

OAM REFERANS RAPORU

Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayilerinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı

Endüstriyel Emisyonlar Direktifi 2010/75/AB
(Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü)

Frauke Schorcht, Ioanna Kourti,
Bianca Maria Scalet, Serge Roudier,
Luis Delgado Sancho

2013



Rapor EUR 26129 EN

Avrupa Komisyonu
Ortak Araştırma Merkezi
Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü

İletişim bilgileri
Avrupa Entegre Kirliliği Önleme ve Koruma (EKÖK) Bürosu
Adres: Joint Research Centre, Edificio Expo c/ Inca Garcilaso, 3 E-41092 Seville, İspanya
E-posta: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Tel.: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/>

Bu yayın, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (OAM) tarafından hazırlanan bir Referans Raporudur.

Yasal Uyarı
Komisyon Dokümanlarının Yeniden Kullanılmasına ilişkin 12 Aralık 2011 tarihli Komisyon Kararı (2011/833/EU) uyarınca, mevcut MET-Ref dokümanı, dokümanda mevcut olabilecek üçüncü taraf haklarının kapsamına giren kısımlar (hakların daha sonra kullanılmak üzere ilgili hak sahiplerinden ayrı olarak alınması gereken resimler, tablolar, veriler, yazılı materyaller vb.) dışında, ücretsiz olarak yeniden kullanıma tabidir. Avrupa Komisyonu, bu yayının yeniden kullanımından kaynaklanan herhangi bir sonuçtan sorumlu değildir. Herhangi bir yeniden kullanımda, kaynağın belirtilmesi ve orijinal anlam veya mesajın bozulmaması gerekir.

Europe Direct, Avrupa Birliği hakkındaki sorularınıza yanıt bulmanıza yardımcı olacak bir hizmettir.
Ücretsiz Telefon numarası (*): 00 800 6 7 8 9 10 11
(*) Bazı cep telefonu operatörleri 00 800 numaralarına erişime izin vermeyebilir veya bu aramalar ücretlendirilebilir.

Avrupa Birliği hakkında geniş ek bilgi internette mevcuttur. Bu bilgiye Avrupa sunucusu
<http://europa.eu> üzerinden erişilebilir.

JRC 83006

EUR 26129 EN

ISBN 978-92-79-32944-9 (pdf)

ISSN 1831-9424

(çevrim içi)

doi:10.2788/12850

Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayın Ofisi, 2013

© European Union, 2013

Kaynağın belirtilmesi koşuluyla çoğaltmaya izin verilir.

İspanya'da basılmıştır

Çimento, Kireç ve Magnezyum
Oksit İmalat Sanayilerinde
Mevcut En İyi Teknikler
Referans Dokümanı

2010/75/AB sayılı Endüstriyel Emisyonlar
Direktifi Entegre Kirlilik Önleme ve
Kontrolü

Yazarlar:

Frauke Schorcht,
Ioanna Kourti,
Bianca Maria Scalet,
Serge Roudier,
Luis Delgado Sancho

2013

Teşekkür

Bu rapor, Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi'nde (Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü (PTAE)) Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Bürosu (EKÖKB) tarafından Serge Roudier (EKÖKB Başkanı) ve Luis Delgado Sancho'nun (Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Birim Başkanı) denetimi altında hazırlanmıştır.

EED hükümlerine uyarlanan CLM MET-Ref'in EIPPCB yazarları, Sayın Ioanna Kourti ve Sayın Bianca Maria Scalet'tir. 2010 yılında kabul edilen CLM MET-Ref'in EIPPCB yazarı Sayın Frauke Schorcht'tur.

Bu proje raporu, Endüstriyel Emisyonlar Direktifinin (2010/75/AB sayılı) uygulanması çerçevesinde hazırlanmış olup Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit Üretimi Direktifinin 13. Maddesi kapsamında gerçekleştirilen bilgi alışverişinin bir sonucudur.

Bilgi alışverişinde önemli katkı sağlayan taraflar:

- AB Üye Devletleri: Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Fransa, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Hollanda, Portekiz, İspanya, İsveç ve Birleşik Krallık
- CEMBUREAU, Avrupalı çimento üreticilerinin büyük kısmını temsil eden endüstri birliği
- EuLA, Avrupalı kireç üreticilerinin büyük kısmını temsil eden endüstri birliği
- EUROMINES, Avrupalı MgO üreticilerini temsil eden endüstri birliği
- AB'nin tehlikeli atık yakma sektörünün çoğunluğunu temsil eden endüstri birliği EURITS

Ayrıca, Norveç'teki bir teçhizat tedarikçisi çimento sektörüne ilişkin bilgi sağladı. EIPPCB ekibinin tamamı projeye katkıda bulunmuş ve akran değerlendirmesi desteği sağlamıştır.

Bu doküman, aşağıda listelenen öngörülen dokümanlardan biridir (dokümanın hazırlanması sırasında tüm dokümanlar hazırlanmamıştır):

Mevcut En İyi Tekniklere İlişkin Referans Dokümanı	Kod
Seramik İmalat Sanayi	CER
Kimya Sektöründe Genel Atık Su ve Atık Gaz Arıtım/Yönetim Sistemleri	CWW
Depolama Emisyonları	EFS
Enerji Verimliliği	ENE
Demir İçeren Metaller İşleme Sanayi	FMP
Gıda, İçecek ve Süt Endüstrisi	FDM
Endüstriyel Soğutma Sistemleri	ICS
Yoğun Kümes Hayvancılığı ve Domuz Yetiştiriciliği	IRPP
Demir ve Çelik Üretimi	IS
Büyük Yakma Tesisleri	LCP
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Amonyak, Asit ve Gübre Sanayileri	LVIC-AAF
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar - Katılar ve Diğerleri	LVIC-S
Büyük Hacimli Organik Kimyasal Sanayi	LVOC
Madencilik Faaliyetlerinde Artık ve Atık Kayaç Yönetimi	MTWR
Cam İmalatı	GLS
Organik İnce Kimyasalların İmalatı	OFC
Demirdışı Metal Sanayileri	NFM
<i>Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayileri</i>	<i>CLM</i>
Klor– Alkali İmalat Sanayi	CAK
Polimer Üretimi	POL
Kağıt Hamuru ve Kağıt Sanayi	PP
Özel İnorganik Kimyasalların Üretimi	SIC
Madeni Yağ ve Gaz Rafinasyonu	REF
Mezbaha ve Hayvan Yan Ürünleri Sanayi	SA
Demir ve Döküm Sanayi	SF
Metal ve Plastiklerin Yüzey İşlemleri	STM
Organik Solventlerin Kullanımı ile Yapılan Yüzey İşlemleri	STS
Post ve Deri Tabaklama	TAN
Tekstil Sanayi	TXT
Atık Yakma	WI
Atık Arıtma Sanayileri	WT
Ahşap ve Ahşap Ürünlerin Kimyasallarla Korunması	WPC
Ahşap Bazlı Panel Üretimi	WBP
Referans Doküman	
Ekonomi ve Çapraz Medya Etkileri	ECM
İzleme Genel İlkeleri	MON

Taslak ve nihai dokümanların elektronik versiyonları genel kullanıma açık olup <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu> adresinden indirilebilir.

ÖNSÖZ

1. Dokümanın kapsamı

Aksi belirtilmedikçe, bu dokümanda ‘Direktife’ yapılan atıflarla, Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin endüstriyel emisyonlar (entegre kirlilik önleme ve kontrolü) hakkındaki 2010/75/AB sayılı Direktifi (Tadil Edilmiş) kastedilmektedir.

Çimento ve Kireç Üretimi ile ilgili orijinal mevcut en iyi teknikler (MET) referans belgesi (MET-Ref), 2001 yılında Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilmiştir. Bu belge, Magnezyum Oksit üretiminin dahil edildiği MET-Ref incelemesinin sonucudur. İnceleme Mart 2005’te başlamıştır.

Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit Üretimi için MET Referans Belgesi, Direktifin 13(1) Maddesinde öngörüldüğü üzere MET referans belgelerinin hazırlanması, gözden geçirilmesi ve gerektiği durumda güncellenmesi amacıyla AB Üye Devletleri, ilgili endüstriler, çevrenin korunması için çalışan sivil toplum kuruluşları ve Komisyon arasında yapılan bilgi alışverişinin sonuçlarını ortaya koyan bir belgeler dizisinin parçasını oluşturmaktadır. Bu doküman, ilgili Direktifin 13(6) Maddesi uyarınca Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanmıştır.

İlgili Direktifin 13(5) Maddesinde belirtildiği üzere, 4. Bölümde yer alan MET sonuçlarına ilişkin 2013/163 sayılı Komisyon Uygulama Kararı (AB), 26 Mart 2013 tarihinde kabul edilmiş olup 9 Nisan 2013 tarihinde yayınlanmıştır.¹

2. Bilgi alışverişine katılanlar

Direktifin 13(3) Maddesinde öngörüldüğü üzere; Komisyon, bilgi alışverişini teşvik etmek amacıyla Üye Devletlerin, ilgili sektörlerin ve çevrenin korunmasını teşvik eden sivil toplum kuruluşlarının temsilcilerinden oluşan bir forum oluşturmuştur (16 Mayıs 2011 tarihli, endüstriyel emisyonlara ilişkin 2010/75/AB sayılı Direktifin 13. Maddesi (2011/C146/03) uyarınca bilgi alışverişine yönelik bir forum oluşturulması hakkında Komisyon Kararı, RG C 146, 17.05.2011, s. 3).

Forum üyeleri, CLM MET-Ref’in MET bölümlerinin EED kapsamında kullanılmak üzere MET sonuçlarına dönüştürülmesinde ana bilgi kaynağı olan teknik çalışma grubuna (TÇG) teknik uzmanlar atamıştır. TÇG’nin çalışmaları, Avrupa EKÖK Bürosu (Komisyon’un Ortak Araştırma Merkezi) tarafından yönetilmiştir.

3. Dokümanın yapısı ve içeriği

Bu doküman üç ana bölümden oluşmaktadır: Bölüm 1 – Çimento Endüstrisi, Bölüm 2 – Kireç Endüstrisi ve Bölüm 3 – Magnezyum Oksit Endüstrisi (Çıkarılmış doğal manyezite dayalı kuru işleme güzergahı).

1. ila 3. Bölümlerin 1. ve 2. kısımları, ilgili endüstriyel sektör ve bu sektörde kullanılan endüstriyel proses ve teknikler hakkında genel bilgi verir.

1. ila 3. Bölümlerin 3. kısımlarında, mevcut emisyonlar, ham madde tüketimi ve ham maddelerin niteliği, su tüketimi, enerji kullanımı ve atık üretimi açısından, belgenin hazırlandığı tarihte faaliyette olan sektör tesislerinin çevresel performansına ilişkin veri ve bilgiler sunulmaktadır.

¹ OJ L 100, 09.04.2013, s.1

Önsöz

1. ila 3. Bölümlerin 4. kısımlarında, MET'in belirlenmesinde dikkate alınan sektör tesislerinin çevresel etkilerini önlemeye veya bunun uygulamada mümkün olmadığı durumlarda azaltmaya yönelik teknikler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Bu bilgiler, ilgili olduğu durumlarda, teknikler ile bu tekniklerle ilgili izleme faaliyetleri, maliyetler ve çapraz ortam konuları kullanılarak ulaşılabilecek çevresel performans seviyelerini (örneğin emisyon ve tüketim seviyeleri) içerir.

1. ila 3. Bölümlerin 5. kısımlarında, Direktifin 3(14). Maddesinde tanımlandığı üzere 'geliştirilmekte olan teknikler' hakkında bilgi verilmektedir.

4. Bölümde, Direktifin 3(12) Maddesinde tanımlandığı üzere MET sonuçları sunulmaktadır.

Son değerlendirmeler ve gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler Bölüm 5'te sunulmuştur.

4. Bilgi kaynakları ve MET'lerin kökeni

Bu dokümanda, özellikle Direktifin 13. Maddesi uyarınca bilgi alışverişi için kurulmuş olan TÇG aracılığıyla çeşitli kaynaklardan toplanan bilgiler esas alınmaktadır. Bilgiler, teknik uzmanlık, şeffaflık ve tarafsızlık ilkeleri uyarınca MET'i belirleme çalışmalarına öncülük eden Avrupa EKÖK Bürosu (Komisyonun Ortak Araştırma Merkezi bünyesinde) tarafından derlenmiş ve değerlendirilmiştir. TÇG ve diğer bütün katkıda bulunanlara çalışmaları için teşekkür edilmektedir.

MET sonuçları, aşağıdaki adımları içeren, yinelemeli bir süreç ile oluşturulmuştur:

- ☐ sektöre ilişkin temel çevresel hususların belirlenmesi;
- ☐ bu temel hususlara cevap verebilecek ilgili tekniklerin incelenmesi;
- ☐ Avrupa Birliği ve dünya çapında mevcut olan verilere dayanarak en iyi çevre performans seviyelerinin belirlenmesi;
- ☐ bu çevresel performans seviyelerini elde etmek için gerçekleştirilen harcamalar ve tekniklerin uygulanmasına dair ortamlar arası etkiler ve itici güçler gibi koşulların incelenmesi;
- ☐ Direktifin 3(10) Maddesi ve Ek III kısmı uyarınca mevcut en iyi tekniklerin (MET), bunların ilgili emisyon seviyelerinin (ve diğer çevresel performans seviyelerinin) ve bu sektöre ilişkin ilgili izleme faaliyetlerinin seçilmesi.

Avrupa IPPC Bürosu ve ilgili TÇG'nin uzman görüşleri, bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde temel rol oynamıştır.

Mevcut olduğu durumlarda, ekonomik veriler 1. ila 3. Bölümlerin 4. kısımlarında sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler, maliyet ve faydaların büyüklüğü hakkında kabaca fikir vermektedir. Ancak, bir tekniğin uygulanmasının gerçek maliyetleri ve faydaları, önemli ölçüde, bu belgede tam olarak değerlendirilemeyen ilgili tesisin özel durumuna bağlı olabilir. Maliyetlere ilişkin verilerin mevcut olmadığı durumlarda, tekniklerin ekonomik olarak uygulanabilirliğine ilişkin çıkarımlara mevcut tesislerin gözlemlenmesi sonucunda ulaşılmıştır.

5. MET referans belgelerinin (MET-Ref'ler) incelenmesi

MET dinamik bir kavramdır. Bu nedenle MET-Ref'lerin incelenmesi devam eden bir süreçtir. Örneğin, yeni tedbirler ve teknikler gündeme gelebilir; bilim ve kullanılan teknolojiler sürekli olarak gelişme halindedir ve yeni veya geliştirilmekte olan prosesler sanayide başarıyla uygulanmaya başlanabilir. Bu tür değişiklikleri ve bunların MET yönünden sonuçlarını yansıtmak amacıyla, bu belge de periyodik olarak incelenecek ve gerekli olması halinde uygun şekilde güncellenecektir.

CLM MET-Ref'in gözden geçirme süreci, 2008/1/EC sayılı IPPC Direktifi çerçevesinde 2005 yılında, MET sonuçlarının ve MET-İES'lerin üzerinde anlaşmaya varıldığı ve Eylül 2008'de yapılan nihai TÇG toplantısı ile başladı. CLM MET-Ref, Avrupa Komisyonu tarafından kabul edildi ve IPPC Direktifi çerçevesinde 2010 yılında yayınlandı.

Şubat 2012'de Avrupa Komisyonu, CLM MET-Ref'ini, içinde yer alan MET sonuçlarının EED'nin uygulanması için kullanılabileceği bir belgeye dönüştürmeye karar verdi (2010/75/AB sayılı Direktif). Şubat 2012'de TÇG'ye danışılmak üzere taslak MET sonuçları yayınlandı. Taslak MET sonuçlarının tartışılması ve bunların IPPC Direktifi kapsamında kabul edilen sonuçların teknik içeriğini doğru bir şekilde yansıttığının doğrulanması için Mayıs 2012'de bir TÇG toplantısı düzenlendi. Süreçte çimento veya kireç üretimi ile ilgili bölümler hakkında yeni bilgi verilmedi, ancak magnezyum oksit üretiminden kaynaklanan kükürt oksit emisyonlarına ilişkin sınırlı ek bilgi dikkate alındı.

Mevcut belge, 2010/75/AB sayılı Direktif kapsamında kabul edilmek üzere uyarlanmış MET sonuçlarını içermektedir.

6. İletişim bilgileri

Tüm yorumlar ve öneriler, aşağıda adresi verilen Avrupa IPPC Bürosu İleri Teknolojik Çalışmalar Enstitüsüne gönderilmelidir.

Avrupa Komisyonu
Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü
Avrupa IPPC Bürosu
Edificio Expo
c/ Inca Garcilaso, 3
E-41092 Sevil, İspanya
Telefon: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426
E-posta: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Internet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayilerinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı

ÖNSÖZ.....I

KAPSAM.....XXI

1 ÇİMENTO SANAYİ..... 1

1.1 Çimento sanayi ile ilgili genel bilgiler 1

1.2 Çimento üretiminde uygulanan proses ve teknikler 9

1.2.1 Hammaddeler ve çıkarımları 11

1.2.2 Hammaddeler – depolama ve hazırlama 13

1.2.2.1 Hammaddelerin depolanması 13

1.2.2.2 Hammaddelerin öğütülmesi 13

1.2.2.2.1 Hammaddelerin öğütülmesi – kuru ve yarı kuru fırın sistemleri 14

1.2.2.2.2 Hammaddelerin öğütülmesi – yaş ve yarı yaş fırın sistemleri 14

1.2.2.2.3 Farin veya harç homojenleştirme ve depolama 15

1.2.3 Yakıtlar – depolama ve hazırlama 15

1.2.3.1 Genelleşmiş yakıtların depolanması 16

1.2.3.2 Genelleşmiş yakıtların hazırlanması 16

1.2.4 Atıkların kullanımı 17

1.2.4.1 Genel hususlar 18

1.2.4.2 Atıkların hammadde olarak kullanılması 19

1.2.4.3 Atıkların yakıt olarak kullanılması 22

1.2.4.3.1 Yakıt atık türleri 22

1.2.4.3.1.1 Katı yakıt atıklar 23

1.2.4.3.1.2 Sıvı yakıt atıklar 24

1.2.4.3.2 Atık ve girdi kontrolünün kalite gereksinimleri 24

1.2.4.3.2.1 Atıkların metal derişimleri 26

1.2.4.3.3 Atıkların depolanması ve taşınması 26

1.2.5 Klinker yakma 26

1.2.5.1 Fırında pişirme 28

1.2.5.2 Uzun döner fırınlar 29

1.2.5.3 Ön ısıtıcı döner fırınlar 29

1.2.5.3.1 Izgaralı ön ısıtıcı tekniği 29

1.2.5.3.2 Süspansiyon ön ısıtıcı tekniği 30

1.2.5.3.3 Şaft ön ısıtıcıları 31

1.2.5.3.4 Dört kademeli siklon ön ısıtıcısı 31

1.2.5.4 Ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü döner fırınlar 31

1.2.5.4.1 Baypas sistemleri 33

1.2.5.5 Şaft fırınları 34

1.2.5.6 Fırın dışı atım gazları 34

1.2.5.6.1 CO aşırımları 34

1.2.5.7 Klinker soğutucuları 35

1.2.5.7.1 Döner soğutucular 35

1.2.5.7.1.1 Tüp soğutucular 35

1.2.5.7.1.2 Planet (uydu) soğutucular 35

1.2.5.7.2 Izgaralı soğutucular 36

1.2.5.7.2.1 Hareketli ızgaralı soğutucular 36

1.2.5.7.2.2 Pistonlu ızgaralı soğutucular 36

1.2.5.7.2.3 Üçüncü nesil ızgaralı soğutucular 37

1.2.5.7.3 Dikey soğutucular 37

1.2.5.8 Kojenerasyon 38

1.2.6 Çimento öğütme ve depolama 38

1.2.6.1 Klinker depolama 38

1.2.6.2 Çimento öğütme 39

1.2.6.2.1 Değirmen beslemesinin ölçülmesi ve oranlanması 39

1.2.6.2.2 Çimento öğütme 39

1.2.6.2.3 Mineral katkıların öğütülmesi 40

1.2.6.2.4 Partikül boyutu dağılımına göre ayırma 41

1.2.6.2.5 Kromatların indirgenmesi – krom (VI) 41

1.2.7	Paketleme ve sevkiyat	42
1.3	Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri	43
1.3.1	Su tüketimi	44
1.3.2	Hammadde tüketimi	45
1.3.2.1	Atıkların hammadde olarak tüketimi	45
1.3.3	Enerji kullanımı	47
1.3.3.1	Termal enerji talebi	47
1.3.3.2	Elektrik enerjisi talebi	49
1.3.3.3	Atıkların yakıt olarak tüketimi	49
1.3.4	Havaya emisyonlar	54
1.3.4.1	Toz (partikül madde)	56
1.3.4.1.1	Kanalize toz emisyonları	56
1.3.4.1.2	İnce toz emisyonları PM ₁₀ ve PM _{2.5}	58
1.3.4.1.3	Difüz toz emisyonları	60
1.3.4.2	Azot oksitler	60
1.3.4.3	Kükürt dioksit	66
1.3.4.4	Karbon oksitler (CO ₂ , CO)	69
1.3.4.4.1	Karbon dioksit (CO ₂)	69
1.3.4.4.2	Karbonmonoksit (CO)	70
1.3.4.5	Toplam organik bileşikler (TOK)	71
1.3.4.6	Poliklorlu dibenzo- <i>p</i> -dioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF)	73
1.3.4.7	Metaller ve bileşikler	76
1.3.4.7.1	Cıva	81
1.3.4.8	Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)	83
1.3.4.8.1	Gaz halinde inorganik klor bileşikler	83
1.3.4.8.2	Gaz halinde inorganik flor bileşikler	86
1.3.4.9	Amonyak (NH ₃)	89
1.3.4.10	Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEX)	90
1.3.4.11	Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)	91
1.3.4.12	Diğer organik maddeler	91
1.3.4.13	Atık malzemelerin kullanılmasının emisyon davranışı ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri	91
1.3.4.14	Atıkların kullanılmasının ürün kalitesi üzerindeki etkileri	93
1.3.5	Proses kayıpları/atıkları	93
1.3.6	Suya emisyonlar	94
1.3.7	Gürültü	94
1.3.8	Kokular	95
1.3.9	İzleme	95
1.3.9.1	Parametrelerin ve emisyonların izlenmesi	95
1.4	MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler	97
1.4.1	Hammadde tüketimi	99
1.4.2	Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)	99
1.4.2.1	Termal enerji kullanımının azaltılması	99
1.4.2.1.1	Fırın sistemleri	100
1.4.2.1.2	Hammadde özellikleri	102
1.4.2.1.3	Yakıt özellikleri	103
1.4.2.1.4	Gaz baypas sistemleri	104
1.4.2.1.5	Çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılması	105
1.4.2.2	Elektrik enerjisi kullanımının azaltılması	105
1.4.2.3	Proses seçimi	106
1.4.2.4	Fırınlardan ve soğutuculardan/kojenerasyondan enerji geri kazanımı	107
1.4.3	Genel teknikler	109
1.4.3.1	Proses kontrol optimizasyonu	109
1.4.3.2	Yakıt ve hammadde seçimi	111
1.4.3.3	Atıkların yakıt olarak kullanılması	112
1.4.4	Toz emisyonları (partikül madde)	113
1.4.4.1	Tozlu işlemlere yönelik teknikler	113
1.4.4.2	Toplu depolama alanları ve stok depolarına yönelik teknikler	115
1.4.4.3	Kanalize toz emisyonlarının azaltılması	116
1.4.4.3.1	Elektrostatik toz tutucular (ESP)	117
1.4.4.3.2	Torba filtreler	119
1.4.4.3.3	Hibrit filtreler	124
1.4.5	Gaz halindeki bileşikler	125

