 vol =O<sub>2</sub>'de 101.3 kPa, kuru gaz

Tablo 7.26: Sabit durum tam motor yüküne yönelik NO<sub>x</sub> emisyonları [192, TWG, 2003]

Gaz yakıtların verimli yakımı partikülatlar oluşturmaz. Bununla birlikte, bölgesel etkiler türbinleri etlileyebilecek giriş partikülat seviyelerini kontrol eder. [191, GE, 2002].

Yakma tekniği	Kapasite (MW <sub>th</sub> )	Emisyon azaltım tedbirleri	Hava emisyonları (mg/Nm <sup>3</sup> )			Düşünceler
			NO <sub>x</sub>	Toz	CO	
Gaz ile çalışan buhar kazanı	50-100		60 - 93	2 – 5.4	7 - 14	Tüm bu değerler % 3 O <sub>2</sub> 'de mg/Nm <sup>3</sup> 'dedir. 20 – 50 MW(th) ranjındaki daha küçük endüstriyel buhar kazanları % 3 oksijende yaklaşık 140 mg/Nm <sup>3</sup> emisyon sınırına ulaşabileceği bildirilmiştir, kuru gaz bazlı, 273 K
		Azaltım tedbirleri olmaksızın	300		100	
			150		100	
			150 - 200			
	100-300					
	>300		60 - 180			
Gaz türbini kombine çevrim yakma (doğal gaz)	>50	SCONOX	<6			Her ikisi de Birleşik Devletlerde faaliyet gösteren mevcut 32 MWe kojenerasyon ünitesine ve daha küçük 5 MWe gaz türbinine uyarlanmıştır Bu teknik 50 MW üzerindeki tesislere uygulanabilir
	50-100					50 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha düşük NO <sub>x</sub> seviyelerine erişilir
	100-300	Pm (DLN)	18 - 41.6		0.1 - 11.3	50 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha düşük NO <sub>x</sub> seviyelerine erişilir
		Pm (Su enjeksiyonu)	80 – 200		<50	
	>300	Pm (DLN)	<30		<30	Bu tesis ayrıca DLN teknolojisinin yüksek performansı nedeniyle artık faaliyette olmayan SCR sistemi de uygulamıştır
		Pm (iki aşama LNB)	47 – 73		6 - 60	
		Pm/SCR	33	<1	30	<2
Gaz türbin offshore	50-100		65 – 355		<8 - 668	Kuzey Denizi işlenmemiş doğal gaz ile çalışan 41.9 – 79 MW <sub>th</sub> gaz türbinleri
Doğal gaz ile çalışan gaz türbini	50-100	Pm (su enjeksiyonu)	30 – 57	5 – 7	<30	% 15 O <sub>2</sub> 'de
		DLN	18 - 35			% 15 O <sub>2</sub> 'de
		Pm (su enjeksiyonu)	50 – 90			% 15 O <sub>2</sub> 'de
	100-300					
	>300	DLN	50			

Notlar:

Pm(.) NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltacak birincil tedbirlerDLN Kuru düşük NO<sub>x</sub> yakma odası

SCR Selektif katalitik azaltım

Tablo 7.27: Gazlı yakıtlarla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı hava emisyonları



### 7.3.5 Su emisyonları

Gazla çalışan buhar kazanlarının ve türbinlerin işlemi aşağıdaki özel atık sulara yol açar:

- **Gaz yıkama, sızıntı ve durulama suyu:** gaz yıkama, sızıntı ve durulama suyu bir benzin dağıtıcısı yoluyla kanalizasyona taşınır. Miktar normal olarak 0.1 m<sup>3</sup>/h olacaktır. Benzinle kirletilebilir. Boru hatları suyla yıkanır, 150 m<sup>3</sup>/h 'lık bir tepe miktarı oluşur. Kirlilik daha sonra temel olarak tortulardan oluşabilir. Benzin bulunması beklenmez. Gaz türbini kompresörleri su ve deterjanla yılda yaklaşık dört kere temizlenmelidir. Deterjanın türü henüz tesbit edilmemiştir. Kullanılan deterjan biyolojik olarak azaltıcı olduğunda, yüey sularına boşaltılır. Ağır metaller mevcutsa, su biriktirilir ve yetkili bir yönetici tarafından saha dışında imha edilir.
- **Buhar kazanı suyu aşağı akıtımı:** bakım amaçları için buhar kazanından süzdürülen buhar kazanı suyu toplanır ve nötürleştirme havuzlarında arıtılabilir. Nötürleştirmeden sonra, su yüzey sularına boşaltılır. Buhar kazanı suyunun mineralleri ilave kimyasallarla giderilir. Buhar kazanı yılda bir kere süzdürülmelidir. Hızlandırılmış aşınmayı önlemek amacıyla aşırı ısıtma ve buharlaştırma borularında birikimleri önlemek için su/buhar döngüsündeki tuz içeriği belirli bir değer altında kalmalıdır. Tuz seviyesini belirli bir kuşakta tutmak için, buhar kazanı (gerekli ise) düzenli olarak varilden soğutma sistemine doğru aşağı akıtılır. Sonuç olarak aşağı akıtılan su düşük tuz yoğunluklarını içerecektir.
- **Mineral giderme tesislerinde aşağı akıtım:**

### 7.3.6 Yakma ve diğer tesis tortuları

**Katı ve sıvı tortular:** katı ve sıvı tortuların sadece küçük bir miktarı gaz türbinlerinin ve gazla çalışan buhar kazanlarının işlemi tarafından üretilir. Tortuların büyük bir kısmı bakım ve su arıtımı gibi yan faaliyetlerin ürünüdür. Bu yan faaliyetlerle ilgili atık maddeler hurda metalleri, kullanılmış benzini, paketleme maddelerini, gaz türbinlerini/kompresörleri yıkamak için kullanılan sıvıları, iyon eşanjörlerini ve aktif karbonu içerir.

**Kullanılmış petrol:** normal olarak türbin kontrol yağı ve makine yağı her on yılda değiştirilir. Bunlar kullanıldıktan kısa bir süre sonra da değiştirilebilir. Her durumda mevcut yağ miktarı 400 MW<sub>e</sub>'lik her ünite için 30000 ile 40000 civarında olmalıdır.

**Temizleme sıvıları:** kompresörleri ve türbinleri yıkamak için kullanılan sıvılar su içinde çözünebilir sentetik deterjanlardır. Bu sıvıları pervanelerden kir ve gres birikintilerini yok etmek için periyodik olarak kullanılırlar; temizleme kapalı proses boyunca gerçekleşir. Ortaya çıkan kirli su yetkili bir işleme tabii tutulmalıdır. Üretilen bu tür sıvıların toplam miktarı her kapalı temizleme gerçekleştiğinde (yılda dört kere) her bir ünite için 7 m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir.

**Demineralize su kimyasalları:** mineralleri giderilen su tesisleri atık kimyasallar ve reçineler üretecektir. İyon eşanjörü kurulursa, kullanılan kimyasallar klorik asit ve kostik soda olur. Bu tuzla genellikle nötürleştirmeden sonra yüzey suyuna boşaltılır. Reçineler her 3 ya 5 yıl arasında bir değiştirilmelidir. Kullanılan kimyasalların ve atık reçinelerin miktarı tesis türüne, işlenmemiş su kalitesine ve üretilen mineralsiz suyun miktarına bağlıdır.

### 7.3.7 Gürültü emisyonu

Bir çok AB ülkesi karşılanması gereken kendi çevresel gürültü düzenlemelerine sahiptir.

Genel olarak, gürültü kriteri değişik alan türlerine bağlıdır: arazi kullanımı (yerleşim, ticari, endüstriyel, vb...). Daha yaygın bir uygulama gece ve gündüz için özellikle yerleşim alanları için (geceleri genellikle 22.00 ile 07.00 saatleri arası) farklı miktarlar kullanılmaktadır. Endüstriyel alanlar sadece bir miktara sahiptir: eğer güç tesisi baz yüklü bir tesise, gece zaman değeri (şart koşulsuz) tasarım temeli olarak kullanılır.

Çevresel gürültü gereksinimleri proje alanı sınır hattının dışında ses reseptörü ile belirlenir. Ayrıca, mevcut arka plan gürültüsü, yeni güç tesislerinden çıkan gürültünün etlidini belirlemek için hesaba katılmalıdır.

Makul gürültü gereksinimlerinin belirlenmesi gereksiz masraflardan kaçınmak için gereklidir. Örneğin, endüstriyel alandaki arkaplan gürültüsü 70 dB(A) ise, 60 dB(A)'lık ya da daha az gürültü etkisi için tasarlamak amacıyla herhangi bir katma değer vermez. Gürültü seviyesinin 85dB(A)'yı aştığı alanlar içindeki tesisde gürültü için kulak koruması kullanılmalıdır ve bu alanlar açıkça belirtilmelidir. İnsanların uzun süre kalabileceği diğer alanlarda, gürültü seviyesi gerekli görülürse azaltılabilmelidir.

Termal tesislerin ana gürültü kaynakları: fanlar (girişleri, çıkışları, bacaları ve kapanışları içerir), pompalar, türbinler, buhar sistemleri, binalar (pencereler ve havalandırma sistemlerini içerir), soğutma kuleleri ve dönüştürücülerdir (duyulabilir tonlar 100Hz ve harmonik).

## **7.4 Gaz yakıtların yakılmasına yönelik MET belirlemede değerlendirilecek teknikler**

Bu bölüm, termal verimliliği artırmak için ve gaz yakıtların yakılmasından çıkan emisyonların önlenmesi ya da azaltılması için MET belirlenmesinde düşünülecek teknikleri gösterir. Son zamanda bunlar ticarete açıktır. Bu bölümde, ele alınacak teknikler genel bir yolla tanımlanmıştır, fakat tekniklerin bir çoğu için detaylı bilgi Bölüm 3'te gösterilmiştir ve gerçek durumda uygulandığında bu tekniklerin çevresel performansını detaylı olarak göstermek amacıyla bazı teknikler için örnekler Bölüm 7.2'de verilmiştir. Prensipite, Bölüm 3'te tanımlanan teknikler büyük ölçüde gaz yakıtların yakımına uygulanır ve genel olarak MET belirlemede ele alınacak teknikler olarak da görülmelidir.

Bu belgede tekrarlardan kaçınmak için, Bölüm 3.15'deki Çevresel Yönetim Sistemleri'ne (EMS) bakınız.

## 7.4.1 Gazlı yakıt ve likit katkı maddelerinin tedarik ve taşınmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Gaz boru hatları ile gönderilen basınçlı gazların enerji içeriğini yenileyecek genişleme türbini kullanımı	Daha verimli enerji kullanımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Proses atık gaz enerji içeriğinin yenilenmesi ile yakıt gazının ön ısıtması							
Tesis ve boru hatlarını dağıtan düzenli gaz kontrolleri	Daha az yangın riski						
Drenaj sistemli kapalı yüzeyler (yağlama yağının neden olduğu su ve toprak kontaminasyonunu önleyecek yağ ayırıcıları dahil)	Toprak ve yüzey suyu kontaminasyonunun önlenmesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Atık su arıtımı maliyeti	Toplanan drenaj suyunun durultma havuzunda arıtılması gerekir
SCR durumunda, amonyağın amonyak-su çözümü olarak depolanması	Daha yüksek emniyet	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Basınçlı sıvı amonyak olarak depolamadakinden daha az risk	Mevcut değil	

Tablo 7.28: gazlı yakıt ve likit katkı maddelerinin tedarik ve taşınmasına yönelik teknikler

## 7.4.2 Gazlı yakıt ile çalışan buhar kazanları ve türbinlerin verimliliğini artıracak teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Yakma çevrimi</b>							
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan verimlilik (yakıt kullanımı)	Mümkün	Çok sınırlı	Yüksek			
Atık su kullanılarak yakıt ön ısıtma	Daha verimli enerji kullanımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Yüksek buhar parametrelerine erişecek ileri materyallerin kullanılması	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	İleri materyallerin kullanımı yüksek basınç ve sıcaklıklara imkan verir
Duble yeniden ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Çoğunlukla yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Mevcut değil	
Rejeneratif besleme-suyu ısıtma	Artan verimlilik	Mümkün	Bazen mümkün		Yok	Mevcut değil	
Emisyon azaltma ve buhar kazanı performansına yönelik yakma koşulları İleri bilgisayarlı yakma kontrol sistemleri	Artan buhar kazanı verimliliği	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Tesise özgü	
Isı birikimi (ısı depolanması)		Mümkün	Mümkün			Mevcut değil	CHP modunda üretilen enerjiyi artırır
Yakma havası ön ısıtma	Artan verimlilik			Yüksek	Yok	Mevcut değil	Ön ısıtma sıcaklığı 150 °C'den yüksek ise, NOx emisyonu artma eğilimindedir
<b>Gaz türbinleri</b>							
Gaz türbini ve sonraki yenileme buhar kazanlarının ileri bilgisayarlı kontrolü	Artan buhar kazanı verimliliği	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	
Yüksek işletim sıcaklık ve basınçlarına erişecek ve böylece gaz türbini verimliliğini artıracak ileri materyallerin kullanılması	Artan verimlilik	Mümkün	Mümkün değil	Yeni tesislerde uygulanmıştır	Yok	Tesise özgü	İleri materyallerin kullanımı yüksek basınç ve sıcaklıklara imkan verir

Tablo 7.29: Gazlı yakıtla çalışan buhar kazanı ve türbinlerin verimliliğini artıracak teknikler

7.4.3 NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Gazla çalışan buhar kazanları</b>							
Düşük fazla hava	NO <sub>x</sub> azaltımı ve artan verimlilik	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Baca gazı resirkülasyonu	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Gazla çalışan buhar kazanlarına yönelik düşük NO <sub>x</sub> brülörleri	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek			Daha eski tesisler modern düşük NO <sub>x</sub> brülörlerinin alev uzunluğu nedeniyle sorunlarla karşılaşabilir
Selektif katalitik azaltım (SCR)	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Tesise özgü	
<b>Gaz türbinleri</b>							
Direkt buhar enjeksiyonu	NO <sub>x</sub> azaltımı	-	Mümkün	Yüksek			
Direkt buhar enjeksiyonu	NO <sub>x</sub> azaltımı	-	Mümkün	Yüksek		Tablo 7.2	
Kuru düşük NO <sub>x</sub> yanma odası	NO <sub>x</sub> azaltımı	Standart	Spesifik gaz türbinine bağlı	Yüksek		Tablo 7.2	Günümüzde, neredeyse tüm tgm endüstriyel yeni gaz türbini kullanımları kuru düşük NO <sub>x</sub> (DLN) sistemleri ile donatılmıştır. Eski GT'lerin mümkün olduğu hallerde maliyetler yeni bir gaz türbini maliyetinin %50'sine kadar çok yüksek olabilir
Selektif katalitik azaltım (SCR)	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak Slip	Tablo 7.2	Spesifik duruma özgü
CO oksidasyon katalizörü	CO'nun CO <sub>2</sub> 'ye indirgenmesi (dönüşümü)	Mümkün	Mümkün	Yüksek			Spesifik duruma özgü
Katalitik yakma	NO <sub>x</sub> azaltımı	Mümkün	-	Yok	Amonyak slip yok	Tablo 7.2	Çok ümit verici bir teknoloji olan katalitik yakıcı teknolojisi Birleşik Devletler'de henüz ticari hizmete girmektedir. İmalatçılar tarafından sağlanan bilgiler genellikle 'uygulamada gösterime' dayanır. Yaklaşık 5 – 6 mg/Nm <sup>3</sup> 'e kadar çok düşük NO <sub>x</sub> emisyonları hesaplanmıştır

Tablo 7.30: NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Sabit gazlı motorlar</b>							
Selektif katalitik azaltım (SCR)	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Amonyak slip	Tesise özgü	
Meyilli yanma Konsepti	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün değil	Yüksek			Kıvılcım ateşlemeli meyilli yanma (SG) ve gaz modundaki dual yakıt (DF) motorları temelde CO ihracına yönelik olarak oksidasyon katalizörü ile donatılmıştır. Kıvılcım ateşlemeli meyilli yanma (SG) ve gaz modundaki dual yakıt (DF) motorlarından kaynaklı NMVOC emisyonları doğal gaz bileşimine bağlıdır

Tablo 7.31: NOx ve CO emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 7.4.4 Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Demineraller ve kondensat parlaticılarının rejenerasyonu</b>							
Nötralizasyon ve sedimentsasyon	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Sudan arındırılması gereken sulu çamur	Tesise özgü	
<b>Elutriasyon</b>							
Nötralizasyon		Sadece alkalın işletimi halinde		Yüksek		Tesise özgü	
<b>Buhar kazanı, gaz türbini, hava ön ısıtıcı ve presipitatörün yıkanması</b>							
Nötralizasyon ve kapalı devre işletimi veya teknik açıdan mümkün ise kuru temizleme metotları ile değiştirme	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
<b>Yüzey akıntıları</b>							
Sedimentasyon veya kimyasal arıtma ve dahili yeniden kullanım	Azalan atık su tahliyesi	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	

Tablo 7.32: Su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

## 7.4.5 Off-shore donanımlara yönelik MET belirlemede değerlendirilecek teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni Tesisler	Uyarlanabilirlik				
							Kombine ısı ve güç üretimi offshore platformlardaki donanımlar için de uygundur ancak gerekli alan mevcut olmalı ve ilavbe ağırlık hesaba katılmalıdır
Isı ve güç birleşik üretimi (CHP)	Artan verimlilik	Mümkün	Sınırlı	Sınırlı			Daha fazla bilgi için bakınız örnek 7.2.4.2
Çoklu alan veya platformların güç entegrasyonu	Daha iyi enerji üretim ekipmanı kullanımı ve böylece daha az emisyon	Off-shore platformu ve petrol sahasının spesifik konumuna çok fazla bağlıdır		Sınırlı		Büyük maliyet yatırımı	
Enerji tüketen ekipmanın optimizasyonu	Daha az enerji tüketim araçları Daha az emisyon	Mümkün	Mümkün	Yüksek			
Parametrik modelleme	Türbin çalışmasının optimizasyonu ve böylece azalan emisyon	Mümkün	Mümkün	Yüksek			
Direkt buhar enjeksiyonu	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün				Su en azından 'yüksek basınçlı buhar kazanı besleme suyu' kalitesinde olmalı ve bu nitelik ve nicelikler bir offshore tesisinde genellikle bir anda elverişli olmazlar
Direkt buhar enjeksiyonu	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün				
NOxRED-GT	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün				
PEMS (Parametrik emisyon izleme sistemi)	Daha iyi emisyon izleme	Mümkün	Mümkün	Yüksek			
Cheng buhar enjeksiyon çevrimi	Eş zamanlı NOx azaltımı ve verimlilik artışı						

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Kuru düşük NOx yanma odası (DLN)	NOx azaltımı	Yeni gaz türbinlerine yönelik standart teknik	Mümkün, Uyarlama paketi olarak uygun ancak tüm türbin türleri için uygun değildir	DLN, gaz türbinleri ile çalışan offshore'a henüz uygulanmamıştır			DLN teknikleri mekanik tahrikli uygulamalarda daha sık kurulmuştur. Bunun nedeni % 44 elektrik üreten gaz türbinlerinin 'dual yakıt' tipi olmasıdır. Meyilli premiks özellikler ile likit yakıt kapasitelerini birleştiren türbinler herhangi bir saha deneyimine erişmemiş bu nedenle de bu tür türbinlerde uygulanmamıştır.
Meyilli yanma konsepti	NOx azaltımı	Mümkün	Mümkün değil	Yüksek			
Selektif katalitik azaltım (SCR)	NOx azaltımı				Amonyak slip	Tesise özgü	Bu tür bir sistemin boşluk ve ağırlığı ve özellikle de amonyağın off-shore platform üzerinde depolanması ve taşınmasından kaynaklı sağlık ve emniyet problemlerine göre bu teknik uygulanmamış ve hali hazırda offshore yakma tesisleri için uygun kabul edilmezler
Cheng buhar enjeksiyon çevrimi	Eş zamanlı NOx azaltımı ve verimlilik artışı	Mümkün					

Tablo 7.33: Off-shore donanımlarına yönelik MET belirlemede değerlendirilecek teknikler



## 7.5 Gazlı yakıtların yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET)

Bu bölüm ve içeriğinin anlaşılması amacıyla okuyucunun ilgisi belgenin önsözüne özellikle önsözün beşinci kısmına çekilmiştir: ‘Bu belge nasıl anlanır ve kullanılır’. Bu kısımda sunulan teknikler ve ilgili emisyonlar ve/veya tüketim seviyeleri veya seviye ranjları aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlanan bir süreçle değerlendirilmiştir:

- Sektöre yönelik önemli çevresel hususların - ki bunlar hava ve su emisyonları, termal verimlilik ile yakma tortularıdır – tanımlanması
- Bu önemli konulara hitap eden ilgili tekniklerin incelenmesi
- Avrupa Birliği’nde ve dünya çapında mevcut veriler bazında en iyi çevresel performans seviyelerinin tanımlanması
- Bu tekniklerin hayata geçirilmesi ile ilgili olan maliyet, çapraz medya etkileri temel itici güçler gibi performans seviyelerinin erişildiği koşulların incelenmesi
- Direktif Ek IV ve Madde 2(11)’e göre genel anlamda bu sektör için ilgili emisyon ve/veya tüketim seviyeleri ile mevcut en iyi tekniklerin (MET) seçilmesi.

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili Teknik Çalışma Grubu (TWG) tarafından yürütülen uzman kararları bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde önemli bir rol oynamıştır

Bu değerlendirme temelinde, teknikler ve mümkün mertebe MET kullanımı ile ilgili olan emisyon ve tüketim seviyeleri bir bütün olarak sektöre uygun olduğu kabul edilen ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıtan bu kısımda sunulmuştur. ‘Mevcut en iyi teknikler ile ilgili’ emisyon veya tüketim seviyeleri sunulduğu hallerde, bu sunulan seviyelerin MET tanımı içerisinde bulunan maliyet ve fayda dengesi göz önünde bulundurularak açıklanan tekniklerin bu sektörde uygulanmalarının bir sonucu olarak beklenebilecek çevresel performansı temsil ediyor olduğu anlaşılmalıdır. Ancak bunlar ne emisyon ne de tüketim sınır değerleridir ve bu şekilde anlaşılmalıdır. Bazı durumlarda daha iyi tüketim ve emisyon seviyelerine erişmek teknik açıdan mümkün olabilir ancak ilgili maliyetler ile çapraz medya değerlendirmeleri nedeniyle bir bütün olarak sektör için uygun MET olarak değerlendirilemezler. Yine de bu seviyelerin özel itici güçlerin mevcut olduğu daha spesifik durumlarda ispat edildiği kabul edilebilir

MET kullanımı ile ilgili emisyon ve tüketim seviyeleri belirtilen herhangi bir referans koşulu (örneğin; ortalama periyotları) ile birlikte anlaşılmalıdır

Yukarıda açıklanan ‘MET ile ilgili seviyeler’ kavramı bu belgede başka bölümlerde kullanılan ‘erişilebilir seviye’ ifadesinden ayrılmalıdır. Özel bir teknik veya teknikler kombinasyonu kullanılarak bir seviyenin ‘erişilebilir’ olarak açıklanması durumunda, bu; bahsedilen teknikler kullanılarak iyi durumda bakılan ve işletilen tesis veya süreçte belirli bir zaman dilimi içerisinde o seviyeye erişilmenin beklenebileceği anlamına gelmelidir.

Maliyetler ile ilgili veriler mümkün hallerde önceki bölümlerde sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler ilgili maliyetlerin büyüklüğüne ilişkin kaba bir gösterge sunarlar. Ancak bir tekniğin uygulanmasının asıl maliyeti örneğin vergi, harç ve ilgili tesisin teknik özellikleri gibi özel durumlara bağlıdır. Bu sahaya özgü faktörlerin burada tam olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Maliyetlere ilişkin verilerin olmaması durumunda, tekniklerin ekonomik kapasitesine ilişkin değerlendirmeler mevcut tesislerde yapılan gözlemlerden elde edilir.

Bu kısımdaki genel MET mevcut bir tesisin halihazırdaki performansına karar verme veya yeni bir tesis teklifine karar vermede bir referans noktası olarak düşünülmüştür. Bu suretle tesise yönelik uygun 'MET-temelli' koşulların belirlenmesine veya Madde 9(8) kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesis edilmesine yardımcı olacaklardır. Yeni donanımların burada sunulan genel MET seviyeleri veya bunlardan daha yüksek seviyelerde faaliyet gösterecek şekilde tasarlanabilmeleri öngörülmüştür. Ayrıca her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğine tabi olarak mevcut donanımların genel MET seviyelerinin ötesine geçebilmeleri de düşünülmektedir.

BREF'ler yasal bağlayıcı standartlar koymamakla birlikte endüstri, Üye Ülkeler ve kamuya belirli teknikler kullanılırken erişilebilir emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin kılavuz bilgiler sunmaları amaçlanır. Herhangi bir özel duruma ilişkin uygun sınır değerlerinin yerel hususlar ile IPPC Direktifi hedefleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15.1'deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.

### 7.5.1 Gazlı yakıtlar ile katkı maddelerinin temin ve taşınması

Gazlı yakıtların temin edilmesi ile taşınması ve aynı zamanda amonyak gibi katkı maddelerinin depolanması ve taşınmasıyla ilgili salınımları önlemede MET , Tablo 7.34'te özetlenmektedir.

Materyal	Çevresel etki	MET
Doğal gaz	Kaçak emisyonlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yakıt gaz sızıntı tespit sistem ve alarmlarının kullanılması</li> </ul>
	Doğal kaynakların verimli kullanımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basınçlı yakıt gazlarının enerji içeriğinin yenilenmesi için genişleme türbinlerinin kullanılması</li> <li>Buhar kazanı veya gaz türbininden kaynaklı atık ısı kullanılarak yakıtın ön ısıtma işleminden geçirilmesi</li> </ul>
Saf sıvılaştırılmış amonyak (kullanılır ise)	Amonyaga göre sağlık ve emniyet riski	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sıvılaştırılmış saf amonyakın taşıma ve depolanması için: 100 m<sup>3</sup>'den büyük sıvılaştırılmış saf amonyak basınç rezervuarı çift katman inşa edilmeli ve yeraltına yerleştirilmelidir. 100 m<sup>3</sup> ve daha küçük rezervuarlar tavlmalı imal edilmiş olmalıdır</li> <li>Emniyet bağlamında amonyak-su çözümü sıvılaştırılmış saf amonyak depolanması ve taşınmasından daha az risklidir</li> </ul>

Tablo 7.34: Gazlı yakıtların tedarik ve taşınmasına yönelik MET

### 7.5.2 Gazla çalışan yakma tesislerinin termal verimliliği

Özellikle gaz türbinleri, gaz motorları ve gazla çalışan buhar kazanları gibi gazla çalışan yakma tesislerindeki CO<sub>2</sub> salınımları gibi sera gazlarını azaltmak için bugünün bakış açısından en kullanılabilir seçenekler, tesisin termal verimliliğini arttırmak için olan teknikler ve işlemsel tedbirlerdir. Bu belgenin Ek 10.2'de tanımlanan CO<sub>2</sub> hapsi ve boşaltımı gibi ikincil tedbirler, çok erken bir gelişme aşamasındadırlar. Bu ortaya çıkarma teknikleri gelecekte kullanılabilir duruma gelebilirler fakt henüz MET olarak değerlendirilemezler.

Enerji verimliliği , ısı oranı ( güç tesisi sınırında yakıt enerji girişi/enerji çıkışı) ve burad ısı oarnını tersi olan güç tesisi verimliliği – üretilen enerji/yakıt giriş enerjisi ygzdesi- olarak değerlendirilmektedir. Yakıt enerjisi , düşük ısıtma değeri olarak ölçülür.

Gazla çalışan yakma tesisleri için, gaz türbini birleşik devirleri ile ısı ve güç ortak üretimi(CHP) uygulamaları, teknik olarak bir enerji temin etme sisteminin enerji verimliliğini (yakıttan yararlanma) artırmanın en etkili yoludur. Birleşik devir işlemi ile ısı ve güç ortak üretimi , ilk MET seçeneği olarak düşünülür , ör: yerel ısı talebi böyle bir sistemin inşasını mazur gösterecek kadar büyük olduğu zamanlarda. Emisyonların azaltımını destekleyen artan yakma koşullarıyla yüksek buhar kazanı performansı elde etmek için gelişmiş bilgisayarlı kontrol sisteminin kullanımı da ayrıca MET olarak değerlendirilmektedir.

Verimlilik gelişmesi , yakma odalarına ya da brülörlere temin edilmeden önce doğal gazın ön yakmasıyla da elde edilebilir. Isı, diğer güçlendirici işlemlerdeki soğutucudan egzoz gazları gibi düşük dereceli kaynaklardan elde edilebilir.

Güç tesislerini çalıştıran gaz motoru, daha büyük yük temelli uygulamaların yanı sıra merkezden yönetilmeyen ısı ve güç üretimi (CHP) için de uygundur. Toplam verimlilikle bağlantılı MET , düşük basınç buhar üretiminde %60-70'e kadardır. yardımcı yakmayla (ör: motor baca gazının oksijen içeriği, brülörde temel ' yakma hava ' olarak hareket ettiği zaman), düşük basınç ya da yüksek basınç buharın büyük miktarı etkili bir yolda üretilebilir. Oldukça yüksek bir şekilde uygulamada düzelen motor soğutucu su enerjisinin porsiyonuna bağlı olmasına rağmen, sıcak su üretiminde (tipik olarak 80 – 120 °C aralığındaki çıkış dereceleriyle) , gaz yakıt modundaki %90' kadarlık toplam verimlilik ( yakıttan yararlanma) MET olarak görülebilir. 200 °C'ye kadarlık sıcak su , tabii ki, baca gazındaki enerjiyi ve motor soğutucu enerjinin bir kısmını kullanarak üretilebilir. Başka bir avantaj ise, motorların yüksek termal verimliliğidir( düşük yakıt tüketimi ve dolayısıyla düşük özel CO<sub>2</sub> emisyonları). MET elektrik verimliliği ( alternatör terminallerde), % 40'tan 45'e kadar değişir (motor büyüklüğüne bağlı olarak) ve yakıtın düşük ısı değeri üzerinden hesaplanır.

Mevcut tesisler için, termal verimliliği yükseltmek amacıyla bir dizi düzeltme ve yeniden güçlendirme teknikleri kullanılabilir. Bölüm 2.7.8 'de tanımlanan teknik tedbirler , mevcut tesislerin verimliliğini geliştirmek için MET bölümü olarak ele alınmalıdır. Çift yeniden ısıtma gibi termal verimliliği geliştirmek için Bölüm 7.4.2 'de listelenen teknikleri ve tedbirleri uygulayarak ve gaz türbinleri ile buhar kazanları için en gelişmiş yüksek derece materyallerini kullanarak, Tablo 7.35'te özetlendiği gibi MET kullanımıyla bağlantılı enerji verimlilikleri elde edilebilir.

Ek olarak, verimliliği arttırmak için aşağıdaki tedbirlerin de göz önünde bulunurulması gerekmektedir:

- Yakma:yanmamış gazlar yüzünden ısı kaybını en aza indirmek
- Çalışan orta gaz ya da buharın mümkün olan en yüksek basınç ve derecesi
- Buhar kazanları ve CCGT tesisleri için soğutucu suyun (taze soğutucu su) mümkün olan en düşük derecesi yoluyla buhar türbininin düşük basınç sonundaki mümkün olan en yüksek basınç düşüşü
- Baca gazı yoluyla ısı kaybını en aza indirmek (atık ısı ya da bölgesel ısıtmadan yararlanma)
- Yalıtımla iletim ve radyasyon yoluyla ısı kaybını en aza indirmek
- Uygun önlemleri alarak dahili enerji tüketimini en aza indirmek(ör: buharlaştırıcının skorifikasyonu, besleme su pompasının daha büyük verimliliği vb.)
- Buharla gaz yakıtını ve ya da buhar kazanı besleme suyunu ön ısıtma
- Türbinlerin gelişmiş pervane geometrisi

CCGT tesislerine uygulanan verimlilik tedbirleriyle ilgili endüstriden parçalanmış bir görüş vardı, çünkü önerilen tedbirlerin toplam birleşik devir verimliliğine sadece sınırsal bir ilerlemesi olacaktır. Gaz türbini verimliliğinin ilerlemelerinin , buhar devrinin verimliliğinde bir düşüşle sonuçlanabileceği unutulmamalıdır. Yani, toplam devirin verimlilik ilerlemeleri sadece gaz türbininin verimlilik ilerlemelerinden daha düşük olacaktır. Yukarıda verilen açıklamalara dayanarak endüstri, önerilen tedbirlerin BREF LCP'nin son taslağıyla birleşmiş olmaması gerektiği görüşündedir.

Tesis türü	Elektrik verimliliği (%)		Yakıt kullanımı (%)	Düşünceler
	Yeni tesisler	Mevcut tesisler	Yeni ve mevcut tesisler	
<b>Gaz türbini</b>				
Gaz türbini	36-40	32-35	-	
<b>Gaz motoru</b>				
Gaz motoru	38-45		-	
CHP modunda HRSG'li gaz motoru	>38	>35	75-85	CHP tesislerinde geniş ranjda enerji verimlilikleri spesifik koşul ve kolak elektrik ile ısı talebine bağlıdır
<b>Gazla çalışan buhar kazanı</b>				
Gazla çalışan buhar kazanı	40-42	388-40		
<b>CCGT</b>				
Sadece elektrik üretimine yönelik ilave ateşlemeli veya ateşlemesiz (HRSG) kombine çevrim	54-58	50-54	-	
CHP modunda ilave ateşlemesiz (HRSG) kombine çevrim	<38	<35	75-85	CHP tesislerinde geniş ranjda enerji verimlilikleri spesifik koşul ve kolak elektrik ile ısı talebine bağlıdır. CHP modunda CCGT işletimi ile enerji verimliliği elektrik verimliliği miktarını içerir ve en iyi toplam ekserjetik verimliliğe erişmek üzere daima bir arada düşünülmelidir.
CHP modunda ilave ateşlemeli kombine çevrim	<40	<35	75-85	

Tablo 7.35: MET kullanımı ile ilişkili gazla çalışan yakma tesislerinin verimliliği (ISO koşullarına dayanır)

Bu MET seviyelerinin tüm işlem koşullarında elde edilebilir olmadığı unutulmamalıdır. Enerji verimliliği, tesisin tasarım noktasında en iyi haldedir. Tesislerin işlemsel periyodları boyunca gerçek enerji verimlilikleri de ayrıca, işlem süresince yüklemdeki değişiklikler, yakıtın kalitesi ve benzerideğişiklikler nedeniyle daha düşük olabilirler. Enerji verimliliği ayrıca güç tesisinin soğutucu sistemine ve baca gazı temizleme sisteminin enerji tüketimine bağlıdır. Yüksek verimlilik gaz türbinlerinin titreme ve daha yüksek kısa dönem NO<sub>x</sub> emisyonları gibi problemler yaratabileceği de kabul edilmelidir.

### 7.5.3 Gazla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı toz ve SO<sub>2</sub> emisyonları

Yakıt olarak doğal gaz kullanan gazla çalışan yakma tesisleri için, toz ve SO<sub>2</sub> emisyonları çok düşüktür. Herhangi ek teknik tedbire başvurulmaksızın, yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında tozun emisyon seviyeleri normalde 5 mg/Nm<sub>3</sub> 'ün altındadır ve SO<sub>2</sub> emisyonları 10 mg/Nm<sub>3</sub> (15 % O<sub>2</sub>) altındadır.

Rafineri gazı ya da patlama fırın gazı gibi diğer endüstriyel gazlar yakıt olarak kullanılırsa, diğer türlü gaz türbinlerine ya da motorlara zarar verebilecek baca gazındaki SO<sub>2</sub> miktarını ve toz içeriğini azaltmak için ön işlem gaz temizleme tedbirlerinin (bez filtreler gibi) uygulanması gerekir ve MET olarak değerlendirilir. Rafineri BREF 'te de bahsedildiği gibi, MET, 5-20 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sub>3</sub> emisyonuna yol açan rafineri gazın 20 – 150 mg/Nm<sub>3</sub> 'e H<sub>2</sub>S içeriğini sınırlar. Böyle gazlar partikül üretmezler. Doğal gaz rafinerisi durumlarında ayrıca Mineral Benzin ve Gaz Rafineri BREF 'e bakınız.

### 7.5.4 Gazla çalışan yakma tesislerinde NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları

Genel olarak gaz türbinleri için, gaz motorları ve gazla çalışan buhar kazanları, nitrojen oksitlerin(NO<sub>x</sub>) azatlımı, MET olarak değerlendirilir. Nitrojen bileşen interest'leri, nitrik oksit (NO) e nitrojen dioksit(NO<sub>2</sub>), bütünüyle NO<sub>x</sub>'e refer etmektedir.

Yeni gaz türbinleri için kuru düşük NO<sub>x</sub> ön karıştırma brülörleri (DLN) MET'dir. En çok mevcut olan gaz türbinleri, kuru düşük NO<sub>x</sub> ön karıştırma brülör tekniğine (DLN)dönüştürülebilmektedir fakat, su ve akım enjeksiyonunun kullanımı bazı durumlarda daha iyi bir çözüm olabilir. Bu her durum için ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Avrupa, Japonya ve Amerika'da işletilen çok sayıda gaz türbini ve gaz motorları, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmada SCR tekniğini uygulamaktadır. Kuru düşük NO<sub>x</sub> ön karıştırma brülör tekniği (DLN) ile su ve akım enjeksiyonunun yanında SCR de MET sonucunun bir parçası olarak değerlendirilebilmektedir. Yeni gaz türbinleri için DLN brülörleri standart bir teknik olarak görülebilmektedir böylece ek bir SCR sisteminin uygulanmasına genelde ihtiyaç yoktur. Daha çok miktarda NO<sub>x</sub> azatlımı için, yerel havanın kalite standartlarının talep edildiği NO<sub>x</sub> emisyonları, Tablo 7.37'de verilen seviyelerle karşılaştırıldığında SCR olarak değerlendirilebilir. (nüfusun yoğunlaştığı kentsel bölgelerde işletilmesi gibi)

Mevcut gaz türbinleri için su ve akım enjeksiyonu ya da DLN tekniğine dönüşüm, MET olarak değerlendirilmektedir. Değiştirilmeyen fakat yüksek giriş derecelerine sahip yakma tasarımlarının gaz türbinleri daha yüksek verimliliğe ve NO<sub>x</sub> değerlerine sahiptirler. Bu bağlamda, daha yüksek verimlilik ile kWh başına özel NO<sub>x</sub> emisyonlarının hala düşük seviyede oldukları göz önünde bulundurulmalıdır.

SCR sistemlerinin yenilenmesi teknik anlamda uygundur fakat HRSG için gereken boş alanın projede öngörülmediği ve bu yüzden de uygun olmadığı durumlarda, mevcut CCGT tesisleri için ekonomik anlamda makul değildir.

Farklı bir görüş de endüstri tarafından, birleştirilmiş döngünün uygulandığı durumlarda, HRSG'nin modifiye edilmesi gerektiğini ki bunun da sistemin SCR'nin birleştirilmesine imkan sağlayacak şekilde parçalanması ve yenilenmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu da zaten oldukça yüksek olan SCR maliyetlerini daha da arttıracaktır. Üstelik, SCR'nin çalıştırılması ve bakım giderleri oldukça yüksektir, bu yüzden SCR varolan birleştirilmiş döngüler için uygun maliyetli değildir. Endüstri ayrıca, tek döngülü gaz türbinlerinin uygulandığı durumlarda SCR'nin soğutulması olması gerektiğinden, uygun maliyetli olmadığını belirtmiştir. Bu da SCR'in çalıştırılmasına imkan verecek seviyede gaz derecesini azaltmak için ek bir soğutucuyu gerektirecektir. Soğutucunun ve Avrupadaki tepe yükleme tesislerinde sadece acil durumlarda çalıştırılan tek döngülü gaz türbinlerinin yüksek maliyetleri ve çalıştırma giderlerini daha da arttıracaktır. Yüksek maliyetler, çalıştırma ve bakım giderleri, gaz türbinlerinde SCR'nin uygulanmasını ekonomik anlamda unviable hale getirmektedir.

Gazla çalıştırılan sabit motor tesisleri için, meyilli yakma (lean burn) yaklaşımı, gaz türbinlerinde kullanılan kuru düşük NO<sub>x</sub> tekniğinin MET paralelidir. Bu tam anlamıyla yerleşmemiş bir yöntemdir ve NO<sub>x</sub> azatlım bölgesine herhangi bir ilave ayırıcın yada wate'nin sağlanmasına gerek yoktur. Gaz motorları bazen SCR donanımlı olduğundan, bu teknikler MET sonucunun bir parçası olarak da değerlendirilebilmektedir. CO emisyonlarının azaltılması için, oksidasyon katalizörünün uygulanması MET olarak değerlendirilmektedir ve doğal gaz yakımı için ilgili emisyon seviyeleri Tablo 7.36'da belirtilmiştir. Biyogaz ve arazi dolun gazları gibi diğer gazların yanması durumunda, kullanılan özel yakıtı bağlı olarak CO emisyonları yüksek olabilmektedir.

Kıvılcım ateşlemeli lean burn gaz (SG) motorlarının ve çift yakıtlı motorların NMVOC emisyonlarında gaz modu, doğal gazın birleşimine bağlıdır. NMVOC ikinci emisyon azaltma tekniği, bazı durumlarda eşzamanlı NMVOC ve CO azatlımları için oksidasyon katalizörünün uygulanması gerekebilir. CO değerleri, 100 mg/Nm<sub>3</sub> (15 % O<sub>2</sub>) 'ün ve formaldehit değerleri ise 23 mg/Nm<sub>3</sub> (15 % O<sub>2</sub>)'ün altında tutulmakta; oksidasyon katalizörü ile donanımlı gazla çalışan bir motor için MET olarak değerlendirilmektedir.

CO emisyonlarının en aza indirgenmesi için MET, iyi bir fırın tasarımı, yüksek performanslı izleme ve işlem kontrol teknikleri, yakma sisteminin bakımı ile sağlanan tam bir yakma işlemidir. Yakma koşullarının yanında NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmada iyi geliştirilmiş bir sistem, CO seviyelerini de 100 mg/Nm<sub>3</sub>'ün altında tutacaktır. Buna ek olarak, CO için oksidasyon katalizörünün uygulanması da, nüfusun yoğunlaştığı kentsel bölgelerde uygulandığında MET olarak değerlendirilebilir.

NO<sub>x</sub>/ CO emisyonlarının önlenmesi ve kontrolü ayrıca ilgili emisyon seviyeleri, Tablo 7.36 ve Tablo 7.37'de özetlenmiştir. Gaz türbinlerinden ve gaz motorlarından çıkan baca gazları, yaklaşık 11 – 16 vol-% O<sub>2</sub> içerirler, bu yüzden MET'in türbinler ve motorlarda kullanımı ile ilgili emisyon seviyeleri, 15vol-% oranında O<sub>2</sub> seviyesine ve referans noktası olarak standart koşullara bağlıdır. Gazla çalışan buhar kazanları için, 3 vol-% O<sub>2</sub> çoğunlukla referans noktası olarak kabul edilmektedir. MET'in ilgili emisyon seviyeleri günlük ortalamaya, standart koşullara bağlıdır ve tipik yüklenme durumunu temsil ederler. Tepe yüklenme için başlatma ve kapatma periyotları olduğu kadar baca gazı temizleme sisteminin işlemsel problemleri ve yüksek değerlerde olabilen kısa dönem zirve değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Tesis türü	MET ile ilişkili emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		O <sub>2</sub> Seviyesi (%)	Bu seviyelere erişecek MET	İzleme
	No <sub>x</sub>	CO			
<b>Gaz türbinleri</b>					
Yeni gaz türbinleri	20 - 50	5 - 100	15	Kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörler (yeni gaz türbinleri için standart ekipman) veya SCR	Sürekli
Mevcut gaz türbinlerine yönelik DLN	20 - 75	5 - 100	15	Mevcut ise uyarılma paketi olarak kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörler	Sürekli
Mevcut gaz türbinleri	50 - 90 <sup>(1)</sup>	30 - 100	15	Su ve buhar enjeksiyonu veya SCR	Sürekli
<b>Gaz türbinleri</b>					
Yeni gaz türbinleri	20 - 75 <sup>(2)</sup>	30 - 100 <sup>(3)</sup>	15	Meyilli yanma konsepti düşük-NO <sub>x</sub> , CO ve SCR için oksidasyon katalizörü ve CO için oksidasyon katalizörü	Sürekli <sup>(4)</sup>
CHP modunda HRSG'li yeni gaz motoru	20 - 75 <sup>(2)</sup>	30 - 100 <sup>(3)</sup>	15	Meyilli yanma konsepti düşük-NO <sub>x</sub> , CO ve SCR için oksidasyon katalizörü ve CO için oksidasyon katalizörü	Sürekli <sup>(4)</sup>
Mevcut gaz motorları	20 - 100 <sup>(2)</sup>	30 - 100 <sup>(3)</sup>	15	Düşük-NO <sub>x</sub>	Sürekli <sup>(4)</sup>
1	Endüstri ve bir Üye Ülke mevcut bir gaz türbinine enjekte edilebilecek su veya buhar miktarının sınırlı olduğunu ortaya atmıştır. Yüksek su veya buhar enjeksiyon miktarları gaz türbin bileşenleri hasarına neden olabilir. Bu nedenle ranjin 80 – 120 mg/Nm <sub>3</sub> ile değiştirilmesi gerektiğini iddia etmişlerdir.				
2	Endüstri bu ranjların MET yöntemine göre olmadığını iddia etmiştir. Ortaya atılan neden, MET Amerikan LAER yöntemi (erişilebilir en düşük emisyon oranı) ile aynı olduğundan verilen ranj ile aynı idi. Endüstri çevreyi (kentsel/diğer alanlar) hesaba katan çevresel kalite tahrikli yöntemi önermiştir. Bu ise kırsal kesimlerde konuşlanmış küçük tesislerin şehir alanlarındaki daha büyük tesislere göre daha zayıf MET seviyelerine sahip olacağını ifade eder. Endüstri, gaz modunda 190 mg/Nm <sub>3</sub> (15 % O <sub>2</sub> ) seviyelerinin gaz modundaki kıvılcım ateşlemeli (SG) ve dual yakıt motorlarına yönelik olası en düşük yakıt tüketimini ve CO, VOC vb.'nin yanmamış gaz emisyonlarını dikkate alarak toplam emisyonu temsil ettiğini ortaya atmıştır.				
3	Endüstri, teknik nedenlerden dolayı (yakıt bileşim etkisi) MET'i temsil etmek amacıyla CO'nun 110 – 380 mg/Nm <sub>3</sub> (15 % O <sub>2</sub> ) seviyesinde olması gerektiğinden söz etmiştir.				
2	Diğer bir Endüstri temsilcisi ranjların şu şekilde değiştirilmesi gerektiğini ileri sürmüştür:				
3	90 – 190 mg/Nm <sub>3</sub> 100 mg/Nm <sub>3</sub> bunun nedeni gaz motorlarına yönelik MET ile ilişkili emisyon seviyelerinin sadece doğal gaz yakımı için uygulanabilir olduğu ve arazi dolmuş gazı, biyogaz ve purifikasyon gazına benzer yenilenebilir gazlar için uygulanabilir olmamasıdır. Bununla birlikte, bu seviyelerin bu tür gazlara yönelik pazarda rekabet açısından dezavantaj oluşturabileceğini ileri sürmüşlerdir.				
4	Bir Endüstri temsilcisi sürekli motor emisyon izleme nedeniyle sürekli olmayan izlemeye geçmenin sabit içten yanmalı motorlara yönelik genel uygulama olmadığını önermiştir.				

Tablo 7.36: Bazı gazla çalışan yakma tesislerinden kaynaklı NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının azaltılmasına yönelik MET

Tesis türü	MET ile ilişkili emisyon seviyesi (mg/Nm <sup>3</sup> )		O <sub>2</sub> Seviyesi (%)	Bu seviyelere erişecek MET	İzleme
	No <sub>x</sub>	CO			
<b>Gazla çalışan buhar kazanları</b>					
Yeni gazla çalışan buhar kazanları	50 - 100 <sup>(1)</sup>	30-100	3	Kuru düşük NO <sub>x</sub> brülörleri veya SCR veya SNCR	Sürekli
Mevcut gazla çalışan buhar kazanları	50 - 100 <sup>(2)</sup>	30-100	3	Kuru düşük NO <sub>x</sub> brülörleri veya SCR veya SNCR	Sürekli
<b>CCGT</b>					
İlave ateşleme (HRSG) olmadan yeni CCGT	20 - 50	5 - 100	15	Kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörleri veya SCR	Sürekli
İlave ateşleme (HRSG) olmadan mevcut CCGT	20 - 90 <sup>(3)</sup>	5 - 100 <sup>(5)</sup>	15	Kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörleri veya HRSG'de gerekli alan sağlanmış ise buhar ve su enjeksiyonu veya SCR veya SNCR	Sürekli
İlave ateşleme (HRSG) ile yeni CCGT	20 - 50	30 - 100	Tesise özgü	Buhar kazanı kısmı için kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörleri veya Nox brülörleri veya SCR veya SNCR	Sürekli
İlave ateşleme (HRSG) ile mevcut CCGT	20 - 90 <sup>(4)</sup>	30 - 100 <sup>(5)</sup>	Tesise özgü	Buhar kazanı kısmı için kuru düşük-NO <sub>x</sub> premiks brülörleri veya HRSG yada SNCR'de daha önceden gerekli alan öngörülmüş ise ise buhar ve su enjeksiyonu veya SCR veya SNCR	Sürekli
1, 2 3	Endüstri ranjların değiştirilmesi gerektiğini iddia etmiştir: Üst limit 120 mg/Nm <sup>3</sup> 80 – 120 mg/Nm <sup>3</sup> bunun nedeni gazla çalışan buhar kazanları yakma sıcaklığı, brülör tipleri, buhar kazanı büyüklüğü, ısıtma yüzeyleri, hava sıcaklığı ve tesisin yük faktörüne bağlı olmasıdır. Buhar kazanının baca gazı geri dönüşümü ile donatılmış olması halinde NO <sub>x</sub> emisyonunu 100 mg/Nm <sup>3</sup> seviyesine düşürmek mümkündür. Ancak mevcut bir buhar kazanına baca gazı geri dönüşümü uyarlaması yüksek (düşük maliyetli değil) yatırım maliyetleri gerektirir.				
2	Bir Üye Ülke NO <sub>x</sub> azaltmaya yönelik birincil tedbirler ile (baca gazı yeniden dolaşımı, yakıt ve hava aşamalandırma) tam modifikasyondan sonra son zamanlarda ağır fuel oil'den doğal gaza dönüştürülen mevcut gazla çalışan buhar kazanlarına yönelik olarak, erişilebilir MET emisyon seviyelerinin 10 - 150 mg/Nm <sup>3</sup> 'e değiştirilmesi gerektiğini iddia etmiştir.				
4	Endüstri, ilave HRSG yakımı için kullanılan büyük duvar yakıcılar nedeniyle gaz türbini NO <sub>x</sub> emisyonunun 10 – 20 mg/Nm <sup>3</sup> 'de artış gösterebileceğini ortaya atmıştır. Bu artış kanal brülörlerinin lokal yüksek sıcaklıklarından kaynaklanır. Bu nedenle, ilave ateşleme durumunda MET ile ilişkili seviye 80 – 140 mg/Nm <sup>3</sup> aralığında olmalıdır.				
3, 4	Bir Üye Ülke 50 MW'den büyük CCGT'ye yönelik üst MET seviyelerinin 80 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha fazla olamayacağını ve 200 MW'nin üzerindeki tesisler için üst MET seviyesinin 35 mg/Nm <sup>3</sup> 'nin altında olması gerektiğini iddia etmiştir. Bunun nedeni bu seviyelerin şüpheli Üye Ülke'deki ELV'ler olarak tespit edilmiş olmasıdır.				
5	Bir Üye Ülke %0 MW'den daha büyük CCGT tesislerine yönelik üst seviyelerin, bu seviyelerin şüpheli Üye Ülke'deki ELV'ler olarak tespit edilmiş olduğundan 35 mg/Nm <sup>3</sup> 'den daha yüksek olamayacağını iddia etmiştir.				

Tablo 7.37: Gazla çalışan bazı yakma tesislerinden kaynaklı NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının azaltılmasına yönelik MET

Rafineri gaz için Mineral Yağ ve Gaz Rafineri BREF'e başvur. Doğal gaz rafinerileri durumunda da Mineral Yağ ve Gaz Rafineri BREF'e başvurunuz.

#### 7.5.4.1 Su kirliliği

Gazla çalıştırılan yakma tesisleri tarafından farklı atık su akımları (bkz. Ünite 1) üretilmektedir. Suya emisyonu azaltmak ve su kirliliğinden kaçınmak için Bölüm 7.4.4'te sunulan tüm tedbirler, MET olarak değerlendirilmektedir.

Güç tesislerinde az miktarlarda petrolle kirlenmiş suyun arasına oluşması engellenemez. Yağı ayrıştırma kuyuları genel olarak çevresel zararları önlemede yeterlidir.

3. Ünitelerde tanımlanan atık suyun arındırılmasında kullanılan diğer teknikler, bu sektörde genel olarak MET olarak değerlendirilir.

#### 7.5.4.2 Yakma tortuları

Endüstriler tarafından yakma ile oluşan atık maddeler ve yan ürünlerden, arazidoluma boşaltmak yerine yararlanma konusuna son derece özen gösterilmektedir. Ürünlerden yararlanma ve geridönüşüm, bu yüzden en uygun seçenektir.

#### 7.5.5 Offshore platformlarında işletilen yakma donanımlarına yönelik MET

Offshore sektöründe MET sonuçları, offshore platformlarında işletilen yakma kurulumlarının, onshore güç istasyonlarından daha karmaşık ve potansiyel olarak daha tehlikeli ortamda kullanıldıklarını göz önünde bulundurmaktadır. Buna ek olarak, boşluk ve ağırlık, onshore uygulamalarında yaygın olandan daha fazla ekipman yoğunluğuna yol açan, değerinin üzerinde bir seviyededir. Ayrıca, herhangi bir uygunsuz karışıklıktan ağırlık, boşluk, güvenlik ve çalıştırılabilirlik faktörleri dolayısıyla genel anlamda kaçınılmaktadır. Bu yüzden, su ve akım enjeksiyonu gibi yüksek niteliklere sahip su arındırma tesislerini ya da ek amonyak depolaması ile SCR'yi gerektiren teknikler, NOx emisyonlarını azaltmada offshore uygulamalarında Bat olarak değerlendirilememektedir.

Genel olarak, offshore platformlarında işletilen yeni gaz türbinleri için, kuru düşük NOx ön karıştırma brülörleri gibi (DLN) temel tedbirlerin kullanılması ile nitrojen oksitlerin(NOx) azaltılması, tekniklerin uygulanması mümkün olduğu sürece MET olarak değerlendirilebilmektedir. Kuru düşük NOx ön karıştırma brülörlerinin (DLN) gaz türbinlerinde kullanılarak elde edilen ilgili NOx emisyon seviyeleri 50 mg/Nm<sup>3</sup>'den daha azdır. Tüm çalıştırma koşullarında alev sabitliğinin sürdürülmesi gerektiğinden, aşamalı yakma işlemini başlatma ya da kısmi yükleme gibi düşük oranlarda sürdürmek mümkün olmayabilir. NOx oluşumu bu gibi periyotlar süresince azaltılamaz bu yüzden de bu periyotların oluşumu ve dayanıklılığı en aza indirgenmelidir.

Offshore gaz türbinlerini yenileme ya da inşa etme, modifikasyon işlem giderleri dolayısıyla arazi temelli türbinlere oranla çok daha maliyetlidir. DLN teknolojilerinin mevcut offshore gaz türbinlerinde yenilenmesi yüksek maliyetlere ve türbin paketlerinin yeni yakıt türleri ve yakma odaları içerisindeki boş alan kısıtlamalarına bağlı olarak sınırlandırılmıştır. Offshore'da sıklıkla kullanılan aeroderivatif türbinler için DLN'nin yenilenmesi genelde endüstriyel türbinlerde olduğundan çok daha karmaşıktır. Tüm yakma bölümleri değiştirilmeli ve DLN yakma bölümlerinin dış çapının genişliği dolayısıyla gaz türbininin orta çizgisi değiştirilmelidir. DLN teknolojisinin yenilenebilme imkanı bu yüzden, türbin türüne, karmaşıklığına, yaşına vb. göre platformdan platforma farklılıklar gösterebilir. Mevcut kurulumlar için MET seviyeleri, her durum için farklı şekilde belirlenmelidir.



Kıydan uzak gaz türbinlerinin çevresel etkisini azaltmak için, aşağıdaki tedbirler MET sonucunun bir parçasıdır:

- Yeni tesisler için, hem yüksek bir termal enerji hem de düşük bir emisyon spektrumu elde edebilen türbinler seçmek
- Sadece işlemsel olarak gerekli olan yerlerde, dual yakıt türbinleri kullanma
- ‘Spinning reserve’i azaltmak
- Kalori değeri, vb... gibi baca gazı yakma parametrelerinin küçük bir dizisini sunan üst kısım benzin ve gaz işlemlerinde bir noktada baca gazı desteği sağlamak
- SO<sub>2</sub> oluşumunu azaltmak için – kükürtlü bileşiklerin en düşük yoğunluklarını sunan üst kısım benzin ve gaz işlemlerinde bir noktada baca gazı desteği sağlama
- Kirliliği azaltan tepe noktalarında çoklu jeneratör ve kompresör takımlarını işletmek
- Bakım ve yeniden cilalama programlarını en iyi şekilde kullanmak
- Basınç kayıplarını olabildiğince düşük seviyede tutan bir yolla giriş ve çıkış sistemlerini sürdürme ve en iyi şekilde kullanmak
- Kirliliği ve mekanik güç gereksinimlerini azaltmak için işlemi en iyi şekilde kullanmak
- Platform ısıtma amaçları için gaz türbini egzoz ısısının kullanımı

Modern ‘dizel’ motorlar elektronikler tarafından kontrol edilen yüksek basınçlı yakıt enjeksiyonuyla mümkündür. Ayrıca, en uygun yakma odaları ve geçişler geliştirilmiştir. Bu teknoloji, özellikle hızlanma ve başlama süresince, arttırılmış yakıt tasarrufu, azaltılmış NO<sub>x</sub> ve diğer gaz emisyonları ve azaltılmış dumanla sonuçlanır. Mümkün olan yerlerde, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi emisyonları azaltmak için MET’i gösterir.

Kıydan uzak motorların çevresel etkisini azaltmak için, aşağıdaki tedbirler MET sonucunun bir parçasıdır:

- Yeni motorlar için, hem yüksek bir termal verimlilik hem de düşük bir emisyon spektrumu elde eden dizelleri seçmek
- İşlem gazının yakıt olarak kullanıldığı yerlerde, SO<sub>2</sub> gibi emisyonların minimum seviyesini sunacak üst kısım işlemlerinde bir noktadan destek sağlamak. Sıvı damıtılmış yakıtlar için, düşük kükürtlü türler tercih edilmelidir.
- Daha büyük dizeller için, ‘torch oil’ tutuşma değişimi ile gaz yakımını düşürmek
- Enjeksiyon zamanlamasını iyi kullanmak
- Kirliliği azaltan tepe noktalarında çoklu jeneratör ve kompresör işletmek
- Bakım ve yeniden cilalama programlarını en iyi şekilde kullanmak

Düşük NO<sub>x</sub> brülörleri birçok gazla çalışan ısıtıcılara, buhar kazanlarına ve fırınlara uygulanır. Bu, yakıt tüketimiyle değişiminin ve etkinin değerlendirilmesi gerekmesine rağmen, NO<sub>x</sub>’i azaltmak için MET’i sunar.

Kıydan uzak tesislerin enerji verimliliği artıracak ve böylece CHP tesislerinin uygulanması gibi kullanılan enerjinin her bir ünitesi için emisyonu azaltacak diğer tedbirler MET sonucunun bir parçasıdır. İşlemsel izleme yöntemlerine dayalı olanlar gibi ekipmanların en iyi kullanımına yardım eden teknikler MET’dir. Bu durumda, gaz türbini temeldir ve tahmini yazılım emisyonlarını hesaplamak için kullanılır. Bu yazılım ayrıca bir ya da daha çok türbin tesisi için kıydan uzak işlem personeline en uygun işlem nokta(lar)sını göstermek için kullanılır. Böyle sistemler emisyon uyum kontrolü ihtiyaçlarını yok etmez, fakat personele bütün yakma sistemini daha verimli kullanmasında yardım edebilir.

PEMS (parametrik emisyon izleme sistemi) gibi diğer teknikler kıydan uzakta çalışan mevcut ve yeni yakma tesislerinin her ikisi için MET’dir. Sistem, emisyon izleme ve emisyonları hesaplamak için uygun maliyetli çözümler sunar. Buna ek olarak, yakma işlemlerini ve gaz türbinlerinin bakım programını en iyi şekilde de kullanabilir.

Çoklu alanların güç bütünlüğü MET’dir ve mümkün mertebe platform ve saha bazında karar verilmelidir.

## 7.6 Gazlı yakıtların yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler

### 7.6.1 Katalitik yakım

Katalitik yakım, yakıtı alevsiz bir şekilde yakmaktır. Bu işlem, alevli yakma sistemleriyle aynı enerji miktarını daha düşük tepe sıcaklığında açığa çıkarır. Önemli bir şekilde, daha düşük sıcaklık NOx'in oluştuğu eşiğin altındadır. Bu, paladyum-bazlı katalitik yüzeyde yakma ile elde edilir. Katalizörün aktif olduğu sıcaklık kuşağı düşük ucun (yetersiz faaliyet) ve yüksek ucun (alçaltıcı) her ikisinde de sınırlandırıldığından, yakma işlemi üç aşamadan oluşur:

- **Ön yakım:** birleşik bir ön brülör, giren gaz/hava karışımının sıcaklığını katalizörü aktif hale getirecek gerekli değere çıkarır. Bu temel olarak düşük yük durumunda uygulanır. Genellikle yakıtın sadece küçük bir kısmı ön brülörde kullanılır.
- **Katalitik yakım:** katalize edilmiş yakım nispeten düşük sıcaklıklarda gerçekleşir ve böylece NOx oluşumunu kontrol eder. Yakıtın tamamı burada yakılmaz, çünkü katalizörün sıcaklığını çok fazla artıracaktır, böylece katalizör azalır.
- **Homojen yakım:** yakıtın geri kalanı lean-yakıt şartları altında yakılır. Bu alanın giriş ısısı katalitik yakım üst akıntısından dolayı oldukça yüksek olduğundan alev sabitliği oluşmaz.

Umut verici bir teknoloji olan katalitik yakıcı teknolojisi henüz sadece Amerika'da piyasaya sürülmüştür. İmalatçılar tarafından sağlanan bilgi genel olarak 'uygulamada gösterilen' tesislere dayanır. Katalitik yakım 1.5 MWe 'lik bir gaz türbininde sadece pilot ölçekte gösterilmiştir. 170 MWe 'lik bir gaz türbininde uygulama planları geliştirilmektedir. Bu teknolojinin kullanımıyla, 10 mg/Nm<sup>3</sup>'ten daha az NOx seviyeleri beklenmektedir.

### 7.6.2 Buhar soğutması

Diğer bir ileri gaz türbini gelişmesi hava soğutması yerine buhar soğutmasının kullanılmasıdır. Genellikle gaz türbini kompresöründen alınan hava türbin milini ve bıçaklarını soğutma için kullanılır. Soğutma havasının miktarı, kompresör hava akışının %20 ile 25'ine kadardır. Alınan hava yakma işlemi için uygun değildir ve türbin bıçaklarındaki dar kanallardan geçerken basınç kaybeder, bu da gaz türbini işleminde verimlilik kaybına yol açar. Sıkıştırılmış hava yerine buhar kullanarak, bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir. Buhar soğutması, hava soğutmasından daha verimlidir.

Yukarıda bahsedilen türbinlerde, kapalı bir buhar soğutması sistemi uygulanmıştır. Buhar, türbinler, bıçaklar, pervaneler ya da geçiş parçaları gibi sıcak parçaları soğutur. Kullanılan buhar, gaz türbini boyunca tekrar buhar ısıtma olarak genişletilebildiği buhar sistemine geri döndürülür. Soğutma için buharı yüksek basınçlı buhar türbinlerinin akış bölmesinden alınır. Buhar tekrar ısıtma sıcaklığına ısıtılır ve daha sonra ısı yenileme buhar jeneratöründen (HRSG) çıkan tekrar ısıtılmış buharla karıştırılır, ve daha sonraki genişleme için buhar türbininin orta basınçlı bölümüne yönlendirilir. Soğutma buharı, gaz türbini boyunca akan ana akışı etkilemez ve prensipte hiçbir su tüketiminin olmaması gerekir.

Buhar soğutmasını uygulayarak, türbin giriş sıcaklığı, yakma sıcaklığında hiçbir gerekli artış olmadığından artırılır. Sonuç olarak, NOx emisyonlarında bir artış olmadan daha yüksek bir verimlilik elde edilir. Hava yerine buharla soğutma, etkili bir şekilde kompresörlerden çıkan havayı, sıkıştırılmış havayı ve böylece kompresörün güç tüketimini azaltır. Bu, daha yüksek bir gaz türbini verimliliğiyle de sonuçlanır.

Bu yeni soğutma teknolojisi ile 2 puanlık kombine çevrim verimliliği gelişimi sağlanabilir ve ayrıca % 60'a kadar verimlilik de beklenebilir.

### 7.6.3 İleri gelişme potansiyelleri

Bazı önemli ileri potansiyel gelişmeler aşağıdakileri içerir:

- Elde edilecek aeroderivatif gaz türbinleri için 1700°C ve frame tür gaz türbini için 1500°C türbin giriş sıcaklığı sağlamak için soğutmanın ve maddelerin geliştirilmesi
- Merkezi soğutmak için kullanılan sıkıştırılmış havanın azaltılması
- Harici soğutma akışı (su ya da buhar) ile bıçakların soğutulması
- Gelecekte, genel olarak tek kristal pervanelerin kullanılması
- Türbin girişinde sıcaklık grafiğinin geliştirilmesi. Sıcak noktalar olmadan, genel sıcaklık madde [58,
- Eurelectric, 2001] tarafından verilen sıcaklık sınırının tam altına gelmiştir.

### 7.6.4 İyileştirici seçenekler

Gaz türbin prosesine giren egzoz gazını telafi edecek birkaç seçenek vardır. Bu bölüm, bu özelliklerin bazılarını tanımlar.

#### 7.6.4.1 Ara soğutulmuş iyileştirilmiş gaz türbini

Türbin tarafından oluşturulan gücün büyük bir kısmı kompresörü çalıştırmak için gereklidir. Gaz türbini verimliliğini artırmanın bir yolu, kompresör boyunca hava akışını soğutarak kompresörün işini azaltmaktır. Kompresör gücü ses akışına orantılıdır. Teorik olarak, her bir kompresör aşamasından sonra soğutma, kompresörün işinin en büyük azaltımını gerçekleştirecektir, buna rağmen uygulamada, soğutma aşamalarının sadece sınırlı rakamları uygulanabilir.

Gaz türbini egzoz gazının sıcaklığı kompresörün çıkış havası sıcaklığından daha yüksekse, egzoz gazından kompresör çıkış havasına bir miktar ısının aktarılması mümkündür. Bu, gaz türbini verimliliğini geliştirir, çünkü gazı istenilen türbin giriş sıcaklığına ısıtmak için daha az yakıt gereklidir. Bu tür iyileştirme temel olarak orta sıkıştırılmalı gaz türbinleri ya da ara soğutulmuş kompresörlü gaz türbinleri için kullanılır.

Tanımlandığı gibi hem iyileştirmenin hem de kompresör ara soğutmasının uygulanmasını içeren tasarımlar 1200°C'lik türbin giriş sıcaklığında hesaplanan %54'lük verimliliğe ulaşır. [58, Eurelectric, 2001].

#### 7.6.4.2 HAT çevrimi

Nemlendirilmiş hava türbin çevriminde (HAT), hava kompresöründen sonra sıkıştırılmış havanın nemlendirilmesi sıkıştırılmış havanın sıcaklığının düşmesini sağlar. HAT çevriminde bütün hava, kompresör ara soğutucularından ve gaz türbini çıkışından çıkan atık ısıyı kullanan su buharıyla doymun hale getirilir. Bu çevrim ile, egzoz gazlarından çıkan yeniden oluşturulmuş ısının daha yüksek olası bir miktarı ara soğutulmuş iyileştirme işlemiyle kullanılır. Bu döngüdeki zorluk bütün kompresör havasının suyla doymun hale gelmesi yüzünden çok fazla artmıştır. Yakma havasındaki su buharının yüksek içeriği brülörler için de sorun oluşturabilir. Buna rağmen, daha düşük kompresör oranı daha düşük verimlilikle sonuçlanır. %53 civarında bir verimlilik 1200°C 'lik türbin giriş sıcaklığı için uygundur. [58, Eurelectric,2001].

### 7.6.4.3 TOPHAT çevrimi

Bu işlemde hava, su enjeksiyonu yoluyla kompresör girişinde nemlendirilir. Teorik olarak, kompresörün her aşamasından sonra enjeksiyon mümkündür. Bu gaz türbini verimliliğinde %50 oranında artış ve çevrim verimliliklerinin önceden tanımlanan en yüksek değeri olan 1200 °C giriş türbin derecesi sağlamaktadır. SİLİNDİR çevriminin bir diğer gelişmesi ile farklı kompresör aşamalarının arasına su enjekte etmek mümkündür. Bu yüzden su ısıtılmalı ve basınçlanmalıdır. Enjekte edilen suyun ısıtılması için çıkış gazının ısısı kullanılmaktadır. [58, Eurelectric, 2001].

### 7.6.4.4 CHAT çevrimi

Kademeli Nemlendirilmiş İleri Türbin (CHAT) döngüsü, alçak ve yüksek basınçlı gaz türbinlerini ayrı şaftlarda kullanır ve suyun doygunluğuna bağlı olarak artan kütle akımının türbinden geçmesine imkan veren kompresör ve türbinlerden oluşmaktadır. Çevrim farklı kompresörler arası soğutma olduğu kadar, farklı türbinler arası baca gazı ısıtma işlemlerini de kapsamaktadır. [58, Eurelectric, 2001].



## 8 ATIK VE YENİLENEN YAKITIN BİRLİKTE YAKILMASI

Direktif 2000/76/EC'ye göre yönetilen özel olarak tasarlanmış ve işletilen yakma tesislerindeki yakmanın yanısıra, kirli biyomas ve belli atık kesimleri gibi atık, kısmen atık yakma Direktifi ve özel ulusal kanun içinde uygulama formunda LCP Direktifi tarafından yönetilen güç tesisleri gibi düzenli yakma kurulumlarında da ortak yakılabilir. LCP Direktifinde tanımlanan 'temiz' biyomasın ortak yakması bu belgenin 4. Bölümünde açıklanmaktadır. Bu anlamda, referans, işlemde olan 'katı yenilenen yakıtlar' üzerindeki CEN çalışmasına da verilebilir. Bu bölüm temel olarak büyük yakma tesislerindeki (ör: kömürle ya da linyitle çalışan, turba,tahta, kömür yakan sıvılaştırılmış yatak buhar kazanları)belli atık materyallerin ortak yakılmasının etkileri üzerine yoğunlaşmaktadır. Hali hazırda, büyük yakma tesislerinde üç ana faktör ,atık ortak yakması fikrini desteklemektedir:

- Mevzuat yüksek kalorifik değerli (ör: . >6000 kJ/kg kuru madde) atık ve biyomas atıkların boşaltımını uygun bulmamaktadır. Dolayısıyla, kişisel atık bölümlerini arıtmak için alternatif yolların kurulması gereklidir. Birleşik yakma diğerlerinin içinde bir seçenektir ( tekli yakma, mekanik biyolojik arıtmayı kapsayarak)
- Kyoto protokolü gerekleri altında , sera gazı emisyonları dünya çapında azaltılmalıdır. Biyomas atıklarının birleşik yakımı (ve bazı atık bölümleriyle belli kısıtlamalarla), sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir seçenektir. Enerji pazarının liberalleşmesi, enerji üreticileri üzerindeki ekonomik baskıyı şiddetlendirmektedir.
- Atık ve biyomas atıklarının ortak yakılması onlar için yeni bir iş oluşturacaktır ve bu, büyük yakma tesislerinin işletilmesini ekonomik olarak daha çekici kılacaktır.

Bu bölümde, 'ikinci yakıt (SF)' terimi , yakıt olarak kullanılabilen (ikinci yakıt) yeterince yüksek kalorifik değere sahip olan ve büyük yakma tesislerinde geleneksel yakıtlarla ( tipik olarak kömür, linyit, sıvı yakıtlar vb.) birlikte ortak yakılabilen tüm atık türlerini kapsamaktadır. Yazında günümüzde,atık, yenilenen yakıt ( REF), yakıttan elde edilen atık (RDF) ya da yakıttan çıkarılan atık biyomas olarak bilinen materyalleri kapsar. Buradaki niyet, bu terimlerin tanımları üzerine bir tartışmaya girmek değildir. CEN önerilerinde daha fazla bilgi bulunabilir. Ayrıca, bu materyallerin bazıları , zararlı maddeler içerebilecekleri için zararlı olarak sınıflandırılabilirler. Temiz biyomasın ortak yakılması büyük yakma tesisleri üzerinde AB Direktif 2001/80/EC'de verilen biyokütlün tanımına uyar ve biyomas ile turbanın yakmasıyla ilgili açıklamaların bulunduğu Bölüm 5 ile ilgilidir. İkinci yakıtların yakmasındaki anahtar konular aşağıdakilerdir:

- Yakıt kalitesi ve özellikleri
- Buhar kazanı tasarımı
- Yakıt taşınması ve beslemesi
- Cüruf, ya da yatak takılaştırma (sıvılaştırılmış yatak buhar kazanı)
- ısı transfer yüzeylerinin kirlenmesi
- sıcak korozyon
- sadece geleneksel yakıt kullanıldığında meydana gelen emisyonlara kıyasla emisyon seviyeleri üzerine etkileri
- kül maddeleri, dip külü ihracı
- atığın depolanması; yakmadan katı atık/tortular için yararlanma ve/ya da boşaltım seçenekleri

LCPlerde büyük bir materyal çeşitliliği ortak yakılabilir. Bölüm 8.3 AB'de LCP tesislerinde hali hazırda ortak yakılan ikinci yakıtların listesini vermektedir.

Bu bölümün alanı içinde, ikinci yakıtların ön arıtıma tabi tutulduğu farz edilir, ki bu tipik olarak , yakılabilir bölümlerin yakılamayan bölümlerden ayrıldığı anlamına gelmektedir. Bu konunun dha iyi anlaşılmasını sağlamak için, referans olara Atık BREFler gösterilir. Bu belgeler, atıkların yakılması ya da ön arıtımı gibi konuları kapsar. Özellikle:

- Atık Arıtması (WT): bu BREF herhangi yakma işlemindeki ( büyük yakma tesislerinde, çimento işlerinde, kimyasal işlerde demir-çelik ve benzerlerindeki gibi) yakıt olarak kullanılabilmesi için atık transformasyonu ile ilgilenen işlemleri ve teknikleri açıklar. Bu ön arıtımlar, ör: düzenleme, ezme, hazırlık ve daha fazlasıdır.
- Atık Yakma (WI): bu BREF yakmayla ilgilendir ve Atık Yakma Direktifi tarafından kapsanan benzer tesisleri kapsar.

## 8.1 LCP'de ikincil yakıtların birlikte yakılmasında kullanılan uygulamalı proses ve teknikler

Büyük yakma tesislerinde ikinci yakıtların kullanımı, belli işlemlerin ve tekniklerin kullanımı anlamına gelmektedir. Bu aktivitelerle bağlantılı teknikler, bu bölümde açıklanmaktadır. Diğer bölümlere ve gerekli olduğunda diğer BREFlere çapraz referans yapılır.

### 8.1.1 Kabul ve ön kabul prosedürleri

Bu sistemler ve prosedürler, ikinci yakıtların (örneğin atıklar), öngörülen kullanımlarına uygunluğunu sağlayacak uygun teknik değerlendirmelere tabi olduklarını temin etmek üzere mevcuttur. Çıkarılan atık yakıtlarla olası temasta personelin ve diğer kişilerin sağlık koruması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ön kabul ve kabul ile ilgili daha fazla bilgi Atık Arıtma BREF'te bulunabilir.

### 8.1.2 Boşaltma, depolama ve taşıma

İkinci yakıtların boşaltım, depolanma ve taşınma yolları , toplamının durumuna ve farklı materyallerin fiziksel özelliklerine bağlıdır.

**Gazlı** ikinci yakıtlar (SF) normalde , boru hatları yoluyla güç tesislerine taşınırlar ve depolama olmaksızın doğrudan brülörlere beslenirler. Bu materyaller için kullanılan tekniklerin çeşitleri, gazlı yakıtlar için kullanılanlardan ( Bölüm 7'ye bakınız) farklı değildir.

**Sıvı SF**, ikinci yakıtın üretildiği yerin konumundaki nakliye sisteminin kullanılabilirliğine bağlı olarak, gemi, tren, kamyon ya da boru hattıyla temin edilebilir. Sıvı ikinci yakıt, bölgedeki tanklarda depolanabilir ya da doğrudan buhar kazanına beslenir.

Katı ikinci yakıtın depolanması ve taşınması, büyük ölçüde ikinci yakıtın fiziksel özelliklerine bağlıdır, örneğin:

- Kurutulmuş çamur (granül), gemi, tren, ya da kamyonla temin edilebilirler ve kaçak toz emisyonlarından kaçınmak için silolarda ya da kapalı depolarda depolanabilirler. Kurutulmuş çamur , hygroscopic özellikleri nedeniyle hemen yakılmalıdır.
- Çamur silolardaki ya da depolardaki metan oluşumu, düzenli hava eşanjörü tarafından kontrol edilmelidir. Metan ya da güzel kokulu bileşenleri içeren hava, yakma hava olarak kullanılmalıdır. Buhar kazanının durduğu zamanlarda , hava eşanjörü ve egzoz gazının uygun arıtması garanti edilmelidir.
- Emisyon kokusunu engellemek için, kokulu çamurun nakliye edilmesi ve silolarda ya da kapalı depolarda depolanması gerekmektedir.
- Islak çamur belki kömür bölgesindeki kömür üzerine püskürtülebilir, fakat emisyon kokusunun olası üretimi ve atık su arıtmasına seyreltme göz önünde bulundurulmalıdır.
- Biyomas depolanması ve taşınması için özel koşullara yöneliktir, Bölüm 5.1.1'e referans yapılır.

### 8.1.3 İkinci yakıtların ön arıtımı

Bu bölüm , gazlı , sıvı ya da pülverize katı yakıt yakması amacıyla yakıtı hazırlamak için uygulanan işlemlerini (ör: öğütme, gazlaştırma, piroliz ve ön yakma) açıklamaktadır. Bu ön arıtım , fırındaki yakıtın konaklama zamanı kısa olduğu için buhar kazanında eşit burnout sağlamada gereklidir. İkinci yakıt yakmanın en doğrudan yöntemi, ana yakıtla karıştırmaktır. Aşağıdaki ön arıtım teknikleri devamındaki paragraflarda açıklanmaktadır:

1. haddeleme
2. ön yakma
3. kurutma (WT BREF 'te daha fazla bilgi bulunabilir)
4. piroliz (WT BREF 'te daha fazla bilgi bulunabilir )
5. gazlaştırma (WT BREF 'te daha fazla bilgi bulunabilir)
6. metanlaştırma (WT BREF 'te daha fazla bilgi bulunabilir).

Bu ön arıtım tekniklerinden bazılarının Atık Arıtma ve Atık yakma BREFlerde zaten açıklanmış olduğuna dikkat etmek önemlidir(yukarıdaki listeye bakınız). Bu sebeple, bu bölümde daha fazla açıklama bulunmamaktadır.

#### 8.1.3.1 Haddeleme

Haddeleme, katı yakıtları, güç tesisinde kullanılmaya uygun boyuta dönüştürmek için uygulanır. Örneğin, partikül boyutu, sıvılaştırılmış yatak buhar kazanlarında tipik olarak 100 mm'den büyük değildir ve pülverize yakıtla çalışan buhar kazanlarında ise tipik olarak  $75 \mu$  'dan azdır.katı yakıtlarla kullanılan öğütme çeşidi üzerinde bilgi, Bölüm 4.1.3 'te bulunmaktadır.

#### 8.1.3.2 Ön yakma

Atmosferik sıvılaştırılmış yatakta (FBC) ön yakma, pülverize kömürle çalışan buhar kazanlarında düzgün şekilde yakılamayan materyaller için bir seçenektir. Bu özellikle, pülverize olması zor olan yakıtları ya da kirlenmiş kül içeren yakıtları ilgilendirmektedir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, sıvılaştırılmış yatak yakma sadece bir öğütücüye ya da yakıtın kaba öğütülmesine ihtiyaç duyar. Toz haline getirme gerekli değildir.



FBC'leden çıkan baca gazları, ana kazana yönlendirilmez. Entegrasyon işlemi sadece su/akım yönündedir. Bu sistemler, 4. Ünite ve Bölüm 5.1.3.2'de tanımlanan bağımsız sistemlere benzerdir. Bu durumda, ikinci yakıttan çıkan küller, pülverize edilmiş kömür külünün niteliğini de etkileyecektir.

### 8.1.3.3 Kurutma

Kömür öğütücüsünde kurutulamayacak kadar ıslak olan yakıtın, ana yakıtla karıştırılmadan önce başka bir yerde kurutulması (ön ısıtma) gerekmektedir. İkinci ıslak yakıtın kurutulması bir güç istasyonunda ya da yakıtın üretildiği, değerlendirildiği ya da toplandığı yerde yapılabilir. Bu geniş ölçüde yerel temel yapıya ve ikinci yakıtın türüne bağlıdır. Yakıtın kurutulması, kütle ve ısı aktarımının fiziksel ve fiziko-kimyasal süreçlerine bağlıdır ve nemin yakıttan buharlaştırılması ile sonuçlanır. Nemin buharlaştırılması için gereken ısı, konveksiyon(ısı yayımı), iletimi ya da radyasyon yoluyla sağlanabilir. Kurutma işlemi geniş yakma tesislerine özgü olmadığından, bu işlemler bu belgede ayrıntılı olarak ele alınmamıştır. Ayrıntılı bilgiye, Atık Madde Arındırma (WT) BREF'inden ulaşılabilir.

Üç türde kurutucu bulunmaktadır:

- Konveksiyon kurutucular: kurutulacak ürün ve ısıtma ortamı arasında doğrudan bir temas vardır. Bu yüzden kurutucular, doğrudan kurutucu ya da adyabatik kurutucu olarak da adlandırılmaktadır. Yakıttaki nem ısıtma ortamı yoluyla ihraç edilir.
- İletim kurutucular: ürün ve ısıtma ortamı arasında doğrudan bir temas yoktur. Isı aktarımı ısıtma yüzeyleri aracılığıyla yapılmaktadır. Nem, bağlantılı işlemlerde kullanılan miktarın yaklaşık %10'unu kapsayan gaz taşıyıcıları yoluyla ihraç edilir. Bu yüzden iletim kurutucuları tozlu ya da kokulu atıkların atılmasında tercih edilebilir.
- Radyant kurutucular: bunlar ikinci türdeki yakıtların kurutulmasında uygulanmamaktadır.

Kurutulması gereken ikinci yakıtlara tipik örnekler: nem içeriği %50'yi aşan lağım suyu, çamur ve gübre (tavuk çöpi gibi)

### 8.1.3.4 Piroliz

Piroliz, yakıtın yüksek derecelerde, oksijenin varlığında gaz, sıvı ya da katı haldeki yakıtlara dönüştürüldüğü termo-kimyasal bir işlemdir. İki tür piroliz işlemi bulunmaktadır:

- **Hızlı piroliz süreçleri**, işlem derecesinde hammaddenin sürekli olarak ısıtıldığı işlem, piroliz yağın ya da bu yağdan elde edilen özel bileşenlerin üretimi için geliştirilmiştir.
- **Karbonizasyon süreçleri**, hammaddenin piroliz derecesine yavaşça ısıtıldığı yüksek oranda katı üretimi ile sonuçlanan işlemdir

Bu işlemle üretilen katı ürün (char olarak adlandırılır) çok miktarda karbon içerir ve kömür olarak kullanılabilir. Üretilen sıvı ve katı materyaller, birlikte yakma öncesinde depolanabilir. Böylelikle bu materyallerin güç tesisinin çalışmalarında bağımsız olarak ön ısıtma işlemleri yapılabilir. Üretilen gazlar çoğunlukla endotermik dönüşüm işlemleri için gereken ısıyı karşılamakta kullanılır.

Piroliz, geniş yakma tesislerine özgü olmadığından bu işlemler, belgede daha ayrıntılı şekilde incelenmemiştir. Ayrıntılı bilgiye, Atık Yakma (WI) BREF'inden ulaşılabilir.

Piroliz, pülverize edilmiş kömür ya da linyitle çalıştırılan güç tesislerinde, gereken boyutlarda kömür öğütücülere yerleştirilemediği durumlarda ikinci yakıtın birlikte yakılma işleminde kullanılmaktadır.

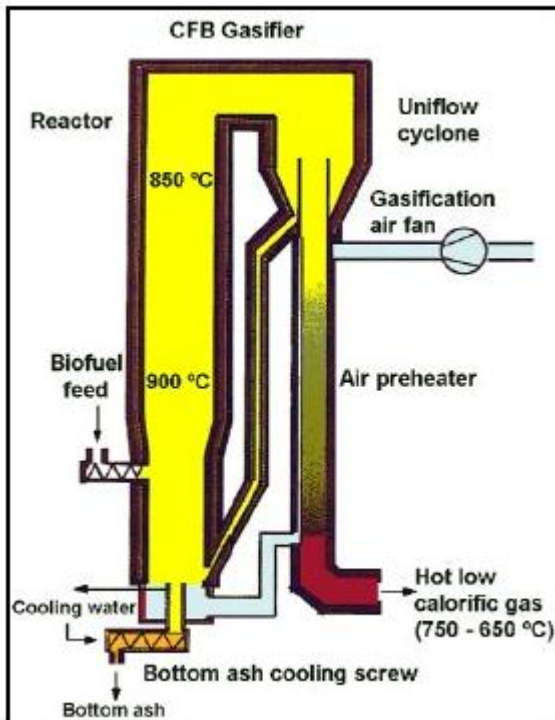
Pirolizin uygulandığı örnek bir tesis, kömürle çalışan güç tesisinde ıslak tabanlı buhar kazanı ve 769 MW<sub>th</sub> termal alım ile artık maddelerden arındırılmış yakıtların (RDFs) birlikte yakılması için geliştirilen ve 'Contherm' olarak adlandırılan bir tesistir. Piroliz işlemi, atığı yaklaşık 550 °C'de ve hiç ek hava olmadan ısıtan gaz ya da benzin brülörleri yoluyla dolaylı yoldan ısıtılan iki adet devirli fırın içerisinde fark edilmektedir. Piroliz gazı güç tesisinde soğutulmadan doğrudan yakılır. Pirolizin atık maddeleri elenir ve karbon içeren ince partikül parçaları kömür öğütücülere verilir. RDF, farklı kaynaklardan elde edilen kesilmiş plastik atıklardan, endüstriyel atıklardan kağıt endüstrisinden çıkan iri taneli maddelerden oluşmaktadır. atık çöplerin boyutunun 200mm'yi aşmaması gerekmektedir. Geri dönüşümü yapılabilen yaklaşık 7900t/yr metal, tekrar işleme yapılan tesislerden çıkarılacaktır. Güç tesisi SCR ve ıslak FDG ile donanımlıdır. [98, DFIU,2001].

### 8.1.3.5 Gazlaştırma

İkinci yakıtların baz türleri, buhar kazanında birlikte yakma işlemine girmeden önce yeterli bir temizleme işlemini gerektirecek miktarlarda klor, alkali ve metaller (alüminyum, ağır metaller gibi) içerebilirler. Bu materyallerin gaz haline getirilmesi, cazip bir seçenek olabilir. Gaz haline getirme sırasında üretilen gaz, LCP'lerde doğrudan yakılabilir ya da LCP veya gaz türbinlerinde kullanılmadan önce arındırılabilir fakat, günümüzde arındırılmış ve gaz haline getirilmiş fonksiyona sahip hiçbir gaz türbini bulunmamaktadır.

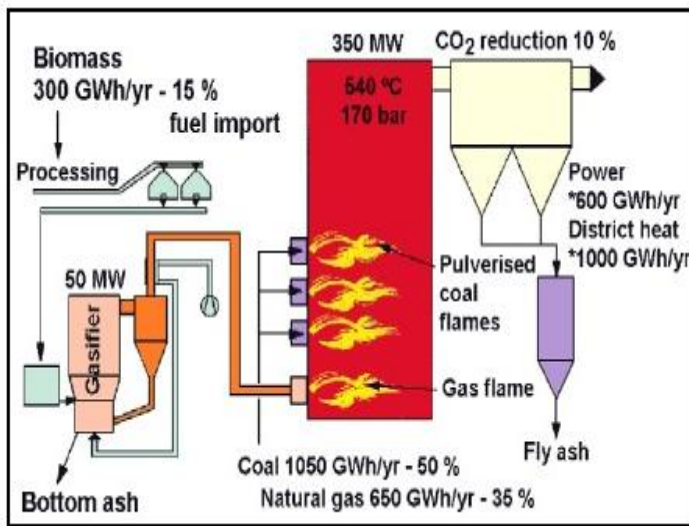
Gaz haline getirme yöntemi, Avusturya'da uygulanmaktaydı fakat artık CFB gazlaştırıcısının biyomastan, atık maddeden ya da kesilen odunları üretmekte kullanıldığı sistem uygulandığından, diğer yöntem kullanılmamaktadır. Gaz haline getirme işleminde katı partikülleri de içeren gaz, özel olarak tasarlanmış, düzenli ateşlemeyi durağan alevleri, kömür alevi içerisine derin nüfuzunu ve iyi bir karışımı garanti eden brülör aracılığıyla buhar kazanına girer. Üstelik, tekrardan yanan yakıt gibi bir hal alır ve bu yüzden de NO<sub>x</sub>'leri nitrojene dönüştürerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltır. Tesisin termal alımı 10MW'dir. Kömürün yaklaşık %15-20'si biyomas olarak kalır. [64, UBA, 2000].

Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'de Finlandiya'da işletilen kömürle çalışan buhar kazanı ile birleşmiş gazlaştırma tesisinin şematik incelemesi verilmiştir. Bu güç tesisinde devirli sıvılaştırılmış yataktan çıkan gaz, herhangi bir soğutma ya da temizleme işlemine maruz kalmadan doğrudan buhar kazanına verilir. Gazlaştırıcı bu işlemde sonra artık yakıtın hazırlanması için termo-mekanik öğütücüdür fazlası değildir.



CFB Gasifier	CFB Gazlaştırıcı
Reactor	Reaktör
Biofuel feed	Biyoyakıt besleme
Cooling water	Soğutucu su
Bottom ash cooling screw	Kazanaltı külü soğutma vidası
Bottom ash	Kazanaltı külü
Uniflow cyclone	Uniflow siklon
Gasification air fan	Gazlaştırma hava fanı
Air preheater	Hava ön ısıtıcısı
Hot low calorific gas (75 - 650 °C)	Sıcak düşük kalorifik gaz

Şekil 8.1: Kömürle çalışan buhar kazanına bağlı CFB gazlaştırıcı [153, Nieminen, et al., 1999]

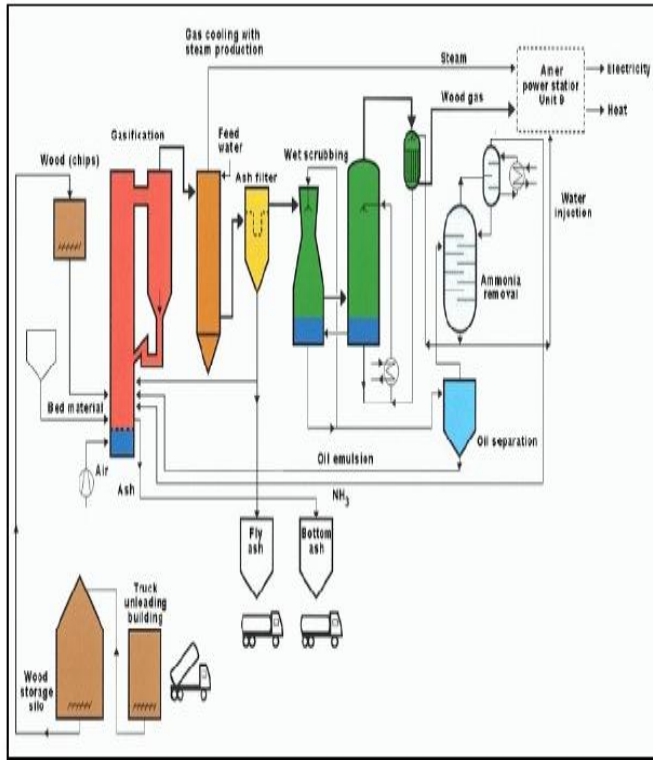


Biomass	Biyomas
Processing	İşleme
Fuel import	Yakıt ithali
Bottom ash	Kazanaltı külü
Coal 1050 GWh/yr – 50 %	Kömür 1050 GWh/yr – 50 %
Natural gas 650 GWh/yr – 35 %	Doğal gaz 650 GWh/yr – 35 %
Pulverised coal flames	Pülverize kömür alevleri
Gas flame	Gaz alevi
CO2 reduction % 10	% 10 CO2 azaltımı
Power	Güç
District heat	Bölgesel ısıtma
Fly ash	Uçucu kül

Şekil 8.2: Gazlaştırıcı konseptinin akış şeması  
[153, Nieminen, et al., 1999]

İkinci yakıt (genel olarak ticari amaçlı ve evsel bazda yenilenmiş yakıt, orman atıkları ve parçalanmış lastikler) tırlar ile güç tesisine aktarılır ve ayrı alıcı girişlerinde depolanır. İri taneli yakıt partikülleri öğütülür ve ince partiküller taşıyıcı bantlar aracılığıyla gazlaştırıcının yanındaki depolama silo'suna aktarılır. Homojen hale getirme işleminden sonra bu siloda yakıt karışımı gazlaştırıcı içine verilir. Devirli sıvılaştırılmış yatak gazlaştırıcısı yakıtı sıcak, sıvılaştırılmış yatak gaz-katı partikül süspansiyonu uygulandığı iç erimez astarlı çelik kaptan oluşturmaktadır. Atmosfer basıncında ve 850 °C 'de yakıt karışımı yakılabilen gaza dönüştürülür. Gazlaştırıcının siklon aşağı akımında, gazdaki iri taneli partiküller ayrıştırılır ve gazlaştırıcıda geri dönüşümleri yapılır. Gaz, gazlaştırılmış havanın 650 °C'de ön ısıtma işlemine girdiği hava ön ısıtıcıya bu siklondan akım üretir. Sıcak gaz, kömürle çalıştırılan ana buhar kazanında yakılır ve yaklaşık %30 oranında kömür ikame eder. Gazlaştırma işlemi Ocak 1998'den beri başarı ile işletilmektedir. [58, Eurelectric, 2001].