1.4.5.1.1	Alev soğutma.....	128
1.4.5.1.2	Düşük NO _x brülörleri	129
1.4.5.1.3	Kademeli yakma.....	130
1.4.5.1.4	Fırın ortasında pişirme.....	132
1.4.5.1.5	Mineralize klinker	133
1.4.5.1.6	Proses optimizasyonu (NO _x)	133
1.4.5.1.7	Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SNCR)	134
1.4.5.1.8	Seçici katalitik indirgeme (SCR).....	140
1.4.5.2	SO ₂ emisyonlarının azaltılması	143
1.4.5.2.1	Soğurucu ilavesi	145
1.4.5.2.2	Yaş gaz yıkayıcı	146
1.4.5.2.3	Aktif karbon	148
1.4.5.3	Karbon monoksit (CO) emisyonlarının ve CO aşımının azaltılması	149
1.4.5.4	Toplam organik karbon emisyonlarının (TOK) azaltılması	152
1.4.5.5	Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması.....	153
1.4.6	Poliklorlu dibenzo-p-dioksin (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuran (PCDF) emisyonlarının azaltılması	154
1.4.7	Metal emisyonlarının azaltılması	155
1.4.8	Farklı baca gazı azaltma teknikleri ve emisyonların azaltılmasında kullanılabilecek birincil teknikler için maliyet verilerine örnekler.....	156
1.4.8.1	Toz azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri.....	156
1.4.8.2	NO _x azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri.....	158
1.4.8.3	SO _x azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri	161
1.4.9	Proses kayıpları/atıkları.....	162
1.4.10	Gürültü	163
1.4.11	Kokular için genel hususlar.....	164
1.4.12	Çevre yönetimi araçları	164
1.5	Çimento endüstrisinde geliştirilmekte olan teknikler	168
1.5.1	Akışkan yataklı çimento üretim tekniği	168
1.5.2	SNCR ile birlikte kademeli yanma.....	169
1.5.3	Kuru sodyum bikarbonat ile baca gazlarının arıtılması ve kimyasal yeniden kullanım	169
2	KİREÇ SANAYİİ	171
2.1	Kireç sanayi ile ilgili genel bilgiler	171
2.1.1	Kireç ve uygulaması.....	171
2.1.2	Dünya kireç üretimi	172
2.1.3	Coğrafi dağılım ve Avrupa’da genel ekonomik hususlar – başlıca göstergeler	172
2.1.3.1	Yıllık üretim.....	172
2.1.3.2	Temel çevresel ve sürdürülebilir kalkınma hususları	173
2.1.3.3	Kireç türü ve dolomitli kireç	174
2.1.3.4	Kireç tesisleri	175
2.2	Kireç üretiminde uygulanan proses ve teknikler	180
2.2.1	Genel üretim süreci açıklaması	181
2.2.2	Hammaddeler ve kalker çıkarımı	182
2.2.3	Kireçtaşı hazırlama, temizleme ve depolama	183
2.2.3.1	Kireçtaşı hazırlama.....	183
2.2.3.2	Kireçtaşı depolama.....	184
2.2.3.3	Kireçtaşı yıkama.....	184
2.2.4	Yakıtlar – Hazırlama ve depolama.....	185
2.2.5	Atıkların kullanımı	188
2.2.5.1	Genel hususlar.....	188
2.2.5.2	Teknik yönler	189
2.2.5.3	Kullanılan yakıt atık türleri	191
2.2.5.4	Yakıt katı atıkların kalite kontrolü	193
2.2.6	Sönmemiş kireç ve dolomit üretimi	193
2.2.6.1	Kireçtaşının kalsinasyonu – kimyasal reaksiyon.....	193
2.2.6.2	Kireçtaşının fırında kalsine edilmesi	195
2.2.6.3	Sönmemiş kireç işlemesi	197
2.2.6.3.1	Öğütülmüş sönmemiş kireç üretimi.....	197
2.2.6.4	Sönmüş ve/veya hidratlı kireç üretimi.....	198
2.2.6.4.1	Hidratlı kireç üretimi	198
2.2.6.4.2	Kireç sütü ve kireç kaymağı üretimi	199
2.2.7	Kireç fırını çeşitleri – teknikler ve tasarım	199
2.2.7.1	Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	202
2.2.7.2	Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)	203

2.2.7.3	Dairesel şaft fırınlar (ASK)	206
2.2.7.4	Diğer fırınlar (OK).....	209
2.2.7.4.1	Diğer tek şaft fırınlar.....	209
2.2.7.4.2	Çift eğimli şaft fırınlar	209
2.2.7.4.3	Çok hazneli şaft fırınları	210
2.2.7.4.4	Hareketli ızgaralı fırınlar	210
2.2.7.4.5	Chisaki fırınları	210
2.2.7.4.6	Gaz süspansiyonlu kalsinasyon (GSC) fırınları	210
2.2.7.4.7	Döner ocaklı fırınlar.....	211
2.2.7.5	Uzun döner fırınlar (LRK).....	211
2.2.7.6	Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK).....	214
2.2.8	Depolama ve taşıma	217
2.2.8.1	Depolama.....	217
2.2.8.1.1	Sönmemiş kirecin depolanması	217
2.2.8.1.2	Hidratlı kirecin depolanması	218
2.2.8.1.3	Kireç sütünün depolanması.....	218
2.2.8.2	Taşıma	219
2.2.9	Diğer kireç türleri	219
2.2.9.1	Hidrolik kireç üretimi	219
2.2.9.2	Kalsine dolomit üretimi	219
2.2.9.3	Çift geçişli proses ile sinterlenmiş dolim üretimi	220
2.2.10	Sabit kireç fırınları için genel hususlar.....	220
2.2.10.1	Demir çelik endüstrisinde kireç fırınları	220
2.2.10.2	Kağıt hamuru endüstrisinde kireç fırınları	221
2.2.10.3	Şeker endüstrisinde kireç fırınları.....	221
2.3	Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri	222
2.3.1	Kireçtaşı tüketimi	222
2.3.2	Enerji kullanımı	222
2.3.2.1	Kireçtaşı kalsinasyonu	222
2.3.2.2	Kireç söndürme.....	224
2.3.2.3	Kireç öğütme	224
2.3.3	Havaya emisyonlar	224
2.3.3.1	Toz (PM)	226
2.3.3.1.1	Kanalize toz emisyonları	226
2.3.3.1.2	Difüz toz emisyonları.....	228
2.3.3.2	Azot oksitler	229
2.3.3.3	Kükürt dioksit.....	230
2.3.3.4	Karbon oksitler (CO _x).....	233
2.3.3.4.1	Karbon dioksit (CO ₂).....	233
2.3.3.4.2	Karbonmonoksit (CO)	235
2.3.3.5	Organik bileşikler/toplam organik karbon (TOK)	237
2.3.3.6	Poliklorlu dibenzo- <i>p</i> -dioksinler (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranlar (PCDF).....	239
2.3.3.7	Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)	239
2.3.3.8	Hidrojen sülfür (H ₂ S).....	240
2.3.3.9	Metaller.....	241
2.3.3.10	Atık malzemelerin kullanılmasının emisyon davranışı üzerindeki etkisi	243
2.3.3.10.1	Atık yağ kullanımı için emisyon örnekleri	243
2.3.3.10.2	Döner fırınlarda katı atık kullanımından kaynaklanan emisyonlara örnekler	244
2.3.4	Proses kayıpları/atıkları	245
2.3.5	Su kullanımı ve arıtma.....	246
2.3.6	Gürültü.....	246
2.3.7	Kokular	246
2.3.8	İzleme	247
2.3.8.1	Sürekli ölçümler	247
2.3.8.2	Periyodik ölçümler	247
2.4	MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler	249
2.4.1	Kireçtaşı tüketimi	251
2.4.2	Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)	251

2.4.3	Proses kontrol optimizasyonu	253
2.4.4	Yakıt seçimi (yakıt atıklar dahil).....	254
2.4.5	Toz emisyonları (partikül madde)	256
2.4.5.1	Tozlu işlemlere yönelik teknikler.....	256
2.4.5.2	Toplu depolama alanları ve stok depolarına yönelik teknikler.....	257

2.4.5.3	Kanalize toz emisyonlarının azaltılması.....	258
2.4.5.3.1	Elektrostatik toz tutucular (ESP).....	259
2.4.5.3.2	Torba filtreler	261
2.4.5.3.3	Yaş toz ayırıcıları	264
2.4.5.3.4	Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar	267
2.4.5.3.5	Farklı baca gazı temizleme teknikleri için maliyet verilerine örnekler	267
2.4.6	Gaz halindeki bileşikler.....	271
2.4.6.1	NO _x emisyonlarının azaltılması.....	271
2.4.6.1.1	Proses optimizasyonu	272
2.4.6.1.2	Hava kademelendirme	273
2.4.6.1.3	Düşük NO _x brülörleri	274
2.4.6.1.4	Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	275
2.4.6.1.5	Seçici katalitik indirgeme (SCR).....	278
2.4.6.2	SO ₂ emisyonlarının azaltılması	279
2.4.6.3	CO emisyonlarının azaltılması	280
2.4.6.4	Toplam organik karbon emisyonlarının (TOK) azaltılması	281
2.4.6.5	Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması.....	281
2.4.7	Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranların (PCDF) emisyonlarının azaltılması	282
2.4.8	Metal emisyonlarının azaltılması	285
2.4.9	Proses kayıpları/atıkları.....	286
2.4.9.1	Katı proses kayıplarının/atıklarının hammadde olarak yeniden kullanılmasına ilişkin genel hususlar.....	286
2.4.10	Gürültü	287
2.4.11	Kokular için genel hususlar.....	289
2.4.12	Çevre yönetimi araçları	289
2.5	Kireç endüstrisinde geliştirilmekte olan teknikler.....	290
2.5.1	Akışkan yataklı kalsinasyon.....	290
2.5.2	Flaş kalsinatör/süspansiyon ön ısıtıcı.....	290
2.5.3	Seramik filtreler	291
2.5.4	Karışık beslemeli şaft fırınlardan çıkan baca gazlarının yakılma sonrası	291
3	MAGNEZYUM OKSİT ENDÜSTRİSİ (ÇIKARILMIŞ DOĞAL MANYEZİTE DAYANAN KURU İŞLEME GÜZERGAHI)	293
3.1	Genel Bilgiler.....	293
3.1.1	Giriş	293
3.1.2	Dünya çapında ve Avrupa'da manyezit endüstrisi	293
3.1.2.1	Magnezyum oksit (manyezi) ürün türleri	297
3.1.2.1.1	Manyezi	297
3.1.2.1.1.1	Sinter manyezi (DBM)	298
3.1.2.1.1.2	Kostik kalsine manyezi (CCM).....	298
3.1.2.1.1.3	Ergitilmiş manyezi (FM)	298
3.1.3	Manyezi kullanımı	298
3.2	Uygulanan süreç ve teknikler.....	301
3.2.1	Hammaddeler ve hazırlama.....	301
3.2.1.1	Manyezit.....	301
3.2.2	Yakıtlar	302
3.2.3	Manyezitten manyezi üretim sürecinin genel açıklaması (doğal yollarla sinterlenmiş manyezi).....	302
3.2.3.1	Pişirme prosesleri	303
3.2.3.1.1	Doğrudan fırınlama prosesi (tek fazlı pişirme).....	303
3.2.3.1.1.1	'Ham sinterin' hazırlanması	303
3.2.3.1.2	İki fazlı pişirme süreci	305
3.2.3.2	Fırın türleri – teknikler ve tasarım.....	306
3.2.3.2.1	Döner fırınlar	307
3.2.3.2.1.1	Ön ısıtıcılı döner fırınlar.....	307
3.2.3.2.1.2	Uzun döner fırınlar	307
3.2.3.2.2	Şaft fırınları	308
3.2.3.2.2.1	Döner plakalı şaft fırınlar.....	308
3.2.3.2.2.2	Döner ızgaralı şaft fırınlar.....	309
3.2.3.2.2.3	Çift şaft fırın.....	309
3.2.4	Ergitilmiş manyezi üretimi	310
3.3	Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri.....	311
3.3.1	Hammadde (işlenmemiş manyezit) ve su tüketimi	311
3.3.2	Enerji tüketimi	312

3.3.3	Emisyonlar.....	313
3.3.3.1	Havaya emisyonlar	313
3.3.3.2	Proses kayıpları/atıkları	314
3.3.3.3	Suya emisyonlar	315
3.3.3.4	Gürültü.....	315
3.3.4	İzleme	316
3.4	MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler	317
3.4.1	Hammadde tüketimine ilişkin genel hususlar.....	319
3.4.2	Suya ilişkin genel hususlar	319
3.4.3	Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)	319
3.4.4	Proses kontrol optimizasyonu.....	320
3.4.5	Yakıt seçimi.....	321
3.4.6	Toz emisyonları (partikül madde)	322
3.4.6.1	Tozlu işlemlere yönelik teknikler	322
3.4.6.2	Kanalize toz emisyonlarının azaltılması	323
3.4.6.2.1	Elektrostatik toz tutucular (ESP)	324
3.4.6.2.2	Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar	324
3.4.6.2.3	Yaş toz ayırıcıları.....	325
3.4.6.2.4	Torba filtreler.....	326
3.4.7	Gaz halindeki bileşikler.....	327
3.4.7.1	NO _x emisyonlarının azaltılması	327
3.4.7.2	CO emisyonlarının azaltılması.....	329
3.4.7.3	SO ₂ emisyonlarının azaltılması.....	330
3.4.8	Proses kayıplarına/atığına ilişkin genel hususlar	331
3.4.9	Gürültü.....	331
3.4.10	Çevre yönetimi araçları	332
3.5	Geliştirilmekte olan teknikler	333
4	MET SONUÇLARI.....	335
	KAPSAM.....	335
	BİLGİ ALIŞVERİŞİNE İLİŞKİN NOT	336
	TANIMLAR	336
	GENEL HUSUSLAR	338
4.1	Genel MET Sonuçları	339
4.1.1	Çevresel yönetim sistemleri (ÇYS)	339
4.1.2	Gürültü.....	340
4.2	Çimento endüstrisi için MET sonuçları	341
4.2.1	Genel birincil teknikler.....	341
4.2.2	İzleme	341
4.2.3	Enerji tüketimi ve proses seçimi	342
4.2.3.1	Proses seçimi	342
4.2.3.2	Enerji tüketimi	343
4.2.4	Atıkların kullanımı	344
4.2.4.1	Atık kalite kontrolü.....	344
4.2.4.2	Fırına atık besleme.....	345
4.2.4.3	Tehlikeli atık maddelerin kullanımına yönelik güvenlik yönetimi	345
4.2.5	Toz emisyonları	346
4.2.5.1	Difüz toz emisyonları	346
4.2.5.2	Tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları	347
4.2.5.3	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları	348
4.2.5.4	Sogutma ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları	348
4.2.6	Gaz halindeki bileşikler.....	349
4.2.6.1	NO _x emisyonları.....	349
4.2.6.2	SO _x emisyonları	350
4.2.6.3	CO emisyonları ve CO aşımaları.....	351
4.2.6.3.1	CO aşımalarının azaltılması.....	351

4.2.6.4	Toplam organik karbon emisyonları (TOK).....	352
4.2.6.5	Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları	352
4.2.7	PCDD/F emisyonları	353
4.2.8	Metal emisyonları	353
4.2.9	Proses kayıpları/atıkları.....	354
4.3	Kireç endüstrisi için MET sonuçları	355
4.3.1	Genel birincil teknikler	355

4.3.2	İzleme.....	356
4.3.3	Enerji tüketimi.....	357
4.3.4	Kireçtaşı tüketimi	358
4.3.5	Yakıt seçimi	359
4.3.5.1	Yakıt atık kullanımı.....	359
4.3.5.1.1	Atık kalite kontrolü	359
4.3.5.1.2	Fırına atık besleme	359
4.3.5.1.3	Tehlikeli atık maddelerin kullanımına yönelik güvenlik yönetimi	360
4.3.6	Toz emisyonları.....	360
4.3.6.1	Difüz toz emisyonları	360
4.3.6.2	Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları ..	361
4.3.6.3	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları	362
4.3.7	Gaz halindeki bileşikler.....	363
4.3.7.1	Gaz halindeki bileşiklerin emisyonlarını azaltmaya yönelik birincil teknikler	363
4.3.7.2	NO _x emisyonları	363
4.3.7.3	SO _x emisyonları.....	364
4.3.7.4	CO emisyonları ve CO aşımaları	365
4.3.7.4.1	CO emisyonları	365
4.3.7.4.2	CO aşımalarının azaltılması	366
4.3.7.5	Toplam organik karbon emisyonları (TOK).....	366
4.3.7.6	Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları	367
4.3.8	PCDD/F emisyonları	367
4.3.9	Metal emisyonları	368
4.3.10	Proses kayıpları/atıkları.....	368
4.4	Magnezyum oksit endüstrisi için MET sonuçları	369
4.4.1	İzleme.....	369
4.4.2	Enerji tüketimi.....	370
4.4.3	Toz emisyonları.....	371
4.4.3.1	Difüz toz emisyonları	371
4.4.3.2	Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları	371
4.4.3.3	Fırında pişirme işleminden kaynaklanan toz emisyonları	372
4.4.4	Gaz halindeki bileşikler.....	373
4.4.4.1	Gaz halindeki bileşiklerin emisyonlarını azaltmaya yönelik birincil teknikler	373
4.4.4.2	NO _x emisyonları	373
4.4.4.3	CO emisyonları ve CO aşımaları	374
4.4.4.3.1	CO emisyonları	374
4.4.4.3.2	CO aşımalarının azaltılması	374
4.4.4.4	SO _x emisyonları	375
4.4.5	Proses kayıpları/atıkları.....	376
4.4.6	Atıkların yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılması	376
	TEKNİKLERİN AÇIKLAMALARI	377
4.5	Çimento endüstrisi için tekniklerin açıklamaları	377
4.5.1	Toz emisyonları.....	377
4.5.2	NO _x emisyonları	378
4.5.3	SO _x emisyonları	380
4.6	Kireç endüstrisine yönelik tekniklerin açıklamaları	381
4.6.1	Toz emisyonları.....	381
4.6.2	NO _x emisyonları	382
4.6.3	SO _x emisyonları	382
4.7	Manyezi endüstrisine yönelik tekniklerin açıklamaları (kuru işleme güzergahı)	383
4.7.1	Toz emisyonları.....	383
4.7.2	SO _x emisyonları.....	384
5	SON DEĞERLENDİRMELER VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALARA YÖNELİK ÖNERİLER	385
5.1	Çimento sektörü.....	386
5.2	Magnezyum oksit sektörü.....	391
5.3	Forum ile istişare ve MET Sonuçlarının takip eden resmi kabul prosedürü	394
6	EKLER.....	395
6.1	AB-27'de çimento ve kireç üretimi için geçerli olan AT çevre mevzuatı	395
6.2	Çimento imalatı eki	396
6.2.1	CEMBUREAU ile EWC arasında yakıt atık gruplandırma karşılaştırması.....	396
6.2.2	Çimento üretimi tesise özel veriler	401