Gazlaştırma işleminin kömürle çalışan buhar kazanları ile birlikte çalıştırıldığı işlemlere bir başka örnek de Hollanda'da yapılmıştır. Şekil 8.3'te gösterildiği gibi üretilen gaz, kömürle çalışan buhar kazanına verilmeden önce soğutulur ve temizlenir. Gazlaştırma tesisi, kesik odunlar için tasarlanmıştır. Teknik açıdan bakıldığında, diğer atık akımları ya da yenilenen yakıtların da gaz haline getirilebileceği görülmektedir. Gazlaştırma tesisinin kapasitesi, kesik odunun 150000 ton/yıl değerindedir ki bu da yaklaşık %5 oranında kömür değişimine denktir.



Şekil 8.3: Gaz temizleme ile odun gazlaştırma  
[58, Eurelectric, 2001]

Wood (chips)	Odun (parçaları)
Gasification	Gazlaştırma
Bed material	Yatak malzemesi
Wood storage silo	Odun depo silosu
Truck unloading building	Kamyon boşaltım binası
Gas cooling with steam production	Buhar üretimi ile gaz soğutma
Feed water	Besleme suyu
Ash filter	Kül filtresi
Fly ash	Uçucu kül
Wet scrubbing	Islak gaz yıkama
Bottom ash	Kazanaltı külü
Oil emulsion	Petrol orimülasyonu
Steam	Buhar
Wood gas	Odun gazı
Ammonia removal	Amonyak ihracı
Oil separation	Petrol ayırma
Aner power station	Aner elektrik santrali ünitesi
Water injection	Su enjeksiyonu
Electricity	Elektrik
Heat	Isı
Water injection	Su enjeksiyonu

Odun çöpleri, yukarıdaki güç istasyonuna gemiler ve tırlar aracılığıyla taşınır ve kömür ambarlarında depolanır. Odun, kömür ambarından gazlaştırıcının beslediği besleme kabına aktarılır. Atmosferik sıvılaştırılmış yatak gazlaştırıcısı (AFBG) 850- 950 °C arasında çalıştırılır. Yatak, kumlu kireçtaşı yada dolomitten oluşmaktadır. Gazlaştırıcıdan çıkan gaz, aşırı ısıtılmış orta basınç akımının üretildiği soğutucuda soğutulur. Uçucu kül, filtrede gazdan ayrıştırılır ve gazlaştırıcıda kısmen geri dönüşümü yapılabilir. Tozdan arındırılmış gaz, özel odunlu gaz brülörleri aracılığıyla mevcut kazana aktarılır. [58, Eurelectric, 2001].

Gaz haline getirme işlemi, geniş yakma tesislerine özgü olmadığından bu işlemlere belgede daha ayrıntılı yer verilmemiştir. Ayrıntılı bilgiye, Atık Yakma (WI) BREF'inden ulaşılabilir.

### 8.1.3.6 Metanizasyon

İkinci yakıt ayrıca, anaerobik boşaltım yoluyla metan haline de getirilebilir. Bu teknikler, daha sonradan LCP'lerde kullanılmak üzere organik maddelerden gaza(metan yoğunluklu) dönüştürülebilirler. Matan haline getirme işlemi, LCP'lere özgü olmadığından, bu işlemlere belgede daha ayrıntılı yer verilmemiştir. Ayrıntılı bilgiye, Atık Yakma (WI) BREF'inden ulaşılabilir.

### 8.1.4 İkinci yakıtları yakma prosesine dahil etme teknikleri

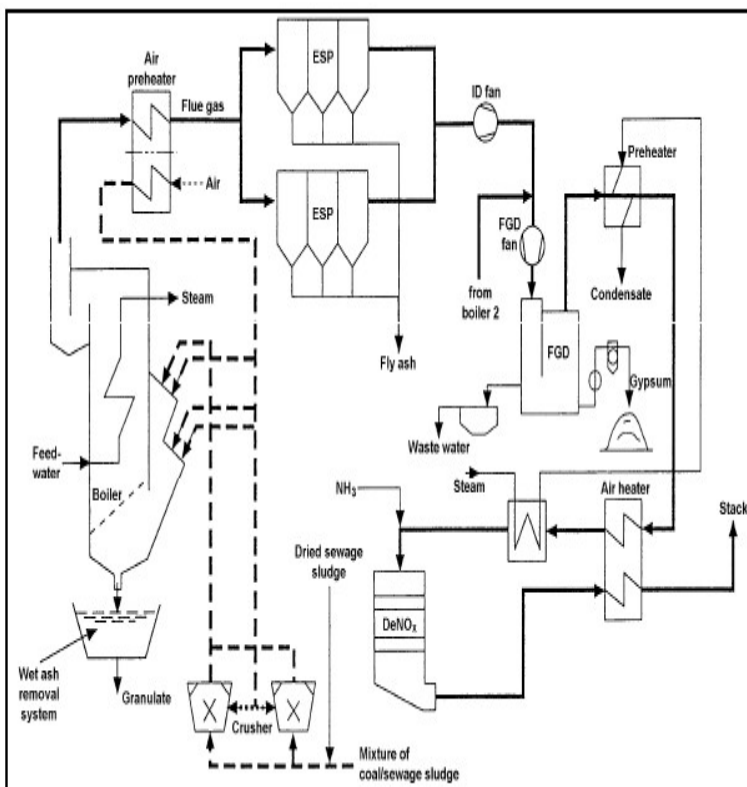
İkinci yakıtlar (SFs) birlikte yakma işlemlerinde yakıt olarak kullanıldıklarında, bu gibi materyallerin yakma süreçlerine dahil edilmesini sağlamak için belli prosedürler uygulanmalıdır. Tam anlamıyla bir karışım elde etmek için çok sayıda yöntem uygulanabilir, örneğin, SFs ana yakıtla birlikte taşıma sırasında karıştırılabilir ve birlikte yakılabilir. Ancak, diğer teknikler, SFs'nin ana yakıttan farklı besleme hatları ile yakma odasına tanıtıldığı yerlerde ortaya çıkarlar. Tüm bu türler bu bölümde tanımlanmıştır.

### 8.1.4.1 Ana yakıt ile karıştırma

İkinci yakıtı yakma işlemine tanıtmanın en kolay yolu ana yakıtla karıştırmaktır. Kömür ya da linyitle çalıştırılan buhar kazanlarında, aşağıda belirtilen yerlerde yakıt karışımı yapmak mümkündür:

- Kömür taşıma bandı üzerinde
- Kömür ambarında
- Kömür besleyicide
- Kömür öğütücüsünde
- Pülverize kömür hatlarında

İlk üç durumda ikinci yakıt, ana yakıt (kömür) üzerine bırakılır. Bu yolla yakıt akımlarının yeterli karışımı elde edilir. Bu da ikinci yakıtın kömür öğütücüsünde ana yakıtla birlikte şekil 8.4'te gösterildiği gibi öğütülmesi ile sonuçlanır.



Air preheater	Hava ön ısıtıcısı
Flue gas	Baca gazı
Steam	Buhar
Feed water	Besleme suyu
Wetash removal system	Islak kül ihraç sistemi
Granulate	Granül
Crusher	Ezici
Mixture of coal/sewage sludge	Kömür/atık su çamuru karışımı
Dried sewage sludge	Kurutulmuş yık su çamuru
Fly ash	Uçucu kül
Waste water	Atık su
Steam	Buhar
From boiler 2	2. buhar kazanından
ID fan	ID fanı
FGD fan	FGD fanı
Preheater	Ön ısıtıcı
Condensate	Kondensat
Gypsum	Alçıtaşı
Air heater	Hava ön ısıtıcı
stack	Baca

Şekil 8.4: Kömür ve atık su çamurunun birlikte yakımı  
[112, Ekmann, et al., 1996]

Bu teknik sadece her iki yakıtın da öğütülme davranışının bir şekilde benzer olduğu ya da ikinci yakıtın ana yakıt akımı ile karşılaştırıldığında çok daha az miktarda olduğu durumlarda mümkün olabilir. Ana yakıttan ayrı olarak pülverize edilen yakıtlar, kömür öğütücüsüne ya da buhar kazanı ile kömür öğütücüsü arasındaki pülverize kömür boru hatlarına enjekte edilebilirler.

Biyomas gibi diğer ikinci yakıtlar, pülverize edilemeseler de, kömür mill'ine kömür ile birlikte enjekte edilebilirler. Nispeten daha geniş boyuttaki biyomas partiküllerini tam olarak yakmaya imkan sağlamak için, buhar kazanı tabanındaki ızgara kullanılabilir.

Sıvı haldeki ikinci yakıtlar genel olarak, karışım kullanılmadan önce sıvı yakıtlarla birlikte harmanlanır.

### 8.1.4.2 Ayrı borular ya da modifiye mevcut brülörler

Ayrı borular ya da modifiye mevcut brülörler (ikincil yakıtın brülörlere ayrı bir şekilde verilmesi) ana yakıtla karıştırılması mümkün olmayan ya da arzulanmayan ikincil yakıtları işleme sokmak için veya ikincil yakıtın yüzdesini artırmak için gereklidir. Bu, ikincil yakıtın farklı fiziksel özelliklere sahip olduğunda (ör: viskozite ve partikül boyutu) ya da yakıtın sağlık risklerine (kanalizasyon suyu) neden olduğunda gerçekleşir. Bu örneğin aşağıdakilere uygulanır:

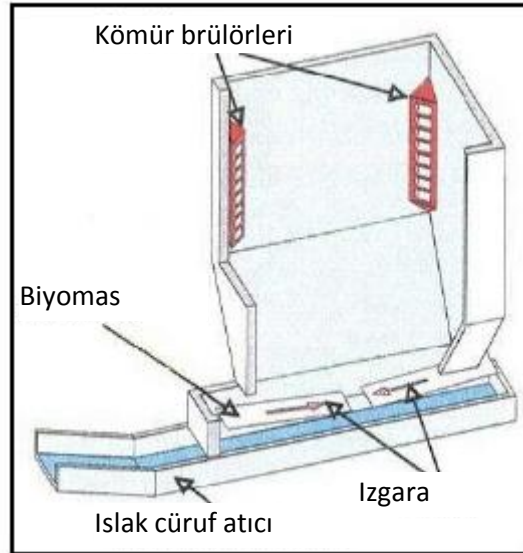
- katı ya da sıvı yakıtla yakılacak ön yakma işlemlerinden, pirolizden ya da gazkaştırmadan çıkan gaz ürün akıntıları ya da gaz yakıtlar
- piroliz işlemlerinden çıkan sıvı ürün akıntıları ya da sıvı yakıtlar
- pülverize yakıtlar

Bu brülörlerin, iyi bir ateşleme, sabit alev ve buhar kazanında ana yakıt aleviyle iyi karışım elde etmek amacıyla belirli yakıtlar için özellikle tasarlanmaları gerekmektedir. Brülörlerin ana brülörlerle bağlantılı yerleşimi iyi bir yakıt yakımı için önemlidir.

### 8.1.4.3 Özel ızgaralar

İkincil yakıtın girişi için kullanılan buhar kazanı haznesinin dip ucundaki özel hareketli ızgaralar fırındaki maddelerin ikame süresini uzatır. Böyle sistemler genel olarak yakıtı ön ısıtma gerekliliğinden kaçınır.

Şekil 8.5 bir buhar kazanının dip ucundaki (2 x 5 MW<sub>th</sub>) ızgaraların ve Avusturya'da uygulanan kömür brülörlerinin her ikisinin şematik çizimini verir. Biyoyakıt, yakım boyunca buhar kazanının merkezine yakıt aktaran ızgaraların küçük ön kısımlarında buhar kazanında buhar kazanına verilir. Biyoyakıttan çıkan kül ve kömür yakımından çıkan kazanaltı külleri, %5'ten daha az yanmamış karbon oranıyla, ızgaraların altındaki cüruf yok edicilere düşer. Izgaradan çıkan meydana gelmiş baca gazları hiçbir ısı kaybı olmadan doğrudan fırınlara yükselir.



Şekil 8.5: Pülverize kömürle çalışan buhar kazanındaki dahili ızgaralar [64, UBA, 2000]

### 8.1.4.4 İkincil yakıtların sıvılaştırılmış yatak buhar kazanına verilmesi

Sıvılaştırılmış yatak buhar kazanında yan yakım için, ana ve ikincil yakıtların uygun beslenmesi iyi bir işlem için en önemli etkenlerden biridir. Karışık yakıtın iyi kalitesi ve kirliliğin (metal, cam vb...) düşük içerikleri de iyi bir işlem için önemlidir.

Ayrııcı ve ezici ekipmanın parçalanmasının iyi işletim ve bakımı da çok önemlidir. Uygulama sorunları, birincil yakıtın kalitesinden farklı yüksek miktarda bir ikincil yakıtın kısa periyodlar için buhar kazanına gönderildiğinde ortaya çıkar. Bu yakma işleminde karışıklıklara yol açar ve buhar kazanının yükünü de etkiler. Sıvılaştırılmış yatak yakımında, katılaşma problemleri oluşmaktadır.

Taşıyıcılarda, örneğin uzun ağaç kabukları ya da plastiklere bağlı olarak bazı işletme sorunları ortaya çıkabilir. Bu problemlerden parçalama sisteminin düzenli bakımı ile kaçınılabilir.

İkincil yakıt buhar kazanına gönderilmeden önce ana yakıtla düzgün bir şekilde karıştırılmalıdır, ya da herhangi bir sorun durumunda ikincil yakıt gönderiminin hızlı bir şekilde durdurulabilmesi amacıyla ikincil yakıt için ayrı bir besleme sistemi olmalıdır. Yakıtın homojen karışımı gereklidir. Birincil yakıttan farklı kalitedeki ikincil yakıtların yüksek miktarı buhar kazanına gönderilirse, büyük ihtimalle buhar kazanı yükünü etkileyerek yakma işleminde karışıklıklar oluşabilir.

### 8.1.5 İkincil yakıtların birlikte yakılması

İkincil yakıtların birlikte yakılmasının en direkt yöntemi ana yakıtla karışmak ve yakma odası ya da buhar kazanında yakmaktır, fakat bu, güç tesislerinde aşağıdakilere bağlı olarak teknik ve/veya çevresel sınırlamalara neden olabilir:

- Mevcut kömür değirmenlerinin haddeleme ve kurutma kapasitesi (eğer yan yakma yakıtı kurutulur ve ana yakıtla beraber pülverize edilirse)
- ikincil yakıtın beslenmesi
- güç istasyonu ekipmanının mevcut tasarım kapasitesi(ör: ıslak yakıtların yakılması durumunda yüksek baca gazı akından kaynaklanır)
- ateşleme, alev sabitliği, alev sıcaklığı, NO<sub>x</sub> oluşumu ve yakım gibi, ana yakıttan farklı olan ikincil yakıtın yakma yolları
- külün kimyasal oluşumundan etkilenen bozulma ve cürufanma (özellikle potasyum , sodyum, sülfür) ve külün erime yörüngesi
- Buhar kazanlarının, özellikle ısınsal ve iletimsel ısın eşanjörlerinin termal davranışları
- Buhar kazanı parçalarının (azalan atmosferdeki buhar kazanı yakımında işletme şartları ve yakıttaki kükürt klorin içeriğinden kaynaklanır) aşınması ve çürümesi
- Yan ürünler, n ve yakma tortularının kalitesi ve davranışları
- İkincil yakıttaki kükürt, klorin, ağır metaller, organikler gibi içeriklerden kaynaklanan emisyonların havaya bırakılması
- İkincil yakıttaki kükürt, klorin, ağır metaller, organikler gibi içeriklerden kaynaklanan emisyonların suya bırakılması

Yukarıda bahsedilen sınırlamalar sadece ana yakıtın küçük bir miktarına kadar yan yakmanın derecesinin sınırlanması yoluyla ve/veya ikincil yakıtların düzenli ön artıtımı yoluyla çözülebilir.

### 8.1.6 İkincil yakıtın birlikte yakılmasından kaynaklanan hava emisyonlarının kontrolü

İkincil yakıtın yan yakımı ile uygulanan, baca gazı temizleme işlemleri ve teknikleri, Bölüm 6 ve 7'de tanımlandığı gibi katı, sıvı ya da gaz yakıtlardan çıkan baca gazlarının temizlenmesi tekniklerinden muhakkak farklı değildir. İkincil yakıtın özelliklerine bağlı olarak, genelde (Hg gibi) ağır metal içeriklerini, bazen 8.2.3 örneğinde gösterilen aktif karbon enjeksiyonu gibi ek tedbirler uygulanmaktadır.

SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve toz etkili bir şekilde MET'a göre tasarlanan ve işletilen güç tesislerinde kontrol edilir. Bu kirletici maddelerin yakma sistemine daha çok girişi baca gazı temizleme sisteminin uyarlanmasına (açıkça kesin sınırlar içerisinde) dengelenebilir ve normal olarak daha yüksek emisyonlara yol açmayacaktır. Bu, bu kirleticilerin sınır değerlerinin atık (ikincil yakıt) yan yakıldığında (2000/76/EG Direktifine bakınız)<sup>6</sup> bir formüle göre hesaplanması gerektiği gerçeği tarafından düzenlemelerde yansıtılır.

HCl ve HF emisyonlarının azaltımı etkili bir şekilde SO<sub>2</sub> azaltımı ile uyum gösterir. Klorinlenmiş bileşiklerin girişi yüksek sıcaklık aşınmasını önlemek amacıyla da güç tesisi yöneticisi tarafından sınırlandırılmıştır.

### 8.1.7 su ve atık su arıtımı

Aköz salınımlar ıslak gaz yıkama, baca dumanı şartları, ıslak cüruf önleme, depolama ve atığın ön arıtılması (ör; kanalizasyon suyunun kurutulması) gibi işlemlerden ortaya çıkar. Nötrleştirme, yerleştirme ve fiziko-kimyasal işlemler oluşan su akıntılarında kirletici maddeleri yok etmek için gerekli olabilir. İkincil yakıtın yan yakımında uygulanan su ve atık su arıtımı daha önceki Bölüm 4,5,6 ve 7 [58, Eurelectric, 2001]'de tanımlandığı gibi gaz, sıvı ya da gaz yakıtla çalışan LCPLerden çıkan suyun ve atık suyun arıtılması tekniklerinden farklı değildir. Gerekirse, mevcut atık su arıtma sistemleri kirleticilerin (ör; Cl, F, Hg) daha yüksek yüklerinin ihracına uyarlanabilir.

### 8.1.8 Yakma tortu ve yan ürünlerinin taşınması

İkincil yakıtların yakımı ile uygulandığı gibi, yakma tortularının ve yan ürünlerin taşınması daha önceki Bölüm 4, 5, 6 ve 7'de tanımlandığı gibi gaz, sıvı ve katı yakıtla çalışan LCPLerden temizlenen yakma tortularının ve yan ürünlerin taşınması tekniklerinden farklı değildir. Uçucu küller ve kazanaltı külleri yakma işlemleri boyunca oluşur.

Güç tesisleri, ağır metallerin ve Hg'nin azaltımını amaçlamış sistemlerle (asit ıslak gaz yıkayıcıları ve aktifleştirilmiş karbon sistemleri gibi) donatılmamıştır. Bu yüzden, bu kirletici maddelerin havaya emisyonları (girişe bağlı olarak) artacaktır ve ayrıca FGD'den çıkan uçucu küldeki, alçı taşıdaki ve diğer katı tortulardaki içerikleri de artacaktır. Alçıtaşı yıkanırsa, suya emisyon da artacaktır.

Yakmadan çıkan katı tortuların kullanımı ya da imhası önemli bir ekonomik etkidir, güç tesislerinin yöneticileri kurulu kullanım yollarını kaybetmemek için bunların kalitesini kontrol eder (çoğunlukla yakma sistemlerine atık girişini sınırlandırarak). Alkalilerin, sülfatların, kloridlerin, silikatların, yanmamış karbonun ve ağır metallerin içeriği (özel duruma bağlı olarak) önemli parametrelerdir. Yan yakmadan çıkan katı atıkların arazi doluma gönderilmesi gerekirse, örneğin ağır metallerin yoğunluklarının ve filtreleme davranışının ölçülmesi gerekir.

<sup>6</sup> 2000/76/EC Sayılı AB Direktifi Ek II birleşik atık yakımına (ikincil yakıtın birlikte yakılması) hava emisyonu sınır değerlerinin belirlenmesine ilişkin gereklilikleri sunmuştur.



## 8.2 İkinci yakıtın birlikte yakılmasına örnekler

Bölüm 8'in bu kısmında kömür ve linyitle çalışan farklı yakma tesislerinde halihazırda uygulanan bir dizi proses ve tekniklere ilişkin örnek sunulmuştur. Bu örneklerin amacı her bir durumda özel sahaya özgü koşullar ile çevresel gereklilikler dikkate alınarak bir bütün olarak çevreye ilişkin yüksek düzeyde koruma sağlamak amacıyla spesifik tekniklerin yeni veya uyarlama tesislerde nasıl uygulandığını ortaya koymaktır. Ancak, Direktif'in 2 (11). Maddesinde verilen MET tanımı ile birlikte 'tedbir ve önleme prensipleri ve tedbirlerin olası maliyet ve faydaları göz önünde bulundurularak mevcut en iyi tekniklerin değerlendirilmesinde genel ve özel olarak değerlendirilmesi gereken hususlar' listesine göre toplanan bilgilerden örneklerde açıklanan her bir tekniğin nasıl değerlendirildiği ya da değerlendirilip değerlendirilmediği her zaman açık değildir. Bununla birlikte sunulan çevresel performansın tüm çalışma koşullarında sabit ve sürekli olduğunu, zaman prosesinde herhangi bir sorunla karşılaşılmadığı ve çapraz medya etkilerinin neler olduğundan emin olunamaz. Ayrıca tekniğin uygulanmasında itici gücün ne olduğu maliyet ve çevresel faydaların her bir durumla nasıl ilişkili olduğu da her zaman net değildir. Bu nedenle aşağıdaki örneklerde verilen bilgilerin rapor edilen mevcut uygulamaya ilişkin sadece genel belirtiler verdiğinden ve bunların uygun başvuru noktaları olarak ele alınamayacağından bahsedilmektedir. Örnek olarak verilen teknikler LCP'lerin bilgi alışverişinin bir parçası olarak Teknik Çalışma Grubu üyelerinde değerlendirilen ve sunulan bilgilerden kaynaklanmaktadır.

### **ÖRNEK 8.2.1 KANALİZASYON ÇAMURUNUN PÜLVERİZE TAŞ KÖMÜRÜYLE ÇALIŞAN ISLAK DİP BUHAR KAZANLARINDA BİRLİKTE YAKILMASI – KİRLİTİCİ MADDE AKIŞININ ANALİZİ**

**Açıklama:** 1996'da, termal olarak kurutulmuş kanalizasyon çamurunun ortak yakılmasının etkilerini değerlendirmek için, bir ıslak dip buhar kazanında deneyler yapılmıştır. Örnek tesis, büyük olanı 382 MW'lık termal giriş oranına sahip olan iki buhar kazanını kapsamaktaydı ve deneylerde kullanılmıştır.

Tesis, bir hava ön ısıtıcı ve ESP ile takip edilen yüksek toz konfigürasyonunda SCR ile donatılmıştır. Uçucu külün bir kısmı , ESP'den buhar kazanına yeniden beslenir. ESP, sprey kuru absorpsiyonu (SDA) işleminin uygulandığı yerde FGD tesisi tarafından takip edilir. Sonuç olarak, baca gazı, SDA işlemi ürünlerinin ayrıldığı bez filtre yoluyla geçer.

**Sağlanan çevresel faydalar:** kanalizasyon çamurunun ortak yakması, kömür girişini ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> fosili emisyonlarını azaltır. CO<sub>2</sub> emisyonlarının tam bir analizi için, kanalizasyon çamurunun termal kurumasını ve nakliyesini de göz önünde bulundurmak gereklidir. Bu işlem adımları, net bir CO<sub>2</sub> artışıyla sonuçlanan CO<sub>2</sub> dengesinin olumsuz sonucuna yol açabilir

**Uygulanabilirlik:** Kanalizasyon çamurunun ortak yakması , sıvılaştırılmış yatak yakma tesislerinde olduğu kadar birkaç pülverize kömürle çalışan buhar kazanlarında da başarıyla uygulanmıştır. Teknik bir bakış açısıyla, çoğunlukla kurulan kömür değirmenlerinin kurutucu potansiyeliyle sınırlanır. Özellikle, taş kömürü konusunda, taş kömürünün su içeriği kanalizasyon çamurununkinden daha yavaş olduğu için kömür değirmenleri yeterli kurutucu potansiyele sahip olmayabilirler. Yani, örnek tesiste de olduğu gibi, bu durumlarda ortak yakma genellikle %90'dan fazla kuru kütle içeriğiyle kanalizasyon çamuruna sınırlanır.

**İşletim verileri:** 1996'da, ortak yakma üç gün sürdü. Bu süre boyunca, toplam kütle girişindeki %10 su içerikli kanalizasyon çamuru miktarı , güç girişinde %5'li %12.5 idi. Ortak yakma tedbirlerini kıyaslamaya gelince, sadece taş kömürü için üç gün boyunca aynı tedbirler gerçekleştirildi. Sonuçta , yedi farklı kanalizasyon tesisinden 371 ton kanalizasyon çamuru yakıldı. Kanalizasyon çamurunun ve yakılan kömürün ortalama kalitesi Tablo 8.1'de gösterilmektedir.

	Birimler	Sadece taş kömürü yakımı	Birlikte yakma		Atık su çamurunun birlikte yakmada kullanılmasına yönelik kabul edilen değerler
		Taş kömürü % 100	Taş kömürü % 95	Atık su çamuru % 5	
Isıtma değeri	kJ/kg	27135	27594	10200	
Kül içeriği	%	11.5	11.3	44.8	
Su içeriği	%	7.5	5.5	10.3	
Pb	mg/kg	17.4	17.8	57.4	900
Cd	mg/kg	0.134	0.129	1.2	10
Cr	mg/kg	10.9	10.76	52	900
Cu	mg/kg	11.3	11.3	269	800
Ni	mg/kg	12.8	12.7	19.1	200
Hg	micro g/kg	0.064	0.058	0.47	8
Zn	mg/kg	34.9	32.8	892	2500
AOX	mg/kg	-	-	444.9	500
PCB	mg/kg	0.034	0.057	0.196	1.2
PCDF/PCDD	µg/kg	-	-	0.009	100

Tablo 8.1: Birlikte yakma ilemeden önce veya bu işlem sırasında taş kömürü ve atık su çamurunun ortalama kalitesi

Birleşik yakmayla ya da birleşik yakma olmaksızın baca gazındaki katışık maddelerin sonuç konsantrasyonları, bez filrenin bir tanesi FGD'nin yukarı akışını ve diğeri ise aşağı akışını göstermek üzere iki farklı örnek noktası için Tablo 8.2'de gösterilmektedir.

	Birimler	% 5 O <sub>2</sub> 'ye yönelik 3 günlük ortalama değerler			
		Ölçüm noktası 12 (ham gaz)		Ölçüm noktası 12 (temiz gaz)	
		Atık su çamuru olmadan	Atık su çamuru ile	Atık su çamuru olmadan	Atık su çamuru ile
PCDD/PCDF	ng TE/m <sup>3</sup>	-		0.002	<0.001
PCB	ng/m <sup>3</sup>	-		9.8	8.25
Ctotal	mg/m <sup>3</sup>	-		0.4	0.6
benzol	mg/m <sup>3</sup>	-		<0.003	<0.003
HCl	mg/m <sup>3</sup>	-		4.5	4.5
HF	mg/m <sup>3</sup>	-		<0.2	<0.02
Dust	mg/m <sup>3</sup>	19.9	13.2	1.5	1
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0.0093	0.01296	0.00814	0.00861
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0.00034	0.00037	<0.00001	<0.00001
Tl	mg/m <sup>3</sup>	0.00008	0.00002	<0.00003	<0.00003
As	mg/m <sup>3</sup>	0.02494	0.01704	0.00006	<0.00003
Pb	mg/m <sup>3</sup>	0.02716	0.02520	0.00003	0.00003
Cu	mg/m <sup>3</sup>	0.01330	0.01429	0.00043	0.00023
Zn	mg/m <sup>3</sup>	0.04252	0.05758	0.00215	0.0014
Mn	mg/m <sup>3</sup>	0.02191	0.01296	0.00201	0.00138
Ni	mg/m <sup>3</sup>	0.00802	0.00479	0.00033	0.00015
Co	mg/m <sup>3</sup>	0.00382	0.00216	0.00005	0.00003
V	mg/m <sup>3</sup>	0.02337	0.00954	0.00137	0.00076
Cr	mg/m <sup>3</sup>	0.00986	0.01117	0.00068	0.00031
Sb	mg/m <sup>3</sup>	0.00097	0.00114	0.00002	<0.00003
Sn	mg/m <sup>3</sup>	<0.00002	0.00007	<0.00002	<0.00002
<b>Sürekli Ölçümler</b>					
O <sub>2</sub>	Hacim. %	7.2	7.1	7.2	7.1
	%	-	-	9.0	9.0
Toz	mg/m <sup>3</sup>	22.8	8.7	0.8	9.0
NOx	mg/m <sup>3</sup>	-	-	185	185
CO	mg/m <sup>3</sup>	-	-	17.0	12.7

Tablo 8.2: Birlikte yakma ile ve birlikte yakma olmaksızın baca gazındaki katışıklık konsantrasyonları

Metallerin akıbetine yönelik ana bulgular:

- Atmosferik emisyonlardaki tek artış cıva için gerçekleşir (yaklaşık %6) , buna rağmen bu artış metroloji doğruluğu düşük olduğu için, önemli değildir
- Cr sadece cüruf musluğu granülatda zenginleştirilir
- Pb, Ni ve Hg temel olarak uçucu külde ve SDA ürününde bulunabilir
- Cd, Cu ve Zn her iki havuzda da zenginleştirilirler.

	Birimler	Cüruf musluğu granülatı		Yan ürünlerin karışımı: uçucu kül (% 30) ve SDA ürünleri (% 70)	
		Sadece kömür	Birlikte yakım	Sadece kömür	Birlikte yakım
Pb	mg/kg	34.4	34.6	167	244
Cd	mg/kg	0.097	0.126	1.5	3.1
Cr	mg/kg	88.3	119	102	96
Cu	mg/kg	62.8	135	90	175
Ni	mg/kg	75.4	70.5	96	97
Hg	mg/kg	0.022	0.015	0.13	0.2
Zn	mg/kg	132	298	264	856
PCB	micro g/kg	-	-	0.2	0.02
PCDD/PCDF	mg/kg	-	-	0.001	0.003

Tablo 8.3: Birlikte yakma ile ve birlikte yakma olmadan tortuların kalitesi

Cüruf musluğu granülatının eluate kalitesi değişmez, ki bu , cüruf musluğu granülatdaki metal kalıntılarının ek yükü anlamına gelmektedir. Ortak yakma yüzünden PCDF/PCDD ve PCBlerin artan girişi , bu maddelerin havaya emisyonlarında artışa yol açmaz. Her ikisi de yaklaşık 1500 °C 'lik yüksek derecelerdeki buhar kazanında imha edilirler. S/Cl oranı 7/1 olduğu için , eğer baca gazı hava ön ısıtıcıda 130 °C 'ye kadar aniden soğutulursa, 'de-novo sentez' tarafından PCDF/PCDD'nin yeniden üretimi düşüktür. Kurutulmuş kanalizasyon çamurunun taşınması oldukça kolaydı. Toz meydana geldiği için, kömür taşıma bandına eklenirken sorunlar oluştu. Genelde, deney, kurumuş kanalizasyon çamurunun sadece kapalı sistemlerde depolanması ve nakliye edilmesi gerektiğini göstermiştir.

**Ekonomi:** Ortak yakma sadece test periyodu için yürütüldüğünden, ekonomik veri mevcut değildir.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** Yeni yasa 2005 ilerisinde boşaltıma izin vermeyeceği ve çiftçiler artan şekilde gübre olarak çamur kullanmayı reddettikleri için, kanalizasyon tesislerinin operatörleri , üretilen kanalizasyon çamurunun enerji içeriğini düzeltmek için yeni yollar aramak zorunda kalmışlardır. Genelde, bu gelişmeler güç tesisi operatörü için ortak yakmanın gerçekleştirilmesinde ekonomik olarak etkili yollar sağlarlar. Gösterilen örnekte, regulatory otorite cıvanın hava emisyonlarını azaltmak amacıyla ek tedbirler istediği için ortak yakma anlaşılmadı. Bunu yapmanın genel yolu (kokun ya da aktif kokun enjektisi), çok pahalı olacaktı ve SDA ürününün kalitesine zarar verecekti.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001].

### **ÖRNEK 8.2.2 KANALİZASYON ÇAMURUNUN PÜVERİZE TAŞ KÖMÜRÜYLE ÇALIŞAN BİR KURU DİP BUHAR KAZANINDA BİRLİKTE YAKILMASI- KİRLETİCİ MADDE AKIŞ ANALİZİ**

**Açıklama:** örnek ünite 1933 MW'lik nominal termal girişe ve 760 MWe 'lik brüt elektrik gücüne sahiptir. Termal olarak kurutulmuş kanalizasyon çamurunun ortak yakması, 1996'da test edildi ve 1998'den beri operatör hem mekanik olarak hem de termal olarak kurutulmuş kanalizasyon çamurunu yakma için yetkilendirilmektedir. Buhar kazanının toplam kütle girişindeki kanalizasyon çamuru kuru materyalinin izin verilen maksimum payı, %4 miktarındadır. Bu yaklaşık 1.82 milyon vatandaşın üretimine denk gelen yıllık 40000 ton kuru kanalizasyon çamuru materyali (DM) ortak yakma potansiyeliyle sonuçlanır.

%85'lik DM içeriğiyle termal olarak kurutulan kanalizasyon çamuru, 20 m<sup>3</sup> siloda depolanır ve buradan , bir gün için yeterince depolayan 600 m<sup>3</sup> 'lük kömür ambarına nakliye edilir. %30'luk DM içeriğiyle mekanik olarak kurutulan kanalizasyon çamuru, daha sonra doğrudan kömür değirmenlerine beslendiği 240 m<sup>3</sup> 'lük hazne de depolanır. Yani, termal olarak kurutulan kuru çamurdan daha rahat taşınabilir. Ambians havaya düşük emisyon sağlamak ve haznelerin içinde düşük metan konsantrasyonlarını garanti etmek için, her iki hazne de emme tesisleri ve sonradan ortaya çıkan temizleme aletleriyle donatılırlar.Emme tesisleri olmaksızın, yüksek metan konsantrasyonları yüzünden patlama ihtimali yüksek olabilir. Metan üretimi, yüksek su içeriği nedeniyle mekanik olarak kurutulan çamurun içinde özellikle meydana gelebilir.

Birleşik yakma, temel olarak kömür değirmenlerinin kurutucu potansiyeli yüzünden sınırlanır. Eğer kömür %14'ten fazla su içeriğine sahipse, kurutulamayacağı için daha fazla kanalizasyon çamuru eklenmez. Şu ana kadar, birleşik yakma nedeniyle, korozyon gibi herhangi bir problemle karşılaşmamıştır. Personel anti-hepatit aşısı oldu ve kanalizasyon çamuru deposunun ya da nakliyesinin yanında çalışırken özel tulum giyip maske takmak zorundadırlar.

**Sağlanan çevresel faydalar:** Kanalizasyon çamurunun ortak yakılması, kömür girişini ve buna bağlı olarak da CO<sub>2</sub> fosili emisyonlarını azaltır. Genel bir CO<sub>2</sub> emisyonları analizi için, kanalizasyon çamurunun termal kurutulması ve nakliyesinin göz önünde bulundurulması gerektiği de belirtilmelidir. Bu işlem adımları, CO<sub>2</sub> artış ağıyla sonuçlanan olumsuz bir dengeye yol açabilir.

%57'lik DM içerikli (bu tesis için farz edildiği gibi) bir araç ile kanalizasyon çamuru için tasarruflar, yaklaşık 5800 MJ/t kuru kanalizasyon çamuru maddesidir.

Üstelik, dioksinler ya da furans gibi zehirli organik maddeler, imha edilirler. Ağır metallerin çoğu, uçucu külde ya da FGD'nin yan ürünlerinde sabitlenirler

**Uygulanabilirlik:** Kanalizasyon çamurunun ortak yakılması, sıvılaştırılmış yatak yakma tesislerinde olduğu kadar birkaç tane pülverize kömür buhar kazanında da başarıyla uygulanmıştır. Teknik bir bakış açısıyla, genellikle kurulan kömür değirmenlerinin kurutucu potansiyeliyle sınırlanır. Özellikle taş kömürü konusunda, taş kömürünün su içeriği kanalizasyon çamurununkinden daha düşük olduğu için, kömür değirmenleri yeterli kuruma potansiyeline sahip olmayabilir.

**Çapraz medya etkileri:** Arsenik, selenyum ve özellikle de cıva gibi ağır değişken metallerin atmosferik emisyonları, kanalizasyon çamurunun ortak yakması nedeniyle artabilir. Örnek tesis için, emisyonların değişimi Tablo 8.4'te gösterilmektedir. Yayılan maddelerin hiçbirinde önemli bir değişim görünmemesine rağmen, kanalizasyon çamurunun ek hiçbir emisyon üretmediği ve dolayısıyla da taş kömürüne denk olduğu sonucu çıkarılmamalıdır. Toplam kütle girişindeki kanalizasyon çamuru payı %5'i geçmediği ve emisyondaki son değişiklik çoğunlukla ölçülemeyecek kadar küçük olduğu için, emisyonlar önemli ölçüde değişmezler. Özellikle cıva konusunda, gerçek, emisyondaki küçük değişimleri bulamayan ölçme tekniklerinin sınırlı doğruluğuyla desteklenir. Bu tesiste, cıva girişinin yaklaşık %45'inin havaya yayıldığı tahmin edilir.

Ağır metaller için temel havuzlar, uçucu kül ile FGD'nin yan ürünleridir. Ortak yakma nedeniyle, kaliteleri önemli ölçüde değişmez. Yani, yan ürünleri (uçucu kül, buhar kazanı külü, alçı taşı) düzeltmenin olağan yolları sürdürülebilir. Kanalizasyon çamurunun kül içeriği kömürünkünden daha yüksek olduğu için ve ortak yakma yüzünden yakıt kütle girişi arttığı için, uçucu kül miktarı da ayrıca ortak yakma yüzünden artar.

**İşletim verileri:** 1996'da, ilk test periyodu süresince, farklı bölgelerden kanalizasyon çamurunun ortak yakması için havaya emisyonlar ölçüldü ve taş kömürünün tek yakılmasıyla kıyaslandı. Sonuçlar Tablo 8.4'te gösterilmektedir. Buhar kazanının içine kütle girişindeki kanalizasyon çamuru payı, %2.2 ile 4.7 arasında değişmektedir.

	Tek kömür ateşlemeye yönelik emisyon değerleri ranjı (mg/Nm <sup>3</sup> )	Atık su çamurunun birlikte yakımına yönelik emisyon değerleri ranjı (mg/Nm <sup>3</sup> )
CO	3-10	.47-8.5
SO <sub>2</sub>	80-270	175-270
NO <sub>x</sub>	150-190	170-180
Partikül madde	5-20	4.6-6.1
HF	1-3.4	1.5-2.5
HCl	0.6-7	0.7-2.3
Organic carbon	1.0	0.3-1.3
∑ Cd, TI	<0.005 <sup>1)</sup>	<0.005
Hg	0,3-12 µg/Nm <sup>3 2)</sup>	0,1-13 µg/Nm <sup>3 2)</sup>
∑ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	<0.075	<0.075
Dioksin/furanlar	<5 pg TE/Nm <sup>3</sup>	3.3 – 4.8 pg TE/Nm <sup>3</sup>
1) Eylül 1996'daki tek ölçüm		
2) İki saatlik ortalama değer olarak verilmiştir; partikül maddedeki konsantrasyon ölçüm için çok düşük olduğundan sadece gaz evresindeki konsantrasyon verilmiştir		

Tablo 8.4: 1996 yılında 10 haftalık test süresince taş kömürü tek yakımı ile atık su çamurunun birlikte yakımına yönelik atmosferik emisyonlar

Bu ölçümler için, beş farklı bölgeden kanalizasyon çamuru kullanıldı bu kanalizasyon tesislerinin iki tanesinde kanalizasyon çamurunun temel analizi, Tablo 8.5'te gösterilmektedir, tüm beş kanalizasyon tesisinden çamurdaki katışık maddelerin konsantrasyonu ise Tablo 8.6'da gösterilmektedir.

	Giriş analizi	
	Asgari içerik (%)	Azami içerik (%)
Üst ısıtma değeri (MJ/kg)	7.12	8.7
Alt ısıtma değeri (MJ/kg)	6.31	7.6
Karbon	20.47	24.54
Hidrojen	2.93	3.69
Nitrojen	2.11	3.37
Oksijen	15.61	18.0
Kükürt	0.81	0.94
Klorin	0.137	0.297
Florin	0.0449	0.0755
Kül	50.61	55.67

Tablo 8.5: İki pis su tesisinden alınan pis suların giriş analizi

	Birlikte yakıma yönelik sınır değerleri (mg/kg DM)	Birlikte yakıma yönelik pis su çamurundaki konsantrasyon	
		Min. (mg/kg DM)	Maks. (mg/kg DM)
Pb	900	74.8	119
Cd	10	0.97	3.4
Cr	900	63	560
Cu	800	231	758
Ni	200	23.1	75
Hg	8	0.398	1.6
Zn	2500	892	1600
PCB	0.2	0.08	0.187
PCDD/PCDF	100 ng TE/kg DM	21 ng TE/kg DM	71 ng TE/kg DM
AOX	500	164	1240

Notlar: dm = kuru madde

Tablo 8.6: Test süresince farklı pis su tesislerindeki katıçıklık konsantrasyon ranjları

Dioksin/furanların uygun hiçbir konsantrasyonları, yan ürünlerin(kül, alçıtaşı, atık su) herhangi biri tarafından ölçülmemiştir. Yan ürünlerin ağır metal içeriğinde bir artış, çok önemli değildir ve yan ürünlerin niteliği neredeyse değişmeden kalır, bu yüzden kazan külü, uçucu kül ve alçıtaşı, normal yollarla yenilenir.

Ağır metallerin %99'u (cıva dışında) ıslak FGD işleminin yan ürünlerinde ya da uçucu külde bulunabilir. Cıvanın yaklaşık %55'i de bu yolla tutulur. Kalan %45'i de havaya yayılır.

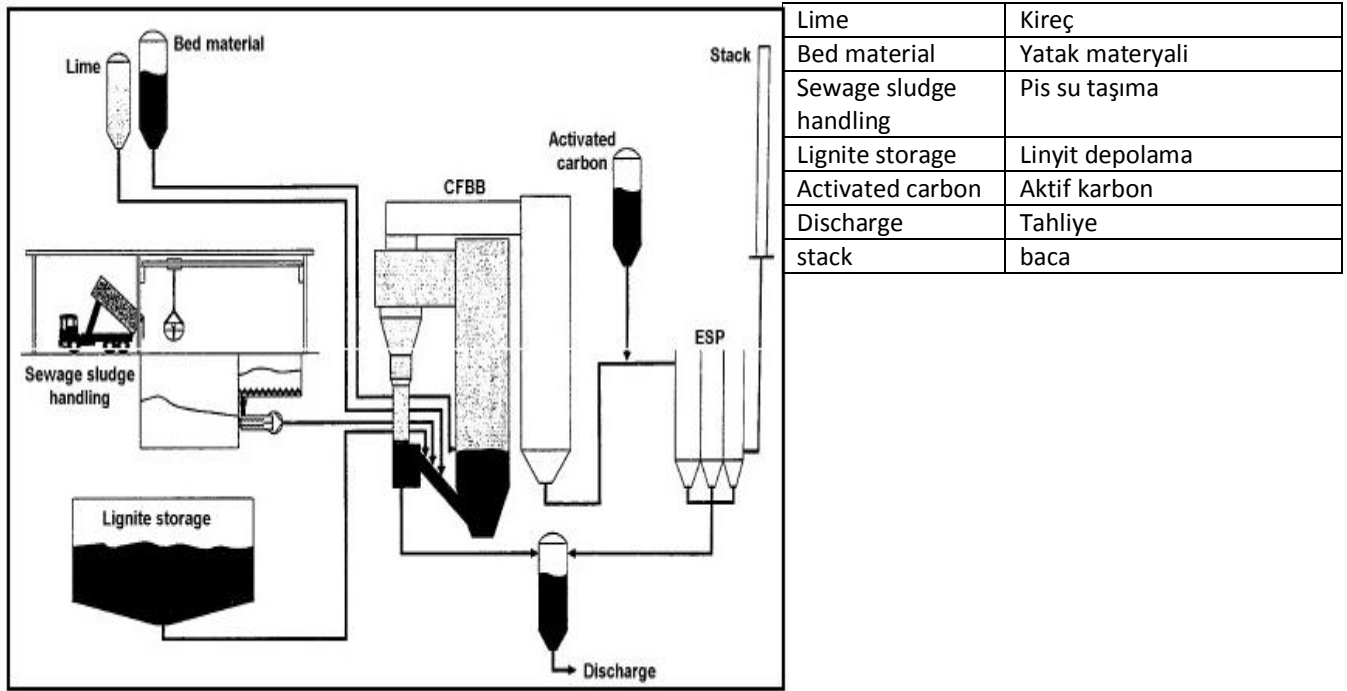
**Ekonomi:** sunulan tesise örnek olabilecek hiçbir mevcut veri bulunmamaktadır. %30- 92.5 kuru atık içeren kanalizasyon çamurunun birlikte yakılması için toplam gider sırasıyla 46-52/t olarak hesaplanmıştır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** kanalizasyon tesislerini işleten şirketlerin, yeni yasaya göre 2005 yılından itibaren fazla boşaltıma izin vermemesi ve çiftçilerin bu çamurları kullanmayı reddetmelerine de bağlı olarak, üretilen kanalizasyon çamurlarını arındırma yolları araması gerekmektedir. Bu gelişmeler güç tesisi işleten şirketler için ekonomik anlamda yeterli bir birlikte yakma yöntemi sağlamıştır.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001], [154, Maier, et al., 1999], [155, Buck ve Triebel, 2000], [157, Rentz ve Sasse, 2000].

### **ÖRNEK 8.2.3 LİNYİTLE ÇALIŞAN CIVA KONTROLLÜ AKIŞKAN YATAKTA KANALİZASYON ÇAMURUNUN BİRLİKTE YAKILMASI**

**Açıklama:** sunulan CFBC buhar kazanı (Şekil 8.6) 275 MW termal alıma sahiptir ve linyit işleme tesisleri için temel olarak akım üretmektedir. Kanalizasyon çamurunun yakılması ile ilgili bazı başlangıç deneylerinin ardından, cıva emisyon kontrol aletinin, sürekli olarak işletilmesine olanak sağlamak için kurulması gerekmektedir. Bu amaçla, baca gazı kanalı, linyit kok tozunu (open hearth işleminde üretilir) enjektör aracılığıyla baca gazını içerisine veren bir aleti bulundurulmalıdır. 20 metreden sonra yüklenen sorbent, ESP'lerde ayrıştırılır. Bilinen entrained-flow reaktörlerinde, yüklenen kok, bez filtrede baca gazından ayrılır. Bu durumda baca gazı terkedilmiş ve kok da partikül madde ile birlikte mevcut ESP'lerde ayrıştırılmıştır. Nominal termal alımda kanalizasyon çamurunun miktarı %4 oranındadır.



Şekil 8.6: Pis su birlikte yakma ile CFBB'den baca gazına aktif karbon enjektəsi [75, Hein, et al., 2000]

**Sağlanan çevresel faydalar:** kanalizasyon çamurunun enerjik kullanımı linyit tüketimini azaltmaktadır. Bu nedenle kaynakların tüketimi olduğu kadar, fosil CO<sub>2</sub>'nin emisyonları da azaltılacaktır. Cıva emisyon kontrolü, atmosferik cıva emisyonlarını, yasal emisyon limit değerlerinin oldukça altına düşürerek, %85 oranında azaltmaktadır.

**Uygulanabilirlik:** CFB tesislerinde kanalizasyon çamurunun birlikte yakılması, rated termal alım payının %5' aşmadığı koşullarda teknik olarak uygulanabilir olduğu kabul edilmektedir. Havaya emisyon her iki şekilde de (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> gibi) değişmeden kalacaktır ya da sadece az miktarda artacaktır. (ağır metaller, dioksinler, furanlar gibi). Kalıcı metallerin neredeyse %100'ü uçucu külden bulunmaktadır. Tek problem cıva tarafından oluşabilir. Örnek tesisteki linyit kok'un enjektörü ağır metallerin, dioksinlerin ve furanların azaltılmasında kullanılan en yaygın atık yakma kontrol tekniğidir. Baca gazı temizleme sisteminin tek limiti, 170 °C'yi aşmaması gereken derecesidir.

**Çapraz medya etkileri:** Cıva kontrolü yaklaşık 70- 80kg/h linyit kok'u tüketmektedir. Yüklenen kok, baca gazından uçucu kül ile birlikte ayrıştırılır ve boşaltılması gerekir. Uçucu külden cıva , yüklenen kok'a bağlı olarak 1 mg Hg/kg uçucu külden, 2.7 mg Hg/kg uçucu küle yükselir.

**İşletim verileri:** Baca gazında kanalizasyon çamurunun, emisyon kontrolü olmadan yakılması için mercury konsantrasyonu yaklaşık 0.025 mg/Nm<sup>3</sup>'tür. 80kg/h oranında linyit kok'unun enjeksiyonu ile emisyon seviyelerinde yaklaşık %75-85 azalma sağlanır, yaklaşık 0.004 mg/Nm<sup>3</sup> gibi. 50kg/h oranında enjeksiyon ile benzer ayrıştırma verimliliklerine ulaşılabilir ve bu değere enjeksiyonun başlatılmasından sadece iki saat sonra ulaşılabilir. Bu da ESP içerisinde cıva etkili şekilde ayrıştırılmasında aktif kok linyit tozu elde etmek için belli bir süreye ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Tam yüklemde linyit alımı 77 t/h ve kanalizasyon çamuru alımı 25 t/h değerindedir. Bu iki yakıtın özellikleri Tablo 8.7'de gösterilmiştir.

	Su içeriği %	Kül içeriği %	Cıva içeriği mg/kg kuru madde
Linyit	52.5	1.75	0.09
Pis su çamuru	73.2	12.6	1.33

Tablo 8.7: Linyit ve pis su çamuru özellikleri

Uçucu külün filtrelene ek linyit kok'a bağlı olarak değişmez. Bu nedenle ağır metaller linyit kok içerisinde karışık halde kalırlar.

**Ekonomi:** linyit kok enjeksiyonunun kesin değerleri bilinmemektedir. Fakat kok linyit enjeksiyonunun maliyetleri, arkadan çekişli akış reaktörünün değerleri ile karşılaştırılabilir. Sunulan tekniklerin maliyetleri, kurulumun basit olmasına ve ek bir bez filtreye ihtiyaç olmamasına bağlı olarak, arkadan çekişli akış reaktöründe olduğundan çok daha düşük olmalıdır.

**Uygulamaya yönelik itici güç:** birlikte yakma işleminin teşviki 2005 yılından beri potansiyel ekonomik kazanç sağlamaktadır ayrıca artık kanalizasyon çamurlarının boşaltılmasına izin verilmemekte ve atık yakma tesisleri ya da kanalizasyon çamurlarının yakılması için alternatif yakma işlemleri, oldukça maliyetli hale gelmektedir. Linyit kok enjeksiyonu, yasal emisyon sınır değerlerini comply için kurulmuştur.

**Kaynak literatür:** [98, DFIU, 2001], [75, Hein, et al., 2000], [158, Wirling, et al., 2000], [159, Thomé-Kozminsky, 1998], [160, Rentz, et al., 1996].

---



## 8.3 LCP'lerde kullanılan ikincil yakıtın birlikte yakılmasında mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

### 8.3.1 LCP'lerde birlikte yakılan ikinci yakıtlara yönelik genel açıklama

İkinci yakıtların birlikte yakılması, tesis verimliliği, havaya emisyona etki etmektedir, ayrıca su da yakma ile oluşan atık madde ve yan ürünlerin niteliği üzerinde de etki yaratmaktadır.

Etki miktarı, ikinci yakıtın temel yakıt ile farklılık gösterdiği özellikler yoluyla belirlenmektedir. Yakıtın niteliğini belirleyen temel fiziko-kimyasal özellikler:

- Kalorifik değer
- Kül içeriği
- Su içeriği
- Uçucu madde ve,
- kimyasal bileşenler (özellikle C, H, O, N, S, Al, K, Na, P, Cl, F, olduğu gibi Hg ve diğer metaller).

LCP'lerde birlikte yakma işlemi için kullanılan ikinci yakıtların başlıca türleri, Tablo 8.8'de gösterilmiştir. Listede gösterilen en önemli türler ise, kanalizasyon çamuru ve biyomas/odundur.

İkincil yakıt türü	İkincil yakıt örneği
Hayvansal (yan) ürünler	Hayvan yemi, donyağı, et ve kemik yemleri Gübre ve tavuk çöpleri
Kimyasallar	Organik asitler ve sıvı çözücüler Fosfor fırın gazı
Belediye atıkları	Atık kağıt Ambalaj malzemeleri Plastikler Çöpten çıkarılan yakıtlar (RDF)
Yağlı materyaller	Katran Atık yağ
Yenielen yakıtlar	Farklı yüksek kalorifik atık fraksiyonlarından türetilen yakıtlar
Sulu çamur	Pis su Kağıt (hurda kağıttan mürekkep giderme (de-inking), biyo ve birincil çamurlar)
Araba lastikleri	Parçalanmış lastikler
Bitkiler	Söğüt gibi enerji ürünleri Saman, tahıl bitkileri, çayır gibi zirai kalıntılar
Odun	Odun kalıntıları, tahrip odunları, atık odunlar, orman kalıntıları, odun parçaları Biyomas topakları/briketleri

Tablo 8.8: LCP'lerde birlikte yakılan ikincil yakıt tipleri

Atıktan üretilen yakıtlar önemli miktarda kül içeren çoğunlukla katı ya da sıvı maddelerdir. Bu nedenle birlikte yakma, kömürle çalıştırılan buhar kazanlarında uygulamada daha sınırlıdır. Ayrıca, bu materyallerden bazıları tehlikeli materyallerle kirletilebileceklerinden, tehlikeli olarak sınıflandırılabilirler. Tablo 8.9 ve Tablo 8.11, kömürle çalıştırılan bazı güç istasyonlarında kullanılan ikinci yakıtlara örnekler sunmuştur. Ayrıca örneklerde LCP'lerde kullanılan farklı türlerde ikinci yakıtların bileşimlerine örnekler de verilmiştir. Ayrıntılı bilgiye CEN proposal'ından ulaşılabilir. Bu bağlamda referans, kömür ve linyitin yakılması ile ilgili 4.Ünitede sunulan Tablo 4.32 ve Tablo 4.33'te verilmiştir.

Parametre	Birimler	Ranj (linyit ve taş kömürü)	Ranj (pis su çamuru; belediye-endüstri)
Su içeriği	ağırlık-%	3 – 60	65 – 75
Kalorifik değer Hu	MJ/kg kuru kütle	7 – 38	9 – 12
Kül içeriği	ağırlık-%	3 – 17	40 – 60
Uçucu maddeler	ağırlık-%	17 – 60	13 – 47
Fixer C	ağırlık-%	19	1
C	ağırlık-%	60 – 80	33 – 50
H	ağırlık-%	3–9	4–7
N	ağırlık-%	0.5 – 2	2–3
S	ağırlık-%	0.5 – 3	0.5 – 2
Cl	mg/kg kuru kütle	200 – 300	500 – 3000
F	mg/kg kuru kütle	16 – 20	100 – 350
As	mg/kg kuru kütle	0.4 – 18	4 – 9.2
B	mg/kg kuru kütle	no data	30 – 55
Ba	mg/kg kuru kütle	no data	300 – 500
Be	mg/kg kuru kütle	0.1	0.9 – 2
Pb	mg/kg kuru kütle	0.4 – 50	15 – 412
Cd	mg/kg kuru kütle	0.02 – 5	4 – 6.5
Co	mg/kg kuru kütle	0.6 – 21	2 – 13.4
Cr	mg/kg kuru kütle	1.4 – 39.1	40 – 108.6
Cu	mg/kg kuru kütle	1 – 33	30 – 434
K	mg/kg kuru kütle	no data	1500 – 2300
Mn	mg/kg kuru kütle	88 – 160	210 – 1000
Na	mg/kg kuru kütle	no data	1100 – 4400
Ni	mg/kg kuru kütle	1.6 – 40.5	30 – 57
Hg	mg/kg kuru kütle	0.1 – 0.3	0.2 – 4.5
Se	mg/kg kuru kütle	no data	<5
Sb	mg/kg kuru kütle	1–5	2.4 – 8.5
Th	mg/kg kuru kütle	0.1 – 0.3	1.2 – 2
V	mg/kg kuru kütle	1 – 105	9 – 35.4
Sn	mg/kg kuru kütle	4	10 – 100
Zn	mg/kg kuru kütle	5 – 60	420 – 1600

Tablo 8.9: Kömür/linyit ve pis su çamur bileşimleri örneği  
[64, UBA, 2000]

Batık odun, kesik odun (odun koruyucuları dahil ve hariç) preslenmiş levha atık maddeleri, kirletici maddeler gibi farklı orijinlerde ikinci odun yakıtları ve kirlenme seviyeleri, geniş ölçüde farklılıklar gösterebilir. Tablo 8.10'da kirletici maddeler ve bazılarının odun koruyucuları (kesik odun gibi) ile odun arındırma içerdikleri farklı atık odun örneklerinin kirlenme farklılıkları gösterilmiştir.

Element	Birimler	Atık odun A	Atık odun B	Atık odun C	Tahrip odunu
Nitrojen	(mg/kg)	n.a.	7600	7300	2400
Kükürt	(mg/kg)	1000	<20	5500	1700
Klorid	(mg/kg)	2000	200	320	1184
Florid	(mg/kg)	120	3	50	88
Cd	(mg/kg)	10	1	n.a.	4.1
Hg	(mg/kg)	1	<0.5	n.a.	1.5
As	(mg/kg)	2	1	n.a.	4
Co	(mg/kg)	2	n.a.	n.a.	4.1
Cu	(mg/kg)	1000	16	23	1388
Cr	(mg/kg)	120	19	32	48
Mn	(mg/kg)	100	n.a.	n.a.	n.a.
Ni	(mg/kg)	20	4	5	15.8
Pb	(mg/kg)	1000	140	510	762
Sb	(mg/kg)	10	n.a.	n.a.	11.8
Zn	(mg/kg)	20	12	n.a.	23.5

**Not:** n.a = mevcut değil

Tablo 8.10: LCP'lerde kullanılan atık odun tipleri bileşim örnekleri  
[75, Hein, et al., 2000]

Madde	Birimler	Kabuk	Larç	Kabuk+parça +kurutulmuş pis su çamuru	Kabuk+ Parça+ Tahrip odunları	Kabuk+ Parça+ plastikler	Kabuk+ Elektronik hurda dönüşümünden preslenmiş levha
Karbon	%	%	51.01	47.06	48.69	50.64	50.64
Hidrojen	%	%	6.10	5.59	5.77	5.73	5.73
Oksijen	%	%	42.28	30.06	36.17	36.85	36.85
Nitrojen	%	%	0.21	2.82	1.48	0.70	0.70
Toplam kükürt	kJ/kg	kJ/kg	0.02	0.40	0.12	0.05	0.05
Kül	% Cl	%F	0.38	14.07	7.77	6.03	6.03
Yanabilir maddeler	49.78	5.41	99.62	85.93	92.23	93.97	93.97
Uçucu maddeler	36.98	0.45	83.04	66.70	72.71	71.39	71.39
H <sub>u</sub>	0.04	7.34	20380	19111	19601	20112	20112
H <sub>o</sub>	92.66	69.06	19050	17891	18343	18862	18862
Klorid	19658	18478	0.000	0.112	0.035	0.071	0.071
Florid	0.000	0.000	0.000	0.012	0.003	0.004	0.004

Tablo 8.11: Farklı odunlardaki katışıklık varyasyonları – ikincil yakıt karışımları  
[64, UBA, 2000]

### 8.3.2 LCP'lerde birlikte yakılan ikinci yakıt derecesi

Tablo 8.12'de, kömürle çalıştırılan güç istasyonlarında kullanılan ikinci yakıtın birlikte yakılması ile ilgili deneyler sunulmuştur. Deneylerin en önemli kısmı, termal bazda %10'dan daha az oranla birlikte yakma ile ilgili olmasıdır. Daha yüksek birlikte yakma oranları ile referans, sıvılaştırılmış yatak kazanlarını ya da pülverize kömürle çalıştırılan buhar kazanlarında ayrı ayrı pülverize edilen birlikte yakma işlemi ile ilgilidir.

Geniş ölçekli gösterimler, kanalizasyon çamuru ve odun parçaları ile sağlanmaktadır. Tablo 8.12'de ikinci yakıtların birlikte yakıldığı güç tesislerinin incelemesi gösterilmiştir.

Örneğin Finlandiya’da yaklaşık 400000 t/yıl ( 2000 yılında) ayrıştırılmış atık kaynağı, 40 adet buhar kazanında %5-30ana yakıtın atık oranı ile birlikte yakılmaktadır. Yenilenen yakıtlar, temel yakıtın turba, kömür ya da odun yakıtı olduğu çoğunlukla sınıflandırılmış yatak kazanlarında birlikte yakılmaktadır. Atık yakıtın temel bileşenleri, kağıt ve tahta, bilinen belli plastik materyaller ve RDF’dir. Bu ülkede, birlikte yakma işlemleri için atıklardan üretilen yakıtların kalite kategorileri ve kalite kontrol yöntemleri ulusal standartlar tarafından onaylanmaktadır.

Ülke	Güç (MW <sub>e</sub> )	İkincil yakıt	Birlikte yakma termal derece %	Birlikte yakma yakıtının taşınması	Düşünceler
<b>Avusturya</b>					
	124	Biyomas (kabuk)	3	Buhar kazanı, buhar kazanı altında her biri 5 MW kapasiteli hava soğutmalı ileri itilen iki ızgaraya sahiptir	1994’den bu yana faaliyette. Ayrıntılar için bakınız Bölüm 8.1.4.3
	137	Biyomas	3	Gazlaştırma, gaz brülörleri ve yeniden yakma	Gazlaştırılmış biyomas yeniden yakma yakıtı olarak birlikte yakılır. 1997’den bu yana faaliyette
<b>Danimarka</b>					
	77.5	Saman	50	Akışkan yatak yakma	Tesis kömür/saman yakıtı karışımı için tasarlanmıştır
	125	Pülverize odun	20	Ayrı odun brülörleri	Pülverize odun özel uyarlanmış edilmiş iki brülörde yakılmıştır. Olumsuz etki gözlenmemiş olup daha yüksek birlikte yakma yüzdeleri beklenmektedir. NOx emisyonu % 35 azalmış ve uçucu kül kalitesi iyi halde korunmuştur.
<b>Almanya</b>					
	170	Pis su çamuru	11		
	195	Pis su çamuru	3.5		
	335	Pis su çamuru	3.5		
	280	Biyomas topakları	Maks 10 kütle	Ayrı odun değirmenleri, odun brülörleri	Biyomas çekiç değirmenlerinde toz haline getirilir ve buhar kazanı tabanda bir ızgaraya sahiptir
	382	Pis su çamuru	5		
	565	Pis su çamuru	0		
	805	Pis su çamuru	<0.5		
	913	Pis su çamuru	1		
	930	Pis su çamuru	5		
	1074	Pis su çamuru	1.5		
	1280	Pis su çamuru	0.07		
	1933	Pis su çamuru	1.1		
<b>Finlandiya</b>					
	>40	REF, RDF Seçili belediye atıkları			
<b>İtalya</b>					
	320 MW <sub>e</sub>	RDF		Kömür ile pülverize	RDF haddeleme, metal materyallerin mıknaatsızla ayrılması, ayrı organik fraksiyonlara ayırma yoluyla katı belediye atıklarından elde edilir
	48 MW <sub>TH</sub>	RDF	Sadece 33 MW <sub>th</sub> bazında % 10-15	İki çözüm: 1) kömürle pülverize 2) tahsis besleme hattı	Birlikte yakma daha yüksek yanmamış

Ülke	Güç (MW <sub>e</sub> )	İkincil yakıt	Birlikte yakma termal derece %	Birlikte yakma yakıtının taşınması	Düşünceler
<b>Hollanda</b>					
	403	Fosfor fırın gazı Sulu çamur	3	Ayrı gaz brülörleri Kömür ile pülverize	1996'dan beri faaliyette Geniş ölçekli testler
	518	Likit organik tortu	1		1995'den beri faaliyette
	518	Biyomas toprakları	5	Kömürle pülverize	1998'den beri faaliyette
	600	Atık odun	3	Ayrı haddelenmiş, odun brülörleri	1995'den beri faaliyette
	600	Atık odun	5	Gaz temizleme ile Gaz brülörleri	2000'de hizmete alındı
	630	Kurutulmuş pis su çamuru	3	Kömür ile pülverize	Çeşitli geniş ölçekli testler
	645	Kağıt çamuru	Maks 10 kütle	Kömür ile pülverize	1997'den beri faaliyette
<b>Birleşik Devletler</b>					
		Odun (söğüt)	Maks 10 kütle	Ayrı odun değirmenleri Odun brülörleri	
		Odun	Maks 5 kütle	Kömür ile pülverize	
	2 x 25	Odun/RDF	50/15	Kabarcıklı akışkan yatak yakma	
	54	Odun	Maks 40 kütle		Kısa test, Doğal gaz destek brülörü
	100	Odun (testere tozu)	Maks 13.5 kütle		Geniş ölçekli test, Artan fazla hava, azalan buhar sıcaklıkları
	350	Çöpten çıkarılan yakıt	6		
	560	Atık odun	5		Siklon yakıcı

Tablo 8.12: Bazı AB Üye Ülkeleri ve Birleşik Devletler'deki bazı LCP'lerde edinilen birlikte yakma deneyimleri [58, Eurelectric, 2001]

### 8.3.3 İkincil yakıtın birlikte yakılmasının genel etkileri

İkincil yakıtın işlemde geçirilmesi, özellikle yakımı emisyon evyelerine, tesis verimliliğine ve tortuların, yan ürünlerin ve atık suyun kalitesine ve miktarına kadar verimliliğe göre karışıklıklara yol açabilir. Özellikle aşağıdaki özellikleri göz önünde bulundurulduğunda ikincil yakıtın yapısı tarafından etkilenir:

- zehirlilik (ayrıca hastalık yapıcı mikroplar)
- infilak riski (gaz yakıtlar ve toz patlamaları)
- yancılık (sıvı yakıtlar)
- yakıtın nem içeriği
- anlık ısınma (biyoyakıt)
- koku
- akışkanlık (çamur ve katılar için)
- öğütülebilirlik

Bu hususlar, ikincil yakıtın güvenli ve düzenli yan yakımını sağlamak için yakıtı seçerken dikkate alınmalıdır.

### 8.3.4 Birlikte yakma işleminin tesis verimliliği üzerindeki etkisi

Buhar kazanı yakıt karışımıyla yakıldığında, bireysel yakıt akımlarının enerji girdilerinin enerji çıktılarına dönüşümüne ilişkin güç santrali verimlilikleri belirlenmelidir. Bu, yan yakmanın tesis verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, birlikte yakmanın ana yakıtın dönüştürülmesi üzerindeki etkisi kadar ikincil yakıttan enerji çıkışına dönüşümün de ele alınması gerektiği anlamına gelmektedir.

Atıktan enerjiye dönüşüm verimliliği aşağıdakilerden etkilenir:

- Yakıtın nem içeriği
- Yakıt reaktivitesi
- Yakıtın öğütülebilirliği
- Yakımdan önce gerekli ön arıtma işlemlerinin verimliliği
- Yakıtın işlemde geçirilmesi ve ön yakımı için gerekli hane yükü
- Kalori değeri
- Kül içeriği

İkincil yakıtın yan yakımı aşağıdaki yollarla ana yakıtın enerji çıkışına dönüştürülmesini etkileyebilir:

- Düzgün yakma sağlamak için hava fazlalığına ihtiyaç duyulabilir
- Buhr kazanındaki akış ve baca gazı sıcaklığı değiştirilebilir
- Uçucu küldeki yanmamış karbonda bir artış olabilir
- Buhar sıcaklıkları değiştirilebilir
- Verimlilik sahada veya saha dışında ikincil yakıtın kurutulması ile etkilenebilir

Ana yakıtın verimliliğine kıyasla, ikincil yakıtın elektriğe dönüştürülmesinin verimliliğinin genel özellikleri Tablo 8.13'te verilmiştir.

Örnek durumlar	Verimlilik değişimleri	Düşünceler
Odunun birlikte yakılması	Kömürün % 4 – 5'i pülverize odun ile değiştirilecektir. Bu kapasite buhar kazanının birlikte yakma kapasitesinden ziyade odunun elverişliliğine dayalıdır. Yakıtın nem içeriğindeki artış düşük ısıtma değeri kullanıldığında verimlilik üzerinde çok az etkiye sahiptir	En büyüğü 3 cm ebatında olan odun parçaları konteynerlerde elektrik santraline taşınır ve bir günlük birlikte yakma kapasitesine sahip olan bir alanda muhafaza edilir. Konteynerlerin boşaltılmasından sonra, bir taşıyıcı bant odunları çekiç değirmenine taşır. İnce partiküller toz kolektörüne verilir, kapa partiküller ise bir gün kapasiteli ambarlarda muhafaza edilir. Bu ambarlardan alınan odun parçaları odunu özel partikül boyutlu (90 % <800 $\mu$ ) toz haline getirerek öğütmek için iki değirmene verilir. Çekiç değirmenlerinden alınan pülverize kömür ile birlikte, odun tozu buhar kazanı yakınındaki bir siloya taşınır. Dozlama sistemi odunu, kömür brülörlerinin altında konuşlanmış odun brülörlerine gönderir
Sulu çamur ile gübrenin birlikte yakma etkisi Verimliliğin ikincil yakıt kurutulmasından nasıl etkilendiği	Bununla birlikte, yakıtın yüksek nem içeriği buhar kazanı performansını olumsuz etkileyecektir	Kömür değirmeninde kurutulmak için çok nemli olan yakıt ana yakıt ile karıştırılmadan önce kurutulması gerekir. Çoğunlukla kurutulması gereken tipik ikincil yakıt örnekleri sulu çamur ve % 50'den fazla nem içerikli gübredir (örneğin tavuk çöpleri) sulu çamurdur. Bir kömür değirmeninin kurutma kapasitesi bu yakıtları kafi ölçüde kurutmak için çok düşüktür

Tablo 8.13: Birlikte yakma işleminin LCP verimliliği üzerindeki bazı etkilerine örnekler

### 8.3.5 Birlikte yakma işleminin tesis performansı üzerindeki etkisi

Nemlilik ve kül içeriğinden kaynaklanan tesis verimliliği üzerindeki olası etki haricinde, yan yakma tesis performansını da etkiler. Bu, bileşiklerin kapasite sınırlamalarından kaynaklanan, nominal yükte ve güç tesisinin yük kontrol hızında bir düşüşle sonuçlanabilir. Örneğin; indüklenen çekişli baca gazı fanının tasarım kapasitesi ıslak yakıtların yan yakımını sınırlayabilir. Tesis performansı ve (uygunluğu) buhar kazanının (yakıtın kükürt ve klorin içeriğine bağlı olarak) çürümesi, aşınması, mıcırlanması ve (külün alkali içeriğine bağlı olarak) bozulması tarafından etkilenebilir. Yakıtın ön arıtımı ya da ön dönüşümü için LCP ekipmanlarını uyarlamak ya da yan yakma derecesini sınırlandırmak tesis performansında bir düşüşü engellemede yardımcı olabilir.

İkincil yakıt, buhar kazanının orijinal tasarım yakıt(lar)ından kaynaklandığından, tesis verimliliği ve performansı üzerindeki etkiler artar. Aşağıdaki liste ikincil yakıtın yan yakımının LCP performansını etkileyebileceği birkaç yolu ayrıntılarıyla verir:

- Güç istasyonu ekipmanının mevcut tasarım kapasitesi (ÖR: ıslak yakıtların yan yakımında daha yüksek ıslak baca gazı akışından kaynaklanır)
- Ateşleme, alev sabitliği, alev sıcaklığı, NOx oluşumu ve yakım gibi, ana yakıttan farklı olan ikincil yakıtın yakma yolları
- Külün kimyasal oluşumundan etkilenen bozulma ve mıcırılma (özellikle potasyum , sodyum, sülfür) ve külün erime yörüngesi
- Buhar kazanlarının, özellikle ışımsal ve iletimsel ısın eşanjörlerinin termal davranışları
- Buhar kazanı parçalarının tuzları tarafından (buhar kazanı yakımında, ör; hava azaltımı, işletme şartları ve yakıttaki kükürt klorin içeriğinden kaynaklanır) aşınma ve çürüme
- Yan ürünler, n ve yakma tortularının kalitesi ve davranışları
- İkincil yakıttaki kükürt, klorin, ağır metaller, organikler gibi içeriklerden kaynaklanan emisyonların havaya bırakılması
- İkincil yakıttaki kükürt, klorin, ağır metaller, organikler gibi içeriklerden kaynaklanan emisyonların suya bırakılması
- Baca gazının oluşumundaki değişikliklere bağlı olarak baca gazı temizleme üniteleri üzerindeki etki (özellikle As, P ya da F alkalileri tarafından DENOX katalizörlerinin deaktivasyonu; arttırılmış uçucu küllerin ESPLer tarafından dağıtılması; FGD üzerinde etkili olur.)
- Atık ön arıtımından kaynaklanan sy emisyonu (ör; kanalizasyon suyunun kurutulması)

Tablo 8.14 ikincil yakıtların yan yakımının LCPLerin performansı üzerindeki en önemli etkilerin bazı örneklerini gösterir.

İkincil yakıt	Düşünceler	Performans etkileri
Hayvan yemi	Kalorifik değer üzerindeki etkisi	Fosfor, klorin ve ikincil yakıtın alkalın metallerinin neden olduğu problemler
Et ve kemik yemi		Tıkanmaya neden olan kalsiyum fosfat oluşturan fosfor etkisi. Diğer problemler alkalın metaller (sodyum potasyum) ve klorindir.
Don yağı	Bu genelde fuel oil ikamesi olarak kullanılır	% 0.05'den daha fazla fosfor içerebilir ve problem yaratabilir

Tablo 8.14: LCP'lerde birlikte yakıldıklarında ikincil yakıtların neden olduğu etkiler

### 8.3 Birlikte yakma işleminin hava emisyonları üzerindeki etkileri

Birlikte yakılan ikincil yakıtların kimyasal özellikleri emisyonların temel belirleyici etkenleridir. Kömür ya da linyitteki elementlerin yoğunluklarına kıyasla, ikincil yakıtların içindeki cıva gibi elementlerin yükseltilmiş yoğunlukları aynı şekilde bacadan çıkan daha yüksek hava emisyonlarıyla sonuçlanır. Hava emisyonu kontrol tedbirleri birlikte yakma prosesinin ürettiği ilave emisyonlardan kaynaklanabilecek farklılıkları giderebilir.

### 8.3.6.1 Partikülat madde

Bacadan çıkan toz emisyonu, özellikle ESP performansını değiştirebilen külün farklı fiziksel ve yeni kimyasal oluşumlarına bağlı olarak yan yakım ile değiştirilebilir. Bununla birlikte, çok ince partiküller açığa çıkarabilen kuru katı yakıtlar özellikle taşınmasında ve depolamada kaçak toz emisyonlarını artırabilir. Özellikle ESP performansları külün eni oluşumu tarafından değiştirilirse, toz emisyonları ikincil yakıtta bağlı olur.

Partikülat madde baca gazında bir takım nedenlerden dolayı mevcuttur. Bunların bazıları yakma odasındaki düzensiz şartlar yoluyla baca gazına geri çekilen kül ile ilgilidir. Saman gibi hafif yakıtlar özellikle buna meyildir. Aynı şekilde, baca gazı kısmen yanmış yakıtları geri çekmiştir.

Yakma odasında uçuculaştırılmış kadmiyum ve özellikle cıva gibi metaaller ve bileşikler, yakmadan sonra sıcaklık düştüğünde partikülat maddeye yoğunlaşır. Bu madde, yok edilmesi zor olan mikron altı kokusu oluşturur. Partikülatlar kurum üfleme gibi rutin çevrimiçi temizleme yoluyla da oluşturulabilir.

### 8.3.6.2 Asit gazlar

Kullanılan ikincil yakıtın türüne bağlı olarak, asit gazlarının daha yüksek emisyonları sonuç olabilir. Bu gazlar, hidrojen klorid, kükürt dioksit, hidrojen florid ve nitrojen oksitlerdir. İkincil yakıttaki çeşitli bileşiklerin yoğunlukları baca gazında ve uygulanan azaltma tedbirlerinde ayrı ayrı asit gazlarının seviyesini belirleyecektir.

### 8.3.6.3 Karbon oksitler

Fosil CO<sub>2</sub> emisyonları, yenilenebilen ikincil yakıtlar birlikte yakıldığında düşer. Bu, biyoyakıtın birleşik yakımının temel amaçları ve başarılarından biridir. Birincil fosil yakıtların değiştirilmesine bağlı olarak, 'fosil CO<sub>2</sub>' emisyonları düşer, bunun aksine biyomastan kaynaklanan CO<sub>2</sub> hesaba katılmaz. CO<sub>2</sub> azaltımı genellikle biyomasın birlikte yakılmasından yana bir tartışma konusu olmasının yanı sıra diğer bileşenlerin hava emisyonlarını bir nebze artırabileceği tartışmasına da karşı çıkarlar. Karbon monoksit emisyonları yan yakmada önemli derecede artmazlar.

### 8.3.6.4 Halojenürler

Halojenür emisyonları, ikincil yakıtın yüksek Cl ve/veya F içerikleriyle yan yakımında daha yüksek olabilir. Klorid ve florid, örneğin kömürle çalışan güç tesislerinin tipik baca gazı temizleme tesisleri ile tamamen azaltılamazlar. Bu bileşiklerin yoğunlukları, atık yakımı tarafından oluşturulan emisyon değerleriyle kıyaslanırsa yüksek olabilir. Genellikle florid'in, emisyonları, gaz-gaz ısısı eşanjörü FGD'den çıkan temizlenmiş baca gazlarının yeniden ısıtımı için uygulandığındadaha yüksek olabilir.

### 8.3.6.5 Nitrojen oksitler

Atık ya da yenilenen yakıt, atık ya da yenilenen yakıtın birlikte yan yakıldığı kömüre ne kadar çok benzediğine bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonları üzerinde yararlı ve zararlı etkilere sahip olabilir. Yüksek uçucu kömürler alev sıcaklığını artırabilir böylece potansiyel olarak daha çok NO<sub>x</sub> oluşur. Yüksek nem oranıyla ikincil yakıt düşük adiyabatik alev sıcaklığıyla yavaşça ateşlenir, böylece daha az NO<sub>x</sub> oluşur. NO<sub>x</sub> azaltımı teknikleri ile tesisler daha yüksek yakıt-nitrojen içeriğiyle ikincil yakıtları kabul etmekte daha yüksek esnekliğe sahiptir.



### 8.3.6.6 Kükürt oksitler

Temel yakıttan (kömür, linyit, turba) daha fazla kükürt içerikli ikinci yakıtlar, bazen baca gazından eşit SO<sub>2</sub> ihracını var sayarak sadece sınırsal olarak yüksek baca gazı konsantrasyonlarına sebep olabilirler. Buna rağmen, bu ikinci yakıtların çoğu ilk yakıttan daha düşük kükürt içeriğine sahip olabilirler. Bu durumda, kükürt bileşenlerinin toplam emisyonları azalabilir.

### 8.3.6.7 VOC'lar ve dioksinler

Baca gazındaki değişken organik bileşenler (VOClar), yanmamış yakıtı temsil ederler. Ortak yakma, VOCların emisyonunda artışa yol açabilir. Buna rağmen, iyi bir burnout elde edildiğinde, hidrokarbonların, değişken organik bileşenlerin ve PAClerin emisyonları ortak yakmada önemli ölçüde değişmez. [58, Eurelectric, 2001].

Poliklorinat dibenzo-p-dioksinler ve poliklorinat dibenzo-furanlar ('dioksinler ve furanlar') dioksinin 200'den fazla böyle bileşen için genel terim olduğu VOC 'un özel bir türüdür.

Dioksinler ve dioksin-precursor maddeleri, tahta yıkımı , yakma odasında imha edilen küçük miktardaki çıkarılan atık yakıt (RDF) gibi ikinci yakıtlarda bulunurlar. Buna rağmen, inorganik klor stoğuyla bağlantının olduğu , clorinat benzenler, PCB'ler veya klorinat olmayan prekürsörler gibi prekürsörlerden daha sonradan 'de-novo sentez' adı verilen bir işlem ile yeniden oluşabilirler. Yeniden oluşumlarının mekanizması tamamen anlaşılmalı değildir, fakat çoğunlukla 200 ve 450 °C arasında meydana gelen işlemdeki bakırın, soot ın ve uçucu külün varlığı düşünülür. Bu etkiler nedeniyle, atığın belli türlerinin ortak yakmasının yüksek dioksin emisyonlarıyla sonuçlanabileceği teşhis edildi. Dioksin emisyonları, baca gazlarına aktif karbon enjektisiyle azaltılabilir.

Buna rağmen, özel yakma özellikleri ve bu bileşenlerin oluşumuna engel olan yakıttaki kükürt içeriği nedeniyle, kömürle çalışan tesislerden dioksin ya da furan emisyonları düşüktür. Bu ortak yakmayla değişmez, hatta yüksek klor içerikli ikinci yakıtla bile değişmez.

### 8.3.6.8 Metaller

Metaller (ör:ağır ve zehirli metaller) fosil yakıtlardaki doğal elementler olarak belli bir ölçüye kadar mevcuttur zaten. Tablo 8.9 ve Tablo 8.10'da da gösterildiği gibi , kanalizasyon çamuru ve atıktan çıkarılan yakıt ya da tahta yapıların imhası gibi ikinci yakıtlar , geleneksel yakıttakinden daha yüksek miktarlarda metal içerebilirler. Atık benzin az kül üretir ve dolayısıyla yakıtta bulunan zehirli metal bileşenlerinin baca gazında sonlanması muhtemel değildir.

Bazı metaller, fırın dip külünde kalırlar, baca gazında bulunan diğerleri ise partiküller haline geldikleri yakma çemberinden aşağı akarak sıvılaşır. Kadmiyum, cıva, talyum ve selenyum gibi bazı oldukça yüksek değişken metal bileşenleri duman bölümünde ya da aşırı ince gaz içinde kalacaklardır. İkinci yakıtı değerlendirmede ( -in kompozisyonu) , değişkenliği yüzünden Hg tüm elementler içinde tipik olarak en kritik olanlardan birisidir.[58, Eurelectric, 2001]. Atık girişinin sınırlamaları nedeniyle (ortak yakılmış atıklardan, güç tesisinin toplam termal girişinin sadece birkaç tane yüzdesi ) ve saf kömürle çalışan tesislerin ham gazındaki kıyaslanabilir düşük Hg konsantrasyonları nedeniyle, syreltme etkilerinin bir sonucu olarak (dahası, detection sınırları genellikle kısıtlayıcı parametredir) Hg'nin ham gaz konsantrasyonu önemli ölçüde artmayacaktır. Buna rağmen, yayılan yükler , çok yüksek baca gazı hacimlerinin bir sonucu olarak artacaktır. Diğer ağır metallerin toplam emisyonlarına bakarak, muhtemelen yüksek Pb,Co,Tl veSe konsantrasyonları yüzünden biraz artış mümkündür.[58, Eurelectric, 2001].

Temiz baca gazındaki Hg konsantrasyonunu azaltmak için ek kontrol tekniklerini yenilemenin ortalama maliyeti aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Kömür tipi (kükürt içeriği)	Mevcut hava kirliliği kontrol cihazı	Hg kontrol uyarlaması	Mevcut maliyet (US cents/kWh)	Planlanan maliyet (US cents/kWh)
Katranlı (% 3 S)	Soğuk ESP + FGD	PAC	0.07 – 0.12	0.04 – 0.07
	FF + FGD	PAC	0.03 – 0.05	0.02 – 0.03
	Sıcak ESP + FGD	PAC + PFF	0.15	0.09
Katranlı (% 0.6 S)	Soğuk ESP	SC + PAC	0.1 – 0.18	0.06 – 0.1
	FF	SC + PAC	0.4 – 0.08	0.03 – 0.05
	Sıcak ESP	SC + PAC + PFF	0.18 – 0.38	0.1 – 0.23
Alt-katranlı (% 0.5 S)	Soğuk ESP	SC + PAC	0.012 – 0.19	0.07 – 0.11
	FF	SC + PAC	0.04 – 0.11	0.03 – 0.07
	Sıcak ESP	SC + PAC + PFF	0.14 – 0.27	0.09 – 0.16
<b>Notlar:</b>				
FF = Bez filtre presipitator		FGD = Baca gazı kükürt giderme	ESP = Elektrostatik	
PAC = güçlendirilmiş aktif karbon;		PFF = parlatici bez filtre;	SC = Sprey soğutucu	

Tablo 8.15: Civa emisyonu kontrol teknolojileri uyarlamasına yönelik mevcut ve planlanan yıllık işletim maliyetlerinin hesaplamaları  
[171, UN ECE, 2002]

### 8.3.6.9 Baca dumanı

Kümes hayvanlarının çöpleri gibi yüksek nem içerikli yakıtlar, görülebilir duman bulutu oluşumundan kolay etkilenirler. Bacadan görülebilir duman bulutu oluşumunu engellemek amacıyla egzoz gazlarını koşullandırmak için üç genel teknik bulunmaktadır:

- Egzoz gazı yeniden ısıtması
- Egzoz gazı sıvılaştırması
- Baca gazı derecesi kontrolü.

Sıvılaştırma teknikleri, kirlenici maddelerle kirlenebilen ve nötralizasyon uygulamasını gerektirebilen boşlatım için sıvının büyük hacimlerinin meydana getirir.

### 8.3.6.10 Koku

Kokulu çamur gibi ikinci yakıtların depolanması ve taşınması, koku emisyonları oluşturabilir. Özellikle kurutucu kurulumlar odour emisyonlara karşı tedariğe ihtiyaç duyarlar. Yakıta ve yerel konuma bağlı olarak, nakliye ve depolama kapalı alanlarda gerçekleştirilmeli.

### 8.3.7 Birlikte yakma işleminin su emisyonları üzerindeki etkileri

İkinci yakıtın birlikte yakılması suya emisyonları etkileyebilir. Buna rağmen, soğutucu su, sıvılaştırılmış ya da demineralize atık su gibi atık su kaynaklarının çoğu, ortak yakmadan etkilenmezler. Atık su kaynakları aşağıdakilerden etkilenebilir:

- Sızma yüzeyi ( yağmur suyu) ve katı yakıt deposundan durulama suyu
- Tüm dewatering (kurutma) işlemlerdeki genel faktör , ayrılan suyun ( filtrat ya da dekant su) farklı ölçülerde kirletilmesidir. Bu özellikle, dewatering yüksek derecelerde olduğunda ve kanalizasyon arıtma tesisinin önemli bir ikincimkirilliliğini temsil ettiğinde, doğrudur.
- Bölüm 3'te de açıklandığı gibi, baca gazlarından ağır metaller gibi diğer metalleri olduğu kadar SO<sub>2</sub> de ihraç ettiği için, baca gazı desülfürizasyonu atık suyun temel kaynağıdır. Atık su tesisinin atığındaki ağır metal konsantrasyonları , belli bir ölçüye kadar, influent konsantrasyonlardan bağımsızdır ve dolayısıyla ortak yakmadan etkilenmeyecektir.
- Normal olarak kömür deposu konusu olan bu su eğer dahili olarak yeniden işlenmezse, açık yakıt deposunun suyuyla toz kontrolü, atık su ile sonuçlanabilir. Eğer ikinci yakıt düzgün şekilde depolanıp taşınmazsa, yağmur suyuda gereksiz olarak kirlenecektir. 'iyi ev idaresi' maddelerin dökülmesini ve kanallara transfer edilmesini engelleyecektir.
- Duman bulutuna uygulanan sıvılaştırıcı teknikler , kirletici maddelerle kirletilebilen ve atık su arıtması gerektirebilen boşaltım için sıvının büyük hacimlerini üretir.
- Sıvı ikinci yakıtların depolanması ve taşınması, atık su arıtma sistemine seyreltilebilir. Kömür alanında kömürün üzerine püskürtülen ıslk çamur kullanımı da ayrıca tipik olarak atık su arıtma tesisine seyreltmeyi kapsayabilir.

### 8.3.8 Birlikte yakmanın yakma tortu ve yan ürünlerin kalitesi üzerindeki etkileri

Temel olarak, birlikte yakma için başlama noktası, yakma tortularının ve yan ürünlerin kalitesindeki bir düşüşü engellemektir. Bu, ikinci yakıtın ön arıtımıyla ya da birlikte yakma derecesinin sınırlanmasıyla elde edilmelidir. Tortular ile yan ürünlerin kalitesi iki açıya sahiptir- teknik ve çevresel kalite:

- Teknik kalite, birlikte büyük ölçüde yan ürünün uygulanabilirliğini belirleyen çeşitli parametrelerin tanımıdır. Saf olarak teknolojik parametreler (ör: sertlik, gözeneklilik, partikül boyutu, nem içeriği) hariç, chloride, fosfor, sülfat ve karbon gibi elementlerin içeriği de ayrıca önemlidir. Bu , özellikle beton ve çimentodaki küllere uygulanır. Teknik gereksinimler normal olarak yapı endüstrisi tarafından( ile bağlantılı) yayımlanacaktır. Kül kompozisyonu ikinci yakıtızsızda farklı olabileceği için, valorizasyon problem olabilir( tüm ikinci yakıtlar betondaki kül üzerinde normalde EN-450 değildir.
- Yan ürünün çevresel kalitesi, ağır metallerin çevreye uygulandıkları üründen nasıl boyutsal kararlılık ifadesidir. Eğer yan ürünler kullanıldıkları ürünler için uygulanmaya izinlilerse, teknik özelliklerden ayrı olarak boyutsal kararlılık özellikleri belirler

Yan ürün kalitesi üzerindeki ortak yakma etkisi, kapsamlı bir şekilde araştırıldı ve Hollanda gibi bazı ülkelerde rapor edildi. ESP'nin verilen ihraç oranlarına göre, elementlerin %99'dan fazlası küllerin içinde bulundu. Genel olarak, yakıtın kompozisyonundaki değişiklikler, aynı önemle küllerin kompozisyonunda değişikliklerle sonuçlanır. Daha özel olarak, yakma işleminde buharlaşmayan elementler tüm kül türlerinde aynı konsantrasyona sahip olacaklardır. Buna rağmen daha değişken elementler için, yeniden dağıtım, uçucu külden ve baca gazı yukarı akışında buharlaşmayan elementlerden daha fazla bulunacakları anlayışıyla gerçekleşirler.

Sonuç şu ki; ortak yakma olayındaki kül kompozisyonu , ikinci yakıtların diğer kompozisyonlarıyla birlikte buna uygun olarak değişecektir. Yan ürünlerin elementsel kompozisyonu, belli bir ölçüye kadar tahmin edilebilir, yani , hangi ikinci yakıtın ne zaman, nasıl ve ne miktarda ortak yakılacağına sınırlarını belirlemek mümkündür.

Ortak yakma durumundaki kül kompozisyonu, ikinci yakıtın diğer kompozisyonlarıyla uygun olarak değişecektir. Yan ürünlerin elementsel kompozisyonu, öyle bir ölçüye kadar tahmin edilebilir ki, yani , hangi ikinci yakıtın ne zaman, nasıl ve ne miktarda ortak yakılacağına sınırlarını belirlemek mümkündür

Ağır metaller (biraz az, biraz çok) , çok uzun süre suya maruz kaldıktan sonra çevreye boyutsal kararlılık riskine sahip olacaklardır. Çimento ya da yapı endüstrisinde sabit konumdaki uygulamalarda kullanıldığı zaman, boyutsal kararlılık özellikleri uçucu kül için daha az önemlidir.

Buna rağmen, örneğin yolun altında tabaka olarak kullanılan dip külü, uzun vadede bazı elementlerin boyutsal kararlılıklarını kapsayabilirler. Mikroelementsel kompozisyonda ve boyutsal kararlılıktaki bir değişme, ortak yakmanın bir sonucu olarak dip külünün uygulamasına kısıtlamaya neden olabilir.

Alçı taşı, yakıt kompozisyonunun değişmesinden zar zor etkilenicektir. Ürün ilk önce suyla kontakın söz konusu olmadığı binaların içinde uygulandığı için, boyutsal kararlılık tehlikesi yoktur. Fakat, kalite gereksinimlerine göre, alçı taşı normalde güç tesisini terk etmeden önce yıkanır.

Gazlaştırma ya da CFBler gibi ön arıtım süreçlerinin filtre külleri, genellikle uygulamak için daha zordur ve boşaltım için gönderilmesi gerekebilir. Mikroelementleri sabitleştirme teknikleri, uygulamalar için imkan yaratabilir.