6.2.2.1	Kullanılan atık türlerinin örnekleri, emisyon davranışı üzerindeki etkisi ve atık malzemelerdeki maddeler için derişim aralıkları (girdi kriterleri).....	401
6.2.2.1.1	Atık malzemelerdeki/atık girdi kriterlerindeki maddeler için derişim aralıklarına örnekler	408
6.2.2.2	Enerji tüketimi örnekleri.....	414
6.2.2.3	Emisyon verileri örnekleri	415
6.2.3	Çimento üretimi – kojenerasyon/fazla ısının geri kazanılması.....	418
6.2.3.1	Genelleşmiş buhar döngüsü prosesiyle elektrik enerjisi kojenerasyonu – İsveç'teki Slite çimento tesisi.....	418
6.2.3.2	Organik Rankine Döngüsü (ORC) prosesiyle kojenerasyon – Almanya, Lengfurt'taki çimento tesisi.....	419
6.2.4	Çimento üretimi – yüksek verimli SNCR tekniğinin kullanıldığı NO _x azaltımı örnekleri	421
6.2.4.1	İsveç'te kullanılan örnek SNCR tekniği.....	421
6.2.4.2	Almanya'da kullanılan örnek SNCR tekniği	425
6.2.5	Çimento üretimi – SCR tekniğinin kullanıldığı NO _x azaltımı örneği	426
6.2.6	Çimento üretimi – CO aşımalarının kontrolüne ilişkin kılavuz.....	431
6.2.6.1	Operasyonel kesintileri azaltma hedefleri – CO aşımları	431
6.2.6.2	CO en aza indirme geliştirme stratejisi	432
6.2.6.3	CO izleme sistemi	432
6.2.6.4	CO aşımı durumunda atılacak adımlar	433
6.2.6.5	Torba filtrelerde CO ve CH ₄	433
6.3	Kireç üretimi eki	434
6.3.1	Kireç üretimi – AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki metal derişimlerinin dağılımı.....	434
6.3.2	Kireç üretimi – tesise özel veriler	442
6.3.2.1	Hammadde özelliklerine örnekler.....	442
6.3.2.2	Atıkların yakıt olarak kullanılması – atıklarda kabul edilebilir kirletici içeriğine örnekler	442
6.3.2.3	Tüketim ve emisyon verilerine örnekler	444
6.3.3	Kireç üretimi – bir şaft fırında atık yağ işlenmesine ilişkin örnek (OK)	451
6.3.4	Kireç üretimi – döner fırınlarda yakılan katı yakıt atıkların kalite kontrolüne örnek...453	
6.3.5	Kireç üretimi – ön ısıtıcılı döner fırınlarda (PRK) SNCR tekniğinin kullanıldığı DeNO _x arıtma örneği.....	456
TERİMLER SÖZLÜĞÜ		459
KAYNAKLAR.....		467

Şekiller listesi

Şekil 1.1:	1950 ila 2006 yılları arasında AB-27’de ve dünyada çimento üretimi	1
Şekil 1.2:	1975-2005 yılları arasında AB çimento sanayinde tahmini istihdam	2
Şekil 1.3	İhraç edilen klinker dahil AB-25’te çimento üretimi ve çimento tüketimi	3
Şekil 1.4:	Örnek çimento üretim sürecine genel bakış.....	10
Şekil 1.5:	Hammadde kapalı depolama örneği	13
Şekil 1.6:	Çimento klinkeri ve farklı hammadde ve yakıtların kül bileşenleri için üçlü CaO, SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ diyagramı	21
Şekil 1.7:	Tehlikeli atık – emdirilmiş talaş	24
Şekil 1.8:	Özel olarak hazırlanmış yakıt atık, örn. kağıt, plastik, tekstil.....	24
Şekil 1.9:	Çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan özel hazırlanmış evsel atıklar	24
Şekil 1.10:	Bir ön ısıtıcı/ön kalsinatör/ızgaralı soğutuculu fırının şematik görünümü	27
Şekil 1.11:	Çok kanallı bir brülör örneği.....	28
Şekil 1.12:	Izgara ön ısıtıcısı.....	29
Şekil 1.13:	Süspansiyon ön ısıtıcısı.....	30
Şekil 1.14:	Ön kalsinatörlü süspansiyon ön ısıtıcısı	30
Şekil 1.15:	Siklon ön ısıtıcılı fırın sisteminde gaz ve katı sıcaklık profilleri.....	32
Şekil 1.16:	Ayrı hat/kalsinatör aşağı çekişi örneği	33
Şekil 1.17:	Kalsinatörde atık besleme noktaları örneği	33
Şekil 1.18:	Planet soğutucu örneği	36
Şekil 1.19:	Kuru işlemede 1 kg çimento üretimi için kütle denkliği	44
Şekil 1.20:	AB-27’nin 20 ülkesinde hammadde olarak kullanılan atıklar	46
Şekil 1.21:	2004 yılında AB-25 çimento sanayi yakıt enerjisi kullanımı	48
Şekil 1.22:	AB-27’de çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan çeşitli tehlikeli ve tehlikesiz atık türlerinin tüketimi	52
Şekil 1.23:	AB-27 ve AB 23+ ülkelerinde 253 döner fırından gelen temiz gazda sürekli toz ölçümlerinden elde edilen emisyon değer aralıkları	57
Şekil 1.24:	AB-27 ve AB 23+ ülkelerinde döner fırınların temiz gazında 180 spot toz ölçümünden elde edilen toz emisyon değerleri	57
Şekil 1.25:	2004 yılında AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarından kaynaklanan ikame oranlarına göre sınıflandırılmış NO _x emisyonları (NO ₂ olarak ifade edilir)	62
Şekil 1.26:	NO _x seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı	62
Şekil 1.27:	AB- 23+’daki bir takım çimento fabrikalarında alev soğutma kullanılarak elde edilen NO _x emisyonu aralıkları	64
Şekil 1.28:	AB- 23+’daki bir takım çimento fabrikalarında alev soğutma kullanılmadan elde edilen NO _x emisyonu aralıkları	64
Şekil 1.29:	NO _x azaltımı için SNCR kullanan tesislerden elde edilen NO _x azaltımı	65
Şekil 1.30:	SNCR kullanılmayan tesislerden elde edilen NO _x azaltımı aralıkları	65
Şekil 1.31:	Çimento ön ısıtıcısı/ön kalsinatör fırınında kükürt akış diyagramı	66
Şekil 1.32:	AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento tesislerinin temiz gazındaki SO ₂ ölçümlerinin değerleri.....	68
Şekil 1.33:	SO ₂ seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı.....	69
Şekil 1.34:	2004 yılında 29 Alman döner fırınının temiz gazında ölçülen CO emisyon derişimi değerleri	71
Şekil 1.35:	AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarının temiz gazında sürekli TOK ölçümlerinden elde edilen toz emisyon değerleri	72
Şekil 1.36:	Sürekli TOK seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı	72
Şekil 1.37:	2004 yılında 27 Alman döner fırınının temiz gazında ölçülen toplam organik karbon emisyon derişimi değerleri.....	73
Şekil 1.38:	2004 yılında AB-27 ve AB-23+ ülkelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılmış PCDD/F emisyonları	75
Şekil 1.39:	AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarından kaynaklanan PCDD/F spot seviye ölçümlerinin ısı ikame oranına göre sınıflandırılmış dağılımı	75
Şekil 1.40:	2004 yılında 39 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen PCDD/F emisyon değerleri	76
Şekil 1.41:	Kuru işlemede ön ısıtıcılı çimento fırınlarında metallerin izlediği yol.....	77
Şekil 1.42:	AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 262 spot Σ (Cd, Tl) ölçümünden elde edilen kadmiyum ve talyum emisyon değerleri	78
Şekil 1.43:	Σ (Cd, Tl) seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı	79

Şekil 1.44: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki spot Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) ölçümünden elde edilen emisyon değerleri	79
Şekil 1.45: Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı	80
Şekil 1.46: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 306 spot Hg ölçümünden elde edilen cıva emisyon değerleri	82
Şekil 1.47: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 306 spot Hg ölçümünden elde edilen cıva emisyon değerleri	82
Şekil 1.48: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki 98 çimento fırınının temiz gazının sürekli HCl ölçümlerinden elde edilen HCl emisyon değerleri	84
Şekil 1.49: Sürekli HCl ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı	84
Şekil 1.50: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazındaki 233 spot ölçümden elde edilen emisyon değerleri	85
Şekil 1.51: HCl seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HCl spot ölçüm dağılımı	85
Şekil 1.52: 2004 yılında 38 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen gaz halindeki inorganik klor bileşiklerinin HCl olarak ifade edilen emisyonları	86
Şekil 1.53: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazının sürekli HF emisyon ölçümlerinden elde edilen HF emisyon değerleri	87
Şekil 1.54: HF seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HF sürekli ölçüm dağılımı	87
Şekil 1.55: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazında spot HF ölçümlerinden elde edilen emisyon değerleri	88
Şekil 1.56: HF seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HF spot ölçüm dağılımı	88
Şekil 1.57: 2004 yılında 38 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen, gaz halindeki inorganik flor bileşiklerinin HF olarak ifade edilen emisyonları	89
Şekil 1.58: SO_x yakıcı ile donatılmış bir İsveç çimento tesisinden kaynaklanan amonyak emisyonları	90
Şekil 1.59: 17 Alman döner fırınında ölçülen benzen emisyon derişimi değerleri	91
Şekil 1.60: İngiltere'de bir çimento tesisinde kullanılan torba filtre ve filtre malzemesi örneği	120
Şekil 1.61: Toz toplamaya yönelik hibrit filtre	124
Şekil 1.62: AB-23+ ülkelerinde çimento üretiminde alevle soğutma için kullanılan enjeksiyon yöntemleri	128
Şekil 1.63: AB-23+ ülkelerinde alevle soğutma uygulamasının kurulum özellikleri	129
Şekil 1.64: AB-23+ ülkelerinde SNCR uygulamasının olduğu çimento tesisi özellikleri	135
Şekil 1.65: AB-23+ ülkelerinde SNCR tarafından kullanılan azot taşıyıcıları/ NH_2 -X maddeleri	136
Şekil 1.66: SCR tesisi örneği	141
Şekil 1.67: SCR tekniğinde kullanılan katalizör örneği	141
Şekil 1.68: SCR tekniğinde kullanılan modül konumu örneği	141
Şekil 1.69: Yaş gaz yakıcısının temel işletimsel özellikleri	147
Şekil 1.70: Bir ÇYS modelinde sürekli iyileştirme	165
Şekil 1.71: Akışkan yataklı çimento fırını	168
Şekil 2.1: 2004 yılında AB-27'de kireç ve dolomit üretimi	173
Şekil 2.2: 2004 yılında AB-27'de fırın tipine göre ticari kireç üretimi	176
Şekil 2.3: 2004 yılında AB-27'de fırın tipine göre ticari dolim üretimi	177
Şekil 2.4: 2004 yılında AB-27'de fırın tipine göre ticari sinterlenmiş dolim üretimi	177
Şekil 2.5: Örnek kireç üretim sürecine genel bakış	180
Şekil 2.6: Kireç üretimi köşe taşlarının gösterildiği akış şeması	181
Şekil 2.7: Örnek kireç üretim sürecine genel bakış	182
Şekil 2.8: Kireçtaşı yıkama ve yıkama suyu arıtma için malzeme akış şeması	185
Şekil 2.9: AB-27'de 2005 yılında kireç fırında pişirme işlemi için kullanılan yakıt türleri	186
Şekil 2.10: Şaft fırın dozaj sistemi örneğinin akış şeması	187
Şekil 2.11: Şaft fırın dozaj sistemi örneği	188
Şekil 2.12: Farklı Avrupa ülkelerinde yakıt atık kullanılarak üretilen kireç miktarı	189
Şekil 2.13: Farklı Avrupa ülkelerinde yakıt atık kullanılan kireç fırınlarının dağılımı	190
Şekil 2.14: Döner fırında (RK) kullanılan bir çok kanallı brülörün önden görünümü	191
Şekil 2.15: RK brülör mühendisliği	191
Şekil 2.16: Yanma sıcaklığına ve kireçtaşı tipine göre reaktivite değişimi	194
Şekil 2.17: Düşük, orta ve yüksek sıcaklıkta fırınlanmış kirecin morfolojisi	195
Şekil 2.18: Kireç kalsinasyonunun genel ilkeleri	196
Şekil 2.19: Kireç hidratörünün akış şeması	198
Şekil 2.20: Karışık beslemeli şaft fırının çalışma ilkesi	202
Şekil 2.21: Karışık beslemeli şaft fırın	202

Şekil 2.22: PFRK'nin ilkeleri	204
Şekil 2.23: PFRK örneği	204
Şekil 2.24: PFRK'nin temel çalışma ilkesi ve gaz akışı	204
Şekil 2.25: Dairesel şaft fırın.....	207
Şekil 2.26: Kireç üretiminde kullanılan dairesele şaft fırın örneği.....	207
Şekil 2.27: Dairesel şaft fırınların (ASK) çalışma ilkesi	208
Şekil 2.28: Çift eğimli şaft fırınlar	209
Şekil 2.29: Gaz süspansiyonlu kalsinasyon süreç diyagramı	211
Şekil 2.30: Uzun döner fırınların çalışma ilkesi	212
Şekil 2.31: Kireç üretiminde kullanılan dairesele şaft fırın örneği.....	214
Şekil 2.32: Ön ısıtıcı döner fırın (PRK)	215
Şekil 2.33: Ön ısıtıcı döner fırının (PRK) çalışma ilkesi.....	216
Şekil 2.34: Ön ısıtıcı döner fırın örneği.....	216
Şekil 2.35: AB-27'de farklı tipte toz azaltma teknikleri kullanıldığında farklı kireç fırını türlerinde ölçülen toz emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)	227
Şekil 2.36: AB-27'de farklı kireç fırını türlerinde ölçülen NO _x emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)	229
Şekil 2.37: AB-27'de fosil yakıtlar kullanılan farklı kireç fırını türlerinde ölçülen SO ₂ emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)	231
Şekil 2.38: AB-27'de fırında pişirmede yakıt atık ve fosil yakıtlar kullanılan farklı kireç fırını türlerinde ölçülen SO ₂ emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler).....	232
Şekil 2.39: AB-27'deki farklı kireç fırını türlerinden kaynaklanan CO emisyonları	235
Şekil 2.40: Karışık besleme şaft fırında kimyasal reaksiyonlar ve enerji kullanımı (Boudouard reaksiyonu)	237
Şekil 2.41: AB-27'deki farklı kireç fırını türlerinden kaynaklanan TOK emisyonları	238
Şekil 2.42: AB-27'deki farklı kireç fırınlarından kaynaklanan HCl emisyonları	240
Şekil 2.43: Genelleşmiş elektrostatik toz tutucunun (ESP) şematik görünümü	260
Şekil 2.44: Darbeli püskürtme temizlemeli bir torba filtrenin şeması	262
Şekil 2.45: Dışa atım gazlı çok kademeli yaş gaz yakıcı örneğinin şematik görünümü.....	265
Şekil 2.46: ESP'ler ve torba filtreler için fırın kapasitesinin bir fonksiyonu olarak yatırım maliyetleri – AB-27	268
Şekil 2.47: ESP'li bir döner fırın (RK) için toz emisyon limitlerinin bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma maliyetinin simülasyonu – AB-27	268
Şekil 2.48: PFRK ve torba filtreler için toz emisyon sınırlarının bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma bakım maliyetlerinin simülasyonu – AB-27	269
Şekil 2.49: İtalya'da 2007 yılı için PFRK ve torba filtreler için toz emisyon aralıklarının bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma bakım maliyetlerinin simülasyonu	269
Şekil 2.50: Sıcaklığa bağlı olarak NO _x azaltımı	276
Şekil 2.51: Dikey kireç fırınlarında PCDD/F emisyonları için akış şeması	283
Şekil 2.52: Dikey kireç fırınlarında (LRK, RPK) PCDD/F emisyonları için akış şeması	284
Şekil 2.53: Akışkan yataklı fırın.....	290
Şekil 2.54: Bir yanma sonrası tekniğinin örnek akış şeması	291
Şekil 3.1: Küresel magnezyum oksit kaynakları ve üretici ülkeler	294
Şekil 3.2: AB-25 ve dünya çapında ham manyezit üretimi.....	294
Şekil 3.3: 2003 yılında dünya çapında magnezyum oksit türevleri üretimi	296
Şekil 3.4: 2003 yılında dünya çapında sektöre özel manyezi tüketimi	299
Şekil 3.5: Çelik endüstrisinde kullanılan refrakter üretimine yönelik dünya çapında manyezi talebi ...	300
Şekil 3.6: Manyezi üretimi için doğal güzergahın süreç şeması	303
Şekil 3.7: Örnek DBM tesisinde kuru işleme güzergahının kullanıldığı manyezi üretiminin süreç diyagramı	305
Şekil 3.8: Manyezi üretimi için kaba ve ince manyezit yolu	306
Şekil 3.9: Manyezi üretiminde kullanılan ön ısıtıcı döner fırınların çalışma ilkesi	307
Şekil 3.10: Manyezi üretiminde kullanılan uzun döner fırınların çalışma ilkesi	308
Şekil 3.11: Manyezi üretiminde kullanılan şaft fırınların çalışma ilkesi	309
Şekil 3.12: Manyezi üretiminde kullanılan çift şaft fırınların çalışma ilkesi	310
Şekil 3.13: Özgül maliyetler ve kükürt içeriği açısından yakıt karşılaştırması	322
Şekil 6.1: İsveç'teki Slite çimento tesisinde enerji kojenerasyonuna yönelik iki aşamalı su bazlı ısı geri kazanım sisteminin akış şeması	418
Şekil 6.2: Almanya'daki Lengfurt tesisinde enerji kojenerasyonuna yönelik pentan bazlı atık ısı geri kazanım sisteminin akış şeması	420
Şekil 6.3: Slite'de (İsveç) çimento üretim sürecinin akış şeması	421
Şekil 6.4: İsveç'teki Slite çimento tesisinde SNCR'de NH ₃ çözeltisinin enjeksiyonu için akış şeması	422

Şekil 6.5:	İsveç'teki Skövde çimento tesisinde SNCR'de NH_3 çözeltisinin enjeksiyonu için akış şeması ve meme planı	422
Şekil 6.6:	1995'ten 2005'e kadar İsveç'te Slite ve Skövde'deki çimento tesislerinde NO_x emisyonları ve amonyaklı su tüketimi	422
Şekil 6.7:	1994'ten 2005'e kadar İsveç'teki Slite çimento tesislerindeki iki çimento fırınında NH_3 emisyonları ve amonyak suyu tüketimi	424
Şekil 6.8:	Yüksek verimli SNCR ve 21 ila 26 numaralarıyla gösterilen boruyla amonyaklı su enjeksiyonu noktaları	425
Şekil 6.9:	Almanya'daki örnek SCR tesisinin akış şeması (Solnhofer Portland-Zementwerke)	427
Şekil 6.10:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki arsenik derişimlerinin dağılımı	434
Şekil 6.11:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kadmiyum derişimlerinin dağılımı	435
Şekil 6.12:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kobalt derişimlerinin dağılımı	435
Şekil 6.13:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki krom derişimlerinin dağılımı	436
Şekil 6.14:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki bakır derişimlerinin dağılımı	436
Şekil 6.15:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki cıva derişimlerinin dağılımı	437
Şekil 6.16:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki manganez derişimlerinin dağılımı	437
Şekil 6.17:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki nikel derişimlerinin dağılımı	438
Şekil 6.18:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kurşun derişimlerinin dağılımı	438
Şekil 6.19:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki antimon derişimlerinin dağılımı	439
Şekil 6.20:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki selenyum derişimlerinin dağılımı	439
Şekil 6.21:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kalay derişimlerinin dağılımı	440
Şekil 6.22:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki tellür derişimlerinin dağılımı	440
Şekil 6.23:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki talyum derişimlerinin dağılımı	441
Şekil 6.24:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki vanadyum derişimlerinin dağılımı	441
Şekil 6.25:	AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki çinko derişimlerinin dağılımı	442
Şekil 6.26:	Atık yağ dolaşımının akış şeması – teslimattan şaft fırına gidiş (OK)	452
Şekil 6.27:	2 numarayla gösterilen filtre ve filtreyi temizlemek için atık konteynerine sahip pompa istasyonu	452
Şekil 6.28:	Pnömatik vanalı ölçüm ve dozlama istasyonu	452
Şekil 6.29:	Almanya'daki Flandersbach kireç tesisinde SNCR için enjeksiyon ve bağlantı noktalarının konumu	457