Ağır metal konsantrasyonlarının çevresel etkisinin genel bir değerlendirmesi için, toplam içeriğin hesaplanması kadar tortudaki ağır metallerin bloke edilmesi ve sabitleştirilmesinin de hesaba katılması gerekmektedir. Sabitleştirme miktarı, sağımdaki ağır metal konsantrasyonlarından hesaplanabilir. Tablo 8.16 ve Tablo 8.17, düzenli yakıtla kuru sorpsiyon ve ham kül gibi yakma tortuları üzerindeki ortak yakma etkilerini göstermektedir. Hg(etmen 2), Pb(etmen 3) ve Cd(etmen 4) gibi konsantrasyonlarının, uçucu kül kuru sorpsiyon tortusu karışımında arttığı görülebilir. Ayrıca, Pb, Zn, Cu ve Cr konsantrasyonları, materyal yenilenmesini imkansız kılanham külde arttırılır. Buna rağmen, boyutsal kararlılık hareketi dikkate değer şekilde etkilenmemiştir.

	Kuru sorpsiyon tortuları			
	Toplam içerik (mg/kg)		Eluate içeriği (mg/kg)	
	Kömür	Yaklaşık % 10 pis su çamurunun birlikte yakımı	Kömür	Yaklaşık % 10 pis su çamurunun birlikte yakımı
<b>Al</b>	<b>2.9</b>	<b>3.4 – 3.6</b>	<b>12</b>	<b>8.5-11</b>
<b>As</b>	<b>34</b>	<b>31 – 37</b>	<b>&lt; 0.2</b>	<b>&lt; 0.2</b>
<b>Cd</b>	<b>&lt;2</b>	<b>4-7</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>&lt; 0.1</b>
<b>Cr</b>	<b>49</b>	<b>55 – 64</b>	<b>0.91</b>	<b>0.81-0.85</b>
<b>Cu</b>	<b>135</b>	<b>80 – 140</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Hg</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6 – 1.3</b>	<b>&lt; 0.01</b>	<b>&lt; 0.01</b>
<b>Ni</b>	<b>91</b>	<b>93 – 100</b>	<b>&lt; 0.2</b>	<b>&lt; 0.2</b>
<b>Pb</b>	<b>230</b>	<b>228 – 650</b>	<b>&lt; 0.3</b>	<b>&lt; 0.3</b>
<b>Zn</b>	<b>140</b>	<b>245 – 570</b>	<b>&lt; 0.2</b>	<b>&lt; 0.2</b>

Tablo 8.16: Birlikte yakmanın yakma tortuları üzerindeki etkisi  
[64, UBA, 2000]

	Kaba kül			
	Toplam içerik (mg/kg)		Eluate içeriği (mg/kg)	
	Kömür	Yaklaşık % 10 pis su çamurunun birlikte yakımı	Kömür	Yaklaşık % 10 pis su çamurunun birlikte yakımı
<b>Al</b>	4.4	4.8-5.9	21	8.8-133
<b>As</b>	<b>11</b>	<b>11-13</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>&lt;0.2</b>
<b>Cd</b>	<b>&lt;2</b>	<b>&lt;2</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Cr</b>	<b>59</b>	<b>86-260</b>	<b>11</b>	<b>&lt;0.1-0.12</b>
<b>Cu</b>	<b>80</b>	<b>590-7800</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1-0.23</b>
<b>Hg</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
<b>Ni</b>	<b>70</b>	<b>130-290</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>&lt;0.2</b>
<b>Pb</b>	<b>57</b>	<b>130-3400</b>	<b>&lt;0.3</b>	<b>&lt;0.3-1.7</b>
<b>Zn</b>	<b>100</b>	<b>190-5590</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>0.2-1.1</b>

Tablo 8.17: Birlikte yakmanın yakma tortuları üzerindeki etkisi [64, UBA, 2000]

Tablo 8.16 ve Table 8.17’de birlikte yakma işlemi ile atık maddelerdeki ağır matellerin taşınabilirlik imkanının buhar kazanındaki yüksek derecelere bağlı olarak genelde nispeten daha düşük olduğu gösterilmiştir. (cam haline getirme etkisi).

Ayrıca, ağır metallerin elüsyon olasılığı, nemlendirme sonrasında atık maddenin sıkıştırılmış yapısına bağlı olarak geniş ölçüde azaltılmıştır. Öyle ki, eski yakıtlardan (taş kömürü) çıkan atık maddelere benzer olarak, özellikle ürünün sabitleştirildiği durumlarda eluate konsantrasyonunda hiçbir artış kaydedilmemiştir.

## 8.4 Atıklar ile yenilenen yakıtların birlikte yakılmasına yönelik MET belirlenmesinde değerlendirilecek teknikler

Bu bölümde, ikinci yakıtın yakılması ile üretilen emisyonların önlenmesi ve azaltılmasında kullanılacak MET’in değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulacak teknikler sunulmuştur. Her biri günümüz ticari uygulamalarında mümkündür. Bu bölümde değerlendirilecek yöntemler, genel yolla tanımlanmıştır fakat aşağıdaki konular için önceki bölümleri de inceleyiniz:

- Uygulanan işlem ve teknikler (Bölüm 8.1)
- Arındırma teknikleri ile ilgili varsayımlar (Bölüm 8.1)
- İkinci yakıtın birlikte yakılmasına örnekler (Bölüm 8.2)
- Birlikte yakmanın emisyonlar ve yan ürünlerin niteliği üzerine etkisi (Bölüm 8.3).

Bu belgede tekrarlardan kaçınmak için, Bölüm 3.15’teki Çevresel Yönetim Sistemi’ne (EMS) başvurunuz.

## 8.4.1 Tozlu ve kokulu ikincil yakıtların depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Sulu çamur gibi tozlu ve/veya kokulu yakıtın kapalı konteynırlarda taşınması	Koklulu ve kaçak emisyonların azaltımı						
Tozlu ve/veya kokulu yakıtın örneğin yanma havası olarak kullanılabilen kokulu havayı doğrudan yanma odası veya brülöre yollayan emme cihazları gibi kapalı boşaltım binalarında boşaltılması	Koklulu ve kaçak emisyonların azaltımı						
Tozlu ve/veya kokulu yakıtın kapalı silo veya ambarlarda depolanması	Koklulu ve kaçak emisyonların azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek			
Sulu çamuru depolayan silo, ambar veya haznelere emme tesisi ve daha sonraki temizleme cihazlarının uygulanması. Kokulu hava yanma havası olarak kullanılabilen doğrudan yanma odası veya brülöre yönlendirilebilir	Ortam havasına düşük emisyon ve hazne içindeki düşük metan konsantrasyonları, bu suretle patlama riskinin azalması	Mümkün	Mümkün	Yüksek			Emme tesisleri olmaksızın, yüksek metan konsantrasyonları nedeniyle patlama riski yüksek olabilir. Metan üretimi yüksek su içeriği nedeniyle özellikle mekanik kurutulmuş sulu çamura yönelik hazne içerisinde meydana gelebilir

Tablo 8.18: İkincil yakıtın depolama ve taşınmasına yönelik teknikler

## 8.4.2 İkincil yakıtların ön arıtımına yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Kurutma	Yüksek buhar kazanı performansı sağlar. Yüksek nem içerikli yakıt kullanılabilir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Kurutma için ilave enerji gereklidir	Tesise özgü	Yakıtın yüksek nem içeriği buhar kazanı performansını olumsuz etkileyecek olmasına rağmen, termal kurutma çok masraflı ve enerji tüketimi fazla olduğundan bazı hallerde yüksek su içerikli mekanik olarak kurutulmuş pis su çamurunun yakılması daha ekonomiktir.
Sulu çamuru güneşte kurutma	Düşük enerji gereksinimi	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Kokulu emisyon eğilimi	Tesise özgü	Gerekli alan mevcut olmalıdır Daha fazla bilgi için Atık Arıtım BREF
Piroliz	İkincil yakıtın buhar kazanı performansı üzerindeki etkisi azalmıştır. Çok fazla atık yakıt çeşitleri kullanılabilir	Mümkün	Mümkün ancak ana buhar kazanı tasarımına bağlıdır	Sınırlı	Piroliz reaktörü için ilave enerji gereklidir	Tesise özgü	Piroliz, pülverize kömür veya linyitle çalışan elektrik santralinde (kömür) değirmeninde gerekli ebatlarda öğütülemeyen ikincil yakıtlar için cazip bir seçenek olabilir. Bu ön arıtma yakıtın fırın içerisinde kısa ikame süresi nedeniyle buhar kazanı içerisinde yeterli yakımı teminen gerekli olabilir Daha fazla bilgi için Atık Yakma BREF
Anaerobik sindirim	İkincil yakıtın metanizasyonu ürünler buhar kazanı içine kolaylıkla uyduğundan çeşitli avantajlara sahiptir. Çok fazla atık yakıt çeşitleri kullanılabilir	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	İkincil yakıtın biyolojik olarak çözülebilir olması gereklidir. Reaktör neredeyse sıfır korozyonla düşük sıcaklıklarda çalışır. Yüksek su içeriği ile kolaylıkla işletilir Daha fazla bilgi için Atık Arıtım BREF
Gazlaştırma	Yüksek ağır metal konsantrasyonlu (özellikle Hg) büyük ikincil yakıt miktarları üretilen gazın gazlaştırma ve temizlenmesi sonrasında birlikte yakılabilir	Mümkün	Mümkün ancak ana buhar kazanı tasarımına bağlıdır	Sınırlı		Tesise özgü	Daha fazla bilgi için Atık Arıtım BREF ve Atık Yakma BREF'leri
Ön yakma	Pülverize kömürle çalışan buhar kazanlarında düzgün yakılamayan ikincil yakıt					Tesise özgü	Atık yakım BREF'e başvurulması gerekir

Tablo 8.19: İkincil yakıtın arıtılmasına yönelik teknikler

## 8.4.3 İkincil yakıtı yakma prosesine dahil etme teknikleri

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
Ana yakıt ile haddeleme	Heterojen veya yetersiz karıştırılmış yakıt akışı veya dengesiz dağılım buhar kazanındaki tutuşma ve yanmayı etkileyebilir ve önlenmesi gerekir	Mümkün	Sınırlı	Yüksek			Öğütme sadece, ana yakıt ile ikincil yakıtın öğütülme davranışı hemen hemen benzer olduğundan veya ikincil yakıt miktarı ana yakıt akışına kıyasla çok az olduğunda mümkündür
Ayrı boruların kullanılması	Çok çeşitli ikincil yakıt, özellikle likit yakıt yakıtı kullanılabilir	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	Ayrı borular ana yakıt ile karıştırılmayan ikincil yakıtlar için gereklidir. İkincil yakıt NOx emisyonu azaltımı için yeniden yakma yakıtı olarak kullanıldığında da ayrı borular uygulanır
Buhar kazanı tabanında ilave ızgara	Çok çeşitli ikincil yakıt, özellikle biyomas yakıtı kullanılabilir	Mümkün	Mümkün	Yeni tesislerde uygulanır	Yok	Mevcut değil	
İkincil yakıtı yönelik özel ızgara	Çok çeşitli ikincil yakıt, özellikle partiküler biyomas yakıtı kullanılabilir	Mümkün	Çok sınırlı	Yeni tesislerde uygulanır	Yok	Mevcut değil	Böyle bir ızgaranın kurulumu buhar kazanı aşağısında çok fazla boş alan gerektirir ki bu nadiren olur
Ana ve ikincil yakıtın birlikte verilmesi	İyi akışkan yatak buhar kazanı performansı	Mümkün	Mümkün	Yüksek	Yok	Mevcut değil	

Tablo 8.20: İkincil yakıtı yakma prosesine alma teknikleri



## 8.4.4 İkincil yakıtların birlikte yakılmasından kaynaklı hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik				
<b>Genel Konular</b>							
Birlikte yakım için titiz atık seçimi. Köken, fiziko-kimyasal parametreleri ve tehlike potansiyellerinin tam olarak bilinmesi. İkincil yakıt birleşik atık yakımının kalitesini kontrol etmek üzere periyodik olarak kontrol edilmelidir	İkincil yakıtın iyi bilinmesi beklenmedik kirlenici madde zirvelerini önlemeye yardımcı olur ve buhar kazanının korozyon nedeniyle zarar görmesini engeller	Mümkün	Mümkün	Yüksek			Atık ve biyomasın bileşim ve özellikleri ilk dağıtımda ayrıntılı olarak belirlenmek zorundadır ve aşağıdaki parametreleri kapsayabilir: teslim edenin adı ve adresi, kütle, atığın sahibi ve kökeni, su ve kül içeriği, kalorifik değer, klorid, florid, kükürt ve ağır metal içerikleri
Birlikte yakılacak atık yüzdesinin sınırlandırılması	İlave çevresel etkinin sınırlandırılması	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	
Gazlaştırma	Yüksek ağır metal (özellikle Hg) konsantrasyonlu ikincil yakıtın fazla miktarları gazlaştırma ve üretilen gazın temizlenmesi sonrasında birlikte yakılabilir	Mümkün	Mümkün ancak ana buhar kazanı tasarımına bağlıdır	Sınırlı		Tesise özgü	Atık Arıtım ve Atık Yakma BREF'lerde daha fazla bilgi

Tablo 8.21: İkincil yakıtın birlikte yakılması ile hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Teknik	Çevresel fayda	Uygulanabilirlik		İşletim deneyimleri	Çapraz medya etkileri	Ekonomi	Düşünceler	
		Yeni tesisler	Uyarlanabilirlik					
ESP	Toz ve ağır metal azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü	<p>Yakıtta özgü bölümlerde MET belirlenmesinde değerlendirilmiş teknikler ikincil yakıt birlikte yakıldığında da değerlendirilebilir. Ancak ikincil yakıtın birlikte yakılması aşağıdaki etkilere yol açabilir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Isı aktarımı, baca gazı temizleme sistemlerine (örneğin As, P, F ve alkali metallerle SCR katalizörü deaktivasyonu) ve FGD sistemleri ile müdahaleye yönelik sonuçlar doğuran baca gazı hacim ve terkindeki değişiklik</li> <li>İyi ve eşit yakma koşulları sağlanmalıdır (alev dengesi, alev sıcaklığı, buhar kazanı yüzeylerinde oksidatif atmosfer bileşimi, 'strand' oluşumlarının önlenmesi)</li> <li>Hava emisyonları (özellikle Hg, ağır metaller, dioksin ve furanlar, HCl, HF, yanmamış karbon ve CO) artabilir</li> </ul> <p>Özellikle konvansiyonel yakıttakinden daha yüksek uçucu metal içerikli (Hg) ikincil yakıt kullanılması halinde ilave aktif karbon enjeksiyonu MET belirlenmesinde değerlendirilmesi gereken bir tekniktir.</p>	
Bez filtre	Toz ve ağır metal azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü		
<b>SO<sub>2</sub></b>								
Islak, yarı kuru veya kuru FGD teknikleri	SO <sub>2</sub> , HCl, HF, toz ve ağır metallerin azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü		
<b>NO<sub>x</sub></b>								
Birincil ve/veya ikincil tedbirler	NO <sub>x</sub> azaltımı							
<b>Ağır metaller ile VOC ve dioksinler gibi diğerleri</b>								
ESP veya bez filtreler, ıslak, yarı kuru veya kuru teknikler ile ilave seçenek olarak aktif karbon enjektisi	VOC ve dioksin ile birlikte SO <sub>2</sub> , HCl, HF toz ve ağır metal metallerin (özellikle Hg) azaltımı	Mümkün	Mümkün	Yüksek		Tesise özgü		
<p><b>Not:</b> Hava emisyonlarını kontrol etmek için, diğer teknikler de uygulanır; bu nedenle katı, sıvı yakıt ve gazlı yakıtlara yönelik ve Bölüm 3'de mevcut teknikleri açıklayan BREF bölümlerine referans verilmiştir</p>								

Tablo 8.22 İkincil yakıtın yakılması ile hava emisyonlarının kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

### 8.4.5 İkincil yakıtın birlikte yakılmasından kaynaklı su kirliliğinin kontrol ve önlenmesine yönelik teknikler

Su kirliliğinin azaltılmasında çok sayıda yöntem uygulanmaktadır:

- Tüm dehidrasyon (kurutma) işlemlerinde yaygın bir faktör de, ayrıştırılan suyun (filtrelenen ya da durultulan su) farklı derecelerde kirlenmesidir. Bu, özellikle yüksek derecelerde dehidrasyon için doğrudur ve kanalizasyon arındırma tesislerinin ikinci önemli kirliliğidir. Çıkan buharlar ve kanalizasyon çamurunun kurutulması ile sistemden çıkan gazlar, yakma işlemi için buhar kazanına verilebilir.
- Açık yakıt depolanmasının suyu ile toz kontrolü, kömürün depolanmasında genel olarak karşılaşılan bir durum olan, suyun içerde tekrardan işlenmediği durumlarda, atık su ile sonuçlanabilir. İkinci yakıtın gerektiği şekilde taşınmadığı ve depolanmadığı durumlarda, yağmur suyu da boşu boşuna kirlenmiş olabilir. ‘İyi ev korunması’ maddelerin dağılmasını önler ve partiküllere aktarılabilir.
- Baca dumanı tavlama üzerine uygulanan yoğunlaştırma teknikleri, kirlenici maddelerle kirlenilebilen ve nötralize etme yoluyla atık suyun arındırılmasını gerektirebilen işlemlerle, boşaltılmak üzere geniş hacimlerde sıvı üretebilirler.
- Islak gaz yıkama ve yoğunlaştırıcı sistemlerden çıkan çözeltiler, baca gazlarından çıkan asitli gaz atıkları içerdiğinden, yüzey suyuna ya da kanalizasyona boşaltılmadan önce nötrleştirilmelidir.
- Katı maddenin bulunduğu durumlarda, çökeltme gereklidir ve zehirli metaller gibi diğer kirlenicilerin atılması için fiziko-kimyasal arındırma gerekebilir. Arındırılan çözeltiler suya boşaltımı ortadan kaldırmak amacıyla yakıtla dönüştürülebilir, fakat, uygulamada yakıtın nem içeriği kümes çöpleri için önemli parametre olduğundan, 3. Ünite de bahsedildiği gibi uygun olmayabilir, Baca gazı desülfürizasyonu, baca gazından SO<sub>2</sub>'yi olduğu kadar, ağır metaller gibi diğer kirlenici türlerini de ihraç ettiğinden, atık suyun temel kaynağıdır. Atık su, boşaltılmadan önce atık su arındırma tesislerinde arındırılmalıdır.
- İşlem, 3.2.2. Bölümde açıklanmıştır. İşlem koşullarının iyi izleme teknikleri ve sürekli olarak geliştirilmesi ile ve ayrıca organik sülfürün ek kullanımı ile yüksek alımlarda ağır metaller çökeltiler ve filtrat konsantrasyonlarının önemli ölçüde artmadığı seviyelerde, atık su arındırma tesislerinde filtratlanabilmektedir. Filtrat miktarı birlikte yakma işlemi ile değişmemektedir.

### 8.4.6 Birlikte yakmanın yakma tortu ve yan ürünleri üzerindeki etkisini azaltma teknikleri

LCP'ler tarafından üretilen atık miktarını ya da LCP'lerle üretilen atığın etkisini azaltmada bazı yöntemler uygulanabilir. Aşağıdaki listede, bu alanda belirtilen teknikler açıklanmıştır:

- Alçıtaşının, külün ve çamurun niteliğini, geri dönüşüm amacıyla ikinci yakıtı birlikte yakma işlemi uygulanmadan ortaya çıkabilecek seviyede tutmak. Birlikte yakma işleminin yan ürün ve atık madde boşaltımına önemli (ekstra) ölçüde neden olduğu durumlardan kaçınmak için bazı ek tedbirlerin alınması gerekmektedir.
- Temel olarak, birlikte yakma işleminin başlangıç noktası, yakma ile oluşan yan ürünlerin ve atık maddelerin kalitesinde azalmayı önlemek içindir. Bu da ikinci yakıtın ön arındırma işlemi ya da birlikte yakma derecesini sınırlandırma ile sağlanabilir
- İşlem sırasında üretilen ve alan içi ya da alan dışındaki araziye boşaltılan uçucu kül ve kazanaltı külünün dökülmeyi, tozun açığa çıkmasını ya da koku oluşmasını önlemek amacıyla taşınması ve aktarılması gerekmektedir.

## 8.5 Atık ve yenilenen yakıtların birlikte yakılmasına yönelik mevcut en iyi teknikler (MET)

Bu bölüm ve içeriğinin anlaşılması amacıyla okuyucunun ilgisi belgenin önsözüne özellikle önsözün beşinci kısmına çekilmiştir: 'Bu belge nasıl anlanır ve kullanılır'. Bu kısımda sunulan teknikler ve ilgili emisyonlar ve/veya tüketim seviyeleri veya seviye ranjları aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlanan bir süreçle değerlendirilmiştir:

- Sektöre yönelik önemli çevresel hususların - ki bunlar hava ve su emisyonları, termal verimlilik ile yakma tortularıdır – tanımlanması
- Bu önemli konulara hitap eden ilgili tekniklerin incelenmesi
- Avrupa Birliği'nde ve dünya çapında mevcut veriler bazında en iyi çevresel performans seviyelerinin tanımlanması
- Bu tekniklerin hayata geçirilmesi ile ilgili olan maliyet, çapraz medya etkileri temel itici güçler gibi performans seviyelerinin erişildiği koşulların incelenmesi
- Direktif Ek IV ve Madde 2(11)'e göre genel anlamda bu sektör için ilgili emisyon ve/veya tüketim seviyeleri ile mevcut en iyi tekniklerin (MET) seçilmesi.

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili Teknik Çalışma Grubu (TWG) tarafından yürütülen uzman kararları bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu değerlendirme temelinde, teknikler ve mümkün mertebe MET kullanımı ile ilgili olan emisyon ve tüketim seviyeleri bir bütün olarak sektöre uygun olduğu kabul edilen ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıtan bu kısımda sunulmuştur. 'Mevcut en iyi teknikler ile ilgili' emisyon veya tüketim seviyeleri sunulduğu hallerde, bu sunulan seviyelerin MET tanımı içerisinde bulunan maliyet ve fayda dengesi göz önünde bulundurularak açıklanan tekniklerin bu sektörde uygulanmalarının bir sonucu olarak beklenebilecek çevresel performansı temsil ediyor olduğu anlaşılmalıdır. Ancak bunlar ne emisyon ne de tüketim sınır değerleridir ve bu şekilde anlaşılmalıdır. Bazı durumlarda daha iyi tüketim ve emisyon seviyelerine erişmek teknik açıdan mümkün olabilir ancak ilgili maliyetler ile çapraz medya değerlendirmeleri nedeniyle bir bütün olarak sektör için uygun MET olarak değerlendirilemezler. Yine de bu seviyelerin özel itici güçlerin mevcut olduğu daha spesifik durumlarda ispat edildiği kabul edilebilir.

MET kullanımı ile ilgili emisyon ve tüketim seviyeleri belirtilen herhangi bir referans koşulu (örneğin; ortalama periyotları) ile birlikte anlaşılmalıdır.

Yukarıda açıklanan 'MET ile ilgili seviyeler' kavramı bu belgede başka bölümlerde kullanılan 'erişilebilir seviye' ifadesinden ayrılmalıdır. Özel bir teknik veya teknikler kombinasyonu kullanılarak bir seviyenin 'erişilebilir' olarak açıklanması durumunda, bu; bahsedilen teknikler kullanılarak iyi durumda bakılan ve işletilen tesis veya süreçte belirli bir zaman dilimi içerisinde o seviyeye erişilmenin beklenebileceği anlamına gelmelidir.

Maliyetler ile ilgili veriler mümkün hallerde önceki bölümlerde sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler ilgili maliyetlerin büyüklüğüne ilişkin kaba bir gösterge sunarlar. Ancak bir tekniğin uygulanmasının asıl maliyeti örneğin vergi, harç ve ilgili tesisin teknik özellikleri gibi özel durumlara bağlıdır. Bu sahaya özgü faktörlerin burada tam olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Maliyetlere ilişkin verilerin olmaması durumunda, tekniklerin ekonomik kapasitesine ilişkin değerlendirmeler mevcut tesislerde yapılan gözlemlerden elde edilir.

Bu kısımdaki genel MET mevcut bir tesisin halihazırdaki performansına karar verme veya yeni bir tesis teklifine karar vermede bir referans noktası olarak düşünülmüştür. Bu suretle tesise yönelik uygun 'MET-temelli' koşulların belirlenmesine veya Madde 9 (8) kapsamında genel bağlayıcı kuralların tesis edilmesine yardımcı olacaklardır. Yeni donanımların burada sunulan genel MET seviyeleri veya bunlardan daha yüksek seviyelerde faaliyet gösterecek şekilde tasarlanabilmeleri öngörülür. Ayrıca her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğine tabi olarak mevcut donanımların genel MET seviyelerinin ötesine geçebilmeleri de düşünülmektedir.

BREF'ler yasal bağlayıcı standartlar koymamakla birlikte endüstri, Üye Ülkeler ve kamuya belirli teknikler kullanılırken erişilebilir emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin kılavuz bilgiler sunmaları amaçlanır. Herhangi bir özel duruma ilişkin uygun sınır değerlerinin yerel hususlar ile IPPC Direktifi hedefleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Belgede tekrarlardan kaçınmak için Kısım 3.15.1'deki Çevresel Yönetim Sistemlerine (EMS) başvurunuz.

Birlikte yakma işlemlerinde kullanılan ikinci yakıtın türüne ve yüzdesine bağlı olarak, baca gazı hacminin ve tüketiminin, atık suyun ve ayrıca da atık madde ve yan ürünlerin, birlikte yakma işlemi uygulanmadan yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, değiştirilmesi gerekmektedir. Bu değişiklikler ısı aktarımı ve baca gazı temizleme işlemleri, atık su arındırma tesisleri ve atık maddeleri/yan ürünleri geri dönüştürme yolları sırasında bazı sonuçlar doğurabilir. (As, P, F ve alkali metaller yoluyla SCR katalizörlerinin deaktivasyonu ya da FGD operasyonuna müdahaleler gibi) İyi yakma koşullarının, alev sabitliği, alev derecesi, kazanın yüzeyinde oksitlenebilen atmosferin oluşumu ve 'strand' oluşumunun önlenmesi sağlanmalıdır. Havaya emisyonun, özellikle de Hg gibi ağır metallerin ve dioksin, furan HCl, HF, yanmamış karbon ve CO gibi maddelerin emisyonu, artabilir.

Bu bölümdeki MET sonucu, bu nedenle geniş yakma tesislerinde ikinci yakıtın birlikte yakılmasının mevcut AB yasalarına göre uygulanmasının, çıkış gazı hacminin yakma tesislerinde bulunan birlikte yakma işlemleri gibi sonuçlandığı yüksek emisyonlarda kirletici maddelerin oluşumunu engellediği görüşüne dayanmaktadır. (bkz. WI BREF). Bu da, ikinci yakıt türünün ve kütle akımının özenle seçimi (birlikte yakılabilecek ikinci yakıt yüzdesinin sınırlandırılması gibi); baca gazı temizleme ve atık su arındırma tekniklerin gerektiği şekilde uygulanması ile sağlanabilir. Daha ileri yasal gereklilikler için referans, atık maddelerin yakılması ve birlikte yakma işlemleri ile ilgilenen AB Yönetim 2000/76/EC'de sunulmuştur.

### 8.5.1 Kabul ve ön kabul kriterleri

MET, Atık Arıtma BREF'inde tanımlanan MET'e göre tanımlanan kriterlere göre eksiksiz kabul ve ön kabul kriterlerine sahip olmaktadır.

<sup>7</sup> 2000/76/EC Sayılı AB Direktifi EK II atıkların birlikte yakılmasına yönelik (ikincil yakıtın birlikte yakılması) hava emisyonu sınır değerlerinin belirlenmesine ilişkin gereklilikleri sunmaktadır.

### 8.5.2 İkincil yakıtın depolanması ve taşınması

İkinci yakıtın depolanması, boşaltılması ve taşınmasında kullanılan teknik ve tedbirler, yakıtta özgü ünitelerde ve Bölüm 8.4.1'de MET olarak sunulan tüm teknikler, kaçak toz ve kötü kokulu maddelerin emisyonlarını azaltmada, birlikte yakma işlemlerinde kullanılan MET olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, kanalizasyon çamurunu depolayan (kirlenilen emme havanın yakma odasına ya da yakma hava olarak kullanılabilen brülöre doğrudan işlemesine neden olma olasılığı dahil) kapalı tesislerde emme ekipmanları ve temizleme aletlerinin kullanımı, azaltılan patlama riskine bağlı olarak MET olarak değerlendirilmektedir. Sağlık ve güvenlik açısından, işçilerin korunması ile ilgili tedbirlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. (referans, ulusal sağlık ve güvenlik düzenlemeleri ile yapılmıştır.) Ayrıca, BREF'te tehlikeli maddelerin depolanması, atık su arındırma BREF'inin, ikinci yakıtın depolanması ve taşınması sırasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

### 8.5.3 İkincil yakıt ön arıtma işlemi

İkinci yakıtın ön arındırması için, yakıtta özgü ünitelerde MET olarak sunulan tüm tedbir ve yöntemler, sabit yakma koşulları ve atıktan elde edilen ayrı kirlenicilere, atık maddelerin ikinci yakıt olarak kullanılabilmesi koşuluyla MET olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, 8.4.2. ünite de listelenen bazı ön arındırma tedbirleri de MET olarak değerlendirilmektedir. Ancak, atık maddeleri ön arındırma teknikleri üzerine, ikinci yakıtlar da dahil, MET'ın ayrıntılı bilgiler atık maddelerin arındırılması ve yakılması ile ilgili BREF'de ulaşılabilir.

### 8.5.4 İkincil yakıtın yakma prosesine dahil edilmesi

İkinci yakıtın yakma odalarına (kazanlarına) verilmesi için, Bölüm 8.4.3'te sunulan tüm teknik ve yöntemler, sabit yakma koşulları garanti etmek için MET olarak değerlendirilmektedir. Ancak, özel tekniğin seçimi, kullanılacak ikinci yakıtta göre her durum için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. İkinci sıvı yakıtın kömür deposu üzerine spreyleneceği, su ve yer altı suyu kirliliğine, ayrıca kötü kokuların yayılma riski nedenleriyle, MET olarak değerlendirilemez. Bununla birlikte, ikinci sıvı yakıtın spreyleneceği, kömür deposunun kendi kendine ateş alma riskini de attrabilir

### 8.5.5 Hava emisyonları

Bölüm 8.5'in sonunda bahsedildiği gibi bölümdeki MET sonuçları, geniş yakma tesislerinde ikinci yakıtın birlikte yakılmasının, mevcut AB yasalarına göre yapılması ile çıkış gazı hacminin yakma tesislerinde bulunan birlikte yakma işlemleri gibi sonuçlandığı yüksek emisyonlarda kirlenici maddelerin oluşumunu engellediği görüşüne dayanmaktadır. (bkz. WI BREF). Bu noktada, atık maddeleri birlikte yakan tesislerin, Atık Madde Yönetimindeki gereklilikleri karşılaması şarttır. (EU Directive 2000/76/EC).

MET'a göre tasarlanan ve işletilen geniş yakma tesisleri, BREF belgesinde bahsedildiği gibi, tozun (kısmen ağır metaller de içeren), SO<sub>2</sub>NO<sub>x</sub>, HCl ve HF'nin ihracında etkili yöntem ve tedbirleri uygulamaktadırlar. Genel olarak bu yöntemler, yeterli görülebilir ve bu nedenle de ikinci yakıtı birlikte yakma işleminde MET olarak değerlendirilebilir. Bunun temeli MET sonuçları olmakla birlikte, yakıtta özgü ünitelerde MET kullanımı ile ilgili emisyon seviyeleridir. Bu kirlenicilerin yakma sistemlerine fazla miktarda alımı ile, baca gazı temizleme sistemine uyarlama yoluyla belli sınırlarda denge sağlanabilir ve genel olarak yüksek emisyonlara sebep olmaz. Klorlaştırılmış bileşenlerin alımı ayrıca, yüksek derece aşınmasını önlemek amacıyla güç tesisleri tarafından sınırlandırılmıştır.

Birlikte yakma için atıkların kullanılabilirdiği mantık, normalde özel tesiste yanan geleneksel yakıtta ve onun bağlantılı ölçülen emisyon seviyesinin özelliğine dayanır. Eğer atıkların katışık maddelerinin alanı, özellikle de ağır metal içeriği, normalde geleneksel yakıt kullanıldandakiyle aynı alan içinde bulunuyorsa, yakıt özel MET, bu ikinci yakıtın ortak yakması için de uygulanabilir. Bu açıda ilk MET tercihi , ortak yakılabilen ikinci yakıtın sınırlı yüzdesiyle birlikte ikinci yakıtın da dikkatli tür seçimi ve kütle akışıdır. Bu bakımdan aşağıdaki tedbirler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Kritik parametreler için kabul edilme kriterlerine göre , ikinci yakıtın elenmesi( kabul edilme ve ön kabul edilme kriterleri için MET'a bakınız). Bunlar, ısınma değeri, su içeriği, kül içeriği, klor ve florine içeriği, kükürt içeriği, nitrojen içeriği, PCB, metaller (değişken ( ör: V, Cu, Cd, Cr, Ni)) ve fosfor ile baz içeriğidir(hayvan yan ürünlerini kullandığı zaman)
- Çoğu kirli ikinci yakıtın ortak yakmasını sınırlama
- SF'ye ön arıtım
- İkinci yakıtın arttırılmış bir yakıtı olarak Hg girişinden kaçınma
- LCPde kullanılmak üzere yüksek ağır metal konsantrasyonlu ( özellikle Hg) büyük miktarda ikinci yakıt olduğu zaman, üretilen gazın temizliği ve ikinci yakıtın gazlaştırmasının kullanımı
- İkinci yakıtta klor bileşenlerinin girişinden kaçınma

Buna rağmen, atığa göre ikinci yakıtın kullanılan ortak yakması ,zaten açıklanmış olduğu gibi, VOCların,halojenürlerin ve bazen dioksinlerin emisyonlarını olduğu kadar ,özellikle cıvayı olmak üzere, ağır metallerin emisyonlarının artmasına yol açar. Bu durumda, baca gazı temizleme sisteminin adaptasyonu ve %70-85'lik azaltma oranı bağlantılı aktif karbon ek enjektisi MET olarak değerlendirilir.

İkinci yakıtın ortak yakması tipik olarak, termal verimliliğin kaybına yol açar. Bu bağlamda, güç tesisinin temel amacının, termal atık uygulamasından ziyade enerji üretimi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Termal verimlilik kaybı, sadece eğer daha az kirlenici madde emisyonlarıyla dengelenirse, doğruluğu kanıtlanır.

### 8.5.6 Su kirliliği

İkinci yakıtın yakması için, özel yakıt bölümlerinde ve Bölüm 8.4.5'te MET olarak bulunan tedbirler ve teknikler, ikinci yakıtın ortak yakması tarafından su ve zemin suyunun ek kirlenmesinden kaçınmak için, MET olarak değerlendirilirler. Bu bağlamda, daha önce açıklandığı gibi ikinci yakıtın düzgün bir şekilde depolanması ve taşınması, bu amacı gerçekleştirmeye yardım edecektir. 'iyi ev idaresi' maddelerin dökülmesini ve kanallara transfer edilmesini engelleyecektir.

İkinci yakıt, halojenürler vb. gibi yüksek ağır metal ve diğer madde seviyelerini içerebileceği için, boşaltılmadan önce MET bu atık suyu arıtmaktır. İşlem Bölüm 3.10'da açıklanmaktadır. Muhtemelen organik sülfür ilavesiyle işlem koşullarının iyi izlenmesi ve sabit optimizasyon, yüksek ağır metal girişleri , atık su arıtma tesisinde atık konsantrasyonlarının önemli ölçüde artmadığı bir seviyeye hızlandırılabilir ve filtrelenebilirler. Atık miktarı, ortak yakmayla değişmeyecektir.

### 8.5.7 Yakma tortu ve yan ürünler

İkincil yakıtların yan yakımında, yakıtı özgü bölümlerde ve Bölüm 8.4.6'da MET olarak sunulan tedbirler ve tekniklerin tamamı ikincil yakıtın yan yakımında MET olarak ele alınır. Temel MET konusu geri dönüşüm amaçları için ikincil yakıtların yan yakımı olmadan oluşanlarla aynı seviyedeki alçıtışının, küllerin ve mıcırkların ve diğer tortu ve yan ürünlerin kalitesini devam ettirmektir. Yan yakım MET'ler (ör: Cr, Pb, Cd gibi) ya da dioksinler tarafından fazla kirliliğin veya tortuların ya da yan ürünlerin önemli (fazla) inha miktarına yol açarsa, bundan kaçınmak için ilave tedbirlerin alınması gerekir. Ele alınacak bir ilave tedbir birincil yakıtlara benzeyen kirletici madde yoğunlukları ile atık parçalarına (ör: ağır metaller, Cl, vb..) yan yakımının sınırlandırılmasıdır.

### 8.6 Atık ve yenilenmiş yakıtların birlikte yakılmasına yönelik ortaya çıkan teknikler

Gelecekte, ön arıtma ve azaltma tedbirleriyle elde edilen fazla deneyime bağlı olarak yan yakımın derecesinin termal kaynaktaki %10'un üzerine çıkarılacağı beklenmektedir.





## 9 SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu bölüm işin zamanlaması, bilgi kaynakları, elverişliliği ve kalitesi; TWG uzmanları arasındaki anlaşma düzeyi; ve gelecekteki işlere yönelik önerileri ele almaktadır.

### 9.1 İşin zamanlaması

50MW'yi aşan nominal bir termal girişle yakma tesislerindeki iş, büyük yakma tesislerine ilişkin BREF, ya da 'LCP BREF' 24 – 25 Şubat 200'de TWG'nin başlangıç toplantısıyla başlamıştır. İki tasarım Teknik Çalışma Grubu'na (TWG) danışma amacıyla sunulmuştur. Birinci tasarım Mart 2001'de, ikinci tasarım Mart 2003'te sunulmuştur. Her iki danışma prosesinde, yeni bilgiler ve Düşünceler ileri sürülmüştür.

Son TWG toplantısı 18 – 21 Kasım 2003'te yapıldı. Temel olarak MET olarak ele alınan tekniklere destek vardı. Bununla birlikte, bazı konular özellikle MET'in kullanımıyla ilgili emisyon seviyeleri ciddi bir şekilde tartışıldı. Toplantı boyunca öne sürülen yeni bilgi ve Düşünceler ve ayrı görüş temelleri hakkındaki bilgi sön tasarıma dahil edilmiştir.

### 9.2 Bilgi kaynakları

Bilgi kaynakları olarak, çok sayıda belge, endüstriden gelen bilgi ve raporlar, AB üye devletleri, yöneticiler ve yetkililer ile birlikte ekipman tedarikçileri ve çevresel STK'ları da belgeyi tasarlamak için kullanılmıştır. Öne sürülen diğer bilgiler verimlilikleri artırma olasılıkları ve bu suretle CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması hakkında olduğu kadar vurgunun büyük ölçüde hava ve su emisyonları üzerinde olduğu özel çevresel konuya daha çok odaklanmıştır. Bilgiler daha sonra farklı Avrupa üye devletlerindeki saha ziyaretleri sırasında ve teknolojinin seçimi ve azaltma tekniklerinin uygulanması hakkında kişisel iletişimle de elde edilmiştir.

İşi desteklemek için, bazı üye devletler ile endüstri MET'in daha bütünlük tanımını hedef alan çalışmalar yürütmüş veya görevlendirmişlerdir.

Uzun mesafeli sınır ötesi hava kirliliğini azaltmak amacıyla dünya çapındaki çabaları yansıtan hava emisyonları için azaltma teknikleri hakkında iyi bilgiler mevcuttur.

İş süresince, farklı kaynaklardan bir çok bilginin olduğu ve kalifiye tesise özgü emisyon verilerinin farklı yollarla sunulduğu gözle görülür hale gelmiştir. Teknik arka plan maddelerinde bazen, birincil ve ikincil tedbirlerin çevresel performansı oldukça belirsiz şekilde tanımlanmıştır. Tesise özgü bilgi ve iyi performanslara yönelik kalifiye rakamların elde edilmesi zor hatta bazen imkansızdır. Numuneleme ve analiz hakkında verilen veriler için sıklıkla yetersiz bilginin verildiği dikkate alınmalıdır. Kaynak zaman aralıkları (ör: günlük ya da yıllık ortalama değerler), hesaplama yöntemleri ve kaynak koşulları sık sık kayıp ya da eksiktir. Bu yüzden, çevresel performans verisinin kıyaslanabilirliği değişmektedir ve gelecekte geliştirilmelidir.

Kıyaslanabilirliği geliştirmek için, Avrupa araştırmalarının çevresel performans verilerinin nasıl derlendiği, farklı uygulamaların gerekli olup olmadığı, eğer gerekli ise ne dereceye kadar ve ne hususta olduğu hakkında yürütülmesi önerilmiştir. Kıyaslanabilir bir seviyede enerji verimliliği hakkındaki hesaplar ve raporlar da böyle bir araştırmadan yararlanabilir. Katı atıkların, tortuların ve yan ürünlerin miktarı hakkındaki rakamlar verildiğinde, hangi atık maddelerin dahil edildiği ve hariç bırakıldığı her zaman anlaşılabilir.

Güvenilir, şeffaf ve maliyetler ile tasarruflarla tekniklerin bağlantısına izin veren yeterince kaliteli maliyet verileri, hala eksiktir. Maliyet verileri, yerel koşullara özeldir ve sadece tesisin bireysel durumları için hesaplanabilir ve dolayısıyla tam kıyaslamalar mümkün değildir. Aynı tekniği kullanırken, tesisler arasındaki maliyetler önemli ölçüde değişebilirler, ör: tesis yatırımları için farklı teknik başlama noktaları ve zamanlamalar nedeniyle. Mevcut bazı maliyet verileri bulunmaktadır, fakat genelde rakamlarda tam olarak nelerin olduğu ve nasıl hesaplandıkları bilinmemektedir. Yani, BREFteki veriler böyle maliyetlerin önem sırasına iyi bir kılavuz olmaktan öteye gitmez.

### 9.3 Anlaşma düzeyi

Bir bütün olarak bu BREF, TWG Üyelerinden oldukça çok destek görmektedir. Ancak, Eurelectric ve Euromot – endüstrinin iki temsilcisi – ve birkaç Üye Devlet, bu son taslak için tam desteklerini belirtmediler ve bu belgede sunulan MET sonuçlarının bazılarını sözde ‘ayrı görüşler’ ile yarışmışlardır. Bunun ana sebebi, aşağıda verilmektedir.

Üye Devletlerin birkaç tanesi ve Eurelectric , Büyük Yakma Tesisleri hakkındaki Avrupa Direktifi’nde açıklanan ELVlerin (Direktif 2001/80/EG) MET ile bağlantılı emisyonlara yönelik üst ranj sınırı olarak uyum sağlaması gerektiğini ifade etmişlerdir. Eurelectric, MET kullanımıyla bağlantılı olan emisyon seviyeleri olarak verilen sıraların, genelde hem yeni hem de mevcut güç tesisleri için çok düşük olduğunu iddia etmektedir. Buna rağmen, özellikle mevcut tesisler için, MET balantılı emisyon seviyelerinin üst seviyelerinin, bazı Avrupa Üye Devletlerdeki mevcut ELV’lerdekilere benzer olduğu unutulmamalıdır. Bu, TWG Üyelerinin, MET seviyelerinin makul olduğu ve değerlendirilen MET seviyelerinin zaten Avrupa’da iyi sayıdaki tesiste elde ediliyor olduğunu gösterdiğine dair görüşünü desteklemektedir.

Anlaşmazlığın bir başka noktası da, Eurelectric’in ve birkaç Üye Devlet’in belli MET kararlaştırmasında ekonomik uygulanabilirliği iddia etmeleri, yeterince dikkate alınmamıştır. Bu, konu üzerinde TWG uzmanları tarafından sağlan yeterli bilgi olmadığını vurgulamaktadır. Büyük yakma tesisleri için ikinci tedbirlerin uygulaması için maliyet verisi üstündeki iyi kurulmuş bilgi, temin edilmemiştir ve dolayısıyla tüm maliyetlerin değerlendirmesi için hangi kıstasın kullanılacağı net değildir. Genellikle, mevcut yakma tesislerinin yenilenmesi için özel maliyetlerin , yeni tesislerinkinden nispeten daha yüksek olduğu ifade edilebilir, çünkü daha eski ekipmanların materyali ya da tabakası uymayabilir. Genellikle, küçük tesisler için özel maliyetler, eski olanlardan daha yüksektir.

Yukarıdaki tartışmalara rağmen, Eurelectric ve bir Üye Devlet , yeni/mevcut ve büyük/küçük ‘büyük yakma tesisleri’ arasındaki ekonomik farkın yeterince değerlendirilmediği ve BREF te bariz farkların oluşması gerektiği görüşünü benimsemişlerdir. Üstelik, turba yük tesisleri olarak sadece kısmi tesis işlemleri için problemlere yeterince önem verilmediği de ifade edilmiştir.

Endüstri bölümü, bu belge için kapsamlı bilgi sağlamıştır , fakat son belgenin, LCPlere hem bina hem de yenileme azaltma ekipmanındaki üyelerinin kapsamlı deneyimlerini eşit olarak yansıttığına katılmamaktadır. Onların görüşünde, sektördeki tüm tesisler için belgenin, yeterli derecede neyin pratik ve elde edilebilir olduğuna değinmesi değerlendirilmemiştir.

Tüm tartışma ayrıca, IPPC Direktifi’nde de açıklandığı gibi farklı MET anlayışlarının altını çizmektedir ve BREF’in belgenin önsözünün ışığında okunması gerektiğini vurgular. Bu genel konulardan haricinde, nihai sonuçların ortak destek görmediği bir kaç özel konu da vardır.

## 9.4 Gelecekteki işlere yönelik öneriler

Enerji üretimi bugünün endüstriyel toplumunda ve her hangi bir endüstriyel süreçte önemli bir unsurdur. Bu yüzden, büyük yakma tesisleri için en uygun tekniklerin değerlendirilmesi üye devletlerin, endüstrinin ve çevresel STK'ların büyük ilgisini çekmiştir.

Özellikle geçtiğimiz yirmi yıl boyunca, güç tesislerinde önemli yatırımlar ve değişiklikler birçok Avrupa ülkesinde yürütülmektedir. Fosil yakıtların yakımının çevre üzerinde bütün olarak etkisi önemli bir şekilde ikincil tedbirlerin olduğu kadar birincil tedbirlerin kullanımıyla da azaltılabilir. Bununla birlikte, gelişmeler ve çalışmalar uzun süreli dayanıklılık amacını elde etmek için yapılmaktadır. Şimdiye kadar, çevre yetkilileri tarafından düzenleme ve kontrol temel olarak hava ve su emisyonlarına odaklanmıştır. Düzenlemeler ve yatırımlar şimdiye kadar elde edilen gelişmeler için önemli itici güçler olmuşlardır. Bununla birlikte, sadece yetkililer değil endüstrinin kendisi, yatırımcılar, müşteriler, siyasi grupları içeren genel toplum, çevresel NGÖ'ler ve medya da tesislerin çevresel etkilerini azaltmasını talep eden hisse sahipleri olarak yerlerini almışlardır.

Teknik Çalışma Grubu'nun içerisinde, büyük yakma tesisleri için MET'in içerisinde bir çok özel tekniğin tanımlanabileceği bir yöntem olduğu konusunda açık bir anlaşma vardır. Bu, termodinamik ilkelerini ve yakma işleminin özellikleri ile etkileşimi içeren karmaşık bir konudur. Büyük yakma tesisleri için performansın tesis tasarımı ve işlemine, soğutma sistemine ve maliyete bağlı olduğu görülmektedir.

MET yöntemi kirliliğin önlenmesi üzerindeki önemle teknolojik değişiklikler ve gelişen işletme uygulamaları tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemler yeni ve mevcut tesisler arasında bir ayırım yapar, fakat bu belgede, mevcut tesislerdeki azaltma tekniklerinin aynı amaca sahip olduğu vurgulanmıştır. Yani, aynı yöntem uygular, fakat azaltım için seçenekler mevcut tesislerde daha sınırlıdır. Bilgi değişim işlemi Bölüm 4 ile 8 arasında sunulan genel seviyede MET olarak ele alınabilen bir grup tekniğin belirlenmesini mümkün kılar.

Bu belge kapsamında, büyük yakma tesislerinin işletilmesiyle bağdaştırılan çevresel konularla ilgili olarak, havaya bırakılan emisyonlara büyük ölçüde önem verilmiştir. Yeterli olmayan veri bunun temsilci olarak ele alındığını bildirir ve bir araştırmanın emisyon azaltım tekniklerinin performansı için bir ölçüt olarak hizmet verebilen daha iyi bir resim alabileceği önerilmiştir. Ulaşılabilir veriler için daha ileri araştırmalara ihtiyaç duyulacaktır.

Belgeyi onaylayan TWG 50 MW üzerindeki tesislere v ele alınan çok üniteli tesislere (her biri 50MW'den daha küçük olan) odaklanırken, aslında tek küçük ünitelere dikkatini vermez. Bu özellik the Madde 9(4) kapsamındaki bölgesel seviyelerde bildirilebilir, fakat bu konuya daha çok dikkat vermek için bu BREF'in gelecek incelemesinde yararlı olacaktır.

Gelecekte emisyon verisi bildirilirken; bu, özel emisyonların okuyucu tarafından daha iyi anlaşılabilmesi ve kıyaslanabilmesi için, havaya ve atık suya bırakılan kirlenici maddelerin (ör: mg/Nm<sup>3</sup>, ton/MJ, O<sub>2</sub> %) özel miktarlarını ve yoğunluklarını, ve kaynak şartları içeren tutarlı bir yolla bunun bildirilmesini tavsiye eder. Yeterli şekilde sınırlandırılmış özel emisyon verileri Avrupa boyunca çeşili yakma tesislerinin çevresel performansının kıyaslanma bilgisini tercih eder. Ek olarak, belgenin bir sonraki düzeltilmiş baskısında N<sub>2</sub>O'nun azaltımı için teknikler kadar N<sub>2</sub>O için emisyon seviyeleriyle ilgili MET'in kapsanması yüksek bir şekilde tavsiye edilir.

Aynı durum potansiyel toprak kirliliği (ör; tesislerin çevreye zarar vermeyecek şekilde hizmetten alınması, depolama boyunca kaçan zararlı maddelerin önlenmesi, nakliyat ve kullanım) ve sağlık ve güvenlik yönleri için de doğrudur. Bilgi mevcutsa, bu BREF incelemesinde ilişkilendirilebilir.

Günümüzde, MET'in maliyetleri ve koruması üzerine sadece sınırlı ya da yetersiz nitelikte bilgi, Teknik Çalışma Grubunun bilgi değişiminden ortaya çıkmıştır.ancak, daha ayrıntılı maliyet bilgilerinin ve bunu izleyen uluslar arası çalışmanın, (ör:EGTEI, tekno-ekonomik konular üzerine uzman grup) gelecekteki bilgi değişimi yapılmalıdır. Bu ayrıca ölçü sürelerinin amotisation'u ve birim maliyetleri gibi özel maliyetleri ve tasarrufları hakkında bilgi içermelidir.

BREF güncellenmeden önce, Üye Devletler ve endüstriler, emisyon ve enerji tüketimleri üzerine, ilgili teknikler ve maliyetleri, daha kolay bulunması ve saydamlığı ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışmayı destekleyen önemli bir aşama ise, Üye Devletlerin ve endüstrilerin, her bir yakma tesisi için veri yayınlamaları durumunda, çevresel performansın belirlenmesi ve Avrupa'daki geniş yakma tesislerinin bildirilmesi için farklı uygulamalar üzerine araştırmalar ile başlamak, verimli olacaktır.

Birçok teknik belirlenmiş ve MET olarak değerlendirilmiştir fakat bazıları, hala gelişme aşamasındadır ve ortaya çıkan olarak değerlendirilebilir. Uygulanmaları ve çevresel etkileri henüz değerlendirilmemiştir. Tüm ünitelerdeki 'ortaya çıkan sektörler' her biri farklı düzeye ulaşmış olan tekniklere örnekler sunmaktadır. Bu teknolojilerin bazıları, son zamanlarda sektörlerle tanıtılmaktadır. Örneğin bu, %60 verimliliğe ulaşan CCGT tesisi için doğrudur.

Ele alınacak bir diğer konu ağır akar yakıt (HFO) ile hafif akar yakıt (LFO) arasındaki farklılıkları ayırd etmektir, çünkü bu yakıtların yakımı uygun emisyon seviyelerini elde etmek için ilgili Grekli teknik tedbirler kadar, bu emisyon seviyeleri (toz, ağır metaller, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) üzerinde büyük değişikliklere de neden olmaktadır. Özel koşulların ve gereksinimlerin büyük yakma tesislerinde yüksek kükürt içerikli kömür yakılırken, düzgün bir şekilde bildirilemediği dikkate alınmalıdır.

Bir takım tam ölçekli tesis kullanıma sunulacaktır. Birkaç yıl içerisinde, uzun dönem deneme prosesinden elde edilen sonuçların çeşitli büyük yakma tesislerinden elde edilebilir olacağı beklenmektedir. Bu deneyimler, BREF'in incelenmesi ve oluşan diğer gerekli teknikler eklendiğinde, dahil edilebilir.

EC, RTD programları, temiz teknolojileri ele alan bir dizi proje, ortaya çıkan atık su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileri, ve yönetim stratejileri sayesinde kurmakta ve desteklemektedir. Potansiyel olarak bu projeler gelecek BREF incelemelerine yararlı bir katkı sağlar. Bu yüzden, okuyucular herhangi arayırma sonuçlarının EIPPCB'sini bilgilendirmeye davet edilmiştir.

---

**REFERANSLAR**

- 1 Corinair (1996). "CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook", EMEP Expert panels/ UNECE/.
- 2 ESAA (1999). "Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Power Generation", Electricity Supply Association of Australia Ltd.
- 4 OSPAR (1997). "Large Combustion Installations (>50 MWth). Emissions and reduction in emissions of heavy metals and persistent organic compounds", Oslo and Paris Convention.
- 5 HMIP (1995). "Combustion Processes: Large Boilers and Furnaces 50 MW(th) and over", Chief Inspector's Guidance Note. Processes subject to integrated pollution control.
- 10 Berdowski, J. J. M.; Bass, J.; Bloos, J. J.; Vissschedijk, A. J. H. and Zandveld, P. Y. J. (1997). "The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990".
- 11 EEA (1999). "Greenhouse gases and climate change".
- 12 IEA (2001). "Greenhouse Gas Emissions from Power Stations", Greenhouse Gas R & D Programme.
- 13 Verbund (1998). "Umweltbericht 98, Kapitel 6 Der Treibhauseffekt", Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Verbundgesellschaft).
- 14 EEA (1999). "Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990 - 1996", M. Richter.
- 21 US EPA (1997). "EPA Office of Compliance Sector Notebook Project. Profile of the Fossil Fuel Electric Power Generation Industry".
- 25 ABB (2000). "SCONOx Ultra clean technology for reduction of CO and NOx", ABB Alstom Power.
- 26 ABB (2000). "Combined Cycle Offshore, Profitable with Compact Waste Heat Recovery Units".
- 27 Theodore, L. and Buonicore, A. (1992). "Air Pollution Control Equipment".
- 28 Soud, H. N. (1993). "Particulate control handbook for coal fired plants".
- 29 Soud, H. N. (1995). "Developments in particulate control for coal combustion", IEA Coal Research.
- 30 VDI (1998). "Electrostatic precipitators. Process and waste gas cleaning".
- 32 Rentz, O.; Nunge, S.; Laforsch, M. and T., H. (1999). "Technical background document for the actualisation and assessment of UN/ECE protocols related to the abatement of the transboundary transport of nitrogen oxides from stationary sources".
- 33 Ciemat (2000). "Flue Gas Cleaning", Clean Coal Technologies Handbook. PROGRAMA I+D OCICARBON.

- 34 Verbund (1996). "Umweltbericht 96, Kapitel 7 NO<sub>x</sub>-Reduktion", Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Verbundgesellschaft).
- 35 ERM (1996). "Revision of the EC Emission Limit Values for New Large Combustion Installations (> 50 MWth). Final Report", Environmental Resources Management.
- 36 Lurgi (1999). "Cleaning of process and waste gases".
- 37 Robson, T. G. (1998). "A Review of the Industrial Uses of Continuous Monitoring Systems", UK Environment Agency.
- 38 Soud, H. N. (2000). "Developments in FGD".
- 39 ABB (2000). "Falkt-Hydro Process. Flue Gas Desulphurisation by Seawater Scrubbing".
- 40 Soria, A.; Schratzenholzer, L. and Akutsu, N. (1998). "Energy Technology Strategy 1995 - 2030: Opportunities arising from the threat of climate change".
- 41 IEA (1992). "Carbon dioxide capture from power stations".
- 43 Wienstrom (2001). "Simmering Power Station, Light and Heat for Vienna".
- 44 Austrian Ministry of Environment (2000). "Examples of techniques to be considered in the determination of MET".
- 45 Eurovent (1998). "Proposal for a BREF document of cooling systems", 61350027.
- 46 Caudron, L. (1991). "Les réfrigérants atmosphériques industrial", éditions Eyrolles.
- 48 VDI (1998). "VDI 3986, Ermittlung des Wirkungsgrades von konventionellen Kraftwerken (Entwurf). Determination of efficiencies of conventional power stations (draft version)".
- 49 Electrabel (1996). "Combined Heat and Power. A way towards rational use of energy".
- 50 Korobitsyn, M. A. (1998). "New and Advanced Energy Conversion Technologies. Analysis of Cogeneration, Combined and Integrated Cycles".
- 51 DIN (1996). "DIN 1942, VDI code of practice".
- 52 BSI (1974). "BSI 2885, Code for acceptance tests on stationary steam generators of the power station type".
- 53 El-Wakil, M. M. (1984). "Power plant Technology".
- 54 Cortés, V. J. and Plumed, A. (2000). "Principles and Concepts of Combustion Gasification and Thermodynamic Cycles".
- 55 Çengel, Y. A. and Boles, M. A. (1994). "Thermodynamics, An Engineering Approach".
- 56 Rogers, G. F. C. and Mayhew, Y. R. (1967). "Engineering Thermodynamics, Work and Heat Transfer".
- 57 Austrian Ministry of Environment (2000). "Power plant Leopoldau".

- 58 Eurelectric (2001). "EURELECTRIC proposal for a Best Available Techniques Reference Document for Büyük Yakma Tesisleri".
- 59 Finnish LCP WG (2000). "Finnish expert report on Best Available Techniques in Large Combustion Plants".
- 60 Alakangas, E. (1998). "Bioenergy in Finland, Review 1998", VTT Energy.
- 61 MPS (1998). "Advanced technology for Nordjyllandsvaerket Unit 3".
- 62 Kallmeyer, D.; Pflugbeil, M. and Wick, W. (1998). "Braunkohlekraftwerk mit optimierter Anlagentechnik", Energiewirtschaftliche Tagesfragen, pp. 507 - 512.
- 63 Wärtsilä (2000). "Engine Driven Plant EU BREF Document", Wärtsilä Finland Oy.
- 64 UBA (2000). "Stand der Technik für Großfeuerungsanlagen in Österreich im Hinblick auf die IPPC-RL", Austrian Environment Agency Vienna.
- 65 Golland, E. S.; Macphail, J. and Mainini, G. (1998). "Longannet Demonstrates Gas Reburn Performance Modern Power Systems".
- 66 Hesselmann, G.; Naja, T.; King, J. L.; Pasini, S. and Mainini, G. (2000). "The Demonstration of Coal over Coal Reburn at Vado Ligure Power Station.", Power-Gen International 2000, Orlando, Florida, US.
- 67 EPPSA (2001). "Primary measures to reduce nitrogen oxide emissions of bituminous coal firing systems at dry bottom boilers - opposed firing systems with low NOx swirl burners (DS burners)".
- 74 Alstom (2001). "Electrostatic precipitators for power applications".
- 75 Hein, K. R. G.; Seifert, H.; Scheurer, W. and Richers, U. (2000). "Untersuchungen zum Stand der Mitverbrennung von Klärschlamm, Hausmüll und Biomasse in Kohlekraftwerken".
- 77 IEPE/IPTS (2000). "Poles Baseline Projection (Prospective Outlook of Energy Systems)", IEPE/IPTS, Institute of Prospective Technological Studies.
- 78 Finkeldei, L. (2000). "Personal communication".
- 79 Bell, O. and Chiu, H.-H. (2000). "Combustion".
- 80 Siemens (2000). "Benson boilers for maximum cost-effectiveness in power plants", Power Generation Group (KWU).
- 81 COGEN Europe (1999). "A Guide to Cogeneration".
- 82 Ciemat (2000). "Repowering", Clean coal technologies handbook, PROGRAMA I+D OCICARBON.
- 83 Foster Wheeler (1995). "Referenzunterlagen".
- 84 Siemens (1999). "Using refinery residues and coal in IGCC plants provides clean and efficient power", Power Generation Group (KWU).
- 85 Itkonen, A. and Jantunen, M. J. (1989). "The Properties of Fly Ash and Fly Ash Mutagenicity", Encyclopedia of Environmental Control Technology.



- 87 Molero de Blas, L. J. (1995). "Pollutant formation and interaction in the combustion of heavy liquid fuels".
- 88 Euromot (2001). "EU MET Document on reciprocating engine driven power plant-technologies offering high environmental standard", The European Association of Internal Combustion Engine Manufactures.
- 90 ECOBA v. Berg (1999). "CCp Utilisation in Europe-Outstanding Option and Continuous Challenge".
- 91 Kokk, A.; Kinni, J. and Niemelä, J. (2000). "World's largest biofuel fired CFB boiler for Alholmens Kraft".
- 92 VEAG (2000). "Die neuen Kraftwerke der VEAG - Kraft für die Zukunft" Die neuen Kraftwerke der VEAG, .
- 93 Powergen (2001). "Ratcliffe-on-Soar Power Station. An overview of Flue gas desulphurisation".
- 94 Umwelt + Technik (2000). "Entschwefelung, Dokumentation Braun und Steinkohlenentschwefelung in NRW".
- 96 Helsinki Energy (2001). "Vuosaari Power Plant A and B. Environmentally benign energy generation".
- 97 Euromot (2000). "The Euromot Briefing 2000".
- 98 DFIU (2001). "Exemplary investigation into the state of practical realisation of integrated environmental protection with regard to Büyük Yakma Tesisleri in Germany", Karlsruhe French-German Institute for Environmental Research,.
- 99 Oulun Energia (1997). "Energy from Oulun".
- 100 Kouvo, P. and Salmenoja, K. I. (1997). "Desulphurisation in peat-fired circulating and bubbling fluidised bed boilers".
- 101 Vaget, H. (2001). "Neues Verbrennungssystem zur Energieerzeugung Holzwerkstoffen und Gebrauchthölzern", Holz-Zentralblatt, Stuttgart.
- 102 Fischer, M. (2000). "Wirtschaftliche Kraftwärmekopplung mit nachwachsenden Brennstoffen am Beispiel KWK Gütersloh - Auslegung - Realisierung - erste Betriebserfahrungen".
- 103 Kvaerner Pulping Oy (2001). "Co-combustion of biomass and coal in fluidised bed systems".
- 104 Siemens (2001). "The proven Model V84.2 and V94.2 gas turbines", Power Generation Group (KWU).
- 105 Steen, M. (2001). "Greenhouse gas emissions from fossil fuel-fired power generation systems".
- 106 Sloss, L. L. (1997). "Continuous emissions monitoring for coal-fired power stations".
- 107 Davidson, R. M. (2000). "How coal properties influence emissions".

- 108 Scott, D. H. (1997). "Improving existing power stations to comply with emerging emissions standards".
- 110 Kakaras, E. and Grammelis, P. (2000). "Study on the size and type of existing electricity-generating capacity using solid fuels within an enlarged EU".
- 111 Eurogas (1998). "European gas network".
- 112 Ekmann, J. M.; Pamezan, M. and Harding, N. S. (1996). "Cofiring of coal and waste".
- 113 Verbundkraft (2002). "Dürnröhr Power Plant. A milestone in environmental protection".
- 114 Alstom (2001). "Ultra low-NO<sub>x</sub> tangential firing systems (ULNTF) for bituminous coal", Power Boiler via EPPSA European Power Plant Suppliers Association.
- 115 Epple, B.; Brüggemann, H. and Kather, A. (1995). "Low NO<sub>x</sub> tangential firing systems for bituminous coal", EVT-Register Nr. 54, 1995.
- 116 Kather, A. (1996). "Bituminous coal firing systems with high steam parameters", EVT-Register Nr. 55, 1996.
- 117 Marx, F.-J.; Koch, G.; Schmig, W. and Brüggelmann, H. (1997). "Low NO<sub>x</sub> bituminous coal tangential firing systems of the power station unit Bexbach I", EVT-Register Nr. 56, 1997.
- 118 Alstom (2001). "Example: Measures fro CFBC-power plants to enhance sulphur capture, limestone consumption and carbon burn-out especially for low quality fuels such as high sulphur lignite or anthracite", Power boiler via EPPSA, European Power Plant Suppliers Association.
- 119 Guinee, M. J. "Measurement of emissions from offshore combustion - user's requirements", Publication Pending.
- 120 Bakken, L. E. and Skogly, L. "Parametric modelling of exhaust gas emission from natural gas fired gas turbines" ASME paper 95-GT-399, .
- 121 Fripp, R. "Intelligent optimisation and energy efficiency of pipeline gas compressors on the national transportation system", Publication Pending.
- 122 Carstensen, C. and Skorping, R. (2000). "Experience with DLE turbines at offshore installations".
- 123 DTI (2001). "Guidance notes on the offshore combustion installations (prevention and control of pollution) regulations 2001", Departemnt of Trade and Industrty.
- 124 OGP (2000). "Large combustion plants operated offshore", International Association of Oil & Gas Producers.
- 125 Evans, A. R. and McConnell, J. (1994). "Inter Platform Power Distribution" 26th Annual Offshore Technology Conference, .
- 126 Lurgi Lentjes Bischoff (2001). "The Wet ammonia process".
- 127 Clarke, L. B. and Sloss, L. L. (1992). "Trace elements - emissions from coal combustion and gasification".

- 129 Maier, H.; Dahl, P.; Gutberlet, H. and Dieckmann, A. (1992). "Schwermetalle in kohlebefeuereten Kraftwerken", VGB Kraftwerkstechnik,.
- 130 Rentz, O.; Veaux, C. and Karl, U. (1996). "Ermittlung der Schwermetallemissionen aus stationären Anlagen in Baden-Württemberg und im Elsaß, hier: Feuerungsanlagen, Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF), PEF 4 94 001".
- 131 Rentz, O. and Martel, C. (1998). "Analyse der Schwermetallströme in Steinkohlefeuerungen unter besonderer Berücksichtigung des Betriebszustandes der Anlage, Forschungsbericht".
- 133 Strömberg, L. (2001). "Discussion on the potential and cost of different CO2 emission options in Europe", VGB PowerTech.
- 134 Hourfar, D. (2001). "Efficiency and capacity potentials in existing power plants", VGB PowerTech.
- 135 Alstom Power (2002). "NID state-of-the-art dry FGD technology".
- 136 Fortum (2002). "RI-Jet low NOx burners".
- 137 Elsen; Blumenthal; Götte; Kamm and Kossak (2001). "Planung und Bau der Pilot-trocknungsanlage Niederaußen", VGB PowerTech.
- 138 Sandscheper, A. (2001). "Experience gained during the manufacture and installation of a corrosion-protected heat pipe heat displacement system around the FGD unit in the Maritsa East power station", VGB PowerTech.
- 139 MATE (2001). "Hot-type, or ignifluid, fluidised-bed technology", Ministere de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement de France.
- 140 NWS (2000). "Altbach/Deizisau Kraftwerksstandort mit Zukunft", Neckarwerke Stuttgart AG.
- 141 Benesch (2001). "Planning new coal-fired power plants", VGB PowerTech.
- 142 Schmidt, W. and Dietl, R. (1999). "Technischer Großversuch zur Mitverbrennung von Biomasse in einem Braunkohlekraftwerk", VGB Kraftwerkstechnik.
- 143 Kindler, W.; Ehrenstraßer, H. and Schmidt, W. (2000). "Altholzmitverbrennung in einem Braunkohlekraftwerk, Tagungsband zum" VGB-Kongress „Kraftwerke 2000“,, .
- 144 CBT (1998). "CHP and Power Plants. Straw for energy production".
- 145 Sander, B. (2000). "Emissions, corrosion and alkali chemistry in straw-fired combined heat and power plants" 1st world conference on biomass for energy and industry, .
- 146 UFIP (2001). "Meilleures Techniques Disponibles. Combustibles Liquides et Installations de Combustion de Petites et Moyennes Puissances", Union Francaise des Industries Petrolieres.
- 147 Wärtsilä NSD (2001). "Engine driven power plants".
- 148 Euromot (2002). "Background paper on measured emission levels of liquid fuel -fired engines".

- 149 Wärtsilä NSD (2001). "Natural gas-fired engine power plant mobile".
- 150 Marathon OIL (2000). , personal communication.
- 153 Nieminen; Palonen and Kivelä (1999). "Circulating fluidised bed gasifier for biomass", VGB PoerTech.
- 154 Maier; Waldhauser; Triebel and Buck (1999). "Auswirkungen der versuchsweisen Mitverbrennung von thermisch getrocknetem Klärschlamm in einem Steinkohlekraftwerk", VGB Kraftwerkstechnik.
- 155 Buck and Triebel (2000). "Betriebserfahrung bei der Mitverbrennung von Klärschlämmen im Steinkohlekraftwerk Heilbronn", VGB Kraftwerkstechnik.
- 157 Rentz, O. and Sasse, K. (2000). "Analyse der künftigen Entsorgung kommunaler Klärschlämme in Baden-Württemberg durch Mitverbrennung, Projekt Wasser-Abfall-Boden (PWAB) Baden-Württemberg," Ulsruhe GmbH.
- 158 Wirling, J.; Schiffer, H.-P. and Merzbach, F. (2000). "Adsorptive Abgasreinigung bei der Mitverbrennung von Klärschlamm in einem braunkohlebefeuerten Industriekraftwerk," VGB Kraftwerkstechnik.
- 159 Thomé-Kozminsky, K.-J. (1998). "Klärschlamm Entsorgung, (Enzyklopädie der Kreislaufwirtschaft)".
- 160 Rentz, O.; Sasse, H.; Karl, U.; Schleef, H.-J. and Dorn, R. (1996). "Emission control at stationary sources in the federal republic of Germany, Volume II, Heavy metal emission control".
- 161 Joisten, M.; Klatt, A.; Römisch, H. and Sigling, R. "Gas Turbine SCR using SINOx SCR Catalysts Meeting Power Generation and Environmental Needs".
- 162 Notter, W.; Gottschalk, J. and Klitzke, O. (2002). "Rauchgasreinigung bei Biomassekraftwerken", Umwelt Magazin.
- 163 Müller-Kirchenbauer, J. (2001). "Status and Development of the Power Plant Industry in China and India", VGB PowerTech.
- 164 Lenk, U. and Voigtländer, P. (2001). "Use of Different Fuels in Gas Turbines", VGB PowerTech.
- 165 NWS (2001). "Kraftwerk Altbach, Das Heizkraftwerk", Neckarwerke Stuttgart AG,.
- 166 Müller-Kirchenbauer, J. (1999). "Technologietransfer und Importbedarf für die Errichtung fortschrittlicher fossil befeuerter Kraftwerke in China und Indien und Resultierende Rückwirkungen auf die Ursprungsländer".
- 167 Rigby, A.; Klatt, A.; Libuda, T. and Zürlig, J. (2001). "SCR: The most effective technology for NOx reduction in Büyük Yakma Tesisleri" NOXCONF: International Conference on Industrial Atmospheric Pollution, .
- 168 US EPA (1997). "Mercury study, report to congress, Volume VIII An Evaluation of Mercury Control Technologies and Costs;," EPR -452/R-97-010.
- 169 Schaltegger, S. and Wagner, M. (2002). "Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxis".

- 170 UNI/ASU (1997). "Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis", Unternehmerinstitut / Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer.
- 171 UN ECE (2002). "Control of Mercury Emissions From Coal-fired Electric Utility Boilers. Note prepared by the secretariat based on information provided by the US delegation", United Nations Economic Commission for Europe.
- 172 Garcia-Mallol, J. A.; Kukoski, A. E. and Winkin, J. P. (1999). .
- 173 Garcia-Mallol, J. A.; McCarthy, K.; Fernandez, J.; Otero Ventin, P., et al. (2000). .
- 174 Garcia-Mallol, J. A.; Simmerman, R. N. and Eberle, J. S. (2002). .
- 175 Petek, J. (2002). "Optimisation Software".
- 176 Cañadas, L. and et al (2001). "Heat-rate and NOx optimisation in coal boilers using an advanced in-furnace monitoring system" Combined Power plant Air Pollutant Control Symposium (the Megasympoium), .
- 177 Rodríguez, F. and et al (2002). "OPTICOM: Advanced Automatic Monitoring System of Local Combustion Conditions for Improving Boiler Performance in PC Power plants" UK Meeting on Coal Research and its Applications, .
- 178 ECSC (2001). "Application of Advanced Modelling Techniques for Coal Utilisation Processes. Furnace Monitoring System to Improve Combustion and Boiler Efficiency (OPTICOM) at Unit 3 of Compostilla Power Station," ECSC, Contract 7220-ED/096 Final Report,.
- 179 Lehmann, B.; Nothdurft, R.; Sailer, W.; Strauß, J. H. and K., G. I. (2000). "Ausführung, Werkstoffkonzepte und Qualitätssicherung der Rauchgasentschwefelungsanlage des Heizkraftwerks 2 im Kraftwerk Altbach Deizisau der Neckarwerke Stuttgart AG", VGB Kraftwerkstechnik.
- 180 Baukal, C. E. and Schwarz, R. E. (2001). "The John Zink Combustion Handbook".
- 181 Ceramics GmbH (2002). "SCR Experiences on Marine Diesel Engines - A clean fast ferry" Ship Propulsion Conference, .
- 182 OSEC (1999). "Cost Analysis of NOx Control Alternatives for Stationary Gas Turbines Contract No. DE-FC02-97CHIO877", Onsite Sycom Energy Corporation.
- 183 Calepa (1999). "Guidance for Power Plant Siting and Best Available Control Technology", USA State of California.
- 184 Krishnan, R. (2002). "Low NOx emissions achieved in Southern California", Diesel & Gas Turbine Worldwide.
- 185 Smith, D. J. (1995). "Combined cycle gas turbines: The technology of choice for new power plants", Power Engineering International.
- 186 Eurostat (2001). "Combined heat and power production (CHP) in the EU-Summary of statistics 1994 - 1998".
- 187 Eurostat (2002). "Combined heat and power production (CHP) in the EU-Summary of statistics 1994 - 1998", Cogeneration and On-Site Power Production,.

- 189 Caldwell, D. (2001). "ISCA SO<sub>x</sub> NO<sub>x</sub> Hg control technology", communication.
- 190 Davis, L. B. and Black, S. H. (2000). "Dry low NO<sub>x</sub> combustion systems for GE heavy-duty gas turbines", GER-3568G.
- 191 GE (2002). "GE gas turbine. Particulate emissions", GE Power Systems.
- 192 TWG (2003). "Comments from TWG to the second draft of LCP BREF".
- 193 EC (2001). "European pollution emission register", European Environment Agency.
- 194 EC (2002). "Regulation (EC) No 761/2001 of the European parliament and of the council allowing voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, [http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm) and (EN ISO 14001:1996, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>; <http://www.tc207.org>)".
- 195 Poland (2001). "Information provided by Poland and the Polish power generating industry".
- 196 ASME "A combustion test facility for testing low NO<sub>x</sub> combustion systems", ASME Paper, GT2002-30446.
- 197 ASME "Reduction of NO<sub>x</sub> and CO to below 2 ppm in a diffusion flame -", ASME, Paper GT2003-38208.
- 198 ASME "The chronological development of the Cheng cycle steam injected Gas turbine during the past 25 years -", ASME Paper, GT-2002-30119.
- 199 Cheng (1997). "The New LM2500 Cheng cycle for power generation and co-generation - [www.chengpower.com](http://www.chengpower.com)", Energy Conversion Management, 38, pp. no 15-17.
- 200 Southern Research Institute (2000). "ANR Pipeline Company Parametric Emission Monitoring Systems (PEMS)", Environmental Technology Verification Report, Greenhouse Gas Technology Verification Center, SRI/USEPA-GHG-VR-05, June 2000.
- 201 Macak III, J. (1996). "The pros and cons of predictive, parametric, and alternative emissions monitoring systems for regulatory compliance," Air & waste management association conference, , 96-WP92.02,.
- 202 Lefebvre, A. H. (1998). "Gas turbine combustion", Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, ISBN 1-56032-673-5.
- 203 EPA, U. (2002). "[http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx\\_00/40cfr75\\_00.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_00/40cfr75_00.html)", U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- 204 The Cadmus Group, I. (2000). "Second draft Task 4 PEMS Inventory", The Cadmus Group, INC, Technical Memorandum, May 2000.
- 205 Tronci, S.; Baratti, R. and Servida, A. (2002). "Monitoring pollutant emissions in a 4,8 MW power plant through neural network", Neurocomputing, 43, pp. 3-15.

- 206 Pavilion (2003). "<http://www.pavtech.com>", Pavilion Technologies.
- 207 Underbakke, H. and Jakobsen, J. "Energy optimisation and reduction of CO2 emissions on the North Sea Sleipner gas production platform", Statoil, ASME 2000-GT-348.

## TERİMLER SÖZLÜĞÜ

### GENEL TERİMLER VE MADDELER

TERİM	ANLAM
Asit	Verici proton. Bir su çözeltisinde hemen hemen kolaylıkla hidrojen iyonları yayan bir madde
Aktif çamur prosesi	Organik atıklar üzerinde beslenen bakterilerin sürekli olarak dolaştığı ve ayrışma hızını arttıracak oksijen varlığındaki organik atık ile temas ettiği çamur arıtma prosesi
Aerasyon	Bir sıvıyı hava (oksijen) ile karıştırma işi
Alkali	Alıcı proton. Bir su çözeltisinde hemen hemen kolaylıkla hidrojen iyonlarını üzerine alan bir madde
Anaerobik	Oksijen yokluğunda meydana gelen bir biyolojik proses
Biyolojik olarak çözülebilen	Mikro organizmalar tarafından fiziksel ve/veya kimyasal olarak ayrışabilen. Örneğin, çoğu kimyasallar, gıda döküntüleri, pamuk, yün ve kağıtlar biyolojik olarak ayrışabilir.
Brayton çevrimi	Bakımız Ek 10.1.3
Carnot çevrimi	Bakımız Ek 10.1.1.5
Cheng çevrimi	Bakımız Bölüm 7.1.6
Claus tesisi	Kükürt yenileme ünitesi. Daha fazla bilgi için bakımız Rafineri BREF
Çapraz medya etkileri	Su/hava/toprak emisyonları, enerji kullanımı, ham madde tüketimi, gürültü ve su ekstraksiyonu (yani IPPC Direktifinin ihtiyaç duyduğu her şey) çevresel etkilerinin hesaplanması
Yayılan emisyon	Uçucu madde veya hafif tozlu maddelerin çevre ile (normal işletim koşullarında, atmosfer) doğrudan temasından kaynaklanan emisyonlar. Bunlar aşağıdakilerden kaynaklanır: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ekipmanın içsel tasarımı (örneğin filtreler, kurutucular vb. ...)</li> <li>• işletim koşulları (örneğin materyalin konteynerler arasındaki aktarımı sırasında)</li> <li>• işletim türü (örneğin bakım faaliyetleri)</li> <li>• veya diğer ortama (örneğin soğutucu su veya atık su) aşamalı salınımlardan.</li> </ul> Kaçak emisyonlar yayılan emisyonların başlangıcıdır
Yayıma kaynakları	Çoklu ve tanımlı alan içerisinde dağılmış olan direkt veya benzer emisyon kaynakları
dolomit	Mineral dolomit, kalsiyum magnezyum karbonat ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) ile domine edilen kireçtaşı karbonat fraksiyonu
Atık su	Emisyon teşkil eden fiziksel sıvı (kirletici madde ile birlikte hava veya su)
Ortaya çıkan teknikler	BREF'lerdeki standart Bölümün adı
emisyon	Donanımdaki bireysel veya yayılma kaynaklarından madde, titreşim, ısı veya gürültülerin hava, su veya toprağa doğrudan veya dolaylı salınımı
MET emisyon sınır değerleri kullanımı ile ilişkili emisyon ve tüketim seviyeleri	MET bölümlerine genel girişe bakınız
Emisyon sınır değerleri	belirli spesifik parametreler bağlamında ifade edilen, bir veya daha fazla zaman periyodu sırasında aşılamayan toplu yoğunlaşma ve/veya emisyon düzeyi
'boru sonu' tekniği	Bazı ilave prosesler ile nihai emisyonları azaltan ancak çekirdek prosesin temel işletimini değiştirmeyen bir teknik. Eş anlamları: 'ikincil teknik', 'azaltım tekniği'. Zıt anlamları: 'proses-entegre tekniği', 'birincil teknik' (bazı yollarla çekirdek prosesin işleme şeklini değiştiren ve bu suretle ham emisyon ve tüketimleri azaltan teknik)
Mevcut donanım	Direktif'in yürürlüğe girdiği tarihten önce var olan mevzuat uyarınca işler halde olan donanım. IPPC Direktifi'nin yürürlüğe girdiği tarihten en geç bir yıl sonra faaliyete sokulması kaydıyla yetkili otorite bağlamında yetkili donanım



TERİM	ANLAM
Kaçak emisyon	Gevşek ekipman/sızıntının neden olduğu emisyon: temelde bir basınç farkından kaynaklanan ve sızıntı ile sonuçlanan, muhafazalı bir akışkanı (gazlı veya likit) ihtiva etmek için tasarlanmış bir ekipman parçasının sağlamlığını kaybetmesinden kaynaklanan çevreye salınan emisyon. Kaçak emisyon örnekleri: flanş ve pompadan sızıntılar vb ...
Emisyon	Çevredeki kirlenici madde, koku veya gürültü oluşum ve düzeyi.
Donanım	IPPC Direktifi Ek I'de sıralanan bir veya daha fazla faaliyetin yürütüldüğü sabit teknik bir ünite ve sahada yürütülen ve emisyon ile kirlilik üzerinde bir etkisi olabilecek teknik faaliyetler ile ilgili tertibat
Lurgi CFB	Özel SO <sub>x</sub> ve NO <sub>x</sub> azaltım prosesi
İzleme	Yayılan miktarlar ve/veya yayılan kirlenici madde eğilimlerine yönelik bilgi sağlama amaçlı diğer değerlendirme metotları ile, sistematik, periyodik veya nokta gözetimi, denetim, numuneleme ve ölçüm prosedürlerine dayalı emisyon veya başka bir parametrenin gerçek değeri ile varyasyonları belirleme veya değerlendirme amacını taşıyan süreç
Çoklu ortam etkileri	Bakınız <i>çapraz medya etkileri</i>
naften	Parafin tipi kolların iliştiği moleküllerinde bir veya daha fazla 5 veya 6 doymuş karbon atomu halkası içeren hidrokarbonlar (sıfat: naftenik)
Operatör	Donanımı işleten veya kontrol eden herhangi bir gerçek veya hukuki şahıs, veya ulusal mevzuatta öngörüldüğü hallerde donanımın teknik işleyişine ilişkin karar verici ekonomik yetkilerin verildiği kişi
Otto çevrimi	Dört zamanlı motor
kirlenici	Çevreye zarar verebilecek veya çevreyi kirlenebilecek bireysel madde veya madde grupları
Birincil tedbir/teknik	Çekirdek prosesin işleyiş şeklini bir şekilde değiştiren ve bu suretle ham emisyon veya tüketimleri azaltan bir teknik (bakınız ' <i>boru ucu tekniği</i> ')
Rankine çevrimi	bakınız Ek 10.1.2
ikincil tedbir/teknik	bakınız ' <i>boru ucu tekniği</i> '
Spesifik emisyon	üretim kapasitesi veya fiili üretim (örneğin, üretilen ton veya birim başına) gibi referans baz ile ilgili emisyon
Dönen rezerv	Fazla güç kapasitesi
Thermie programı	EC enerji programı

## KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltma	Anlam
AF	Ark ateşlemeli
AFBC	Atmosferik akışkan yatak yakma
AFBG	atmosferik dolaşimli akışkan yatak gazlaştırıcı
AGR	ileri gaz yeniden yakma
AOX	emilebilir organik halojen bileşikleri. Aktif karbon üzerinde emilme kapasitesine sahip su numunesinde mevcut olan tüm halojen bileşiklerinin (florin hariç), klorin olarak adlandırılan, litre başına miligramdaki toplam konsantrasyonlar
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
ASTM	Kömüre yönelik Birleşik Devletler'de geliştirilmiş sınıflandırma
MET	Mevcut en iyi teknikler
BBF	Meyilli brülör ateşlemesi
BFB	Kabarcıklı akışkan yatak
BFBC	Kabarcıklı akışkan yatak yakma
BFG	Yüksek fırın gazı
BOD	Biyokimyasal oksijen talebi: organik maddeyi ayrıştırmak için mikro-organizmaların gerek duyduğu çözülmüş oksijen miktarı. Ölçüm birimi mg O <sub>2</sub> /l'dir. Avrupa'da, BOD genellikle 3 (BOD <sub>3</sub> ), 5 (BOD <sub>5</sub> ) veya 7 (BOD <sub>7</sub> ) gündenz sonra ölçülür
BOOS	Servis dışı brülör
BREF	MET Referans belgesi
BTEX	benzen, toluen, etilbenzen, eksilen
CC	kombine çevrim
CCGT	kombine çevrim gaz türbini
CCP	kömür yakma ürünleri
CEC	Kaliforniya Enerji Komisyonu
CEM	Sürekli emisyon izleme
CEMS	Sürekli emisyon izleme sistemi
CETF	Yakma ve çevresel test olanağı
CFB	Dolaşimli akışkan yatak
CFBC	Dolaşimli akışkan yatak yakma
CHAT	Kaskad namlendirilmiş hava türbini
CHP	Kombine ısı ve enerji (kojenerasyon)
CIS	Eski Sovyetler Birliği'nden gelen ülkeler
COD	Kimyasal oksijen talebi: atık suda mevcut maddeleri yaklaşık 150 °C'de kimyasal olarak oksitlemek için gerekli, oksijen olarak tabir edilen, potasyum dikromat miktarı
daf	Kuru ve külsüz baz
DBB	Kuru tabanlı buhar kazanı
DENOX	denitrifikasyon
DESONOX	özel bir SO <sub>x</sub> ve NO <sub>x</sub> azaltım tekniği
DESOX	Bir kükürt giderme tekniği
DF	dual yakıt
DH	bölge ısıtması
DLE	gaz türbinlerine yönelik kuru düşük emisyon premiks yakma odası
DLN	kuru düşük -NO <sub>x</sub> , örneğin DLN brülörü
DLN	gaz türbinlerine yönelik kuru düşük -NO <sub>x</sub> premiks yakma odası
DM/dm	kuru madde
DS/ds	kuru katı içeriği. Standart test metodu ile kurutma sonrası kalan materyal kütlesi
DS burner	Türbülans brülörü
DSI	Direkt sorbent enjeksiyonu
DWI	Direkt su enjeksiyonu
EDTA	etilendiamin tetraasetik asit
EIPPCB	Avrupa IPPC Bürosu
EGR	Egzoz gazı yeniden dolaşımı
ELV	Emisyon limit değeri

EMAS	Avrupa Topluluğu Eko-Yönetim ve Denetim Planı
EMS	Çevre yönetim sistemi
EO	Enerji çıkışı
EOR	Gelişmiş petrol yenileme
EOP	Boru ucu
EOX	Çıkarılabilir organik halojenler
EPER	Avrupa kirlenici emisyon kaydı
ESP	elektrostatik presipitatör
EUF	enerji kullanım faktörü
EUR	EURO – çoğu AB-15 ülkesindeki yaygın para birimi
EU-15	15 Avrupa Birliği Üye Ülkesi
FBC	akışkan yatak yakma
FBCB	akışkan yatak yakma buhar kazanı
FF	bez filtre
FEGT	fırın çıkış gazı sıcaklığı
FGC	Baca gazı sıcaklığı
FGD	Baca gazı kükürt giderme
FRB	Birleşik Krallık'ta geliştirilen kömür sınıflandırması
FGR	Baca gazı yeniden yakma
GDP	Gayri safi yurt içi hasıla
GF	Izgara ateşleme
GRP	Cam takviyeli plastik
GT	gaz türbini
GTCC	gaz türbini kombine çevrimi
GWP	küresel ısınma potansiyeli
HAT	nemlendirilmiş hava türbini
HFO	ağır fuel oil
Sertlik Ögütülebilirlik Göstergesi (HGI)	kömür sertliğini belirleyecek rakam
HHV	Yüksek ısıtma değeri
Hu	Düşük ısıtma değeri
HRSG	Isı yenileme buhar jeneratörü
HP	Yüksek basınç
IEA	Uluslar arası Enerji Ajansı
IEF	Bilgi alışverişi forumu (IPPC Direktifi çerçevesindeki gayriresmi konsültasyon organı)
IEM	İç elektrik pazarı (Direktif (96/92/EC)
IGCC	Entegre gazlaştırma kombine çevrim
IPC	Birleşik Krallık entegre kirlilik kontrol yasası
IPPC	Entegre kirlilik önleme ve kontrolü
IPP	Bağımsız güç üreticileri
I-TEQ	Zehirlilik hususları temeline dayalı dioksin konsantrasyon birimi
JBR	jet kabarcıklı reaktör
JRC	Ortak Araştırma Merkezi
LCP	Büyük yakma tesisi
LFO	Hafif fuel oil (HFO'dan daha hafif)
LHV	Düşük ısı değeri
LNB	Düşük NOx brülörü
LOI	Tutuşma kaybı
LP	Düşük basınç
LPGs	Sıvılaştırılmış petrol gazları
LVOC	Büyük hacimli organik kimyasallar (BREF)
LIMB	Kireçtaşı enjeksiyonu çoklu aşama brülörü
MCR	Mikro karbon tortuları
MDF	Orta yoğunluklu fiber tahta
MEA	Monoetanolamin
MMBtu	Milyon Btu (İngiliz termal birimi)
MP	Orta basınç
n.a.	Uygun değil VEYA mevcut değil (içeriğe bağlı olarak)
n.d	Veri yok

NMHC	Metan olmayan hidrokarbonlar
NMVOG	Metan olmayan uçucu organik bileşenler
NOXSO	NO <sub>x</sub> ve SO <sub>x</sub> azaltımlarına yönelik kombine teknik. Bölüm 3.5.1.2'de daha fazla bilgi mevcuttur
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OFA	Aşırı yakma havası
PAH	Poliaromatik hidrokarbonlar
PC	Pülverize yakma
PAC	Güçlendirilmiş aktif karbon
PFBC	Basınçlı akışkan yatak yakma
PCB	Poliklorinat benzenler
PCDD	Poliklorinat -dibenzo-dioksinler
PCDF	Poliklorinat -dibenzo-furanlar
PEMS	Parametrik emisyon modelleme sistemi
PFF	Perdah bez filtre
PI	Proses entegre
Pm	Birincil tedbirler
PM (PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> )	Partikül madde
POM	Partikül organik madde
POPs	Devamlı organik bileşikler
PPFBC	Basınçlı akışkan yatak yakma
PRV	Basınç azaltma değeri
PSA	Basınç girdap adsorpsiyonu
QF	Kalite faktörleri
RDF	Çöpten çıkarılan yakıt
REF	Yenilenen yakıt
Ar & Ge	Araştırma ve geliştirme
SC	sprey soğutma
SCONOX	gaz türbinlerine yönelik partiküler NO <sub>x</sub> azaltım prosesi
SCR	selektif katalitik azaltım
SD	sprey kurutucu
SDA	sprey kuru absorber
SDS	sprey kuru gaz yıkayıcı
SS	askıya alınan katılar
SF	ikincil yakıt
SG	buhar jeneratörü
SME	küçük ve orta ölçekli işletme
SNCR	selektif katalitik olmayan azaltım
SNRB	Kombine SO <sub>x</sub> -NO <sub>x</sub> azaltım tekniği ROX-Box süreci
SRU	Kükürt yenileme ünitesi
STIG	Buhar enjektörde edilmiş gaz
SWTP	Deniz suyu arıtma tesisi
TDS	Toplam çözülen katılar
TEF	Toksik denklik faktörü
TEQ	Toksik denklik niceliği
TOPHAT	Havanın kompresöre enjektörde edildiği nemlendirilmiş hava türbini
TS	Toplam katılar
TSA	termal girdap adsorpsiyonu
TSS	toplam askıya alınan katılar
TWG	teknik çalışma grubu
UHC	yanmamış hidrokarbonlar
UHV	üst ısıtma değeri
ULNTF	ultra düşük NO <sub>x</sub> teğetsel ateşleme
UN ECE	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
USEPA	Birleşik Devletler Çevre Koruma Acenteliği
VGB	Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber
VI	Viskozite göstergesi
VOCs	Uçucu organik bileşikler
waf	Su içermeyen
WSA SNOX	özel SO <sub>x</sub> ve NO <sub>x</sub> azaltım prosesi

WBB	Islak tabanlı buhar kazanı
WHB	Atık ısı buhar kazanı
WHRU	Atık ısı yenileme ünitesi
WI	Atık yakma (WI BREF'e başvurunuz)
WS	Girdap-türbülans
WT	Atık arıtımı (WT BREF'e başvurunuz)
WWTP	Atık su arıtım tesisi