Tablolar listesi

Tablo 1.1:	2006 yılında coğrafi bölgelere göre dünya çimento üretimi	2
Tablo 1.2:	AB-27'deki çimento tesislerinin haritası	4
Tablo 1.3:	AB-25'te çimento türüne göre yurt içi teslimatlar	4
Tablo 1.4:	AB-27'de çimento türleri ve bileşimleri için Avrupa standardı	5
Tablo 1.5:	Gri çimentonun kimyasal bileşimi	7
Tablo 1.6:	Beyaz çimento klinkerinin kimyasal bileşimlerine örnekler	7
Tablo 1.7:	AB-27'de çimento endüstrisinde üretilen ısıнын yüzdesi olarak ifade edilen yakıt tüketimi..	8
Tablo 1.8:	Çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin ve çimento farininin kimyasal analizleri	11
Tablo 1.9:	Hammadde ve farinin içindeki metaller	12
Tablo 1.10:	Beyaz çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin kimyasal bileşim örnekleri	12
Tablo 1.11:	Kömürdeki metallerin kimyasal analizleri	15
Tablo 1.12:	Avrupa çimento endüstrisinde hammadde olarak sıklıkla kullanılan atık türleri\.....	20
Tablo 1.13:	2003 ve 2004 yıllarında AB-25'te çimento fırınlarında hammadde olarak kullanılan atıkların kimyasal bileşimleri uyarınca sınıflandırıldığı örnek liste.....	20
Tablo 1.14:	AB-27 çimento fırınlarında 2003 ve 2004 yıllarında yakıt olarak kullanılan farklı atık türleri	22
Tablo 1.15:	Çimento üretiminde hammadde tüketimi.....	45
Tablo 1.16:	2003 ve 2004 yıllarında AB-27'de çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan ve kimyasal elementleri ile nitelendirilen atıklar.....	46
Tablo 1.17:	Farinin kurutulması için termal enerji ihtiyacı örnekleri	47
Tablo 1.18:	AB-27'de çimento üretiminde yakıt enerjisi kullanımı	47
Tablo 1.19:	Öğütme tekniklerinin kilit özelliklere dayalı karşılaştırılması	49
Tablo 1.20:	AB-27'de yakıt olarak kullanılan farklı atık türleri için ısı değer örnekleri	50
Tablo 1.21:	AB-27 çimento fırınlarında 2003 ve 2004 yıllarında yakıt olarak kullanılan farklı atık türlerinin tüketimi	51
Tablo 1.22:	AB-23+ ülkelerinde çimento üretimi için yakıt atıkların ikamesi	53
Tablo 1.23:	Avrupa çimento fırınlarından gelen emisyon aralıkları verileri	55
Tablo 1.24:	Toz ayırma için kullanılan sistem tipi örnekleri, işletimsel veri ve enerji talebi	58
Tablo 1.25:	Bir Alman çimento fabrikasında CO aşım sıklıklarına örnekler.....	58
Tablo 1.26:	Alman çimento fırınlarından çıkan toplam tozdaki ince tane dağılımı üzerine araştırma....	59
Tablo 1.27:	RAINS modeline göre ham gaz toz derişimi örnekleri	59
Tablo 1.28:	RAINS modeline göre azaltma verimlilikleri ile birlikte toz azaltma tekniklerine örnekler	60
Tablo 1.29:	1996'dan 1998'e kadar çimento fırını sistemlerinin temiz gazında yapılan ağır metal derişimi ölçümlerinden elde edilen aralıklar.....	80
Tablo 1.30:	Her tekniğe ilişkin bilgiler	97
Tablo 1.31:	Çimento üretim sürecinde toz kontrol tekniklerine genel bakış.....	117
Tablo 1.32:	Farklı filtre ortamlarının temel özellikleri ve maliyet çizelgeleri	121
Tablo 1.33:	AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde çimento endüstrilerinde kullanılan NO _x emisyonlarını azaltmaya yönelik teknikler	126
Tablo 1.34:	Çimento üretim süreçlerinde meydana gelen NO _x emisyonlarını azaltma teknikleri	127
Tablo 1.35:	SCR parametreleri, emisyonları ve raporlanan maliyetleri	142
Tablo 1.36:	SO ₂ kontrol ve azaltma tekniklerine genel bakış	144
Tablo 1.37:	2008'de AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde kullanılan SO ₂ azaltımına yönelik teknikler	144
Tablo 1.38:	ESP'lerden CO aşımalarını önlemeye yönelik birincil teknik örnekleri	151
Tablo 1.39:	Toz azaltma teknikleri için maliyet verilerine örnekler	157
Tablo 1.40:	NO _x azaltma teknikleri için maliyet verilerine örnekler	159
Tablo 1.41:	SO _x azaltma teknikleri için maliyet örnekleri	161
Tablo 2.1:	Çok yönlü bir malzeme olarak kireç – bazı endüstriyel uygulamalar	171
Tablo 2.2:	Yerinde kireç üretimi de dahil olmak üzere 2006 yılında dünya genelinde sönmemiş kireç ve dolomit üretimine dair en iyi tahmin.....	172
Tablo 2.3:	2004 yılında AB-27'de sektöre göre ticari kireç dağılımı	173
Tablo 2.4:	2003 – 2030 döneminde hammadde kireçtaşı ve dolomit kullanım eğilimi	174
Tablo 2.5:	Kireç terminolojisi, EC ve CAS numaraları	175
Tablo 2.6:	AB-27 Üye Devletlerinde üretimi 50 ton/gün'ü aşan yerinde üretim olmayan kireç tesislerinin sayısı - 2003'ten itibaren toplam.....	175
Tablo 2.7:	AB-27'de 2004 yılında fırın tipine göre işletimdeki kireç fırını sayısı	176

Tablo 2.8:	2003 yılında AB-27'de ülke başına kireç ve dolim üretimine yönelik kireç fırını sayısı, yerinde fırınlar hariç	178
Tablo 2.9:	2003 yılında AB-27'de kireç yakmada kullanılan yakıtların dağılımı	178
Tablo 2.10:	Kireçtaşındaki tipik safsızlıklar ve eser elementler	183
Tablo 2.11:	AB-27'de 2003 yılında farklı kireç fırınlarında kullanılan yakıt türleri.....	186
Tablo 2.12:	Farklı Avrupa ülkelerinde kullanılan yakıt atık türleri	191
Tablo 2.13:	Sıvı ve katı yakıt atıkların bileşenleri.....	191
Tablo 2.14:	Farklı fırın tiplerinde kullanılan yakıt atıklar	192
Tablo 2.15:	Kireç fırınları türlerinin işletimsel parametreleri.....	200
Tablo 2.16:	Fırınlar ve bu fırınlarda genellikle üretilen kireç türleri arasındaki ilişki.....	200
Tablo 2.17:	Tüketici gruplarına göre gösterge niteliğindeki kireç özellikleri.....	201
Tablo 2.18:	Karışık beslemeli şaft fırınların temel teknik özellikleri	203
Tablo 2.19:	Paralel akışlı rejeneratif fırınların teknik özellikleri.....	206
Tablo 2.20:	Dairesel şaft fırınların teknik özellikleri.....	208
Tablo 2.21:	Uzun döner fırınların (LRK) teknik özellikleri	213
Tablo 2.22:	Ön ısıtıcı döner fırınların (PRK) teknik özellikleri	217
Tablo 2.23:	AB-27'de kireç ve dolim üretimi için fırın tiplerine göre tipik ısı ve elektrik kullanımı	223
Tablo 2.24:	Avrupa'daki kireç fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon örnekleri	226
Tablo 2.25:	Kireç endüstrisinde farklı fırın tiplerinden kaynaklanan CO ₂ emisyon faktörleri	234
Tablo 2.26:	AB-27'deki farklı fırın türleri için ortalama PCDD/F emisyonları.....	239
Tablo 2.27:	AB-27'deki çeşitli kireç fırınlarından kaynaklanan tipik HCl ve HF emisyonları.....	239
Tablo 2.28:	AB-27'de farklı metal emisyonlarına ulaşan tesis sayısı	242
Tablo 2.29:	Alman şaft fırınlarında kullanılan atık yağın kalitesine ilişkin tipik analiz sonuçları	243
Tablo 2.30:	Atık yağ kullanan bir Alman şaft fırınından münferit emisyon ölçümleri	243
Tablo 2.31:	2006 yılında katı yakıt kullanan bir Alman döner fırınından alınan sürekli emisyon ölçümleri	245
Tablo 2.32:	2006 yılında katı yakıt kullanan bir Alman döner fırınından alınan periyodik münferit emisyon ölçümleri.....	245
Tablo 2.33:	Her tekniğe ilişkin bilgiler.....	249
Tablo 2.34:	Kireç fırınlarında enerji verimliliği iyileştirme seçenekleri	252
Tablo 2.35:	Kireç üretim sürecinde toz kontrol tekniklerine genel bakış	259
Tablo 2.36:	Toz azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri	270
Tablo 2.37:	Azaltma teknikleri için işletme maliyetlerine dahil edilen farklı maliyet türlerinin oranları	271
Tablo 2.38:	Kireç endüstrisinde geliştirilmekte olan NO _x azaltma tekniklerine genel bakış.....	272
Tablo 2.39:	SNCR prosesi için teorik operasyonel veriler	276
Tablo 2.40:	SCR prosesi için gerekli teorik sıcaklık aralıkları ve azaltma oranları.....	278
Tablo 2.41:	Birkaç saat süreyle baca gazı bileşimi izlemesi.....	292
Tablo 3.1:	2000'den 2005'e kadar dünya çapında ham manyezit (magnezyum karbonat) üretimi	295
Tablo 3.2:	2003 yılında dünya çapında sinterlenmiş magnezyum oksit/manyezi üretimi	296
Tablo 3.3:	AB-27 sinterlenmiş manyezi üreticileri.....	297
Tablo 3.4:	2003 yılında AB-25'te kuru işleme güzergahıyla manyezit ve manyezi üretimi	297
Tablo 3.5:	Ayrışma sonrası manyezi ve karbon dioksit miktarları	311
Tablo 3.6:	Manyezitte manyezi ve karbon oksit verimi	312
Tablo 3.7:	Ton manyezi (MgO) üretimi için yakıt gereksinimleri.....	312
Tablo 3.8:	Hammaddelede tane boyutu ve kükürt içeriği arasındaki ilişkiye örnekler	313
Tablo 3.9:	AB-27'deki magnezyum oksit endüstrisinden kaynaklanan emisyon bileşenlerinin değişimleri	314
Tablo 3.10:	Her tekniğe ilişkin bilgiler.....	317
Tablo 4.1:	Çok kademeli ön ısıtma ve ön kalsinasyonlu kuru proses fırını kullanan yeni tesisler ve geniş çaplı yükseltmeler için MET ile ilişkili enerji tüketim seviyeleri	342
Tablo 4.2:	Çimento üretiminde fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinden kaynaklanan baca gazlarında MET ile ilişkili NO _x emisyon seviyeleri	349
Tablo 4.3:	SNCR uygulandığında baca gazlarında NH ₃ kayması için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri	350
Tablo 4.4:	Çimento üretiminde fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinden kaynaklanan baca gazlarında MET ile ilişkili SO _x emisyon seviyeleri	351
Tablo 4.5:	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında metallerin MET ile ilişkili emisyon seviyeleri ...	353
Tablo 4.6:	Kireç ve dolim endüstrisinde MET ile ilişkili ısı enerjisi tüketimi seviyeleri	358
Tablo 4.7:	Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalizasyon toz emisyonlarının MET ile ilişkili emisyon seviyeleri.....	361

Tablo 4.8:	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında toz emisyonlarının MET ile ilişkili emisyon seviyeleri	362
Tablo 4.9:	Kireç üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili NO _x emisyonu seviyeleri	364
Tablo 4.10:	Kireç üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili SO _x emisyonu seviyeleri.....	365
Tablo 4.11:	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında CO için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri	365
Tablo 4.12:	Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında TOK için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri	367
Tablo 4.13:	Atık kullanılan durumlarda, fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında HCl ve HF emisyonları için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri	367
Tablo 4.14:	Atık kullanılan durumlarda, fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında metallerin MET ile ilişkili emisyon seviyeleri.....	368
Tablo 4.15:	Manyezi üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili SO _x emisyonu seviyeleri.....	375
Tablo 6.1:	CEMBUREAU ile EWC arasında yakıt atık gruplandırma karşılaştırması	396
Tablo 6.2:	2004 yılında Alman çimento fırınlarında kullanılan atık ve yakıt atıkların türleri ve miktarları	401
Tablo 6.3:	Alman çimento endüstrisinde kullanılan farklı tür yakıt atıkların miktarları.....	401
Tablo 6.4:	Endüstriyel atık ve çözücü kullanımı için farklı parametrelerin kabul edilen değerlerine örnekler.....	402
Tablo 6.5:	Yakıt atık kullanan bir Alman çimento fırınının işletme verileri (üç günlük bir süre için verilerin ortalaması).....	403
Tablo 6.6:	Bir Alman çimento fırınında yakıt atık kullanılarak emisyonların izlenmesinden elde edilen sonuçlar.....	404
Tablo 6.7:	Estonya'dan yakıt atık için kalite veri sayfası	405
Tablo 6.8:	Estonya'da bir çimento tesisinde özellik analizi.....	406
Tablo 6.9:	Estonya'daki bir çimento tesisinin atıkları için kalite gereksinimleri	407
Tablo 6.10:	Estonya'daki bir çimento tesisinde kullanılan atık yakıtların tüketimi	407
Tablo 6.11:	Kullanılmış atıklar için Avusturya, İsviçre ve Almanya'da farklı izin ve yönetmeliklerdeki sınır değerler.....	408
Tablo 6.12:	Bireysel izinlere dayalı olarak farklı ülkeler/bölgeler için yakıt atıklara ilişkin sınır değer örnekleri..	409
Tablo 6.13:	Farklı ülkeler/bölgelerde hammadde olarak kullanılacak atıklar için sınır değer örnekleri.....	410
Tablo 6.14:	Yakıt atıklardaki metallerin tipik derişim aralıklarına örnekler.....	410
Tablo 6.15:	Alman çimento fırınlarında uygulanan uygun atık kullanımına ilişkin girdi kriterlerine örnekler .	411
Tablo 6.16:	Avusturya çimento tesislerinde kullanılan atıklardaki maddeler için izin kriterlerine (azami değerler) örnekler.....	411
Tablo 6.17:	Avusturya çimento tesislerinde kullanılan atıklardaki maddeler için izin kriterlerine örnekler (ortanca ve yüzde 80 değerler)	412
Tablo 6.18:	Fransız izinli çimento tesislerinde kullanılan uygun yakıt atıklardaki maddeler için girdi kriterleri örnekleri.....	413
Tablo 6.19:	İspanya ve Polonya'daki çimento tesislerinde kullanılan uygun yakıt atıklardaki maddeler için girdi kriterleri örnekleri	413
Tablo 6.20:	Atık girdi kriterleri spesifikasyonuna örnek	414
Tablo 6.21:	Avusturya çimento endüstrisinde yakıt tüketimi	414
Tablo 6.22:	İzin verilen emisyon verileriyle karşılaştırıldığında 2006 yılında Estonya'daki bir çimento tesisinden alınan farklı emisyon verilerinin örnekleri.....	415
Tablo 6.23:	İrlanda'daki çimento tesislerinde ölçülen PM ₁₀ ve PM _{2.5} ince tane emisyonlarına örnekler	416
Tablo 6.24:	Estonya'daki bir çimento tesisinden gelen atık sudaki kirletici miktarları	417
Tablo 6.25:	Almanya'daki SCR tesisinden temel varsayımlar	429
Tablo 6.26:	Bir Alman tesisi için Almanya UBA'dan alınan NO _x azaltma teknikleri SCR ve SNCR'nin maliyet karşılaştırması	429
Tablo 6.27:	1500 t/gün kapasiteli bir Alman çimento tesisi için SCR kullanımıyla NO _x azaltımına yönelik maliyet hesaplamaları	430
Tablo 6.28:	ESP'lerden CO aşımını önlemeye yönelik birincil teknik örnekleri	433
Tablo 6.29:	Bir Macar kireç tesisinde kullanılan hammadde bileşimi örneği	442
Tablo 6.30:	Alman kireç tesislerinde kullanılan atık yağ çözücüler, hayvansal yağlar ve hayvansal küspe (karkas küspesi) için kabul edilen tipik kirletici içerikleri.....	443
Tablo 6.31:	Alman kireç tesislerinde kullanılan farklı atık yakıtlar için maddeler için izin kriterleri (ortanca ve azami değerler) örnekleri	444
Tablo 6.32:	2004 yılında Avusturya kireç fırınlarının işletme verileri ve özgül enerji talebi	444
Tablo 6.33:	İspanya'daki çeşitli kireç fırınlarının enerji tüketimi	445
Tablo 6.34:	Almanya'daki kireç fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon örnekleri	446

Tablo 6.35:	AB Üye Devletlerinde gözlemlenen NO _x emisyonlarının örnekleri	447
Tablo 6.36:	Avusturya kireç fırınlarından kaynaklanan emisyonlar.....	448
Tablo 6.37:	1998'den 2006'ya kadar farklı türde kireç fırınları kullanan birkaç Fin kireç tesisinden kaynaklanan toz, NO _x , SO _x , CO ve CO ₂ emisyonları.....	449
Tablo 6.38:	Fin kireç tesisinden kaynaklanan metal emisyonları	451
Tablo 6.39:	Bu Alman kireç fırınlarında kullanılacak atıkların listesi.....	453
Tablo 6.40:	Her bir yakıt atık türü için medyan ve azami metal derişimleri	454
Tablo 6.41:	Her bir atık yakıt türü için asgari ve azami net ısı değerleri.....	454
Tablo 6.42:	Atıkların kalite güvencesine yönelik teknik örnekleri.....	455

KAPSAM

Bu Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit MET-Refi, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I kapsamındaki aşağıdaki faaliyetleri kapsar:

- ☐ 3.1. Çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi:
 - (a) günlük üretim kapasitesi 500 tonu aşan döner fırınlarda veya günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan diğer fırınlarda çimento klinkeri üretimi;
 - (b) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda kireç üretimi;
 - (c) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda magnezyum oksit üretimi.

Yukarıdaki madde 3.1(c) ile ilgili olarak, bu MET-Ref yalnızca çıkarılmış doğal manyezite (magnezyum karbonat - $MgCO_3$) dayalı kuru işleme güzergahıyla magnezyum oksit (MgO) üretimini ele alır.

Bu belge özellikle aşağıdaki prosesleri ve faaliyetleri kapsar:

- ☐ çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi (kuru işleme güzergahı)
- ☐ hammaddeler – depolama ve hazırlama
- ☐ yakıtlar – depolama ve hazırlama
- ☐ atıkların hammadde ve/veya yakıt olarak kullanımı, kalite gereksinimleri, kontrol ve hazırlama
- ☐ ürünler – depolama ve hazırlama
- ☐ paketleme ve sevkiyat.

Aşağıdaki faaliyetler bu MET-Ref kapsamında değildir:

- ☐ Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Belgesi (LVIC-S) kapsamında, başlangıç malzemesi olarak magnezyum klorürün kullanıldığı yaş işleme güzergahıyla magnezyum oksit üretimi
- ☐ ultra düşük karbonlu dolim üretimi (dolomitin ($CaCO_3.MgCO_3$) karbondan neredeyse tamamen arındırılmasıyla üretilen bir kalsiyum ve magnezyum oksitler karışımı. Ürünün artık CO_2 içeriği %0,25'in altında ve yığın yoğunluğu $3,05 \text{ g/cm}^3$ 'ün oldukça altındadır.)
- ☐ çimento klinker üretimine yönelik şaft fırınlar
- ☐ taş ocakçılığı gibi birincil faaliyetle doğrudan ilişkili olmayan faaliyetler.

Bu belgenin kapsamında yer alan sektörlerle ilgili diğer referans belgeler şunlardır:

Referans belgeler	Faaliyet
Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (EFS)	Hammadde ve ürün depolama, ambalaj ve sevk
Genel İzleme İlkeleri (MON)	Emisyon ve tüketim izleme
Atık Arıtma Endüstrileri (WT)	Atık arıtma
Enerji Verimliliği (ENE)	Genel enerji verimliliği
Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler (ECM)	Tekniklerin ekonomisi ve ortamlar arası etkileri

Bu MET-Ref'in kapsamı, Direktif'in kapsamında olmadıklarından dolayı, işyeri güvenliği veya ürünlerin güvenliğiyle sınırlı olan konuları **ichermez**. Bunlar, yalnızca Direktif kapsamındaki konuları etkiledikleri durumlarda ele alınmaktadır.

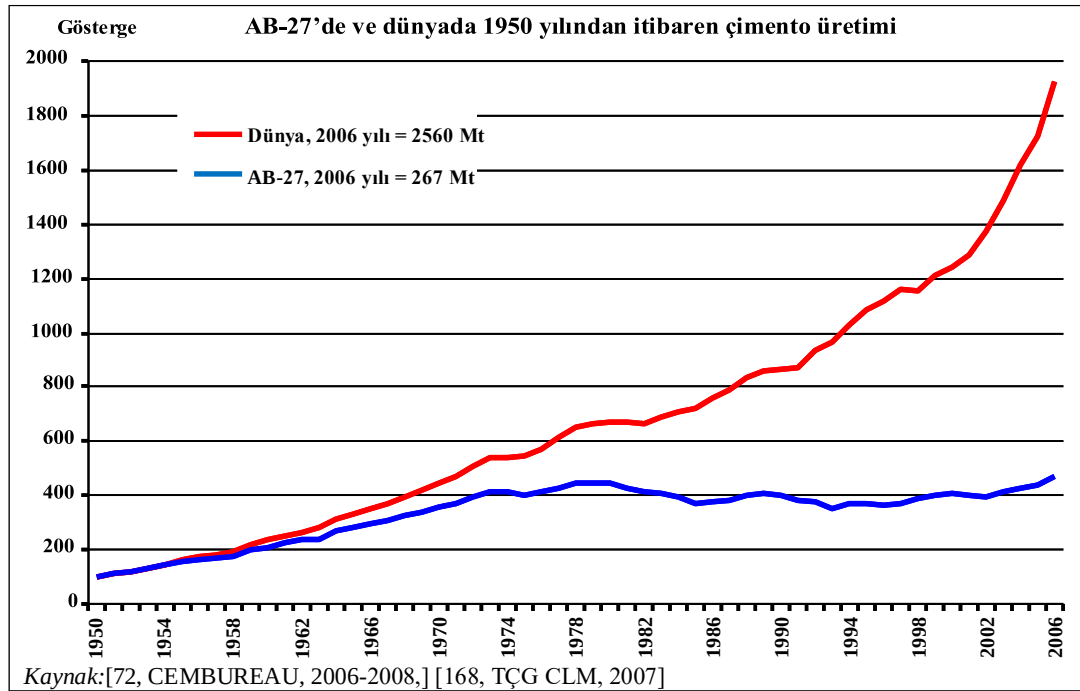
1 ÇİMENTO SANAYİ

1.1 Çimento sanayi ile ilgili genel bilgiler

Çimento ince öğütülmüş, metalik olmayan, inorganik bir toz olup su ile karıştırıldığında donan ve sertleşen bir hamur oluşturur. Bu hidrolik sertleşmenin birincil nedeni, karışım suyu ile çimento bileşenleri arasında meydana gelen reaksiyon sonucu kalsiyum silikat hidratlarının oluşmasıdır. Alüminli çimentoda ise hidrolik sertleşme kalsiyum aluminat hidratlarının oluşmasından kaynaklanır.