## ÜLKE VE PARA BİRİMLERİ LİSTESİ (26.6.2002 tarihindeki durum)

### ÜYE ÜLKELER LİSTESİ

Kısa adı	Tam adı	Kısaltma <sup>1</sup>	Para birimi <sup>2</sup>	Para birimi ISO kodu <sup>3</sup>
Avusturya	Avusturya Cumhuriyeti	A	Avro	EUR
Belçika	Belçika Krallığı	B	Avro	EUR
Kıbrıs	Kıbrıs Cumhuriyeti	CY	Kıbrıs poundu	CYP
Çek Cumhuriyeti	Çek Cumhuriyeti	CZ	Çek kronu (çoğul; koruny)	CZK
Estonya	Estonya Cumhuriyeti	EE	Estonya kronu (çoğul; krooni)	EEK
Almanya	Federal Almanya Cumhuriyeti	D	Avro	EUR
Danimarka	Danimarka Krallığı	DK	Danimarka kronu (çoğul; kroner)	DKK
İspanya	İspanya Krallığı	E	Avro	EUR
Yunanistan	Yunan Cumhuriyeti	EL	Avro	EUR
Fransa	Fransa Cumhuriyeti	F	Avro	EUR
Finlandiya	Finlandiya Cumhuriyeti	FIN	Avro	EUR
Macaristan	Macaristan Cumhuriyeti	HU	forint (sadece tekil)	HUF
İtalya	İtalya Cumhuriyeti	I	Avro	EUR
İrlanda	İrlanda	IRL	Avro	EUR
Letonya	Letonya Cumhuriyeti	LV	lats (çoğul; lati)	LVL
Litvanya	Litvanya Cumhuriyeti	LT	litas (çoğul; litai)	LTL
Lüksemburg	Büyük Lüksemburg Düklüğü	L	Avro	EUR
Malta	Malta Cumhuriyeti	MT	Malta lirası	MTL
Hollanda	Hollanda Cumhuriyeti	NL	Hollanda Florini, Avro	NLG; EUR
Polonya	Polonya Cumhuriyeti	PL	Zloti	PLN
Portekiz	Portekiz Cumhuriyeti	P	Avro	EUR
Slovakya	Slovakya Cumhuriyeti	SK	Slovak kronu (çoğul; koruny)	SKK
Slovenya	Slovenya Cumhuriyeti	SI	Tolar	SIT
İsveç	İsveç Krallığı	S	İsveç kronu (çoğul; kronor)	SEK
Birleşik Krallık	Büyük Britanya ve Kuzey İrlanda Birleşik Krallığı	UK	pound sterlin	GBP

1. BREF'lerde, Geçici Temsilcilikler tarafından karar verilen bu kısaltmaları kullanarak Üye Ülkeleri İngilizce alfabetik sıraya göre listeleyiniz

2. Eski Para Birimleri (euro öncesi):

- Avusturya – Avusturya şilingi (ATS)
- Belçika - Belçika frankı (BEF)
- Almanya - Alman markı (DEM)
- İspanya – İspanya pezosu (ESP)
- Yunanistan – Yunan drachması, pl drachmae (GRD)
- Fransa – Fransız frankı (FRF)
- Finlandiya - Fin markka, pl. markkaa (FIM)
- İtalya - İtalyan lireti, pl. lire (ITL)
- İrlanda – İrlanda pound (punt) (IEP)
- Lüksemburg – Lüksemburg frankı (LUF)
- Portekiz - Portekiz eskudosu (PTE)

3. ISO 4217, Genel Sekreterlik tarafından tavsiye edildiği üzere (SEC(96) 1820).

**AB GENİŞLEME ADAY ÜLKELERİ**

Kısa Adı	Tam Adı	Ülke ISO Kodu <sup>1</sup>	Para birimi <sup>2</sup>	Para Birimi ISO KODU <sup>3</sup>
Bulgaristan	Bulgaristan Cumhuriyeti	BG	lev (çoğul; leva)	BGN
Romanya	Romanya	RO	Romanya leki (çoğul; lei)	ROL
Türkiye	Türkiye Cumhuriyeti	TR	Türk Lirası	TL

**DIĞER ÜLKELER**

Kısa Adı	Tam Adı	Ülke ISO Kodu <sup>1</sup>	Para birimi	Para Birimi ISO KODU <sup>2</sup>
Avusturya	Avustralya Milletler Topluluğu	AU	Avustralya doları	AUD
Kanada	Kanada	CA	Kanada doları	CAD
İzlanda	İzlanda Cumhuriyeti	IS	İzlanda kronu (çoğul; kronur)	ISK
Japonya	Japonya	JP	yen (sadece tekil)	JPY
Yeni Zelanda	Yeni Zelanda	NZ	Yeni Zelanda doları	NZD
Norveç	Norveç Krallığı	NO	Norveç kronu (çoğul; kroner)	NOK
Rusya	Rusya Federasyonu	RU	Yeni ruble; Rus rublesi	RUB; RUR
İsviçre	İsviçre Konfederasyonu	CH	İsviçre frankı	CHF
Birleşik Devletler	Amerika Birleşik Devletleri	US	Amerika doları	USD
1. ISO 3166 2. ISO4217				

Eksiksiz tam liste (tüm ülkelere ait) <http://eur-op.eu.int/code/en/en-5000500.htm> adresindeki Kurumlararası Stil Rehberi'nde çevrimiçi bulunabilir

## GENEL BİRİM, ÖLÇÜ VE SEMBOLLER

TERİM	ANLAM
Atm	normal atmosfer (1 atm = 101325 N/m <sup>2</sup> )
bar	bar (1.013 bar = 1 atm)
Bq	becquerel (s <sup>-1</sup> ) – radyonüklid aktivitesi
°C	Santigrat derece
Cm	santimetre
cSt	Centistokes = 10 <sup>-2</sup> stokes
D	Gün
G	gram
GJ	gigajoule
GW	gigawatt
GWh	gigawatt saat. Ayrıca TWh, MWh, kWh
GWh <sub>e</sub>	gigawatt saat elektrik. Ayrıca TWh <sub>e</sub> , MWh <sub>e</sub> , kWh <sub>e</sub>
Hz	Hertz
H	Saat
J	Joule
K	kelvin (0 °C = 273.15 K)
Kcal	Kilokalori (1 kcal = 4.19 kJ)
Kg	Kilogram
kJ	kilojoule (1 kJ = 0.24 jkcal)
kPa	kilopascal
Kt	Kiloton
kWh	kilowatt-saat (1 kWh = 3600 kJ = 3.6 MJ)
l	Litre
m	metre
m <sup>2</sup>	Metre kare
M <sup>3</sup>	Metre küp
Mg	miligram (1 mg = 10 <sup>-3</sup> gram)
MJ	megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 10 <sup>6</sup> joule)
Mm	milimetre (1 mm = 10 <sup>-3</sup> m)
m/min	Dakika başına metre
Mt	megaton (1 Mt = 10 <sup>6</sup> ton)
MWe	megawatt elektrik (enerji)
MWth	megawatt termal (enerji)
Ng	nanogram (1 ng = 10 <sup>-9</sup> gram)
Nm <sup>3</sup>	normal metre küp (101.325 kPa, 273 K)
Pa	Pascal
Ppb	Milyarda bir
Ppm	Milyonda bir (ağırlık ile)
Ppmvd	Kuru gazlar için hacmen milyonda bir
°R	Rankine derecesi
S	İkinci
T	metrik ton (1000 kg veya 10 <sup>6</sup> gram)
T-s	sıcaklık-entropi
t/yr	yılda bir ton
V	Volt
Vol-%	Hacmen yüzde. (Ayrıca % v/v)
Wt-%	Ağırlık bakımından yüzde. (Ayrıca % w/w)
Yr	Yıl
-	civarında; yaklaşık
ΔT	Sıcaklık farkı (artış)
μm	mikrometre (1 μm = 10 <sup>-6</sup> m)



## KİMYASAL ELEMENT LİSTELERİ

AD	SEMBOL	AD	SEMBOL
antimon	Sb	praseodimiyum	Pr
arsenik	As	prometyum	Pm
astatin	At	protaktinyum	Pa
baryum	Ba	radyum	Ra
berilyum	Be	radon	Rn
boron	B	reniyum	Re
bromin	Br	rodyum	Rh
kadmiyum	Cd	rubidyum	Rb
kalsiyum	Ca	rutenyum	Ru
karbon	C	ruterfordiyum	Rf
khlorin	Cl	samarium	Sm
krominyum	Cr	skandiyum	Sc
kobalt	Co	selenyum	Se
bakır	Cu	silikon	Si
florin	F	gümüş	Ag
helyum	He	sodyum	Na
hidrojen	H	strontium	Sr
iyodin	I	kükürt	S
demir	Fe	tantalyum	Ta
kurşun	Pb	teknetiyum	Tc
magnezyum	Mg	telluriyum	Te
manganez	Mn	terbiyum	Tb
neon	Ne	thallium	Tl
nikel	Ni	thoryum	Th
niyobyum	Nb	tulyium	Tm
nitrojen	N	tin	Sn
nobelyum	No	titanyum	Ti
ozmiyum	Os	tungsten	W
oksijen	O	uranyum	U
paladyum	Pd	vanadium	V
fosfor	P	ksenon	Xe
platinum	Pt	ytterbiyum	Yb
plutonyum	Pu	yttrium	Y
polonyum	Po	çinko	Zn
potasyum	K	zirkonyum	Zr

## SI BİRİM ÖN EKLERİ

SEMBOL	ÖRNEK	TERİM	RAKAM
E	eksa	$10^{18}$	1 000 000 000 000 000 000
P	peta	$10^{15}$	1 000 000 000 000 000
T	tera	$10^{12}$	1 000 000 000 000
G	giga	$10^9$	1 000 000 000
M	mega	$10^6$	1 000 000
k	kilo	$10^3$	1 000
h	hekto	$10^2$	100
da	deka	$10^1$	10
-----	-----	1 birim	1
d	desi	$10^{-1}$	0.1
c	centi	$10^{-2}$	0.01
m	mili	$10^{-3}$	0.001
$\mu$	mikro	$10^{-6}$	0.000 001
n	nano	$10^{-9}$	0.000 000 001
p	piko	$10^{-12}$	0.000 000 000 001



## 10 EKLER

### 10.1 Ek 1: Yakma çevrimleri ilkeleri ile verimlilik kavramları

Halkın BREF'i anlamasına yardımcı olmak amacıyla, bu elektrik santrali teknolojisi ile büyük yakma donanım tasarım ve tekniklerinin üzerinde temellendiği bir kuram olduğundan bu ek yakma çevrimi ilke ve kavramlarına ilişkin kısa bir açıklama sunar [54, Cortés ve Plumed, 2000]. Termodinamik fosil yakıt çevrimleri ve enerji üretimi kuramına ilişkin daha ayrıntılı bilgi için okuyucunun bu belge kısmı için geri plan materyali olarak kullanılan aşağıdaki referanslara başvurması tavsiye edilir [55, Çengel ve Boles, 1994], [56, Rogers ve Mayhew, 1967], [53, El-Wakil, 1984], [50, Korobitsyn, 1998], [58, Eurelectric, 2001], [80, Siemens, 2000], [49, Electrabel, 1996].

#### 10.1.1 Ek 2: Termodinamik ilkeler

##### 10.1.1.1 Birinci termodinamik yasası

Termodinamik enerji ile ilgili kavramlar konsepti ve onların özelliklerinin incelendiği bir fizik dalıdır. Fizikte olduğu gibi termodinamik tümevarıma dayalıdır: enerji davranışını açıklayan yasalar gerçekliğin gözlenmesi temelinde formüle dönüştürülmüştür. Bunlara termodinamik yasaları adı verilir.

Birinci yasaya göre enerji daima korunur; yoktan var olmaz vardan yok olmaz. Değişim (proses) geçiren bir sistemin enerjisi çevredeki unsurlar ile alışveriş yoluyla artırılabilir veya azaltılabilir ve de o sistem içerisinde birinden diğerine dönüşebilir. Bu nedenle bu enerjinin alışveriş ve dönüşebilirliğini deklare eden ve bir değişiklik meydana geldiğinde bunun sorumlusu olarak tüm enerjiyi gören basit 'muhasabe' yasasıdır. Birinci yasa bir formdan diğer bir forma enerji dönüşümlerinin mükemmel bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini veya aynı formların tamamen diğerlerine dönüşüp dönüşmediğini belirtmez. Bu kısıtlamalar ikinci yasaya bırakılmıştır.

##### 10.1.1.2 İkinci termodinamik yasası

Kısım 10.1.1.1 belirtildiği üzere, enerji korunmuş bir özelliktir ve birinci termodinamik yasasını ihlal eden herhangi bir prosesin gerçekleştiği bilinmemektedir. Bu nedenle herhangi bir prosesin gerçekleşmesi için ilk yasayı yerine getirmiş olması gerektiği sonucuna varılabilir. Ancak aşağıda açıklandığı üzere sadece birinci yasanın yerine getirilmesi termodinamik bir prosesin gerçekleşmesini temin edemez.

Süreçler belirli bir yönde ilerler ters yönde gerçekleşmezler. İlk yasa bir prosesin gerçekleşme yönünde herhangi bir kısıtlama getirmez ancak birinci yasanın yerine getirilmesi prosesin fiilen gerçekleşeceği anlamına da gelemez. Birinci yasanın bu sürecin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini ifade etmedeki yetersizliği bir başka genel ilke, ikinci termodinamik yasasının devreye sokulması ile halledilir.

İkinci termodinamik yasasının kullanımı süreçlerin yönlerini tanımlama ile sınırlı değildir. İkinci yasa ayrıca enerjinin sadece nicelik değil aynı zamanda nitelik de olduğunu temin eder. Birinci yasa enerjinin niceliği ve niteliğine bakılmaksızın bir formdan diğer bir forma dönüşen enerji değişimleri ile ilgilidir. Enerjinin niteliğinin muhafaza edilmesi mühendisler için önemli bir husustur ve ikinci yasa bir proses boyunca bozulma derecesi kadar niteliği belirleyecek gerekli araçları da sağlar.

Yukarıdaki açıklamalar ikinci yasanın aşağıdaki formülüne yönelik bir çıkış noktası görevi görür:

- Enerji iki bileşenden meydana gelir: bir bölümü tamamen başka enerji formlarına dönüşebilir (ekserji adı verilir), bir bölümü ise hiç dönüşmez (anerji adı verilir)
- Herhangi bir gerçek termodinamik süreçte, ekserji kısmı geri dönüştürülemez şekilde anerjiye dönüşür.

### 10.1.1.3 Entalpi ve entropi

Entalpi, kendisi ve çevresi arasında iletilmek amacıyla termodinamik bir sistemin sahip olduğu enerji miktarını temsil eder. Örneğin kimyasal bir tepkimede sistem entalpisinin değişimi reaksiyonun ısıdır. Buhar jeneratöründeki kaynayan sudaki sıvıdan gaz haline geçiş gibi evre değişiminde sistem entalpi vapoizasyon ısıdır. Basit bir sıcaklık değişiminde her bir derecedeki entalpi değişimi sabit basınçta sistem kapasitesidir. Matematiksel olarak entalpi  $H$ ,  $U$ 'nun iç enerji,  $P$ 'nin basınç ve  $V$ 'nin hacim olduğu  $U + PV$  olarak ifade edilir.

Rudolph Clausius entalpi terimini ilk olarak 1865 yılında ortaya atmıştır. Rudolph Clausius, belirli bir enerji oranının genel anlamda bir çevrimin aynı halde başlayan ve son bulan bir süreçler dizisi olduğu ve bu nedenle sonsuz defa veya gerektiği sürece tekrarlanabileceği, reversibl veya ideal ısı çevrimlerinde sabit olduğunu fark etmiştir. Oran mutlak sıcaklık ile değiştirilen ısı idi. Clausius korunan oranın gerçek fiziksel bir niteliğe karşılık gelmesi gerektiğine karar verdi ve bunu 'entropi' olarak adlandırdı.

Kapalı bir sisteme yönelik olarak, entropi iş yapmaya elverişli olmayan enerji miktarının niceliksel ölçümü olarak tanımlanabilir. Bu nedenle olumsuz bir nicelik türü, elverişli enerjinin tersi veya başka bir deyişle rastgelelik düzensizliği ölçüsüdür.

### 10.1.1.4 Reversibilite kavramı

Bir reversibl proses çevrede herhangi bir iz bırakmadan eski haline yeniden dönebilen bir proses olarak tanımlanır. Yani, revers prosesin sonunda hem sistem hem de ortam başlangıçtaki hallerine yeniden döner. Bu sadece sistem ve ortam arasındaki net ısı alışverişi ve net iş alışverişi kombine (orijinal ve revers) süreçlere yönelik olarak sıfır olması durumunda mümkündür. Reversibl olmayan süreçler 'irreversibl süreçler' olarak adlandırılırlar.

Prosesin reversibl veya irreversibl olup olmadığına bakılmaksızın herhangi bir sistemin termodinamik proses sonrası başlangıçtaki haline dönüşebileceğine dikkat edilmelidir. Ancak reversibl süreçlere yönelik olarak bu eski hale dönüş ortam üzerinde hiçbir net değişiklik bırakmadan yapılırken irreversibl süreçlere yönelik olarak ise ortam genellikle sistemin üzerinde bazı etkilerde bulunur ve bu nedenle ilk haline dönüşmeyecektir.

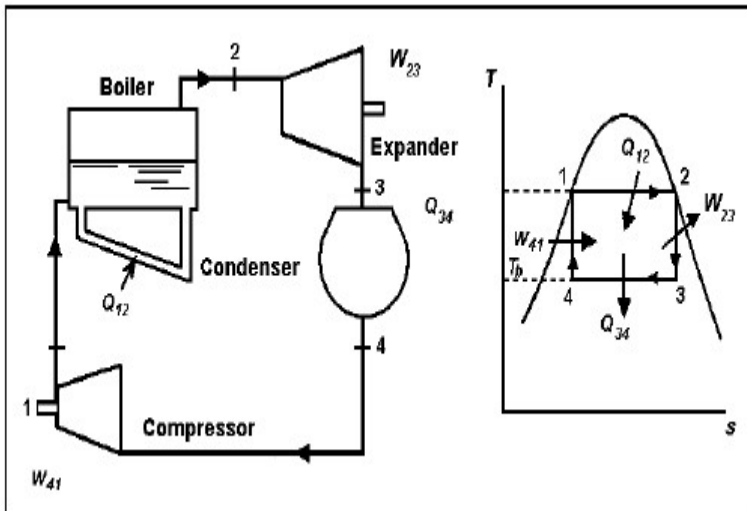
Reversibl süreçler aslında doğada meydana gelmez. Bunlar sadece gerçek süreçlerin idealizasyonlarıdır. Reversibl süreçler karşılık gelen irreversibl süreçlere yönelik teorik sınırlar olarak değerlendirilebilir. Bazı termodinamik süreçler diğerlerine göre daha irreversibldir. Reversibl süreçte sahip olmak mümkün değildir ancak ona yaklaşmak mümkündür. Bir reversibl süreçte ne kadar yaklaşırsa iş üretici aygıt tarafından o kadar fazla iş sevk edilir veya iş tüketen cihaz tarafından o kadar az iş gereksinim duyulur.

Reversibl süreçler kavramı ikinci termodinamik yasasına, karşılık gelen reversibl süreçlere yaklaşma derecesi ile ilgili termodinamik verimliliğe öncülük eder. Bu ise bizim aynı işi yapmak üzere tasarlanmış farklı aygıtların performansını verimlilikleri bazında karşılaştırmamıza olanak sağlar. Tasarım ne kadar iyi olursa irreversibilite o kadar düşük, verimlilik de o kadar yüksek olur.

Bir prosesin irreverzibl olmasına neden olan faktörlere ‘irreverzibiliteler’ adı verilir. Bunlar arasında friksiyon, serbest yayılma, iki gazın karıştırılması, sınırlı bir sıcaklık farkı boyunca ısı aktarımı, elektrik direnci, katıların elastik olmayan deformasyonu ve kimyasal tepkimeler sayılabilir. Bu etkilerden herhangi birinin bulunuşu prosesi irreverzibl kılar. Bir reverzibl proses bunlardan hiçbirini içermez.

### 10.1.1.5 İdeal çevrim (Carnot çevrimi)

Isının sabit bir üst sıcaklıkta ( $T_a$ ) alındığı ve sabit bir alt sıcaklıkta ( $T_b$ ) iade edildiği bir ideal çevrim Sadi Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Bu çevrim iki reverzibl adiabatik (çevre ile ısı alışverişinde bulunmaz) (izentropik-entropide değişiklik yoktur) süreçten oluşur. Çalışma sıvısı su veya su buharı olarak ele alındığında sıvı ıslak buhar iken sabit basınç ve sıcaklıkta ısıtılarak veya soğutulurken iki izotermal (sıcaklık değişimi yoktur) proses kolaylıkla elde edilir. Çevrim, Şekil 10.1’deki buhara yönelik sıcaklık-entropi (T- s) diyagramı ve refakat eden tesisin diyagram taslağı ile temsil edilir.



Boiler	Buhar kazanı
Condenser	Kondansatör
Compressor	Kompresör
expander	Genleştirici

Şekil 10.1: İdeal Carnot çevrimi

Carnot çevriminde, 1. haldeki doymuş su, ısı ( $Q_{12}$ ) ilavesi ile 2. (2) haldeki doymuş buhar oluşturmak üzere sabit basınçtaki buhar kazanında buharlaştırılır. Buhar daha sonra, bir türbinde veya vargel motorunda ( $W_{23}$ ) işler halde iken izentropik olarak 3. (3) hale genişletilir. Genleşme sonrasında buhar, ısı iade edilirken sabit basınçta kısmen yoğuşturulur. Yoğuşma,  $s_4 = s_1$  olan 4. (4) halde durdurulur. Nihai olarak buhar dönel motor veya vargel motorunda izentropik olarak 1. (1) hale sıkıştırılır. Carnot çevrimi  $T_a$  sıcaklığında bir termal enerji kaynağı ile  $T_b$  havuzundaki sıcaklık arasında gerçekleştirilebilen en verimli çevrimdir. Termal verimliliği aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\eta_{th, Carnot} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

Reverzibl izotermal ısı aktarımı çok büyük ısı eşanjörlerine ihtiyaç olması ve çok uzun zaman alması nedeniyle fiilen gerçekleştirilmesi çok zordur. Bu nedenle Carnot çevrimine yaklaşan bir çevrimde çalışacak bir motor inşa etmek uygulanabilir değildir.

Carnot çevriminin gerçek değeri fiili veya diğer ideal çevrimlerin karşılaştırılabildiği bir standart olmasından ileri gelir. Carnot çevriminin termal verimliliği alıcı ve kaynak sıcaklık fonksiyonudur ve Carnot çevrimine ilişkin termal verimlilik ilişkisi tüm çevrimlere uygulanabilen önemli bir mesaj taşır.

Termal verimlilik, ısının sisteme ilave edildiği ortalama sıcaklıktaki artış veya ısının sistemden alındığı ortalama sıcaklıktaki düşüş ile yükselir.

Bir güç santralının genel termal verimliliği faydalı mekanik işe dönüştürülen yakıttaki gizli enerji oranı ile uyu biçimde ölçülür. Toplam verimlilik iki verimlilik ürünü olarak ifade edilebilir:

- çalışma sıvısına ısı olarak aktarılan yakıttaki gizli enerji oranını ifade eden yakma
- mekanik işe dönüştürülen ısı oranını ifade eden çevrim verimliliği.

### 10.1.1.6 Buhar özellikleri (su buharı)

Buhar üretim ekipmanı ve ya ısı ya enerji veyahut da her ikisi için bu ekipmanın işletimsel çevrim uygulamasının tasarımında önemli bir adım buhar özelliklerine ilişkin güvenilir bilgiler tesis etmektir. Halihazırda kullanımda olan buhar tabloları 'Altıncı Uluslar arası Buhar Özellikleri Konferansı'nda sağlanan mutabakatlara dayalı '1967 ASME Buhar Tabloları'dır.

Buhar tabloları 'doyma' olarak tabir edilen sıvı ve buhar evreleri arasındaki denk gelen basınç-sıcaklık dengesini içine alır. Doyma noktası üzerinde daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılmış buhar 'aşırı ısıtılmış buhar'dır. Doyma noktası altındaki sıcaklıklarda ısıtılmış suya buhar tablolarında 'kompres su'denir. Aşırı ısıtılmış buhar ve kompres su ranjlarına ilişkin özellikler ayrıca belirlenen sıcaklık, basınç ve hallere (sıvı, gaz) yönelik spesifik hacim, spesifik entalpi ve spesifik entropi yoğun özelliklerini de kapsar. Yoğun özellikler kütlede bağımsız olanlardır; bunlar ayrıca proses tipi ve geçmişten de bağımsızdır. Bunlar, ısı aktarım ve enerjisi için buharı ilgilendiren tasarım ve performans sorunlarına yönelik rakamsal çözümler için gerekli hal ve termodinamik özelliklerdir. Entalpinin önemli hususlarının özel ehemmiyeti termodinamik yasalarının bir sonucudur.

İyi ki, mühendislik çoğunlukla entalpi ve entropi konusunda çok sayıda güçlük ve zorlukla uğraşmakta ve entropide sağlanabilir olmasının yanında bu özellikler için mutlak bir sıfır tesis etmek gerekli değildir. Buhar tabloları 273.16 K ve 611.22 Pa buhar basıncına karşılık gelen üçlü noktada suyun sıvı haline yönelik gelişigüzel sıfır dahili enerji ve entropi kurarlar. Bu koşullar altında suyun entalpisi çok az olumludur.

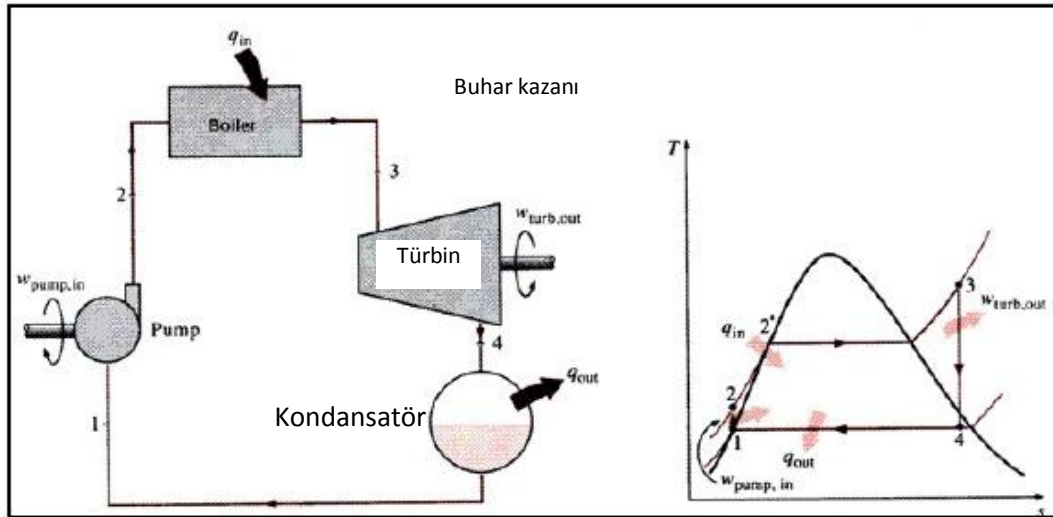
Alışılmış şekilde, buhar kazanı endüstrisi su ve yakma ürünleri sıfır entalpisi olarak 300 K ve 101353 Pa kullanır ancak bu uygulama ilgili diğer mühendislik alanlarında yaygın değildir. Daha genel bir referans bir atmosfer basıncı (101325 Pa) ve 25 °C (298.16 K)'dır. Bundan, standart halleri, evre değişim gizil ısıları, serbest enerji ve diğer önemli termodinamik niceliklerinde elementlerden bileşik formasyon ısılarının sıralanmasına yönelik standart referans noktası olarak bahsedilir.

### 10.1.2 Buhar enerji santrallerine yönelik standart çevrim olarak Rankine çevrimi

Carnot çevriminin uygulamada neden kullanılmamasının iki önemli nedeni vardır. İlk olarak düşük iş oranına sahiptir. İkinci olarak ise kompresyon ile ilişkili uygulama zorlukları. 4. (4) evrede durdurulduğundan yoğunlaşma prosesini kontrol etmek ve sonra çok nemli buhar verimliliğini yürütmek çok güç olacaktır. Sıvı buhardan ayrılmaya meyillidir ve kompresör homojen olmayan bir karışımla uğraşmak zorundadır. Bununla birlikte sıvının hacmi yüksektir ve kompresör maliyet ve büyüklük bakımından türbin ile kıyaslanabilir. Öte yandan buharı tamamen yoğunlaştırmak, küçük bir besleme pompasında sıvıyı buhar kazanı basıncında sıkıştırmak nispeten kolaydır.

Carnot çevrimi ile ilişkili bir başka elverişsizlik Şekil 10.2'deki  $T-s$  diyagramında şematik olarak gösterildiği üzere buhar kazanındaki buharın aşırı ısıtılması ile bertaraf edilebilir. Ortaya çıkan çevrim buhar enerji santralleri için ideal çevrim olan Carnot çevrimidir. İdeal Rankine çevrimi herhangi bir dahili irreverzibilite ihtiva etmez ve aşağıdaki dört süreçten meydana gelir:

aşama 1 – aşama 2 (1–2)	Pompadaki izentropik kompresyon
aşama 2 – aşama 3 (2–3)	Sabit basınçta buhar kazanına ısı ilavesi
aşama 3 – aşama 4 (3–4)	Türbinde izentropik genleşme
aşama 4 – aşama 1 (4–1)	Sabit basınçta kondansatörde ısı iadesi

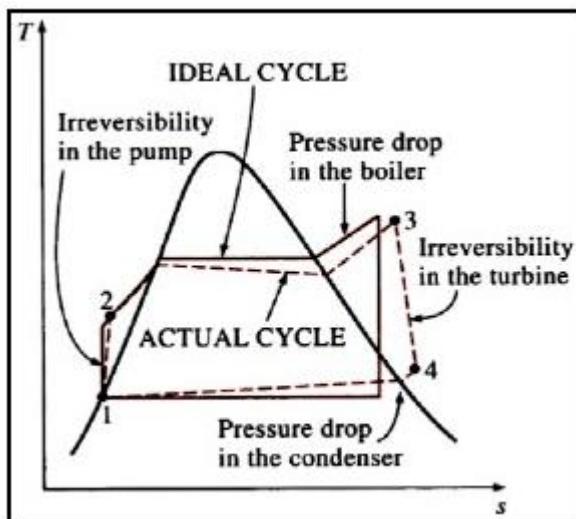


Şekil 10.2: Basit ideal Rankine çevrimi

Tedarik edilen tüm ısı yüksek sıcaklıklarda aktarılmadığından bu çevrimin verimliliğinin aynı sıcaklıklar arasında çalışan Carnot çevriminden daha az verimli olacağı hesaplama yapılmaksızın ortadadır. Çalışma sıvısının sıcaklığı 2. (2) halden 2' (2') hale değişirken bir miktar ısı ilave edilir. İki çevrim alanları arasındaki karşılaştırmadan kg buhar olarak net iş çıkışı Rankine çevriminde daha büyüktür.

### 10.1.2.1 Haricen irreverzibl Rankine çevrimi

Asıl buhar güç çevrimi çeşitli bileşenlerdeki irreverzibilitelelerin bir sonucu olarak Şekil 10.3'de gösterildiği üzere ideal Rankine çevriminden ayrılır. Sıvı friksiyonu ve ortama istenmeyen ısı kaybı iki ana irreverzibilite kaynağıdır.



IDEAL CYCLE	İDEAL ÇEVİRİM
Irreversibility in the pump	Pompadaki irreverzibilite
Pressure drop in the boiler	Buhar kazanında basınç düşüşü
Irreversibility in the turbine	Türbindeki irreverzibilite
ACTUAL CYCLE	Fiili ÇEVİRİM
Pressure drop in the condenser	Kondansatörde basınç düşüşü

Şekil 10.3: Fiili buhar gücü çevriminin ideal Rankin çevriminden sapması



Sıvı friksiyonu çeşitli bileşenler arasındaki boru hatları, buhar kazanı ve kondansatör arasında basınç düşüşlerine neden olur. Sonuç olarak buhar daha düşük sıcaklıkta buhar kazanını terk eder. Ayrıca türbin girişindeki basınç bağlantı boru hatlarındaki basınç düşmesi nedeniyle buhar kazanı çıkışındakinden bir miktar daha düşüktür. Kondansatördeki basınç düşüşü genellikle çok küçüktür. Bu basınç düşüşlerini telafi etmek amacıyla ideal çevrim gereksinimlerinden daha yüksek miktarda su pompalanmalıdır. Bu da daha büyük bir pompa ve pompaya daha büyük bir iş girişi gerektirir.

Diğer ana irreverzibilite kaynağı, buhar çeşitli bileşenler arasından aktığından ortam buharından ısı kaybıdır. Aynı net iş gücünü devam ettirmek amacıyla bu istenmeyen ısı kayıplarını telafi etmek için buhar kazanındaki buhara daha fazla ısı aktarılmalıdır. Sonuç olarak çevrim verimliliği düşer.

Önemli hususlar arasında pompa ve türbin içerisinde meydana gelen irreverzibilite de sayılabilir. Pompa daha çok iş girdisi gerektirir ve irreverzibilite bir sonucu olarak türbin daha az iş çıktısı üretir.

Fiili buhar güç çevrimlerinin analizinde diğer etmenlerin de gözden geçirilmesi gerekir. Fiili kondansatörlerde örneğin sıvı genellikle boşluk oluşumu, hızlı buharlaşma ve pompa pervanesinin düşük basınç ucunda tahribata neden olabilecek sıvı yoğuşmasını önlemek amacıyla gereğinden az soğutulur. Friksiyon sonucunda hareketli parçalar arasındaki yataklı ilave kayıplar meydana gelir. Çevrim boyunca sızan buhar ile kondansatöre sızan hava diğer iki kayıp kaynağını temsil eder. Yardımcı unsurlar tarafından harcanan tüm bu gücün fiili güç tesisi performansının değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gerekir.

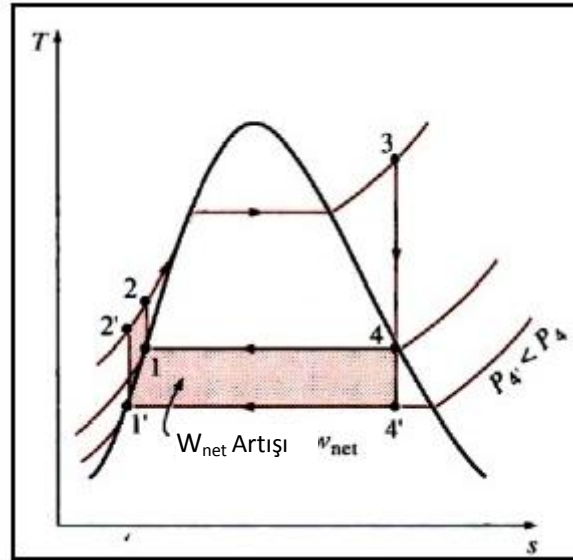
#### 10.1.2.2 Rankin çevriminin verimlilik gelişimi

Bir güç çevriminin termal verimliliğini artıracak tüm modifikasyonların ardındaki temel fikir aynıdır: buhar kazanı içerisindeki çalışma sıvısının aktarıldığı ortalama sıcaklığının artırılması, veya ısının kondansatör içerisindeki çalışma sıvısından atıldığı ortalama sıcaklığın düşürülmesi. Yani, ortalama sıvı sıcaklığı ısı ilavesi sırasında mümkün olduğunca yüksek ısı iadesi sırasında ise mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Basit ideal Rankine çevrimine yönelik bunu başarmanın sonraki üç yolu aşağıda sunulmuştur:

##### A) Kondansatör basıncının azaltılması

Buhar, kondansatör içerisindeki basınca karşılık gelen doyma noktası sıcaklığında kondansatörde doymuş karışım olarak mevcuttur. Bu nedenle kondansatörün işletim basıncının düşürülmesi otomatik olarak ısının iade edildiği sıcaklığı da düşürür.

Kondansatör basıncını düşürmenin Rankine çevrimi verimliliği üzerindeki etkisi Şekil 10.4'deki T-s diyagramında gösterilmektedir. Karşılaştırma amacıyla türbin giriş hali korunmuştur. Bu diyagram üzerindeki gölgeli alan kondansatör basıncının 4. (4) halden 4'(4')'e düşürmenin bir sonucu olarak net iş çıktısındaki artışı temsil eder. Isı girdi gereksinimleri ise ayrıca 2. (2) evreyi artırır ancak bu artış çok küçüktür. Bu nedenle kondansatör basıncını düşürmenin toplam etkisi çevrim termal verimliliğindeki artıştır.

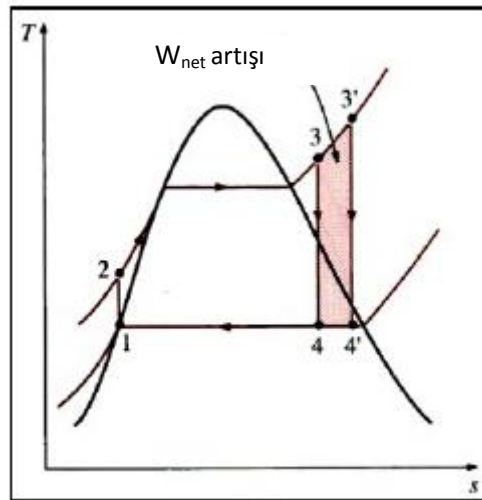


Şekil 10.4: İdeal Rankin çevriminin kondansatör basıncının düşürme etkisi

### B) Buharın yüksek sıcaklıklarda aşırı ısıtılması

Isının buhara ilave edildiği ortalama sıcaklık buharın yüksek sıcaklıklarda aşırı ısıtılması ile buhar kazanı basıncını düşürmeksizin artırılabilir. Aşırı ısıtmanın buhar güç çevrimleri performansı üzerindeki etkisi Şekil 10.5'deki T-s diyagram üzerinde gösterilmektedir. Diyagram üzerindeki gölgeli alan net işteki artışı temsil eder. Süreç eğrisi aşama 3. (3) – aşama 3'(3) kapsamındaki toplam alan ısı girdisindeki artışı temsil eder. Bu nedenle hem iş hem de ısı girişi buharın yüksek sıcaklıklarda aşırı ısıtılması sonucu artar. Toplam etki, ısının ilave edildiği ortalama sıcaklık arttığından termal verimlilikteki artıştır.

Buharı yüksek sıcaklıklara aşırı ısıtmanın arzu edilir başka bir etkisi daha vardır: T-s diyagramından görülebileceği gibi türbin çıkışında buhar nem içeriğini düşürür (4' (4')) halindeki nitelik 4 (4) haldekenden yüksektir).

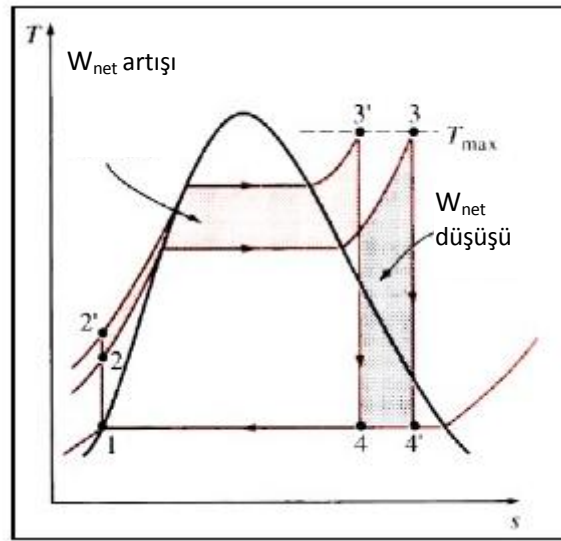


Şekil 10.5: İdeal Rankin çevriminde buhar yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasının etkisi

### C) Buhar kazanı basıncının artırılması. Kritik ötesi çevrimler.

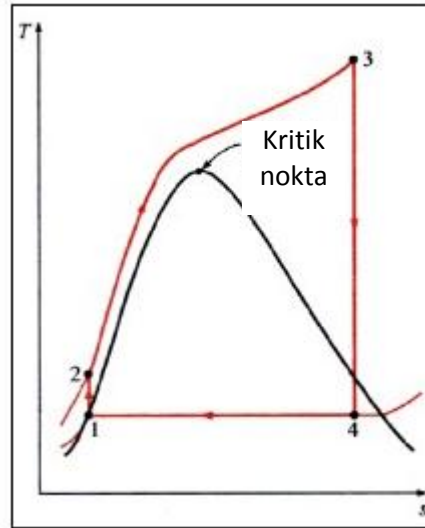
Isı ilave prosesi boyunca ortalama sıcaklık artırılmasının diğer bir yolu da buhar kazanının işletim basıncını artırmaktır (ayrıca kritik ötesi çevrimler olarak da adlandırılır) ki bu kaynamanın gerçekleştiği sıcaklığı otomatik olarak yükseltecektir. Bu ise, karşılık olarak ısının buhara ilave edildiği ortalama sıcaklığı yükseltir ve bu nedenle çevrimin termal verimliliğini yükseltir.

Buhar kazanı basıncını artırmanın buhar güç çevrimleri performansı üzerindeki etkisi Şekil 10.6'daki T-s diyagramında gösterilmiştir. Sabit türbin giriş sıcaklığına yönelik olarak çevrim sola döner ve türbin çıkışındaki buharın nem içeriği artar. Bu istenmeyen yan etki ancak Bölüm 10.1.2.3'de ele alınan buharın yeniden ısıtılması ile düzeltilebilir.



Şekil 10.6: İdeal Rankin çevrimindeki buhar kazanı basıncının yükselmesi etkisi

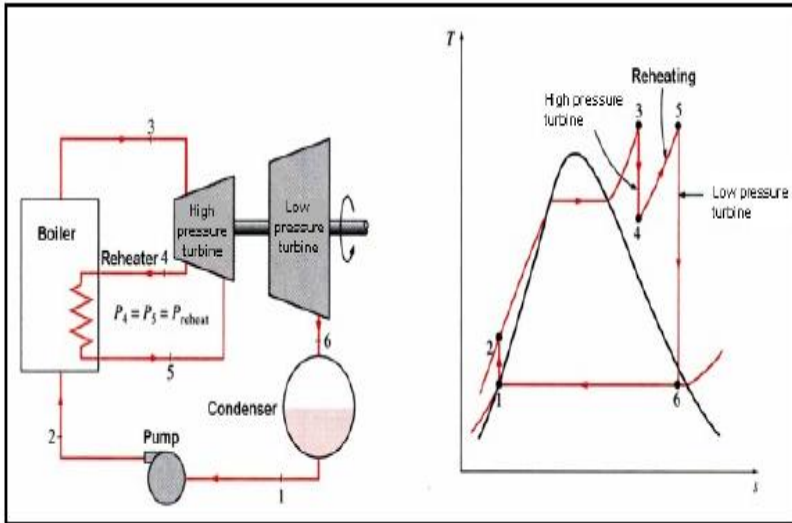
Buhar kazanı işletim basınçları 1992'deki 2.7 Mppa'dan günümüzde 30 Mpa üzerine kadar aşamalı olarak artmıştır. Günümüzde birçok modern buhar güç santralleri kritik ötesi basınçlarda çalışmaktadır ( $P > 22.09$  Mppa) (bakınız Şekil 10.7).



Şekil 10.7: Kritik ötesi Rankine çevrimi

### 10.1.2.3 Yeniden ısıtma

İdeal yeniden ısıtma Rankine çevrimi (Şekil 10.8), genişleme süresinin iki aşamada gerçekleşmesi yönünden Rankine çevriminden ayrılır. İlk aşamada (yüksek basınç türbini) buhar izentropik olarak orta basınçta genişletilir ve sabit basınçta, genellikle ilk türbin aşamasının giriş sıcaklığında yeniden ısıtıldığı buhar kazanına tekrar yollanır. Buhar daha sonra izentropik olarak kondensatör basıncına ikinci aşamada (düşük basınç türbini) genişletilir.



Şekil 10.8: İdeal yeniden ısıtma Rankine çevrimi

Boiler	Buhar kazanı
Reheater 4	Yeniden ısıtıcı
High pressure turbine	Yüksek basınç türbini
Low pressure turbine	Düşük basınç türbini
Pump	Pompa
Condenser	Kondansatör
Reheating	Yeniden ısıtma
Low pressure turbine	Düşük basınç türbini

Modern bir güç tesisinde tek yeniden ısıtma ilavesi ısının buhara eklendiği ortalama sıcaklıkların artırılması ile çevrim verimliliğini yüzde 4 ile 5 arasında artırır.

Yeniden ısıtma prosesi sırasında ortalama sıcaklık genişletme ve yeniden ısıtma aşama sayılarının artırılması ile artırılabilir. Aşama sayısı arttıkça genişleme ve yeniden ısıtma süreçleri maksimum sıcaklıkta izotermal sürece yaklaşır. Ancak ikiden fazla yeniden ısıtma aşamasının kullanımı kullanışlı değildir.

#### 10.1.2.4 Rejenerasyon

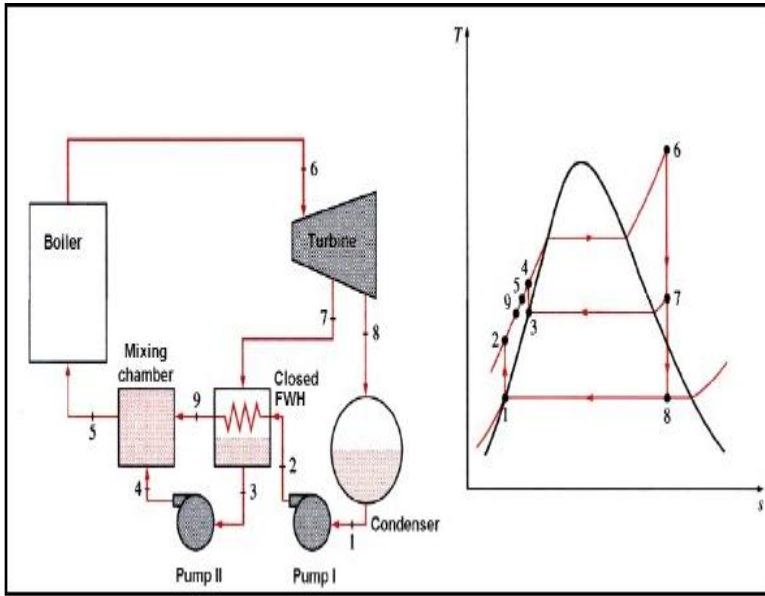
Buhar güç tesislerindeki pratik rejenerasyon prosesi buharın çeşitli noktalarda türbinden çıkarılması veya 'harmanlanması' ile gerçekleştirilir. Türbin içerisinde genişmeden daha fazla iş üretebilecek bu buhar besleme suyunu ısıtmak amacıyla kullanılır. Besleme suyunun rejenerasyon ile ısıtıldığı alete 'rejeneratör' veya 'besleme suyu ısıtıcısı' adı verilir.

Rejenerasyon çevrim verimliliğini geliştirmekle kalmayıp aynı zaman da buhar kazanındaki korozyonları önlemek amacıyla besleme suyunun (kondansatöre sızan havayı ihraç eder) havasını almak üzere uygun bir araç da teşkil eder. Ayrıca türbinin uç aşamalarında geniş ölçekli buhar akışının kontrol edilmesine de yardımcı olur (düşük basınçlarda büyük spesifik hacimler nedeniyle). Bu nedenle rejenerasyon 1920'li yılların başlarında ortaya çıktığından bu yana tüm modern buhar enerji tesislerinde kullanılmaktadır.

Besleme suyu temelde ya iki sıvı akışkan akıntısının (açık besleme suyu ısıtıcıları) karıştırılması ya da karıştırılmaması (kapalı besleme suyu ısıtıcıları) yoluyla ısının buhara aktarıldığı ısı eşanjörleridir.

Kapalı besleme suyu ısıtıcılı buhar enerji tesisi şeması ile çevrimin T-s diyagramı Şekil 10.9'da gösterilmiştir. İdeal bir kapalı besleme suyu ısıtıcısında besleme suyu çıkarılan buharın çıkış sıcaklığına ısıtılır ki bu ısı ideal olarak çıkarım basıncında doymuş sıvı olarak ısıtıcıdan ayrılır. Esas elektrik santrallerinde besleme suyu çıkarılan buharın çıkış sıcaklığının altında olarak ısıtıcıyı terk eder, çünkü etkili ısı aktarımının gerçekleşmesi için birkaç derecelik sıcaklık farkı gereklidir.

Yoğunlaştırılmış buhar daha sonra besleme suyu hattına aktarılır veya 'tuzak' denilen bir alet vasıtasıyla bir diğer ısıtıcı veya kondansatöre yönlendirilir. Tuzak sıvının daha düşük basınç bölgesine çekilmesine izin verir ancak buarı hapseder. Sistem entalpisi bu çekilme sırasında sabit kalır.



Boiler	Buhar kazanı
Turbine	Türbin
Mixing chamber	Karıştırma odası
Closed FWH	Kapalı FWH
Pump II	Pompa II
condenser	kondansatör

Şekil 10.9: Kapalı basleme suyu yeniden ısıtıcısı ile İdeal rejeneratif Rankine çevrimi

### 10.1.3 Gaz türbinlerine yönelik standart çevrim olarak Joule veya Brayton çevrimi

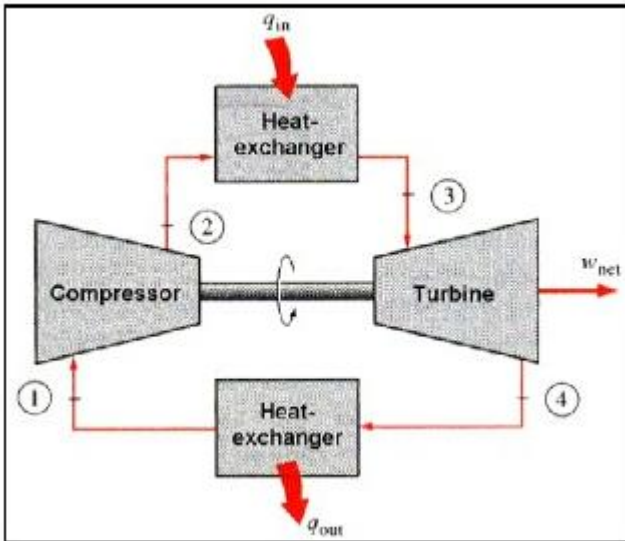
#### 10.1.3.1 İdeal Brayton çevrimi

George Brayton ilk olarak Brayton çevrimi fikrini yaklaşık olarak 1870 yılında kendisi tarafından geliştirilen yağ yakan vargel motorunda kullanılmak üzere ortaya atmıştır. Günümüzde, bu fikir dönel makinelerde sıkıştırma ve genişletmenin gerçekleştiği durumlarda sadece gaz türbinlerine yönelik olarak kullanılmaktadır. Gaz türbinleri genellikle açık çevrimde çalışır. Ortam koşullarında taze hava sıcaklık ve basıncın artmış olduğu kompresöre çekilir. Yüksek basınçlı hava yakıtın sabit basınçta yakıldığı yakma odasına ilerler. Ortaya çıkan yüksek sıcaklık gazları daha sonra atmosferik basınca genişlediği ve bu suretle güç üreten türbine girer. Türbini terk eden egzoz gazları atılır (sirkülasyona girmez) ve bu da çevrimin açık olarak sınıflandırılmasına neden olur.

Yukarıda açıklanan açık gaz türbin çevrimi performansına yönelik çıkarımların havayı çalışma sıvısı olarak kullandığı hava standart varsayımlarının kullanılması ile Şekil 10.10'da gösterildiği gibi kapalı çevrim olarak modellenebilir. Burada sıkıştırma ve genişletme süreçleri aynı kalır ancak yakma prosesi harici bir kaynaktan sabit basınç ısı ilave prosesi ile değiştirilir ve egzoz gazı ortam havasına sabit basınç ısı ilave atımı ile değiştirilir. Çalışma sıvısının bu kapalı döngüde geçtiği ideal çevrim dört dahili reverzibl süreçten oluşan Joule veya Brayton çevrimidir:

aşama 1 – aşama 2 (1–2)  
 aşama 2 – aşama 3 (2–3)  
 aşama 3 – aşama 4 (3–4)  
 aşama 4 – aşama 1 (4–1)

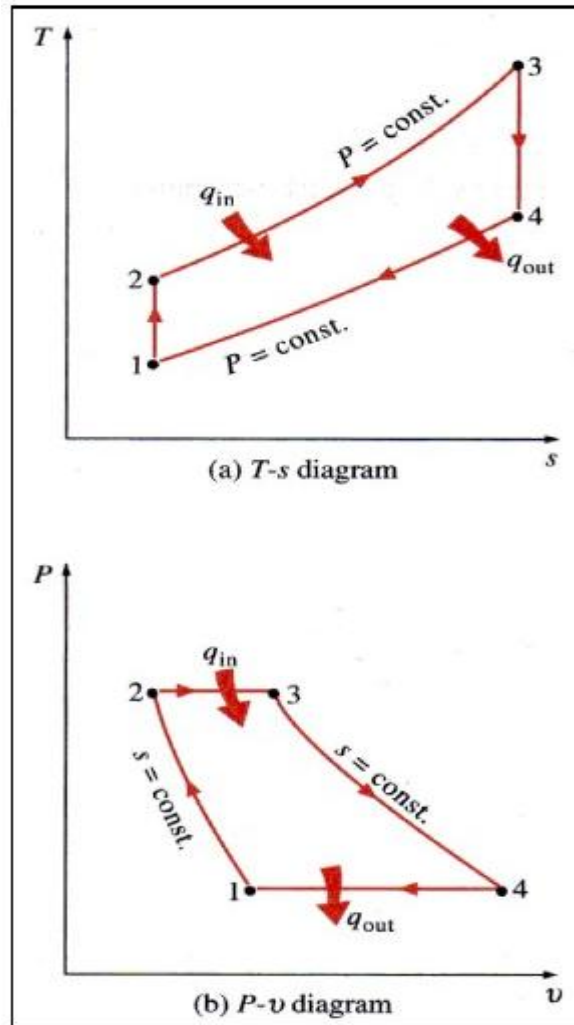
Pompada izentropik kompresyon  
 Sabit basınçta buhar kazanına ısı ilavesi  
 Türbinde izentropik genişleme  
 Sabit basınçta kondansatörde ısı iadesi



Heat-exchanger	Isı eşanjörü
Compressor	Kompresör
Turbine	Türbin
Heat-exchanger	Isı eşanjörü

Şekil 10.10: Kapalı çevrim gaz türbin motoru

İdeal Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları Şekil 10.11’de gösterilmiştir. Tüm dört Brayton çevrimi prosesinin sabit akış aygıtlarında yürütüldüğüne ve bu nedenle sabit akış süreçleri olarak analiz edilmeleri gerektiğine dikkat ediniz.



Şekil 10.11: İdeal Brayton çevrimine yönelik T-s ve P-v diyagramları

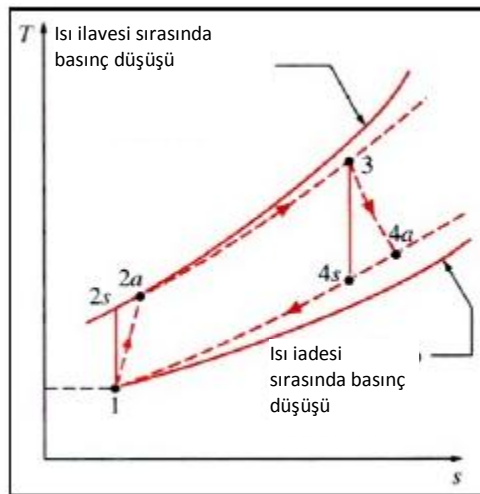
Bir gaz türbinin termal verimliliği türbin girişindeki kabul edilebilir maksimum gaz sıcaklığına bağlıdır. Türbin giriş sıcaklığının 900 °C'den 1200 °C'ye çıkarılması güç çıkışını % 71 termal verimliliği ise % 26 oranında artırır. Son yirmi yıllık süre zarfında türbin pervanelerinin seramik katmanlar ile kaplanması ve pervanelerin kompresörden gelen tahliye havası ile soğutulması gibi önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Sonuç olarak günümüzün gaz türbinleri türbin girişinde 1425 °C kadar yüksek sıcaklıklara dayanabilmekte ve gaz türbini elektrik santrallerinde % 30'u aşkın verimliliklere sahiptir.

Nispeten düşük maliyetleri ve durumlara ivedi cevap verm kapasiteleri nedeniyle acil durum ve tepe yükü periyotlarının üstesinden gelmek amacıyla gaz türbin elektrik santralleri çoğunlukla elektrik üretim endüstrisinde kullanılmaktadır. Gaz türbinleri ayrıca buhar enerji santrallerinde de kullanılır. Gaz türbinini egzoz gazları buhara yönelik ısı kaynağını oluşturur (bakınız Kombine Çevrimler).

### 10.1.3.2 İdeal olmayan Brayton çevrimi

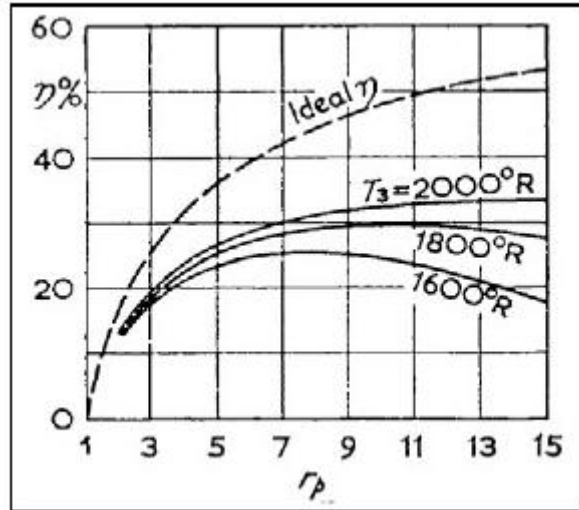
Gerçek gaz türbin çevrimi çeşitli nedenlerle ideal Brayton çevriminden ayrılır. Bir kere, ısı ilave ve iade süreçleri sırasında bazı basınç düşmeleri kaçınılmazdır. Daha da önemlisi kompresöre gerçek işi girdisi daha fazla olacak ve türbinin gerçek iş çıktısı sürtünme ve bu aletlerin dengesiz işletim koşulları gibi irreverzibiliteleler nedeniyle az olacaktır.

Kompresör ve türbin verimlilikleri, Şekil 10.12'de gösterildiği üzere ortaya atılır atılmaz, yüksek iş oranının önemi açıklık kazanmıştır. Düşük  $T_3$  değeri ile, türbin işi ve kompresör işi arasındaki fark çok azdır ve türbin işinde çok az bir düşüş ile kompresör işinde artış iş çıktısını ve çevrim verimliliğini sıfıra düşürmek için yeterlidir.



Şekil 10.12: İrreverzibilitelelerin bir sonucu olarak fiili gaz türbini çevriminin ideal Brayton çevriminden sapması

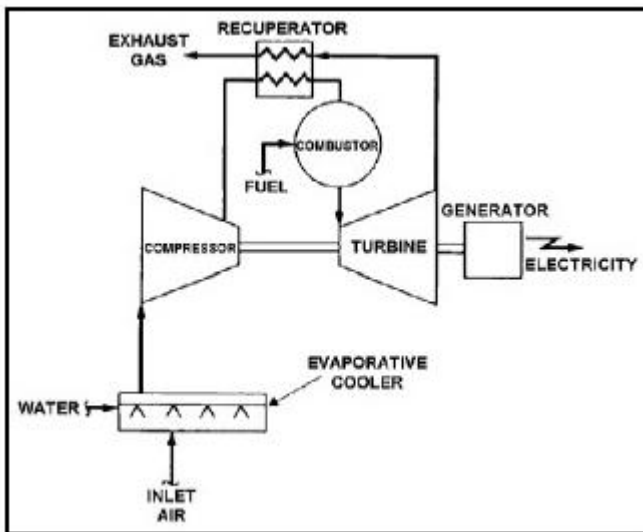
İrreverzibil çevrimin verimliliği sadece basınç oranı fonksiyonu olarak değil ( $r_p$ ), ayrıca  $T_3$ 'ün de basınç oranı fonksiyonu olarak görülebilir (Şekil 10.13). Maksimum çevrim verimliliği için bir optimum basınç oranı bulunur ve bununla birlikte maksimum spesifik iş çıktısı için de optimum basınç oranı bulunur (ancak bu optimum basınç oranları aynı değildir). Kompresör ve türbindeki irreverzibiliteleler nedeniyle verimlilikte meydana gelen belirgin azalmayı vurgulamak için ideal verimlilik eğrisi de Şekil 10.13'de gösterilmiştir. Aşağıdaki bölümler hem ideal verimlilik hem de iş oranını geliştirmek için uyarlanabilecek basit çevrime yönelik daha çok önemli modifikasyonları ele almaktadır.



Şekil 10.13: Basınç oranı ( $r_p$ ) ve sıcaklık ( $T_3$ ) fonksiyonu olarak Brayton çevriminin termal verimliliği

### 10.1.3.3 Rejenerasyon

Rekuperatif (veya rejeneratif) çevrimde, ters akışlı ısı eşanjörü egzoz ısısını yakıcıya girmeden önce sıkıştırılmış havaya aktarır. Bu durum Şekil 10.14'de şematik olarak gösterilmiştir. Havayı yakma sıcaklığına ısıtmak için gerekli yakıt miktarı % 25'e kadar düşürülmüştür.



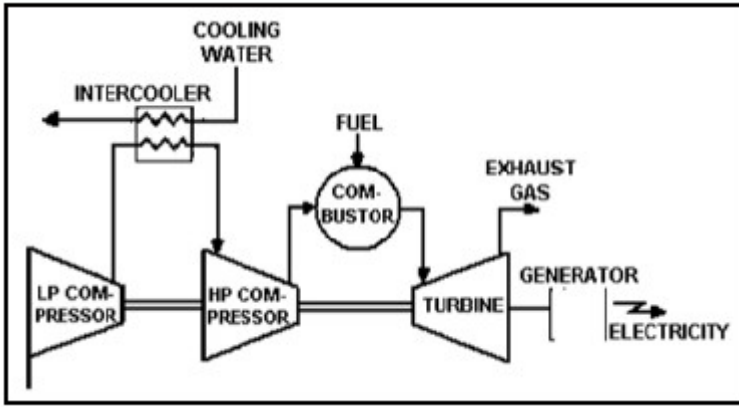
EXHAUST GAS	EGZÖZ GAZI
RECUPERATOR	REKÜPERATÖR
COMBUSTOR	YAKICI
FUEL	YAKIT
COMPRESSOR	KOMPRESÖR
TURBINE	TÜRBİN
GENERATOR	JENERATÖR
ELECTRICITY	ELEKTRİK
WATER	SU
EVAPORATIVE COOLER	EVPORATİF SOĞUTUCU
INLET AIR	GİRİŞ HAVASI

Şekil 10.14: Evaporatif soğutma ve rekuperatif çevrimler

### 10.1.3.4 Kompresör ara soğutması

Ara soğutulmuş çevrimde, ısı eşanjörü Şekil 10.15'de gösterildiği gibi kompresörün yüksek ve alçak basınç kesimleri arasındaki hava yoluna yerleştirilir. Soğuk hava kompresyonu sıcak hava kompresyonundan daha az iş gerektirir. Bu ısı eşanjörü havayı soğutmak ve hem iş çıktısı hem de verimliliği artırarak kompresörün yüksek basınç kesiminde gerekli iş miktarını azaltmak için tasarlanmıştır. Ara soğutucu direkt temassız (evaporatif) veya genişletilmiş yüzey tipi ısı eşanjörü olabilir.





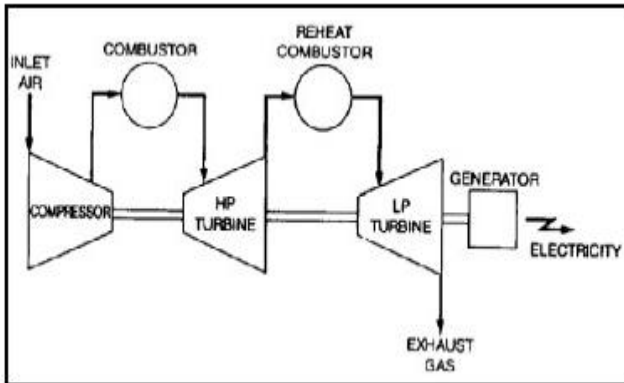
Şekil 10.15: Ara soğutmalı çevrim

COOLING WATER	SOĞUTUCU SU
INTERCOOLER	ARA SOĞUTUCU
LP COMPRESSOR	LP KOMPRESÖRÜ
FUEL	YAKIT
COM BUSTOR	YAKICI
HP COMPRESSOR	HP KOMPRESÖRÜ
TURBINE	TÜRBİN
EXHAUST GAS	EGZOS GAZI
GENERATOR	JENERATÖR
ELECTIRICITY	ELEKTRİK

### 10.1.3.5 Türbin yeniden ısıtma

Gaz türbini yeniden ısıtma çevrimi buhar türbini yeniden ısıtma çevrimine paraleldir. Sıcak gazlar kısmen türbin vasıtasıyla genişletilir, ikinci aşama yakıcı ile yeniden ısıtılır ve yeniden türbine döner. Bu çevrim standart gaz türbin çevriminden daha komplikedir. Şekil 10.16'da bu çevrimin şematik temsili gösterilmiştir ve ana özellikler şöyledir:

- Yeniden ısıtma çevrimi daha verimlidir
- Yeniden ısıtma yakıcısını korumak amacıyla, yeniden ısıtma yakıcısına giren sıcak gazların sıcaklığını düşürmek için yüksek basınç türbini gereklidir
- Genelde, spesifik gücü artırmak için yakıt/hava oranını artırmak gerekir. Metalurji ve soğutma teknolojisi türbin giriş sıcaklığını sınırlar. İki aşamalı yakıcı bu sıcaklık limiti aşılmadan daha fazla yakıtın enjekte edilmesine olanak sağlar. Bu ise egzoz sıcaklığını artırır ve yeniden ısıtma yakma türbinini kombine çevrimler için daha uygun hale getirir
- Yeniden ısıtma yakma türbinleri yüksek spesifik gücü aynı çıkış oranına sahip basit çevrim gaz türbinlerinden daha küçük olan egzoz kısımlarında daha az oksijen artışına neden olur.



Şekil 10.16: Yeniden ısıtma çevrimi

INLET AIR	GİRİŞ HAVASI
COMBUSTOR	YAKICI
REHEAT	YENİDEN ISITMA
COMBUSTOR	YAKICI
COMPRESSOR	KOMPRESÖR
HP TURBINE	HP TÜRBİNİ
LP TURBINE	LP TÜRBİNİ
EXHAUST GAS	EGZOS GAZI
GENERATOR	JENERATÖR

### 10.1.4 Kombine çevrimler

Bölüm 10.1.1.5'de açıklandığı üzere, Carnot çevrimi gerçekleştirilebilecek en verimli çevrimdir.

Doğal olarak, gerçek proses verimlilikleri bazı kayıplar nedeniyle daha düşüktür. Proses verimliliği daha düşük sıcaklıkta atık ısı tahliye ederek veya dahili ekserjetik kayıpları en aza indirmek adına prosesi geliştirerek artırılabilir.

Kombine çevrimlere duyulan ilgi özellikle bu hususlardan dolayı kaynağını almaktadır. Doğası gereği hiçbir tek çevrim bu gelişmelerin hiçbirini denk oranda gerçekleştiremez. Bu nedenle biri yüksek proses sıcaklıklı diğeri iyi 'soğuk uçlu' iki çevrimi kombine etmek mantıklıdır.

Basit çevrim gaz türbininde erişilebilir proses sıcaklıkları ısı alışverişi olmaksızın enerjinin doğrudan çevrime verilmesi kadar yüksektir. Ancak egzoz ısı sıcaklığı da ayrıca yüksektir. Buhar çevriminde maksimum proses sıcaklığı gaz türbini prosesinden çok daha düşüktür ancak egzoz ısı düşük sıcaklıkta çevreye iade edilir. Tablo 10.1'de resimlerle açıklandığı üzere, bir gaz türbini ile buhar türbininin kombine edilmesi verimliliği yüksek bir termal proses için en iyi temeli sunar.

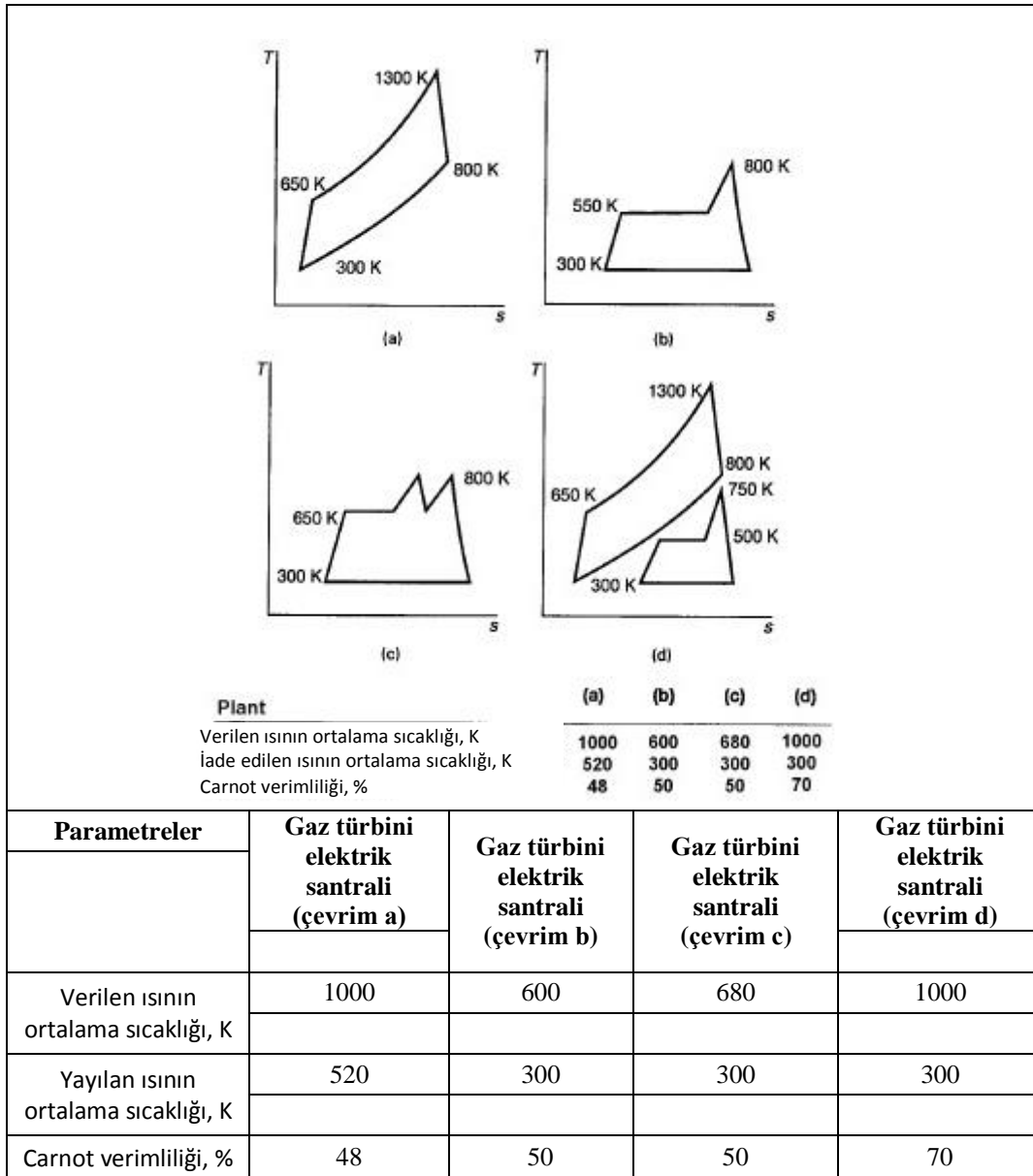


Table 10.1: Gaz türbini, buhar türbini ve kombine çevrim proseslerinin termodinamik karşılaştırması [50, Korobitsyn, 1998]

Tablo 10.1'deki son satır çeşitli proseslerin Carnot verimliliklerini gösterir. Gerçekte durum böyle olmamasına rağmen bu tablo bir termal proses kalitesinin göstergesi olarak kullanılabilir. Gösterilen değerler kombine çevrim elektrik santralinin tek çevrimli proseslere kıyasla ne kadar ilginç olduklarını açıkça ortaya koyar. Sofistike, kritik ötesi konvansiyonel yeniden ısıtma buhar türbini elektrik santrali bile iyi bir kombine çevrim tesisinden daha düşük yaklaşık 20 puanlık bir Carnot verimliliğine sahiptir. Kombine çevrim elektrik santrallerine yönelik olarak gerçek verimlilikler Carnot verimliliğininin % 75'i civarındadır. Kombine çevrim elektrik santrali ile diğer prosesler ile edinilen gerçek verimlilikler arasındaki farklar bu nedenle Tablo 10.1'de gösterildiği üzere oldukça fazladır. Kombine çevrim verimliliğinde nispeten daha büyük düşüşler gaz türbin egzozu ile su/buhar çevrimi arasındaki ısı alışverişine yönelik sıcaklık diferansiyeli nedeniyle dahili enerji kayıplarından kaynaklanır.

Gaz türbin teknolojisindeki son gelişmeler kombine gaz-buhar çevrimini ekonomik olarak çok cazip hale getirmiştir. Kombine çevrim başlangıç maliyetini hatırı sayılır derecede arttırmaksızın verimliliği yükseltir. Sonuç olarak birçok yeni elektrik santrali kombine çevrimle çalışır ve birçok mevcut buhar veya gaz türbini tesisi kombine çevrim elektrik santrallerine dönüştürülmektedir. Dönüşüm sonrası % 40'ın üzerinde termal verimlilikler bildirilmiştir.

### 10.1.5 Kojenerasyon (CHP)

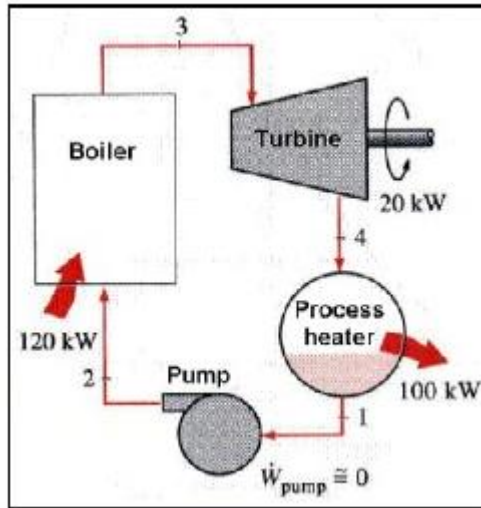
Şu ana dek ele alınan tüm çevrimlerde yegane amaç bir çalışma sıvısına aktarılan miktar ısıyı işe dönüştürmek olmuştur ki bu en değerli enerji biçimidir. Isının geriye kalan kısmı kullanım açısından kalitesi (veya derecesi) çok düşük olduğundan nehir, göl, okyanus veya havaya atık ısı olarak iade edilir.

Ancak birçok sistem veya ekipman genellikle 5 ile 7 atm arasında ve 150 °C ile 200 °C arasında değişen buhar ile tedarik edilen 'proses ısı' adı verilen ısı formunda enerji girdisine gereksinim duyar. Enerji genellikle kömür, petrol, doğal gaz veya başka yakıtların fırında yakılması yoluyla buhara aktarılır.

Fırınlardaki sıcaklık tipik olarak çok yüksektir (1370 °C civarında), ve bu nedenle fırındaki enerji çok yüksek kaliteye sahiptir. Bu yüksek kalitedeki enerji 200 °C veya daha düşük sıcaklıkta buhar oluşturmak üzere suya aktarılır (yüksek irreverzibl proses). Bu irreverzibilite ile ilgili olarak elbette iş potansiyelinde bir kayıp da mevcuttur ve bu nedenle kıt kaynak olan ekserji kaybı idareli kullanılmalıdır. Bu nedenle düşük kaliteli enerji ile gerçekleştirilebilecek bir işi gerçekleştirmek için yüksek kaliteli enerji kullanmak akıllıca değildir.

Bir yandan belirli endüstriyel proseslerin proses ısı gereksinimlerini karşılarken elektrik üreten bir tesise 'kojenerasyon tesisi' adı verilir. Genel anlamda kojenerasyon aynı enerji kaynağından birden fazla biçimde faydalı enerji (proses ısı ve elektrik enerjisi gibi) üretimidir.

Ya bir buhar türbini (Rankine) çevrimi ya da bir gaz türbini (Brayton) çevrimi veya hatta bir kombine çevrim bile kojenerasyon tesisinde enerji çevrimi olarak kullanılabilir. İdeal sistem türbini kojenerasyon tesisinin şeması Şekil 10.17'de gösterilmiştir.

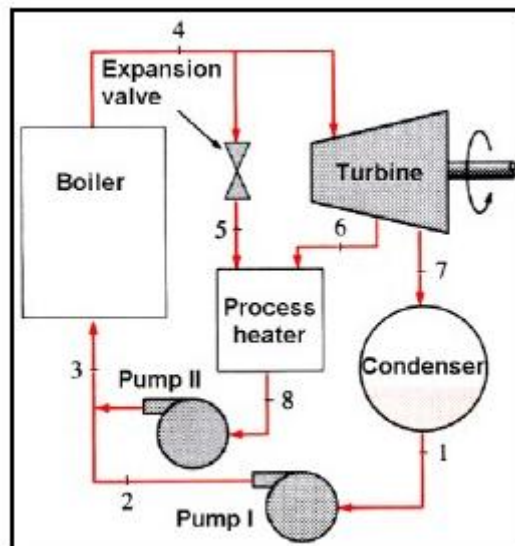


Şekil 10.17: İdeal kojenerasyon tesisi

Kondensatör yokluğunda bu tesisten atık ısı olarak hiç ısı iade edilmez. Başka bir deyişle, buhar kazanında buhara aktarılan tüm enerji ya proses ısısı ya da elektrik enerjisi olarak değerlendirilir.

İkinci yararı dikkate almak, toplam verimlilik, belki de enerji değerlendirme faktörü (EUF) denilirse daha iyi olur, basit işten daha yeterli bir performans ölçüsüdür.

Yukarıda açıklanan ideal buhar türbini kojenerasyon tesisi elektrik ve proses ısı yüklerindeki varyasyonlara göre ayarlanamadığından kullanışlı değildir. Daha kullanışlı (ama daha kompleks) kojenerasyon tesisi şeması Şekil 10.18'de gösterilmiştir. Normal işletim koşullarında bir miktar buhar önceden belirlenmiş belirli ara basınç halinde '6' P<sub>6</sub> türbinden atılır. Buharın geri kalanı '7' P<sub>7</sub> halde kondansatöre genişler ve daha sonra sabit basınçta soğutulur. Kondansatörden atılan ısı çevrime yönelik atık ısıyı temsil eder.



Şekil 10.18: Ayarlanabilir yükler ile kojenerasyon tesisi

Proses ısısına yönelik yüksek talep zamanlarında tüm buhar proses ısıtma ünitelerine yönlendirilir, kondansatöre hiç buhar yönlendirilmez. Bu modda atık ısı sıfırdır. Şayet bu yeterli değil ise buhar kazanından ayrılan bir miktar buhar genişleme veya basınç indirim valfi (PRV) ile ekstraksiyon basıncına çekilir P<sub>6</sub> ve proses ısı ünitesine yönlendirilir. Buhar kazanından ayrılan tüm buhar PRV'den geçtiğinde maksimum proses ısıtma gerçekleşir. Bu modda hiç elektrik üretilmez. Proses ısısına talep olmadığında tüm buhar türbin ve kondansatörden geçer ve kojenerasyon tesisi sıradan bir buhar enerji santrali gibi çalışır.

Optimum koşullarda, kojenerasyon tesisi daha önceden ele alınan ideal kojenerasyon tesisini taklit eder. Yani, tüm buhar türbinde ekstraksiyon basıncına genişir ve proses ısıtma ünitesine doğru devam eder. Proses ısı ve enerji yüklerindeki sabit varyasyonlar nedeniyle bu durumun pratikte uygulanması güç olabilir. Ancak tesisi, zamanın büyük bölümünde optimum işletim koşullarına yaklaşacak şekilde tasarlanmalıdır.

## 10.2 Ek 2. Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik teknik opsiyonlar

Mevcut teknoloji ele alındığında, proses ve tekniklerin termal verimliliklerin artırılması – enerji üretimi üretilen her enerji birimi için yayılan baca gazı miktarının azaltılmasında en önemli ölçüdür. Verimlilik artışları çeşitli faktörler ile sınırlanır; şöyle ki artan verimlilikte dahi önemli CO<sub>2</sub> miktarları yayılacaktır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını daha da azaltmak için farklı teknik opsiyonlar halihazırda gelişim aşamasında veya, araştırma safhasında olup gelecekte elverişli hale gelebilir. Bu teknik opsiyonlar IEA (Uluslar arası Enerji Ajansı) tarafından iyice açıklanmış olup bu ek belgesinde kısaca özetlenecektir.

### 10.2.1 Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik absorpsiyon teknikleri

CO<sub>2</sub> absorpsiyonu CO<sub>2</sub> ticari üretimine yönelik kimya sektöründe kullanılan bir tekniktir. Halihazırda üretilen CO<sub>2</sub> miktarları global enerji üretim sektöründe baca gazlarından ihraç edilebilecek toplam CO<sub>2</sub> miktarına kıyasla küçüktür. Bu nedenle bu gibi absorpsiyon tekniklerinin çok daha büyük ölçekte ortaya konulması gerekir. Tipik olarak üç temel absorpsiyon sistemi tipi mevcuttur: kimyasal, fiziksel ve hibrid sistemler.

Kimyasal absorpsiyon sistemlerinde, orijinal çözücüyü rejenere ederek ve CO<sub>2</sub> akışı üreterek, ısı uygulaması ile parçalanmış zayıf bağlı ara bileşik oluşturmak üzere CO<sub>2</sub> kimyasal çözücüler ile tepkimeye girer. Tipik çözücüler MEA, dietanolamin (DEA), amonyak ve sıcak potasyum karbonat gibi amin- veya karbonat-bazlıdır. Bu prosesler düşük CO<sub>2</sub> kısmi basınçlarında kullanılabilir ancak baca gazı, absorberdeki işletim problemleri nedeniyle SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> hidrokarbon ve partikül içermemelidir.

CO<sub>2</sub> ayrıca çözücü içerisinde fiziksel olarak emilip daha sonra ısı ve/veya basınç azaltımı kullanılarak rejenere edilebilir. Tipik çözücüler yüksek basınçta uygulanan polietilen glikol ve soğuk metanol dimetil eteridir. Düşük basınçlarda kimyasal absorpsiyon süreçleri ekonomiktir.

Hibrid çözücüler hem kimyasal hem de fiziksel çözücülerin en iyi özelliklerini birleştirir ve genellikle bir dizi tamamlayıcı çözücülerden oluşurlar.

Tüm absorpsiyon prosesleri CO<sub>2</sub> toplamak ve sonra çözücüyü rejenere edip CO<sub>2</sub>'yi tahliye etmek üzere absorpsiyon kulelerinde baca gazı yıkayarak aslında aynı biçimde çalışırlar.

### 10.2.2 Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik adsorbsiyon teknikleri

Katı absorpsiyon metotları hedef gazı yakalamak için kimyesel tepkime kullanırken katı adsorbsiyon metotları katı üzerindeki gaz ile 'aktif sahalar' arasında fiziksel bir çekim işe koşarlar. Elektrik santrali baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik olarak uygulanabilecek proses endüstrilerinden ticari olarak kullanılan birkaç adsorbsiyon metodu mevcuttur. Bu metotlar alumina ve zeolit moleküler eleklerin (doğal veya imal edilen alüminosilikat) adsorban yataklarını işe koşarlar.

Farklı rejenerasyon metotları vardır. Basınç devre rejenerasyon veya adsorbsiyonu (PSA) kısıtılan gazlar yataktan çekilene kadar doymuş yatağı kapsayan kanaldaki basıncın düşürülmesini içerir. Rejenerasyon çevrimleri nispeten daha kısadır ve tipik olarak saniyelerle ölçülürler. Termal (veya sıcaklık) Devre Adsorbsiyonu kısıtılan gazı geriye itmek için yüksek sıcaklık rejenerasyon gazını işe koşarlar. Rejenerasyon çevrimleri oldukça uzundur (saatlerle ölçülür) ve PSA sistemleri ile gereksinim duyulandan daha fazla nicelikte adsorban ile sonuçlanır.

### 10.2.3 Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik kroyojenik teknikler

Kroyojenik ayırma donmuş CO<sub>2</sub>'nin ayrılabilmesi için gazları çok düşük sıcaklıklarda soğutmayı kapsar. Prosesin potansiyel avantajı CO<sub>2</sub> buzunun direkt tahliyesi (örneğin derin okyanuslarda) ve ayrılmış gazın % 100'e yakın saflığı olasılığını kapsar. Dezavantajlar arasında ise kroyojenik sıcaklığa erişmek için gerekli yüksek enerji girişi sayılabilir. Önemli enerji gereksinimleri, bu alandaki gelişmeler toplam elektrik santrali verimlilik kaybını etkileyeceğinden, kompresyon aşaması sırasında meydana gelir [40, Soria, et al., 1998].

### 10.2.4 Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik membran teknikler

Membran ayırmada, baca gazlarını CO<sub>2</sub> bakımından zengin ve zayıf gaz akışına ayırıştırmak için uygun bir membran kullanılır. Elverişli iki membran işlemi vardır: gaz ayırma ve gaz absorpsiyon. MEA ve membran kombinasyonunun en iyi seçenek olduğu söylenir.

Gaz ayırıştırmaya membranları bir bileşenin diğerlerine göre membran arasında daha hızlı geçmesine neden olan membran materyali ile birlikte gaz karışımında mevcut olan bileşenler arasındaki fiziki ve kimyasal etkileşim farklılığına dayanır.

Gaz absorpsiyon membranları gaz akışı ile sıvı akışı arasında temas sağlayan aygıtlar olarak kullanılırlar. Ayırıştırmaya, membranın bir tarafında absorpsiyon sıvısının bulunması ile sağlanır. Gaz ayırıştırmaya membranlarına zıt olarak, membranın herhangi bir seçiciliğe sahip olması gerekmez.

### 10.2.5 Baca gazlarından CO<sub>2</sub> ihracına yönelik Carnol tekniği

Birleşik Krallık'ta gelişme aşamasında olan Carnol sistemi kömürle çalışan elektrik santrallerinden CO<sub>2</sub> ihracını metanol üretimi ile birleştirir. Bu nedenle CO<sub>2</sub> tahliye gereksimini ortadan kaldırır. Yayılan CO<sub>2</sub> kısmı metanol üretimi için kullanılır ve bir miktar karbon proses sırasında katı formda ayırıştırılır. Böylece ya depolanır ya da satılır. Önerilen sistem ayrıca baca gazlarından CO<sub>2</sub> ekstraksiyonu için duyulan enerji gereksinimini azaltmak için metanol üretiminden gelen atık ısıyı kullanır [40, Soria, et al., 1998]. Bu proses henüz araştırma safhasındadır.

### 10.2.6 Farklı CO<sub>2</sub> ihraç seçeneklerinin karşılaştırılması

Büyük Yakma Tesislerinden CO<sub>2</sub> ihracına yönelik gelecekte mevcut olabilecek farklı teknik seçeneklerin karşılaştırılması IEA Sera Gazı Ar & Ge Programı tarafından yürütülmektedir [41, IEA, 1992]. Aşağıdaki dört enerji üretim planı incelenmiştir:

- 1) Baca gazı kükürt giderme (FGD) ile donatılmış ve % 40 verimlilik ile kritik altı yüksek sıcaklık buhar çevrimi ile çalışan modern pülverize kömür yakan elektrik santrali
- 2) Toplam % 52 elektrik verimliliği arz eden doğal gaz ateşlemeli kombine çevrim elektrik santrali
- 3) % 42 verimlilik arz eden kömür çamurunun oksijen üflemleri gazlaştırıcıya verildiği entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) elektrik santrali
- 4) % 33 verimlilik arz eden yakma sıcaklığını yatırtmak üzere geri kazanılmış CO<sub>2</sub> kullanan oksijende pülverize kömür yakan elektrik santrali. Bu tekniğin uzun vadeli bir teknik olarak kabul edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Yukarıda bahsedilen her bir teknik için temel durum olarak, 500 MW<sub>e</sub> kapasiteli bir elektrik santrali için 35 yıl çalışma süresi var sayılmıştır. Bununla birlikte santrallerin deniz suyu soğutmalı ve Batı Avrupa kıyılarında konumlandırıldığı var sayılmaktadır. Ortam koşulları 15 °C, 1.013 bar, bağıl nem % 60 ve soğutma suyu 15 °C'de mevcuttur. Tasarım yakıtı Drayton madeninden gelen % 0.86 kükürt içerikli uluslar arası alınıp satılan Avustralya taş kömürüdür. Tesis emisyonları AB Direktiflerine göre kontrol edilir. Ayrıca % 90 kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ihracı belirtilmiştir.

Gaz türbini kombine çevrim vaka incelemesine yönelik olarak, tipik bir Brent arazisi doğal gazı olan yakıtla yaklaşık 500 MW'lık bir net enerji çıkışına elde etmek amacıyla iki gaz türbini kullanılır.

Bu incelemenin sonuçları Tablo 10.2 ve Tablo 10.3'de sunulmuştur. Maliyetlere ilişkin bilgiler ilk olarak 1992 yılının üçüncü çeyreğinde nominal olarak belirlenen ABD Doları biriminde verilmiştir. Bu belgenin amacına uygun olarak, maliyet 2000 Ekim döviz kuru kullanılarak Euro'ya çevrilmiştir. Doğruluğun +/- % 30 arasında olduğuna inanılmaktadır, bu nedenle sonuçlar sadece gösterge olarak alınmalıdır. Ayrıca bu rakamların, üzerinde tartışılan çoğu teknik için önemli bir ölçü olacak karbon dioksit tahliyesinin maliyetini hesaba katmadığına dikkat edilmelidir.

Karbon dioksit tahliyesi, gelecekte santrallerin enerji üretiminden kaynaklanan önemli sera gazı emisyonlarını önleyecek komple stratejinin ayrılmaz bir parçasıdır ancak büyük yakma tesisleri için ivedilik gerektiren bir husus değildir ve bu nedenle bu belgede açıklanmamıştır. Ancak büyük ölçekli CO<sub>2</sub> tahliyesine yönelik olası seçenekler:

- Derin okyanuslara tahliye
- Derin akiferlere tahliye
- Geliştirilmiş petrol yenileme (EOR) için kullanma
- Egzoz gazı ve petrol rezervuarlarında tahliye.

Performans parametresi	CO <sub>2</sub> ihraç tekniği	FGD'li pülverize kömür elektrik santrali	Gaz türbini kombine çevrimi	Entegre gazlaştırma kombine çevrimi	Yenilenen CO <sub>2</sub> kullanan oksijende pülverize kömür yakma	Notlar
Verilen bir referans durumuna göre farklı CO <sub>2</sub> ihraç teknikleri uygulayarak net verimliliklerdeki değişiklikler	CO <sub>2</sub> ihraçsız referans verimlilik	% 40	% 52	% 42	% 33	
	Absorpsiyon	% 29	% 42	% 28	% 30	Çözücüler kullanan entegre gazlaştırma kombine çevrim referans olarak % 42 yerine % 36 verimliliğe neden olur
	Adsorbsiyon PSA	% 28	% 33	% 26	% 29	
	Adsorbsiyon TSA	% 29	% 39	% 29	-	
	Kriyojenik teknik	-	-	% 36	% 27	Kriyojenik önlemler sadece yenilenen CO <sub>2</sub> kullanan oksijende pülverize kömür yakma ve IGCC'de ele alınmıştır
	Ayırma membranı	% 31	% 31	% 26	% 31	Verimlilik düşüşü, yüksek kompresyon gereksinimleri nedeniyle çok daha fazladır
	Absorpsiyon membranı + MEA	% 30	% 47	% 32	% 30	
Tutulan CO <sub>2</sub>	Absorpsiyon	% 90	% 85	% 90	% 99	
	Adsorbsiyon PSA, TSA	% 95	% 95	% 95	% 95	
	Kriyojenik teknik			% 85	% 85	
	Ayırma membranı	% 80	% 80	% 80	% 80	
	Absorpsiyon membranı + MEA	% 80	% 80	% 80	% 80	
Üründeki CO <sub>2</sub>	Absorpsiyon	% 99.2	% 99.4	% 99.8	% 96	
	Adsorbsiyon PSA, TSA	% 75	% 50	% 60	% 97	
	Kriyojenik teknik			% 97	% 99	
	Ayırma membranı	% 55	% 16	% 30	% 97	
	Absorpsiyon membranı + MEA	% 55	% 16	% 30	% 97	
<b>Not:</b> İleride ele değeriendirilebilecek olası ihraç opsiyonlarını gösterecek IEA çalışmasını temel alır						

Tablo 10.2: CO<sub>2</sub> ihraç ile veya olmaksızın farklı yakma tekniklerinin karşılaştırılması  
[41, IEA, 1992]



Performans parametresi	CO <sub>2</sub> ihracat tekniği	FGD'li pülverize kömür elektrik santrali	Gaz türbini kombine evrimi	Entegre gazlaştırma kombine evrimi	Yenilenen CO <sub>2</sub> kullanan oksijende pülverize kömür yakma	Notlar
<b>nlenen her bir ton CO<sub>2</sub> maliyeti (EUR/ton)</b>	Absorpsiyon	40	63	99	18	
	Adsorbsiyon PSA	96	623	235	24	
	Adsorbsiyon TSA	302	459	413	-	
	Kriyojenik teknik			26	29	Kriyojenik nlemler sadece yenilenen CO <sub>2</sub> kullanan oksijende pülverize kömür yakma ve IGCC'de ele alınmıştır
	Ayırma membranı	53	384	143	10	
	Absorpsiyon membranı + MEA	51	35	48	18	
<b>Spesifik yatırım maliyeti (EUR/kW)</b>	CO <sub>2</sub> ihracı olmaksızın referans durum	1213	805	1790	2344	
	Absorpsiyon	2112	1567	3731	3557	
	Adsorbsiyon PSA	1569	1376	2465	2510	
	Adsorbsiyon TSA	2363	1779	3475	-	
	Kriyojenik teknik	-	-	2763	4125	
	Ayırma membranı	2411	3573	5567	2537	
Absorpsiyon membranı + MEA	1885	-	3137	-		

**Not:** İleride ele değerlendirilebilecek olası ihracat opsiyonlarını gösterecek IEA çalışmasını temel alır

Tablo 10.3: CO<sub>2</sub> ihracat ile veya olmaksızın farklı yakma tekniklerinin karşılaştırılması  
[41, IEA, 1992]