Çimento bina ve inşaat mühendisliği yapıları için temel bir malzemedir. Avrupa’da büyük inşaat işlerinde çimento ve beton (çimento, agrega, kum ve suyun karışımı) kullanımı antik çağa kadar uzanır. Betonarme inşaatlarda en çok kullanılan çimento türü olan Portland çimentosunun patenti 1824 yılında alınmıştır. Çimento sanayinin çıktıları genel olarak inşaat işlerinin durumu ile doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle genel ekonomik durumu yakından izler.

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, dünya çimento üretimi, gelişmekte olan ülkelerde ve özellikle 1990’lı yıllarda dünya çimento üretiminin aslan payını elinde tutan Asya’da 1950 yılından itibaren istikrarlı bir şekilde artmıştır.



Şekil 1.1: 1950 ila 2006 yılları arasında AB-27’de ve dünyada çimento üretimi

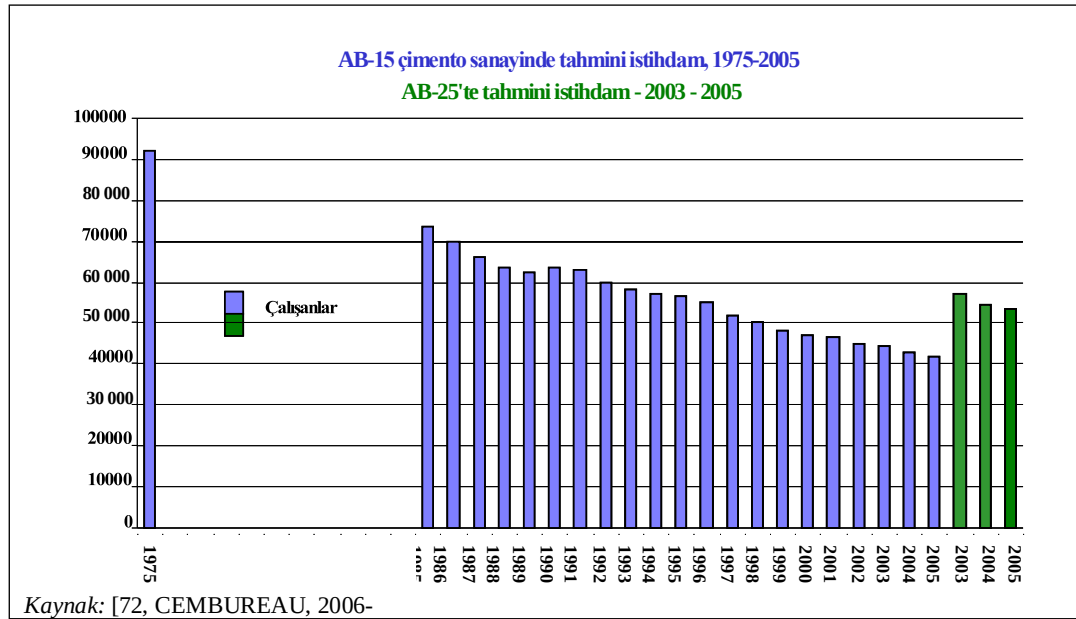
2006 yılında dünya çimento üretimi 2540 Milyon ton olmuştur. Tablo 1.1 coğrafi bölgelere göre çimento üretiminin dağılımını göstermektedir

Tablo 1.1: 2006 yılında coğrafi bölgelere göre dünya çimento üretimi

Bölge	Birim	2006	Bölge	Birim	2006
Çin	%	47,4	ABD	%	3,9
Hindistan	%	6,2	Diğer Amerika Ülkeleri	%	5,8
Japonya	%	2,7	Afrika	%	4,0
Diğer Asya Ülkeleri	%	13,2	BDT (CIS)	%	3,4
AB-27	%	10,5	Okyanusya	%	0,4
Diğer Avrupa Ülkeleri	%	2,5			

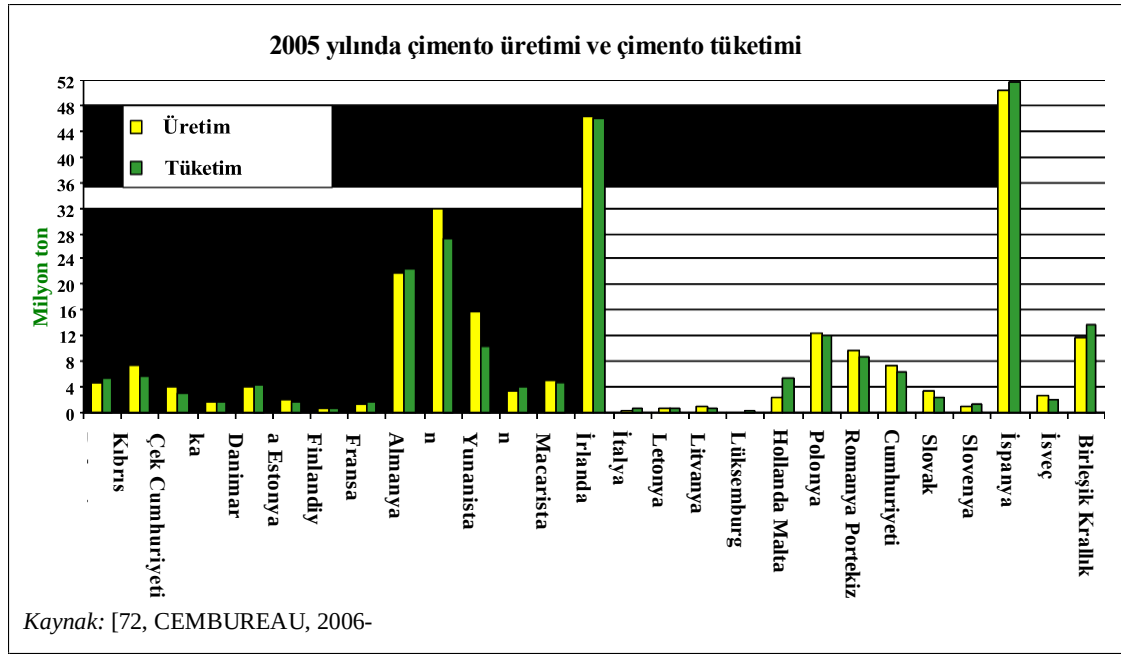
Kaynak: [72, CEMBUREAU, 2006-2008,]

Avrupa Birliğinde yer alan üreticiler 1970 yılında 1700 ton olan adam başı yıllık çimento üretimini 1991 yılında 3500 tona çıkartmışlardır. Üretkenlikteki bu artışın nedeni daha büyük ölçekli üretim birimlerinin devreye sokulmuş olmasıdır. Bu üretim birimlerinin işletmelerinde gelişmiş otomasyon teknikleri kullanılmış ve bu nedenle daha az sayıda ancak daha nitelikli elemana gerek duyulmuştur. 2005 yılında Avrupa Birliği (AB-27) çimento endüstrisinde istihdam edilen kişi sayısı 54000 civarında olmuştur. Şekil 1.2’de 1975-2005 yılları arasında AB çimento sanayindeki tahmini işgücü ile AB-25 istihdam rakamları gösterilmiştir. 1991 yılından öncesine ilişkin rakamlar, eski adıyla Doğu Almanya’dan gelen işçileri kapsamamaktadır.

**Şekil 1.2:** 1975-2005 yılları arasında AB çimento sanayinde tahmini istihdam

2006 yılında AB-25’te gerçekleşen toplam çimento üretimi 267,5 milyon ton, toplam çimento tüketimi ise 260,6 milyon ton olmuştur. 38 milyon ton çimento ithal edilip, 32 milyon ton ihraç edilmiştir. AB ülkeleri arasında yapılan ticaret bu rakamlara dahildir.

2005 yılında AB-25’te çimento üretimi ve tüketimi Şekil 1.3’te gösterilmiştir



Şekil 1.3 İhraç edilen klinker dahil AB-25'te çimento üretimi ve çimento tüketimi

Dünyanın en büyük beş çimento üreticisi Lafarge, Holcim, Cemex, Heidelberg Cement ve Italcementi'dir. Bu şirketler, çimento üretiminin yanı sıra agrega, beton ürünleri, alçı levha, vb. gibi diğer yapı malzemesi sektörlerine de girmişlerdir.

AB'de çimento, üreticiler tarafından müşterilere ağırlıklı olarak karayolundan teslim edilir ve karayolu nakliyesi maliyetleri ile çimentonun nispeten düşük olan birim satış fiyatları nedeniyle, normal ticaret koşulları altında karayolu ile teslim edileceği mesafe sınırlıdır. Çimentonun karayolu ile taşınabileceği azami mesafenin genelde 200 ile 300 km olduğu söylenmektedir. Ancak, çimento tesislerinin su (deniz, iç su yolları) kıyılarında bulunduğu yerlerde uzun sevkiyat mesafeleri daha yaygındır. Ayrıca, demiryolu şebekesine kolay erişim imkanı olması da bazı durumlarda nispeten uzun mesafelere sevkiyatı kolaylaştırır. Çimentonun küresel ticareti yapılmaktadır ve bazı durumlarda çimentoyu dünyanın başka bir yerine deniz yoluyla sevk etmek ekonomik açıdan uygundur. Çimento terminallerinin (örneğin yüzer terminaller) varlığı, çimentonun AB pazarlarına AB dışındaki ülkelerden yapılan ithalatının artmasına katkıda bulunmuştur. Uluslararası rekabet aslen bireysel bazda tesisler için önemli bir tehdittir. AB içinde gittikçe artan Doğu Avrupa'dan ithalat yerel piyasa koşullarını etkilemektedir. 2007 yılında, Yunanistan, İtalya, Portekiz, İspanya, güney Fransa ve bir bütün olarak Birleşik Krallık'ın ithalata açık alanlar olduğu tahmin edilmiştir. Bu alanlar hacim olarak AB'nin çimento üretiminin %60'ını temsil etmektedir. Danimarka, Norveç ve İsveç de ithalata karşı hassastır. 2004 yılında yapılan 13,5 milyon ton ithalata kıyasla 2005 yılında karbon kısıtlaması olmayan ülkelere AB'ye 15,5 milyon ton ithalat yapılmıştır.

AB-27'de çimento klinkeri ve mamul çimento üreten 268 tesis vardır. Ayrıca, Tablo 1.2'de gösterildiği gibi, değirmeni olmayan iki klinker tesisi (fırını) ile fırını olmayan 90 öğütme tesisi (çimento değirmeni) vardır (fırını olmayan çimento değirmenleri bu belgenin kapsamına dahil değildir).

Tablo 1.2: AB-27'deki çimento tesislerinin haritası

AB Üye Devleti		Çimento tesisleri – fırına sahip –	Çimento tesisleri – yalnızca çimento değirmenine sahip –
Belçika ¹	BE	5	4
Bulgaristan	BG	5	-
Çek Cumhuriyeti	CZ	6	1
Danimarka	DK	1	-
Almanya	DE	38	20
Estonya	EE	1	-
İrlanda	IE	4	-
Yunanistan	EL	8	-
İspanya	ES	37	13
Fransa	FR	33	6
İtalya	IT	59	35
Kıbrıs	CY	2	-
Letonya	LV	1	-
Litvanya	LT	1	-
Lüksemburg ⁽¹⁾	LU	1	1
Macaristan	HU	4	-
Malta	MT		
Hollanda	NL	1	2
Avusturya	AT	9	3
Polonya	PL	11	1
Portekiz	PT	6	2
Romanya	RO	8	1
Slovenya	SI	2	-
Slovakya	SK	6	-
Finlandiya	FI	2	-
İsveç	SE	3	-
Birleşik Krallık	UK	14	1
Toplam		268	90
⁽¹⁾ Bir klinker tesisi dahil Kaynak: [72, CEMBUREAU, 2006-2008,]			

AB-27'de toplam 377 fırın olmakla birlikte 2007 yılı itibarıyla bunların tümü çalışır durumda değildi. Son yıllarda tipik bir fırının günlük klinker kapasitesi yaklaşık 3000 ton'dur ve fırınlar büyüklük ve yaş itibarıyla geniş çeşitlilik göstermekle birlikte günlük kapasitesi 500 tonun altında olan çok az fırın vardır.

2007 yılında Avrupa çimento üretiminin yaklaşık %90'ı kuru proses fırınlarından, geriye kalan %7,5'lük bölümü yarı-kuru ve yarı-yaş proses fırınlarından elde edilmiş olup, Avrupa üretiminin kalan kısmı (yaklaşık %2,5) yaş proses fırınlarından elde edilmiştir. Üretim prosesi seçimi öncelikli olarak erişilebilir hammaddelerin niteliğine bağlıdır.

Genel amaçlı çimentolar için Avrupa standardı (EN 197-1), 27 farklı çimento türünü beş grup altında toplamıştır. Buna ilaveten belirli uygulamalar için üretilen bir dizi özel çimento da vardır. AB-27'de üretilen çimento ile ilgili Avrupa Standardı Tablo 1.4'te verilmiş olup, 2005 yılında AB-25'te iç piyasaya verilen çimento türlerinin yüzdeleri Tablo 1.3'te gösterilmiştir. Ayrıca, gri çimentonun tipik bileşimleri Tablo 1.5'te gösterilmektedir.

Tablo 1.3: AB-25'te çimento türüne göre yurt içi teslimatlar

Çimento türü	Biri m	2005
CEM II Portland – kompozit	%	58,6
CEM I Portland	%	27,4
CEM III Yüksek fırın/cüruf	%	6,4
CEM IV Pozolanik	%	6,0
CEM V Kompozit çimento ve diğer çimentolar	%	1,6
Kaynak: [72, CEMBUREAU, 2006-2008,]		

Tablo 1.4: AB-27'de çimento türleri ve bileşimleri için Avrupa standardı

Ana türler	27 ürünün işaretleri (genel çimento türleri)		Kompozisyon (kütlece yüzde olarak ⁽¹⁾)										
			Ana bileşenler										Küçük miktarda ek bileşenler
			Klinker	Yüksek Fırın Cürufu	Silis dumanı	Puzolan		Duman külü		Yanmış şeyl	Kireçtaşı		
						Doğal	Doğal Kalsine	Silisli	Kalkerli				
			K	S	D ⁽²⁾	P	Q	V	W	T	L ⁽³⁾	LL ⁽⁴⁾	
CEM I	Portland çimento	CEM I	95 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
CEM II	Portland - cüruf çimentosu	CEM II/A-S	80 – 95	6 – 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-S	65 – 79	21 – 35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
	Portland - silis dumanı çimento	CEM II/A-D	90 – 94	-	6 – 10	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
	Portland – puzolan çimentosu	CEM II/A-P	80 – 94	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-P	65 – 79	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/A-Q	80 – 94	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-Q	65 – 79	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	0 – 5
	Portland - duman külü çimentosu	CEM II/A-V	80 – 94	-	-	-		6 – 20	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-V	65 – 79	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/A-W	80 – 94	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-W	65 – 79	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	0 – 5
	Portland - yanmış şeyl	CEM II/A-T	80 – 94	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	0 – 5
		CEM II/B-T	65 – 79	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	0 – 5
	Portland - kireçtaşı çimentosu	CEM II/A-L	80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	0 – 5
		CEM II/B-L	65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	0 – 5

Ana türler	27 ürünün işaretleri (genel çimento türleri)	Kompozisyon (kütlece yüzde olarak ⁽¹⁾)											
		Ana bileşenler										Küçük miktarda ek bileşenler	
		Klinker	Yüksek Fırın Cürufu	Silis dumanı	Puzolan		Duman külü		Yanmış şeyl	Kireçtaşı			
					Doğal	Doğal Kalsine	Silisli	Kalkerli					
		K	S	D ⁽²⁾	P	Q	V	W	T	L ⁽³⁾	LL ⁽⁴⁾		
	CEM II/A-LL	80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	0 – 5	
	CEM II/B-LL	65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	0 – 5	
	Portland – kompozit çimento	CEM II/A-M	80 – 94	6 – 20								0 – 5	
		CEM II/B-M	65 – 79	21 – 35								0 – 5	
CEM III	Yüksek fırın cürufu	CEM III/A	35 – 64	36 – 65	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM III/B	20 – 34	66 – 80	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM III/C	5 – 19	81 – 95	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
CEM IV	Puzolanik çimento ⁽⁵⁾	CEM IV/A	65 – 89	-	11 – 35					-	-	-	0 – 5
		CEM IV/B	45 – 64	-	36 – 55					-	-	-	0 – 5
CEM V	Kompozit çimento ⁽⁵⁾	CEM V/A	40 – 64	18 – 30	-	18 – 30			-	-	-	-	0 – 5
		CEM V/B	20 – 38	31 – 50	-	31 – 50			-	-	-	-	0 – 5

(1) Bu tablodaki değerler, büyük ve küçük miktardaki ek bileşenlerin toplamını ifade eder.

(2) Silis dumanlarının oranı %10 ile sınırlıdır.

(3) % 0,50 TOK'a kadar kireçtaşı

(4) % 0,20 TOK'a kadar kireçtaşı

(5) Portland - kompozit çimentolar CEM II/A-M ve CEM II/B-M, puzolanlı çimentolar CEM IV/A ve CEM IV/B, kompozit çimentolar CEM V/A ve CEM V/B’de klinker dışındaki ana bileşenler çimentonun işareti ile belirtilecektir

Kaynak: [149, CEN/EN 197-1, 2000]

Tablo 1.5: Gri çimentonun kimyasal bileşimi

	IUPAC nomenklatürü ⁽¹⁾	CAS numarası	EC numarası	Mol. formülü Hill yöntemi	Mol. ağırlığı	Tipik derişim (ağırlıkça %)	Derişim aralığı (% a/a)
Bileşim bilgileri – Ana bileşenler							
A	Trikalsiyum silikat	12 168-85-3	235-336-9	3CaO•SiO ₂	228	65	40 – 80
B	Dikalsiyum silikat	10 034-77-2	233-107-8	2CaO•SiO ₂	172	15	10 – 50
C	Trikalsiyum alüminat	12 042-78-3	234-932-6	3CaO•Al ₂ O ₃	270	10	0 – 15
D	Tetrakalsiyum alüminoferrit	12 068-35-8	235-094-4	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	486	10	0 – 20
Bileşim bilgileri – Safsızlıklar ve katkı maddeleri							
E ⁽²⁾	Kalsiyum oksit	1 305-78-8	215-138-9	CaO		1	0 – 3
F	Magnezyum oksit	1 309-48-4	215-171-9	MgO		2	0 – 5
G	Dipotasyum sülfat	10 233-01-9	233-558-0	K ₂ SO ₄		1	0 – 2
H	Disodyum sülfat	7 757-82-6	231-820-9	Na ₂ SO ₄		0,5	0 – 1
Belirtilmemiş safsızlıkların sayısı:				<1 % a/a			
Belirtilmemiş safsızlıkların toplam derişimi:							
Katkı maddeleri				Mevcut değil			
(1) Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği nomenklatürü.							
(2) Kalsiyum oksit serbest biçimde “serbest kireç” olarak bulunur. CaO ayrıca dört ana safha olan A-B-C-D’ye bağlı olarak bulunur							
Not: Portland çimento klinkeri içeren çimentolar su ile reaksiyona girdiklerinde eser halde çözünür kromatı açığa çıkarabilirler. Zararlı dermatolojik etkilerin önlenmesine ilişkin tedbirler, 91/414/AET sayılı Konsey Direktifini aktif madde olarak klorotalonil, klorotoluron, sipermetrin, daminozit ve tiofanat-metil içerecek şekilde tadil eden 16 Eylül 2005 tarih ve 2005/53/AK sayılı Konsey Direktifinde belirtilmiştir.							
Kaynak: [103, CEMBUREAU, 2006]							

Gri Portland çimentosunun yanı sıra, beyaz çimento gibi farklı özelliklerde çimentolar da üretilmektedir. Renk dışında bu tip çimento gri çimento ile aynı özelliklere sahiptir. Beyaz çimento üretiminde, bu özel çimento türünün rengi üzerinde olumsuz etki yapmayacak malzemeler kullanılır. Amerika ve Avrupa piyasalarında bulunan beyaz çimentoya karşılık gelen bazı parametrelerin örnekleri Tablo 1.6’da gösterilmiştir. Beyazlığa olan yerel talep bu parametreleri etkileyecektir. Ayrıca, gri çimentonun renk aralığıyla ilgili olarak Fe₂O₃ içeriğinde büyük farklılık görülmektedir.

Tablo 1.6: Beyaz çimento klinkerinin kimyasal bileşimlerine örnekler

Özellikler		Beyaz Çimento
Kimyasal bileşim (%)	SO ₂	22,5 – 23,8
	Al ₂ O ₃	2,3 – 6,2
	Fe ₂ O ₃	0,19 – 0,4
	CaO	66,3 – 68,0
	MgO	0,48 – 1,0
	SO ₃	0,65 – 2,8
	F	0,24 – 0,85
	K ₂ O	0,12 – 0,14
Yakma sırasında kayıp (%)		0,50 – 1,7
Na ₂ O		0,17
Potansiyel bileşik bileşimi (%)	C ₃ S (3 CaO SiO ₂)	69,89-
	C ₂ S (2 CaO SiO ₂)	19
	C ₃ A (3 CaO Al ₂ O ₃)	8,08-
	C ₄ AF (4 CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃)	1
Blaine inceliği (m ² /kg)		464
Kaynak: [103, Cembureau, 2006], [118, Almanya, 2007], [119, Sobolev, 2001]		

1. Bölüm

Bu tür çimentoda en önemli özelliklerinden biri beyazlıktır. Bu tür çimentonun beyazlığı için değişik ulusal standartlar uyarınca farklı spesifikasyonlar kullanılmaktadır [118, Almanya, 2007], [119, Sobolev, 2001].

Çimento endüstrisi enerji yoğun bir endüstri olup, enerji genelde, sermaye maliyetleri hariç ancak elektrik maliyetleri dahil olmak üzere üretim maliyetlerinin yaklaşık %40'ını oluşturur. Kullanılan birincil katı fosil yakıt geleneksel olarak kömürdür. Petrokok, linyit, doğal gaz ve fuel oil (ağır, orta ve hafif fuel oil) gibi çok çeşitli türde diğer katı, sıvı veya gaz halinde fosil yakıtlar da kullanılmaktadır. Bu geleneksel fosil yakıtlara ilaveten çimento sanayinde 15 yılı aşan bir süredir büyük miktarlarda atık yakıtlar veya biyokütle yakıtlar kullanılmaktadır.

Tablo 1.7: AB-27’de çimento sanayiinde üretilen ısınn yüzdesi olarak ifade edilen yakıt tüketimi

Yakıt türü	Biri m	2006
Kömür (fosil)	%	18,7
Petkok ve kömür (fosil) ⁽¹⁾	%	15,9
HVFO ⁽²⁾ dahil fuel oil	%	3,1
Linyit ve diğer katı yakıtlar (fosil)	%	4,8
Doğal gaz (fosil)	%	1,0
Yakıt atıklar	%	17,9
Not: Kapsam dışı: IE, CY, LT, SL NB: Tahmini: IT, PT, SE (1) AB-23+ üyeleri tarafından rapor edilmiştir. (2) HVFO = yüksek viskoziteli fuel oil. Kaynak: [72, CEMBUREAU, 2006-2008], [168, TÇG CLM, 2007]		

En büyük endişeye yol açan ve ilgilenilmesi gereken çimento tesisi emisyonları azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve tozdur. Dikkate alınması gereken diğer emisyonlar uçucu organik bileşikler (UOB’ler), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD’ler) ve dibenzofuranlar (PCDF’ler) ile hidrojen klorürdür (HCl). Ayrıca özel durumlarda karbon oksitleri (CO, CO₂), hidrojen florür (HF), amonyak (NH₃), benzen, tolüen, etil benzen ve ksilen (BTEX), poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), metaller ve bileşenleri, gürültü ve koku emisyonlarının da göz önüne alınması gerekebilir.

Genelleşmiş hammaddeler ve yakıtlar, uygun atık ve/veya biyokütle ile değiştirilir ve çimento üretim sürecinde kullanılır.

Çimento sanayii aynı zamanda sermaye yoğun bir sanayidir. Yeni bir çimento fabrikasının maliyeti yaklaşık 3 yıllık ciroya eşittir ve bu durum çimento sanayinin sermaye-yoğunluğu en yüksek olan sanayiler arasında yer almasını sağlamıştır. Çimento sanayinin karlılığı ciroya oranla %10 civarındadır (faiz geri ödemesinden önce vergi öncesi kar bazında).

1.2 Çimento üretiminde uygulanan proses ve teknikler

Çimento üretim sürecinin temel kimyası kalsiyum karbonatın (CaCO_3) 900 °C civarında ayrışması ile başlar. Kalsinasyon prosesi olarak bilinen bu işlem sırasında kalsiyum oksit (CaO , kireç) oluşur ve gaz halindeki karbondioksit (CO_2) açığa çıkar. Bunu izleyen klinkerleşme prosesi esnasında kalsiyum oksit yüksek sıcaklıkta (genelde 1400-1500 °C) silis, alumina ve demir oksit ile reaksiyona girerek klinkeri oluşturan silikatları, aluminatları ve kalsiyum ferritlerini meydana getirir. Son aşamada klinker çimentoyu oluşturmak üzere alçı taşı ve diğer katkı maddeleri ile birlikte öğütülür veya değirmenden geçirilir.

Çimento üretiminde kullanılan kuru, yarı kuru, yarı yaş ve yaş olmak üzere dört ana işleme güzergahı vardır:

- ☐ Hammaddelerin öğütüldüğü ve akıcı toz halinde farin oluşturmak üzere kurutulduğu kuru işleme. Kuru farin ön ısıtıcı ya da ön kalsinatör fırınına veya daha nadiren uzun kuru fırına beslenir.
- ☐ Yarı kuru işlemede farin su ile pelet haline getirilir ve fırından önce ızgaralı ön ısıtıcıya veya ist avroz ile donatılmış uzun fırına beslenir.
- ☐ Yarı yaş işlemede, çimento harcı ilk olarak filtre preslerde susuzlaştırılır. Filtre pastası pelet haline getirilerek farin üretimi için ızgaralı ön ısıtıcıya veya doğrudan filtre pastası kurutucusuna beslenir.
- ☐ Yaş işlemede, hammaddeler (genellikle yüksek nem içerikli) pompalanabilir çimento harcı oluşturmak üzere suda öğütülür. Çimento harcı doğrudan fırına veya önce bir çimento harcı kurutucusuna beslenir.

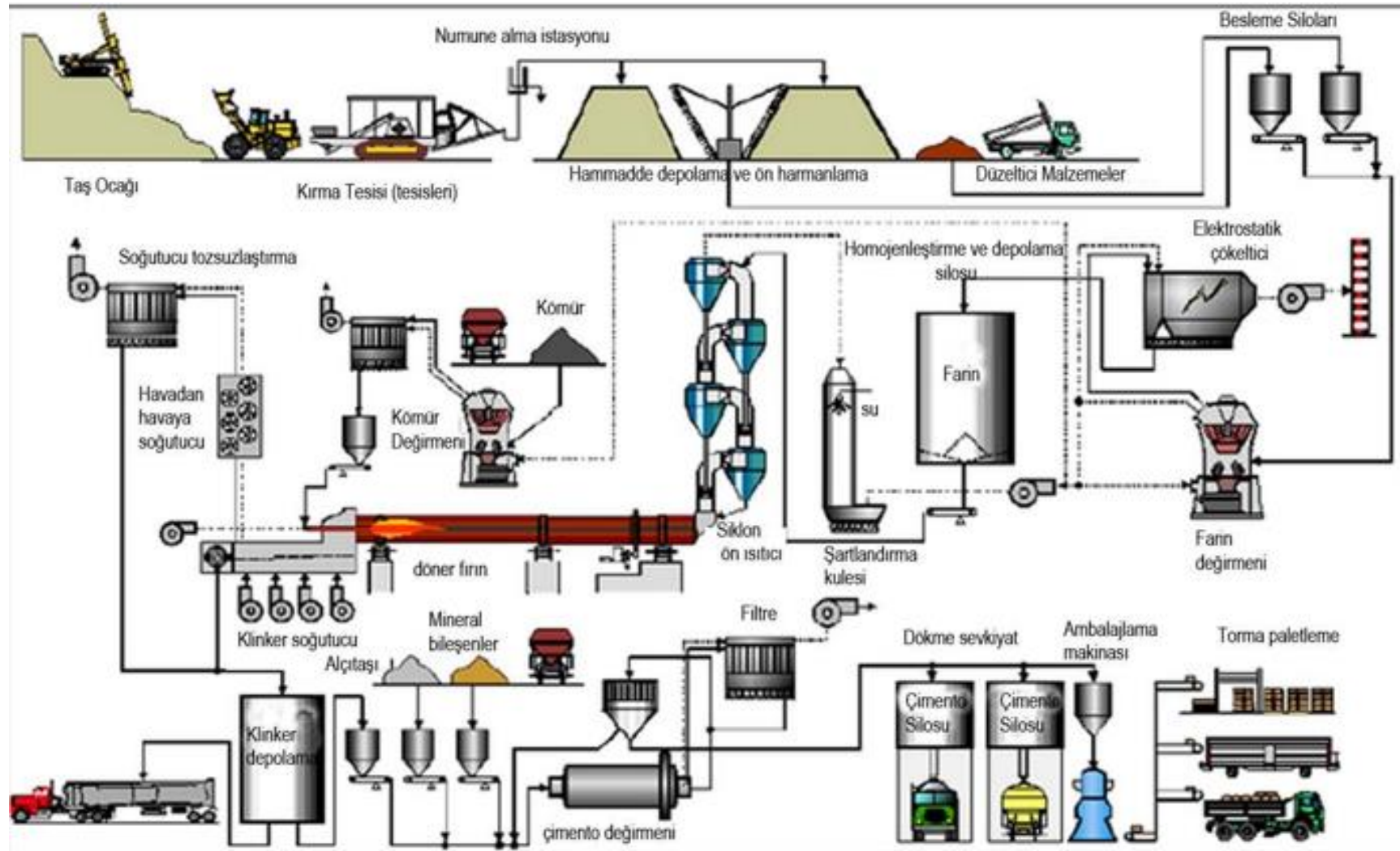
Proses seçimi, büyük ölçüde hammaddelerin durumuna göre (kuru veya yaş) yapılır. Dünya klinker üretiminin büyük bir bölümü halen yaş proseslere dayalıdır. Ancak, Avrupa’da üretimin %90’dan fazlası kuru hammaddelerin mevcut olması nedeniyle kuru proseslere dayalıdır. Yaş prosesler daha fazla enerji tüketir ve dolayısıyla daha pahalıdır. Yarı-kuru proses kullanan tesislerin genişleme veya büyük çapta bir yenileme gerektiğinde kuru tekniklere geçiş yapmaları muhtemeldir. Danimarka ve Belçika’da ve bir noktaya kadar İngiltere’de gözlendiği üzere yaş veya yarı-yaş proses kullanan tesisler sadece nemli hammaddelere erişebilmektedir.

Tüm süreçler aşağıdaki ortak alt süreçlere sahiptir:

- ☐ hammaddeler – depolama ve hazırlama
- ☐ yakıtlar – depolama ve hazırlama
- ☐ atıkların hammadde ve/veya yakıt olarak kullanımı – kalite gereksinimleri, kontrol ve hazırlama
- ☐ fırın sistemleri – fırın yakma süreçleri ve emisyon azaltma teknikleri
- ☐ ürünler – depolama ve hazırlama
- ☐ paketleme ve sevkiyat.

Beyaz çimento üretim süreci, gri Portland çimentosu üretimine benzer. Süreç aşamaları boyunca kirliliği ve üründe istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesini önlemek için hassas kontrol altında tutulan koşullar altında olmak üzere, hammaddelerin seçimi, depolanması ve hazırlanması, yakıt depolama ve hazırlama, klinkerin bir fırın sisteminde pişirilmesi, beyazlatma/ soğutma ve öğütme süreç kapsamında yer alır. Ancak ana teknolojik ayırım soğutma ve beyazlatmanın kombinasyonudur. Bu özel tür çimentonun beyazlığını arttırmak ve tekdüze bir renk sağlamak için bu aşamalar gereklidir ve kullanılmaktadır.

Bir çimento tesisinin tipik proses akış şeması Şekil 1.4’te gösterilmiştir.



Kaynak: [103, CEMBUREAU, 2006]

Şekil 1.4: Örnek çimento üretim sürecine genel bakış

1.2.1 Hammaddeler ve çıkarımları

Kireçtaşı, marn veya tebeşir gibi doğal olarak oluşan kireçli tortular kalsiyum karbonatın kaynağını oluşturur. Silis, demir oksit ve alumina ise kum, şist, kil ve demir cevheri gibi çeşitli cevherlerde ve minerallerde bulunur.

Hemen hemen tüm doğal hammaddelerin kazanılması için madencilik ve taş ocakçılığı faaliyetleri gereklidir. Malzemeler çoğunlukla açık taş ocaklarından elde edilir. Buna ilişkin faaliyetler genellikle kayaç sondajı, patlatma, hafriyat, taşıma ve kırma içerir. Madencilik/taş ocakçılığı ile ilgili yararlı bilgiler Madencilik Faaliyetlerinde Maden Atıkları ve Atık-Kayaç Yönetimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [47, Avrupa Komisyonu, 2004].

Kireçtaşı, tebeşir, marn ve şist veya kil gibi ana hammaddeler ocaklardan çıkartılır. Taş ocağı çoğu zaman tesise yakındır. Hammaddeler ön kırma işleminden sonra depolanmak ve takip eden hazırlama işlemleri için çimento tesisine taşınır. Boksit, demir cevheri, yüksek fırın cürufu veya döküm kumu gibi diğer hammaddeler başka yerlerden temin edilir.

Hammaddeler, üretim prosesini ve klinker kalitesini etkileyebileceklerinden, klinker pişirme prosesi için gerekli olan özellikler, kimyasal elementler ve bileşimlere sahip olmalı ve bunları karşılamalıdır. Çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin ve çimento farinlerinin kimyasal analizlerden elde edilen aralıkları ve özellik örnekleri Tablo 1.8'de gösterilmiştir. Ana bileşenler dışında bu hammaddeler Tablo 1.9'da listelenmiş olan metallerin bazılarını da içermektedir.

Tablo 1.8: Çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin ve çimento farininin kimyasal analizleri

Bileşenler	Kireçtaşı, kireç, marn, tebeşir	Kil	Kum	PFA ⁽¹⁾	Fe kaynağı	Farin
	(% kütle)					
SiO ₂	0,5 – 50	33 – 78	80 – 99	40 – 60	0,5 – 30	12 – 16
Al ₂ O ₃	0,1 – 20	7 – 30	0,5 – 7	20 – 30	0,2 – 4	2 – 5
Fe ₂ O ₃	0,2 – 5,9	4,0 – 15	0,0 – 4	5 – 15	50 – 93	1,5 – 2,5
Mn ₂ O ₃	0,02 – 0,15	0,090-	0,051	0,127	0,1 – 4	0,0 – 0,5
Fe ₂ O ₃ ve Mn ₂ O ₃	0,1 – 10	2 – 15	0,5 – 2		19 – 95	≤ 2
CaO	20 – 55	0,2 – 25	0,1 – 3	2 – 10	0,1 – 34	40 – 45
MgO	0,2 – 6	0,3 – 5	0,3 – 0,5	1,0 – 3	0,5 – 7	0,3 – 5
K ₂ O	0 – 3,5	0,4 – 5	0,2 – 3	1 – 5	0,1 – 1	0,1 – 1,5
Na ₂ O	0,0 – 1,5	0,1 – 1,5	0,0 – 1	0,2 – 1,5	0,1 – 1	0,1 – 0,5
SO ₃ ⁽²⁾	0,0 – 0,7	0,0 – 4	0,0 – 0,5	0,0 – 1	0 – 3	0 – 1,5
Cl	0,0 – 0,6	0,0 – 1	Eser miktar a		0,0 – 0,5	0,0 – 0,3
TiO ₂	0,0 – 0,7	0,2 – 1,8	0,0 – 0,5	0,5 – 1,5	0,0 – 3	0,0 – 0,5
P ₂ O ₅	0,0 – 0,8	0,0 – 1,0	0,0 – 0,1	0,5 – 1,5	0,0 – 1	0,0 – 0,8
ZrO ₂		0,02				
CaCO ₃	96					
Yakma sırasında kayıp (CO ₂ + H ₂ O), LOI 950 ⁽³⁾	2 – 44	1 – 20	≤ 5	6,74	0,1 – 30	32 – 36
(1) Ögütülmüş duman külü. (2) SO ₂ olarak ifade edilen toplam kükürt içeriği. (3) LOI 950 = yakma sırasında kayıp. Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [81, Castle Cement UK, 2006], [90, Macaristan, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]						

Tablo 1.9: Hammadde ve farinin içindeki metaller

Elementler		Kil ve arjilit	Kireçtaşı, marn ve tebeşir	Farin
		mg/kg DS ⁽¹⁾		
Antimon	Sb	Mevcut veri yoktur	1 – 3	< 3
Arsenik	As	13 – 23	0,2 – 20	1 – 20
Berilyum	Be	2 – 4	0,05 – 2	0,1 – 2,5
Kurşun	Pb	10 – 40	0,3 – 21	4 – 25
Kadmiyum	Cd	0,02 – 0,3	0,04 – 0,7	0,04 – 1
Krom	Cr	20 – 109	1,2 – 21	10 – 40
Kobalt	Co	10 – 20	0,5 – 5	3 – 10
Bakır	Cu	Mevcut veri yoktur	3 – 12	6 – 60
Manganez	Mn	Mevcut veri yoktur	< 250	100 – 360
Nikel	Ni	11 – 70	1,5 – 21	10 – 35
Cıva	Hg	0,02 – 0,15	0,01 – 0,13	0,01 – 0,5
Selenyum	Se	Mevcut veri yoktur	1 – 10	< 10
Tellür	Te	Mevcut veri yoktur	< 4	< 4
Talyum	Tl	0,7 – 1,6	0,05 – 1,6	0,11 – 3
Vanadyum	V	98 – 170	4 – 80	20 – 102
Kalay	Sn	Mevcut veri yoktur	1 – 5	< 10
Çinko	Zn	59 – 115	10 – 40	20 – 47
⁽¹⁾ DS: kuru madde. Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003]				

Genelleşmiş hammaddelerin yerine atıklar da kullanılabilir. Atıkların hammadde olarak kullanımı ile ilgili olarak Bölüm 1.2.4.2'ye göz atın.

Beyaz çimento üretimi için Si, Ca ve Al kaynaklarının saflığı gibi oldukça saf hammaddelerin mevcudiyeti esastır. Yüksek saflığa sahip kireçtaşı, beyaz kil çeşitleri, kaolin, kuvars, kum, feldspat, diyatumlu toprak gibi hammaddeler demir ve manganez benzeri metal içerikleri düşük olanlardan seçilir. Metal oksitler ürünün beyazlığını etkileyen ve belirleyici olan faktörlerden biridir. Üstün nitelikli beyaz çimento üretimi için hammaddelerin kimyasal bileşimleri son derece önemlidir ve bunun örnekleri Tablo 1.10'da gösterilmiştir. Ancak, bu bileşenlerin oranları aynı zamanda pişirme prosesinin gereksinimlerini de karşılamalıdır. Yanabilirliği iyileştirmek için bazen mineralleştiriciler kullanılır. Bilinen ve kullanılan mineralleştiriciler florürler (genelde CaF₂) gibi eritkenlerdir [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007].

Tablo 1.10: Beyaz çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin kimyasal bileşim örnekleri

Hammaddeler	Hammaddelerdeki kimyasal bileşenler (%)						
	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃
Kireçtaşı	< 0,15	< 0,015					
Kil	X 1,0	Eser miktarda	65 – 80	< 0,8			
Kaolin (suitable)	0,4 – 1,0	0	70 – 73	0 – 0,80	18 – 20		
Kuvars kumu (saf)	X 0,2		< 96				
Diğerleri ⁽¹⁾	< 0,5	< 3,0		< 0,2		< 30 ppm	< 0,05
⁽¹⁾ İtalya Kaynak: [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007], [138, İtalya, 2007]							

1.2.2 Hammaddeler – depolama ve hazırlama

Hammaddelerin hazırlanması, hammaddelerin kimyasal yapısının doğru olması ve beslenen hammaddelerin yeterince ince olması açısından takip eden fırın sistemi için büyük önem taşır.

1.2.2.1 Hammaddelerin depolanması

Kapalı depo kullanma ihtiyacı iklim koşullarına ve kırma tesisinden çıkan hammaddeler içindeki ince tanelerin miktarına bağlıdır. 3000 ton/gün kapasiteli tesislerde bu tür yapılar 20,000 ila 40,000 ton arasında malzemeyi muhafaza edebilir. Kapalı bir hammadde deposu örneği Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Kaynak: [81, Castle Cement UK, 2006]

Şekil 1.5: Hammadde kapalı depolama örneği

Bir fırın sistemine beslenen hammaddenin kimyasal açıdan mümkün olduğunca homojen olması gereklidir. Bu durum hammadde öğütme tesisine yapılan beslemeyi kontrol etmek suretiyle sağlanır. Taşocağından çıkan malzemelerin kalitesi değişken olduğu takdirde, malzemeleri deponun uzunluğu boyunca (veya çevresi boyunca) sıralar veya tabakalar halinde yığmak ve yığınlar boyunca kesitler olarak çıkartmak suretiyle ilk ön karıştırma elde edilebilir. Taşocağından çıkan malzeme yeterince homojen olduğu takdirde daha basit istifleme ve geri kazanma sistemleri kullanılabilir.

Nispeten daha az miktarlarda kullanılan hammaddeler, örneğin mineral katkı maddeleri alternatif olarak silolarda veya bunkerlerde depolanabilir. Potansiyel olarak toplum sağlığına ve çevreye zararlı özelliklere sahip hammaddeler kendilerine özgü belirli koşullar altında depolanmalı ve hazırlanmalıdır.

1.2.2.2 Hammaddelerin öğütülmesi

Değirmene beslenecek olan bileşenlerin ağırlık bakımından doğru bir şekilde ölçülüp oranlanması tutarlı kimyasal bileşimin elde edilmesi açısından önemlidir. Bu, fırının istikrarlı olarak çalışmasını sağlamak ve yüksek ürün kalitesi elde etmek için gereklidir. Ölçme ve oranlama öğütme sisteminin enerji verimliliği açısından da önemli faktörlerdir. Hammaddenin değirmenlere beslenmesi için ağırlıklı olarak kullanılan ölçüm ve oranlama teçhizatı zincirli besleyici ve bunu izleyen tartılı bantlı besleyicidir.

Beyaz çimento üretiminin öğütme işlemleri sırasında, renk verebilen değişik parçaların veya küçük metal miktarlarının araya karışmasını önlemek için dikkat gösterilmelidir. Ayrıca, öğütme ortamı ve değirmen astarlarının seçimi ham karışımın demir tarafından kirletilmesini önlemek açısından önemlidir. Teçhizatın önemli bölümlerinde özel çelik veya seramik malzemeler kullanılır. Beyazlığı arttırmak için hammaddenin rutubet kontrolü yapılır ve piyasada satılan yardımcı öğütme malzemelerinden farklı olabilecek olan ivmelendirici/yüzey etkin katkıları kullanmak suretiyle öğütme süresi azaltılır [120, İspanya, 2007]. Bazı durumlarda, özellikle pişirme için akışkan yataklı çimento fırını kullanıldığında, ham karışım hazırlığının son aşamasında granül haline getirme teçhizatı kullanılması tavsiye edilmektedir [119, Sobolev, 2001].

1.2.2.2.1 Hammaddelerin öğütülmesi – kuru ve yarı kuru fırın sistemleri

Kontrollü şekilde oranlanan hammaddeler öğütülür ve gerekli kimyasal bileşime sahip homojen bir karışım meydana gelene kadar karıştırılır. Kuru ve yarı kuru fırın sistemlerinde, hammadde bileşenleri öğütülür ve ince bir toz halinde kurutulur; esas olarak fırın dışı atım gazlarından ve/veya soğutucu dışı atım havasından yararlanılır. Nispeten daha yüksek nem içeren hammaddeler için ve çalıştırma işlemleri sırasında ilave ısı sağlamak amacıyla bir yardımcı fırına gerek duyulabilir.

Kullanılan tipik kuru öğütme sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ boru değirmen, merkezden boşaltmalı
- ☐ boru değirmen, hava süpürmeli
- ☐ dikey valsli değirmen
- ☐ yatay valsli değirmen (sadece birkaç tesiste işletimde)

Diğer öğütme sistemleri daha az kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ boru değirmen, kapalı devrede çıkıştan boşaltma
- ☐ otojen değirmen
- ☐ konkasörlü (kurutucu) veya konkasörsüz valsli pres

Ham öğütme sisteminden çıkan bir ürünün inceliği ve partikül büyüklüğü dağılımı takip eden pişirme prosesi için son derece önemlidir. Bu parametrelerle ilgili olarak verilen hedefe, öğütme değirmeninden çıkan ürünün sınıflandırılmasında kullanılan ayırıcıyı ayarlamak suretiyle ulaşılır. Kuru sınıflandırma için hava ayırıcıları kullanılır. En yeni nesil olan rotorlu kafes tipi ayırıcılar, çeşitli avantajlara sahiptir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ öğütme sisteminin daha düşük özgül enerji tüketimi (daha az aşırı öğütme)
- ☐ artan sistem iş hacmi (partikül ayırma verimliliği)
- ☐ daha uygun parçacık boyutu dağılımı ve ürün tekdüzeliği.

1.2.2.2.2 Hammaddelerin öğütülmesi – yaş ve yarı yaş fırın sistemleri

Yaş öğütme sadece yaş veya yarı yaş fırın sistemleri ile birlikte kullanılır. Hammadde bileşenleri çimento harcı oluşturacak şekilde su ilave edilerek öğütülür. Gerekli çimento harcı inceliğini elde etmek ve modern kalite taleplerine uyum sağlamak için birinci tercih olarak kapalı devre öğütme sistemleri kullanılmalıdır.

Normalde yaş proses kullanımı nem içeriği ağırlığına oranla %20'den fazla olan hammaddeler için tercih edilir. Yapışkan ve doğası gereği nem içeriği yüksek olan tebeşir, marn veya kil gibi hammaddeler yumuşaktır ve bunlar hazırlığın ilk aşaması olarak yıkama değirmeninde öğütülebilir. Su ve kırılmış malzeme yıkama değirmenine beslenir ve döner tırmıkların oluşturduğu kesme ve çarpma kuvvetiyle çimento harcına dönüşür. Yeterince ince olduğunda malzeme yıkama değirmeninin duvarındaki eleklerden geçer ve depoya pompalanır.

Özellikle kum gibi ilave bir hammadde eklenmesi gerektiğinde arzu edilen çimento harcı inceliğini elde etmek için genellikle bir boru değirmende ilave öğütme yapmak gereklidir. Fırının yakıt tüketimini azaltmak amacıyla ham maddenin öğütülmesi sırasında ilave edilen su miktarı, gerekli çimento harcı akışkanlık ve pompalanabilirlik özelliklerini (% 32 - 40 ağırlık/ağırlık esasına göre (a/a) su) elde etmek için ihtiyaç duyulan asgari ölçüde olacak şekilde kontrol edilir. Kimyasal katkı maddeleri, su içeriğinin azaltılmasına izin vererek, çimento harcı inceltici olarak işlev görebilir.

1.2.2.2.3 Farin veya harç homojenleştirme ve depolama

Ham öğütme prosesinden çıkan farin veya çimento harcının herhangi bir fırın sistemine beslenmeden önce ham karışımın optimum kıvamını elde etmek üzere tekrar karıştırılması/homojenleştirilmesi gereklidir. Farin homojenleştirilerek silolarda, ham çimento harcı ise tanklarda veya silolarda depolanır.

Farini depolama silolarına taşımak için pnömatik ve mekanik konveyör sistemleri kullanılır. Mekanik konveyörler normalde daha büyük bir yatırım maliyeti gerektirir ancak işletme maliyetleri pnömatik taşıma sistemlerine nazaran çok daha düşüktür. Bantlı kovalı asansör ile bir arada kullanılan hava sürgülü veya vidalı/zincirli konveyörler en yaygın kullanılan taşıma sistemidir.

1.2.3 Yakıtlar – depolama ve hazırlama

Proses için gerekli olan ısıyı ve enerjiyi sağlamak için çeşitli yakıt türleri (konvansiyonel ve atık) kullanılabilir. Çimento fırınına yakmak için farklı genelleşmiş yakıt türleri kullanılır, bunlar;

- ☐ katı yakıtlar, örneğin; kömür, petrokok ve linyit ve bazı durumlarda bitümlü şist
- ☐ sıvı yakıtlar, örneğin; yüksek viskoziteli fuel oil (HVFO)
- ☐ gaz halinde yakıtlar, örneğin: doğal gazdır.

Bu yakıtların ana kül bileşenleri silis ve alümin bileşiklerdir. Ayrıca, küller eser miktarda metal de içerebilir. Bunlar hammaddelerle birleşmek suretiyle klinkerin parçası haline gelirler. Hammadde oranının hesaplanmasında, gerçekleşecek bu durum göz önüne alınmalı ve bu nedenle mutlaka düşük olmamakla birlikte tutarlı kül içeriğine sahip yakıtın kullanılması tercih edilmelidir. Almanya’da kullanılan kömürün içinde bulunan metallerin kimyasal analiz örnekleri Tablo 1.11’de gösterilmiştir.

Tablo 1.11: Kömürdeki metallerin kimyasal analizleri

Elementler		Taşkömürü / linyit kömürü mg/kg DS ⁽¹⁾
Antimon	Sb	0,4 – 2
Arsenik	As	1 – 50
Berilyum	Be	0,1 – 3,3
Kurşun	Pb	1,5 – 273
Kadmiyum	Cd	0,1 – 10
Krom	Cr	1,5 – 81
Kobalt	Co	< 1 – 40
Bakır	Cu	1 – 100
Manganez	Mn	82 – 250
Nikel	Ni	< 1 – 100
Civa	Hg	0,1 – 3,3
Selenyum	Se	0,6 – 2
Tellür	Te	0,2 – 1
Talyum	Tl	0,1 – 5,5
Vanadyum	V	1 – 200
Kalay	Sn	0,8 – 2,3
Çinko	Zn	6 – 220
⁽¹⁾ DS: kuru madde Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003]		

Avrupa çimento sanayinde kullanılan ana fosil yakıtlar petrokok ve kömürdür. Maliyetler normalde doğal gaz veya petrol kullanımını imkansız hale getirir, ancak yakıtların seçimi yerel koşullara (örneğin yerli üretim kömürün mevcut olup olmaması gibi) bağlıdır. Ancak, fırın sistemindeki yüksek sıcaklıklar ve uzun kalma süreleri organik maddelerin yok olmaları için önemli bir potansiyel oluşturur (bkz. Bölüm 1.2.4.1). Bu durum, daha ucuz olan pek çok çeşit yakıtın ve özellikle farklı atık türlerinin tercih edilmesini mümkün hale getirir. Atıkların kullanımı son birkaç yıldır artış göstermektedir (bkz. Bölüm 1.2.4).

Isı kayıplarını asgari seviyede tutabilmek amacıyla çimento fırınları makul olan en düşük oksijen fazlalığı düzeylerinde çalıştırılır. Bu durum kolay ve tam yanma sağlayacak şekilde çok düzenli ve güvenilir yakıt ölçümünü ve yakıt beslemesini gerektirir. Bu koşullar, tüm sıvı ve gaz halindeki yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Pulverize katı yakıtlar açısından bu koşulları sağlamak amacıyla iyi bir bunker, konveyör ve besleyici tasarımı yapılması gereklidir. Ana yakıt girdisi (%65-85) genelde kolaylıkla yanabilen yakıttan meydana gelirken, kalan % 15-35'in beslenmesi kaba kırma veya dökme halinde yapılabilir.

Beyaz çimento üretimi için yakıt seçiminde, klinkerin içine karışarak beyaz çimentonun istenen renginden sapmaya neden olabilecek yakıt külü elementlerinin varlığından kaçınmak üzere çok dikkatli olunmalıdır. Seçilmiş yakıt atıklar 2007 yılında beyaz çimento üretimi için sınırlı ölçüde kullanılmıştır.

1.2.3.1 Genelleşmiş yakıtların depolanması

Tüvenan kömür ve petrokok ham maddelere benzer şekilde, yani çoğu zaman kapalı ambarlarda depolanır. Açık havada büyük ve sıkıştırılmış yığınlar halinde yapılan depolama ise uzun vadeli stoklar için kullanılır. Yağmur suyu ve rüzgar erozyonunu önlemek için bu tür stok yığınlarının üzerine çim tohumları ekilebilir. Açık hava depolamadan kaynaklanan toprağa sızıntı bir sorun olarak kendini göstermiştir. Bununla birlikte stok yığınlarının altına döşenen yalıtımlı beton zeminler sızan suyun toplanarak temizlenmesini mümkün kılar. Nispeten yüksek uçucu madde içeriği olan kömürün depolanmasında, uzun vadeli depolamada kendiliğinden tutuşma riskini önlemek amacıyla sıkıştırma ve stok yığınların yüksekliği açısından normal iyi uygulamaların yerine getirilmesi gereklidir.

Pulverize kömür ve petrokok sadece silolarda depolanır. Güvenlik nedeniyle (için için yanan ateş ve statik elektrik kıvılcımları tarafından tetiklenen patlama tehlikesi) bu silolar kütle akışı özütlemesi türünden olmalı ve standart güvenlik teçhizatı ile donatılmalıdır.

Fuel oil dikey çelik tanklarda depolanır. Bunlardan bazıları yakıtı pompalanabilir sıcaklıkta (50-60°C) muhafaza etmek amacıyla yalıtılırlar. Bunlar ayrıca yakıtı lokal olarak doğru sıcaklıkta muhafaza etmek için ısıtılabilir emme noktaları ile donatılabilir.

Doğal gaz çimento fabrikasında depolanmaz. Uluslararası yüksek basınçlı gaz dağıtım şebekesi aynı zamanda gaz depolama tesisi görevi görür.

1.2.3.2 Genelleşmiş yakıtların hazırlanması

Genelleşmiş katı yakıtların hazırlanması (kırma, öğütme ve kurutma) genellikle yerinde yapılır. Kömür ve petrokok, hammadde öğütme tesislerinde kullanılan teçhizata benzer teçhizat kullanılmak suretiyle öğütme tesislerinde farin inceliğinde olacak şekilde pulverize hale getirilir. Pulverize yakıtın inceliği önemlidir. Çok ince olduğu takdirde alev sıcaklıkları aşırı derecede yüksek olabilirken, çok kaba olduğu takdirde yanma zayıf olabilir. Düşük uçuculuğu olan veya uçucu madde içeriği düşük olan katı yakıtların daha ince öğütülmeleri gerekir. Kurutma için fırından veya soğutucudan yeterince sıcak hava temin edilemediği takdirde yedek fırına ihtiyaç duyulabilir. Teçhizatı yangına ve patlamalara karşı korumak için bunlara bazı özel aksamaların eklenmesi gerekebilir.

Üç değişik kömür öğütme sistemi çeşidi kullanılmaktadır:

- ☐ boru değirmen, hava süpürmeli
- ☐ dikey valsli veya halkalı-bilyeli değirmen
- ☐ çarpmalı değirmen

Öğütülmüş katı yakıt doğrudan fırında yakılabilir, ancak modern tesislerde düşük birincil hava kullanan ve daha yüksek ısı verime sahip brülörlerin (dolaylı yanma) kullanılmasını mümkün kılmak üzere genellikle silolarda depolanır.

Katı yakıt öğütme, depolama ve yakma sistemleri patlama veya yangın riskini önleyecek şekilde tasarlanmalı ve çalıştırılmalıdır. Bunun için öncelikle hava sıcaklıkları düzgün şekilde kontrol edilmeli ve ince malzemelerin ısıya maruz kalan kör noktalarda birikmesi önlenmelidir.

Fuel oil hazırlama: Ölçme ve yanmayı kolaylaştırmak için fuel oil ısısı 120 – 140 °C'ye getirilir ve bunun sonucunda viskozitesi 10 – 20 cST'a düşer. Ek olarak, basınç 20 – 40 bar'a yükseltilir.

Doğalgaz hazırlama: Yanma işleminden önce, gaz basıncı 30 – 80 bar olan boru hattı basıncından 3 – 10 bar olan tesis şebekesi basıncına düşürülmeli ve daha sonra yaklaşık 1 bar olan brülör giriş basıncına indirilmelidir (aşırı basınç). İlk basınç düşürme işlemi tüketim ölçümünün de yapıldığı gaz aktarım istasyonunda gerçekleştirilir. Teçhizatın Joule-Thompson etkisi nedeniyle donmasını önlemek üzere doğal gaz, basınç azaltma vanasından geçmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulur.

Alternatif olarak basınç, gazın güç jeneratörüne bağlı bir gaz genleştirme türbininden geçirilmesi suretiyle de düşürülebilir. Böylece gaz sıkıştırma için gerekli olan enerjinin bir kısmı geri kazanılabilir.

1.2.4 Atık kullanımı

Avrupa çimento endüstrisinde atıktan türetilen yakıtın önemli miktarda geri kazanımı sağlanmaktadır ve bazı fabrikalarda %80'i aşan bir oranda fosil yakıt ikamesi yapılmaktadır. Bu durum, çimento endüstrisinin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve daha az doğal kaynak kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

Bazı AB Üye Devletlerinde işlenmemiş atıkların toprağa gömülmesinin yasaklanması, devreye alınan mekanik ve mekanik-biyolojik atık arıtma tesisi sayısının giderek artmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda, ön arıtması yapılmış atık fraksiyonlarının kullanımına gösterilen ilgi artışa geçmiştir. Uygun şekilde arıtıldıktan sonra münferit atık fraksiyonları, çimento tesislerinde çevreyle uyumlu yeniden kullanım gereksinimlerini sağlayabilmektedir. AB-27 çimento sanayi, çimento tesislerinde seçilmiş atık kollarının geri kazanımı konusunda uzun yıllardır faaliyet göstermektedir. Önemli miktarda yenilenemeyen doğal kaynak, mineral ve fosil yakıt kullanıcısı olagelmış bu endüstri, bu kaynakların korunması adına atık kullanırken aynı zamanda nihai atık oluşturmamayı taahhüt etmiştir [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Atık arıtma konusu bu belgenin kapsamında olmadığından bu konuya ilişkin yararlı bilgiler Atık Arıtma Endüstrileri için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir. Ayrıca, mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimleri de özellikle atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda göz önünde bulunmalıdır.

1.2.4.1 Genel hususlar

Çimento üretiminde birincil hammaddelerin ve/veya fosil yakıtların yerine değişik türde atık maddeler kullanılabilir ve bu durum doğal kaynakların tasarrufuna katkıda bulunur. Klinker pişirme prosesinin özellikleri, çevreye yararlı olan atıktan enerji elde edilmesi ve malzeme geri kazanımı uygulamalarını mümkün kılar. Atık kullanımı için gerekli olan proses özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- ☐ döner fırınlarda yaklaşık 2 000 °C azami sıcaklık (ana pişirme sistemi, alev sıcaklığı)
- ☐ döner fırınlarda 1 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaklaşık 8 saniye gaz tutma süresi
- ☐ döner fırının sinterleme bölümünde yaklaşık 1 450 °C malzeme sıcaklığı
- ☐ döner fırında oksitleyici gaz atmosferi
- ☐ ikincil yakma sisteminde 850 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaklaşık 2 saniyeden fazla gaz bekleme süresi; ön kalsinatörde tutma süreleri daha uzundur ve sıcaklıklar daha yüksektir
- ☐ ikincil yakma sisteminde ve/veya kalsinatörde 850 °C katı madde sıcaklığı
- ☐ yeterince uzun bekleme sürelerinde yüksek ısı nedeniyle oluşan yük dalgalanmaları için tekdüze yanma koşulları
- ☐ yeterince uzun bekleme sürelerinde yüksek ısı nedeniyle organik kirleticilerin imhası
- ☐ HF, HCl, SO₂ gibi gaz halindeki bileşiklerin alkali reaktantlara tutunması
- ☐ partikül bağlı ağır metaller için yüksek tutma kapasitesi
- ☐ PCDD/F'nin 'de-novo sentezine' yol açtığı bilinen ısı aralığında atık gazların kısa bekleme süreleri
- ☐ yakıt küllerinin tümüyle klinker bileşenleri içinde tutulması ve dolayısıyla eşzamanlı malzeme (örn. aynı zamanda hammadde bileşeni olarak) ve enerji geri kazanımı
- ☐ klinker matrisi içindeki tüm malzemelerin kullanılması nedeniyle ürüne özgü atıklar oluşmaz, ancak Avrupa'daki bazı çimento tesisleri baypas tozunu bertaraf etmektedirler
- ☐ uçucu olmayan ağır metallerin klinker matrisi içinde kimyasal-mineralojik olarak tutulması [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Araştırmalar, döner fırınlarda tehlikeli maddelerin malzeme ve klinker tarafından, örneğin şaft fırınlar gibi diğer fırın türlerine nazaran daha iyi soğurulduğunu göstermektedir [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006].

Hammadde ve/veya yakıt olarak çok çeşitli atık türleri kullanılmaktadır. Atık materyalin kullanımı düşünülmenden önce, atık maddelerin uygun bir biçimde seçilmesi, atık maddelerin kapsamlı analiz prosedürü ve ön arıtımı gibi farklı temel ilkeler göz önünde bulundurulmalıdır. Yakıt küllerinin tümüyle klinkerin içinde tutulması nedeniyle, klinkerin kalite standartlarını korumak için bu atıkların arıtılması gereklidir. Belirli bir tesiste nihai olarak ne tür atığın kullanılabileceği sorusunun tek tip bir yanıtı yoktur.

Değerlendirmeler ve kararlar; klinker üretim süreci ve işletim koşullarına, hammadde ve yakıt bileşimlerine, besleme noktalarına, kullanılan baca gazı arıtım tekniğine, karşılaşılan atık yönetimi sorunlarına ve mevcut Avrupa yönetmelikleri ile ulusal yönetmeliklerin gereksinimlerine dayandırılmalıdır.

Temel bir kural olarak, yakıt ve/veya hammadde olarak kabul edilen atıklar döner fırına aşağıda belirtilen katma değeri sağlamalıdır:

- ☐ atık malzemeden ısı değeri
- ☐ atık malzemeden maddi değeri

Ayrıca atıkların fiziksel ve kimyasal bileşimleri, özellikleri ve kirleticilerinin yanı sıra hacim ve kategorileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Çimento sanayi tarafından kullanılan

atık türevi yakıtlar, genelde ön arıtmadan geçen (örn. ufalama, karıştırma, öğütme ve homojenizasyon) ve uygun kalite güvencesi gerektiren seçilmiş atık kollarından elde edilir. Atık malzemelerin hazırlanması genellikle atık arıtma tesislerinde gerçekleştirilir.

Fırına atık besleme noktaları

Hammadde olarak kullanılan atıklar genelde fırına genelleşmiş hammaddeler gibi, bir başka deyişle normal farin tedarik yolundan beslenirler.

Bölüm 1.2.5.1’de açıklandığı üzere, yakıtların çimento fırınına beslenmesi için farklı besleme noktaları kullanılabilir. Bu noktalar aynı zamanda atıkların çimento üretim sürecine yakıt ve/veya hammadde olarak beslenmesi için de kullanılabilir. Emisyonlar üzerinde etkisi olabileceğinden, yakıtların fırına beslenme şeklinin çok önemli olduğu unutulmamalıdır. Bu besleme noktaları arasında genellikle, yakıt baca gazlarının fırının sıcaklığının en yüksek olduğu bölgesinden geçtiği yalnızca bir yol vardır, bu da ana brülör yoluyla beslemedir. Diğer besleme noktaları için sıcaklık ve kalma süresi, yukarıda açıklandığı gibi fırın tasarımına ve fırın çalışmasına bağlıdır.

Ana brülör yolu ile beslenen atıklar, birincil yanma bölgesinde 2000°C’ye varan yüksek sıcaklıklarda ayrışır. Yakıt atıklar da dahil olmak üzere farklı türdeki yakıtların kullanımı için çok kanallı brülörler tasarlanmıştır. Bir ikincil brülöre, ön ısıtıcıya veya ön kalsinatöre beslenen atıklar, halojenli organik maddelerin ayrışması için her zaman yeterli olmayan düşük sıcaklıklarda yakılacaktır. Fırının üst ucundan veya parça yakıt olarak beslenen maddelerin içindeki uçucu bileşenler buharlaşabilir. Bu bileşenler birincil yanma bölgesinden geçmezler ve bu nedenle ayrışmamaları veya klinker içinde bağlı kalmamaları mümkündür. Bundan dolayı, uygun olmayan bir şekilde kullanıldığında, uçucu metalleri (cıva, kadmiyum, talyum) veya uçucu organik bileşikler içeren atıkların kullanımı, cıva, kadmiyum, talyum emisyonlarında veya organik emisyonlarında (örneğin UOB’ler) artışa yol açabilir. Kalsine etme bölgesinden önce düşük sıcaklıklarda uçucu hale gelebilen bileşenleri (örn. hidrokarbonlar, çözücüler, atık yağ) içeren atık maddelere dikkat edilmelidir. Bunlar, fırın sisteminin yeterince yüksek ısıya sahip bölgelerine beslenmelidir.

Atık kullanımının sağladığı enerji verimliliği

Çimento sanayinde, çimento üretim süreçlerinde kullanılan yakıtlar ile ilgili enerji verimliliğinde ilerleme sağlanmış olup, iyileştirmelere yönelik alternatif yolların geliştirilmeye devam etmesi beklenmektedir. Ancak, proste kullanılan yakıt atıkların ısı değerleri, enerji verimliliğinde iyileştirme sağlamak için çok önemli bir kalite gereksinimi olup, kalsinasyonu destekleyen termal proses için de olumlu bir girdidir [76, Almanya, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, CEMBUREAU, 2006].

Atık kullanımının yarattığı etkiler

Atık maddelerin kullanımının emisyonların hareketi üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi bu belgede Bölüm 1.3.4.13’te, ürün kalitesi üzerindeki etkilerine dair bilgi ise Bölüm 1.3.4.14’te bulunabilir.

Atıkların yakıt ve/veya hammadde olarak kullanımı ile ilgili parametreler ve emisyonların izlemesi Bölüm 1.3.9’da verilmiştir. Ayrıca, örneğin atıkların kullanımı gibi tesise özgü veriler bu belgenin Bölüm 6.2.2’inde yer almaktadır.

1.2.4.2 Atıkların hammadde olarak kullanılması

Hammadde olarak kullanılan atıkların kimyasal açıdan uygunluğu önemli olup, bunların klinker üretimi için gerekli olan bileşenleri içermeleri gerekir. Öncelikli olarak bulunması istenilen kimyasal elementler kireç, silis, alümina ve demirin yanı sıra kükürt, alkaliler ve kimyasal bileşimlerine göre değişik gruplar altında sınıflandırılan diğer elementlerdir. Klinker pişirme prosesinde olduğu

gibi atıkların hammadde olarak kullanımı, hammadde olarak kullanılan atıklarda bulunan kükürt ve oksitlerin ikame edilmesini içerir. Söz konusu oksitler arasında hammadde bileşenlerine karşılık gelen kalsiyum oksit (CaO), silis (SiO_2), alumina (Al_2O_3) veya demir oksit yer alır (Fe_2O_3). Elektrik santrali külü (uçucu kül), yüksek fırın cürufu ve diğer proses artıkları kısmen doğal hammaddelerin yerine kullanılabilir. 2006 yılında Avrupa’da çimento üretiminde hammadde olarak en sık kullanılan atık türleri Tablo 1.12’de gösterilmiştir.

Tablo 1.12: Avrupa çimento endüstrisinde hammadde olarak sıklıkla kullanılan atık türleri

Duman külü	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı
Demir cürufu	Kağıt çamuru	Pirit külü
Kullanılmış döküm kumu	Petrol içeren toprak	
Yapay alçı (baca gazı kükürt giderme ve fosforik asit üretiminden)		
Kaynak: [8, CEMBUREAU, 2001], [91, CEMBUREAU, 2006]		

Diğer atık maddeler öğütme tesislerine ‘birlikte öğütülmüş’ katkılar olarak verilir. Uçucu kül, hem klinker üretiminde hammadde olarak (esas olarak alümina içeriği için) hem de çimento için birlikte öğütülmüş ilave olarak kullanılabilir. Uçucu kül, Portland çimentosu klinkerini %50’ye varan oranda ikame edebilmekle birlikte cıva içerebilir. Ayrıca, uygun endüstriyel alçı, sülfat bileşeni olarak kullanılmaya elverişlidir. Hammadde olarak kullanılan ve kimyasal bileşimleri uyarınca değişik gruplar altında sınıflandırılan atıklara genel bakış Tablo 1.13’te verilmiştir.

Tablo 1.13: 2003 ve 2004 yıllarında AB-25’te çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan atıkların kimyasal bileşimleri uyarınca sınıflandırıldığı örnek liste

Hammadde grubu	Hammadde olarak kullanılan atıklara örnekler
Ca grubu	Endüstriyel kireç (atık kireçtaşı) Kireç harçları Karbür çamuru İçme suyu arıtımından kaynaklanan çamur
Si grubu	Kullanılmış döküm kumu Kum
Fe grubu	Yüksek fırın ve konvertör cürufu Pirit külü Sentetik hematit Kırmızı çamur
Al grubu	Endüstriyel çamur
Si-Al-Ca grubu	Uçucu kül Cürüfler İnce kırıcı artıkları Toprak
S grubu	Endüstriyel alçı
F grubu	CaF_2 Filtre çamuru
Kaynak: [76, Almanya, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]	

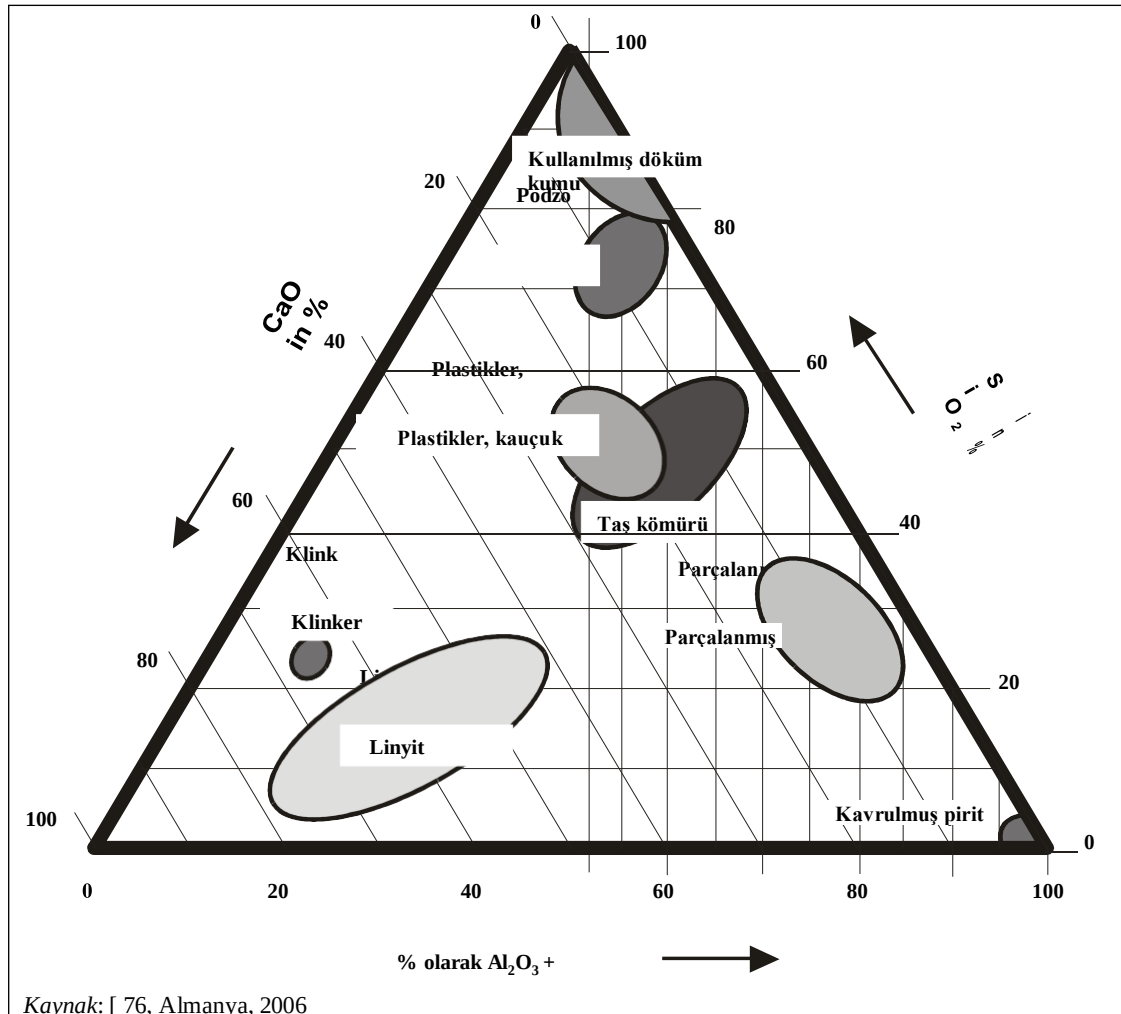
Genelleşmiş yakıtlardan kaynaklanan külde olduğu gibi atık yakıtlardan kaynaklanan kül, çimento klinkeri için gerekli mineral bileşenlerini sağlar. Hammadde olarak kullanılan ve ana bileşenlerini oluşturan CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 içeriklerinin de gösterildiği Şekil 1.6’da yer alan üçlü diyagramda, değişik yakıt küllerinin ve atıkların bileşimleri görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi klinkerin, çimentonun kendine has hidrolik özellikleri açısından büyük önem taşıyan belirli bir bileşimi vardır. Bu durum, istenen klinker bileşimini elde etmek için tüm hammaddelerin ve yakıt külünün, mineral bileşimi ve besleme hızı açısından dikkatlice eşleştirilmesi gerektiği anlamına gelir.

Hammadde olarak kullanılan atıklar, klinker pişirme prosesine veya kalsinatöre farin yoluyla ya da fırın girişi ve /veya kalsinatör yoluyla girerler. Ön ısıtıcıdaki ön ısıtma aşamasında, halojenli organik maddelerin ayrışması için her zaman yeterli olmayan düşük sıcaklıklar nedeniyle, fırına beslenen malzemelerden organik bileşen salımları gerçekleşebilir. Bu tür atık hammaddelerin işlenmesi sırasında, potansiyel uçucu organik bileşen emisyonları kontrol edilmeli ve besleme noktası buna göre seçilmelidir, örneğin fırın brülörü.

Örneğin, yüksek uçucu içeriği olan kullanılmış döküm kumu beslemesinin fırın girişinden yapılması gerekir. Kimyasal bağlı kum döküm sistemlerinde kullanılan artık organik bağlayıcı, ön ısıtıcıda ayrışabilir. Ancak malzemenin ön ısıtıcının düşük sıcaklık aşamasında kısa süre tutulması, uçucuların salınmasının engellenmesini sağlayacaktır. Kullanılmış döküm kumunun toz ayırma benzeri ön arıtıma tabi tutulması ağır metal içeriğini azaltabilir. Endüstriyel alçı ve uçucu kül kullanmak suretiyle alçı beslemesi öğütme tesisinde yapılır. Karbon açısından zengin külün, muhtemelen karbonun %20'sine ulaşabilecek olan geri kazanılabilir ısı değeri çimento klinker prosesinde kullanılabilir [76, Almanya, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Atıkların hammadde olarak seçimi ve kullanımında göz önüne alınması gereken gereksinimler aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ atıklar ağırlıklı olarak klinker bileşenlerinden oluşmalıdır
- ☐ uçucu ağır metal derişimi düşük olmalıdır, yani cıva, talyum ve diğer metal türleri
- ☐ örnekleme ve analiz yoluyla girdiler, örneğin kullanılmış atık maddeler düzenli olarak izlenmelidir



Şekil 1.6: Çimento klinkeri ve farklı hammadde ve yakıtların kül bileşenleri için üçlü CaO , SiO_2 ve $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ diyagramı

1.2.4.3 Atıkların yakıt olarak kullanılması

Fosil yakıtlar gibi genelleşmiş yakıtların yerine, örneğin geri kazanılmış katı veya sıvı yakıtlar ve/veya biyokütle dahil olmak üzere ön arıtması yapılmış ve ayıklanmış atık fraksiyonlarından elde edilen yakıt atıklar kullanılabilir. Hammadde ve/veya yakıt olarak, kalan küller dahil olmak üzere çok çeşitli atık türleri kullanılmaktadır. Atık malzemeler katı, sıvı veya macun kıvamında olabilir ve örneğin sanayi, tarım veya belediye gibi kaynaklarına göre sınıflandırılırlar. Yakıt atıkların tüketimi Bölüm 1.3.3.3'te, emisyon davranışları üzerindeki etkileri ise Bölüm 1.3.4.13'te açıklanmıştır.

1.2.4.3.1 Yakıt atık türleri

Klinker pişirme süreci genelleşmiş yakıtların bir kısmının yerini alan değişik atık malzeme türlerinin kullanımı için uygun koşullar sunmaktadır (bkz. Bölüm 1.2.4.1). Tablo 1.14'te listelendiği gibi, Avrupa çimento fırınlarında yakıt olarak tehlikeli ve tehlikesiz atıklar olarak sınıflandırılan farklı atık türleri kullanılmaktadır. Bu kalorili atık maddelerin çimento fırınlarında birincil yakıtların yerine kullanılabilmesi nedeniyle atık kalitesinde istikrar esastır (örneğin yeterli ısı değer, metal, halojen (örneğin: klor) ve kül içeriği, atığın brülörler için uygun olması). Klinker üretimi sırasında yakıt atıkların kullanımında sürekli bir artış söz konusudur, ancak tehlikeli olmayan atıkların kullanımındaki artış, tehlikeli atıkların kullanımındaki artışa göre daha kayda değerdir [74, CEMBUREAU, 2006], [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [92, Avusturya, 2006].

Tablo 1.14'te 14 grup halinde kümelenmiş olan yakıt atıkların kullanım listesi sunulmuştur. Bu gruplar çeşitli EWC listelerini kapsamakta olup, tüm gruplandırma yapısının tam bir listesiyle beraber atık kategorileri ve atık tanımları Bölüm 6.2.1'de yer alan Tablo 6.1 'de verilmiştir. Ayrıca, çeşitli türdeki atıkların ısı değer örnekleri Bölüm 1.3.3.3, Tablo 1.20'de yer almaktadır [74, CEMBUREAU, 2006], [98, Avrupa Komisyonu, 2000], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007] [192, CEMBUREAU, 2012.].

Tablo 1.14: AB-27 çimento fırınlarında 2003 ve 2004 yıllarında yakıt olarak kullanılan farklı atık türleri

Grup No. ⁽¹⁾	Yakıt atık türleri (tehlikeli ve tehlikesiz)
1	Odun, kağıt, karton
2	Tekstil
3	Plastik
4	İşlenmiş fraksiyonlar (örneğin; RDF)
5	Kauçuk/lastikler
6	Endüstriyel çamur
7	Belediye kanalizasyon çamuru
8	Hayvansal küspe, yağlar
9	Kömür/karbon atığı
10	Zirai atıklar
11	Katı atık – emdirilmiş talaş
12	Çözücüler ve ilgili atıklar
13	Petrol ve petrol içeren atık
14	Diğer
⁽¹⁾ Her bir grup bir dizi EWC listesini kapsar, bkz. Bölüm 6.2.1'deki Tablo 6.1 Kaynak: [74, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]	

1.2.4.3.1.1

Katı yakıt atıklar

Yanıcı katı atıkların tümü klinker pişirme prosesinde yakıt olarak kullanıma uygun değildir. Katı atıklar çok farklı kökenleri ve bileşenleri olan maddelerden meydana gelen, homojen veya homojen olmayan aşağıdaki gibi karışımlardan oluşabilir:

- ☐ yanıcı fraksiyonlar, örn. kağıt, karton, plastik, kauçuk ve odun artıkları
- ☐ organik fraksiyonlar içeren değişen miktarlarda atıl malzemeler, örn. kum, taş, seramik, demirli/demirsiz metaller ve organik yaş malzemeler
- ☐ tehlikeli fraksiyonlar, örn. katran, reçineler, emdirilmiş talaş veya tehlikeli olmayan malzemeler.

Karışık kentsel atık, karışık ticari atık veya karışık inşaat, yıkım atıkları ve bazı tehlikeli katı atıkların yakıt olarak kullanılmadan önce atık yönetimi tesislerinde ön arıtmaya tabi tutulmaları gereklidir. Ayırma, kırma ve peletleme gibi atık arıtma işlemlerinin kapsamı yakıt atık uygulamasının kendisine bağlıdır.

Katı yakıt hazırlama teknikleri, atıkların kaynakları ve türleri ile çimento endüstrisinin gereksinimlerine bağlı olarak büyük değişiklik gösterir. Yakıt atığı fırına aktarmak için kullanılan aktarma ve pişirme sistemi önemli bir gereksinim getirir:

- ☐ ana ateşleme sistemi (fırın girişinde/çıkışında, yakıt atıkların borular vasıtasıyla enjeksiyonu): kurutulmuş çamur gibi aşındırıcılığı yüksek atıklar ve alışılmadık partikül şekilleri ile boyutları işletimsel sorunlara neden olabilir. Katı yakıt atıkların fırına taşınması için pnömatik aktarım sistemleri kullanıldığı takdirde tıkanmalar ve döner parçaların hasar görmesi önlenir (sistem tamamen hareketli parçalar olmaksızın çalışır). Atıkla birlikte fırına enjekte edilen taşıma havası miktarı, fırın yanma stokiyometrisi açısından ihmal edilebilir düzeydedir. Daha büyük olan partikül boyutları, büyük pnömatik konveyör hatları ve fanları gerektirir. Bu nedenle, yakıt atığının boyutunun küçültülmesi ile yumuşak peletlenmesi önemli olan işleme adımlarıdır. (Partikül boyutu tipik olarak 25 mm veya altındadır). Yumuşak peletleme ile sıkıştırmanın avantajı, yakıtın akış ve dozaj özelliklerinin iyileştirilmesidir.
- ☐ ikincil yakma sistemi (yakıt fırın girişinden, döner fırın girişi ile en alt siklon aşaması veya kalsinatör arasındaki yükselticiden beslenir): katı yakıt atıklar için geçerli olan boyut sınırlaması ikincil yakma sistemi için önemli değildir. Fırın girişi veya fırın ortası teknolojiyle lastikler bütün olarak da beslenebilir. Ayrıca, yüksek kül içeriğine sahip atıklar da kullanılabilir.

Farklı katı atık türleri kullanılır, örneğin:

- ☐ Tablo 1.14'te 1-10 arasında grup numarası verilmiş olan tehlikesiz atıklar
- ☐ Tablo 1.14'te 11-13 arasında grup numarası verilmiş olan tehlikeli atıklar

Çimento tesislerinde kullanılan ve ön arıtmaya tabi tutulmuş aşağıdakiler gibi atık karışımlarının örnekleri Şekil 1.7, Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da gösterilmiştir.

- ☐ tehlikeli atık emdirilmiş talaş
- ☐ polietilen film, fotoğraf filmi, kağıt, polipropilen, ambalaj malzemeleri ve plastikten imal edilmiş olan kullanım öncesi ve kullanım sonrası kağıt ve tekstil bazlı yakıt atık
- ☐ evsel atık, elenmiş kağıt, karton, odun, halı, tekstil ve plastikten oluşan ve katı, temiz ve tehlikesiz olan yakıt atık.

Atıklar analiz edilir ve çimento fırınlarında kullanılmak üzere özel olarak hazırlanır [45, Schorcht, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [107, Belçika, 2006].

		
Şekil 1.7: Tehlikeli atık – emdirilmiş talaş	Şekil 1.8: Özel olarak hazırlanmış yakıt atık, örn. kağıt, plastik, tekstil	Şekil 1.9: Çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan özel hazırlanmış evsel atıklar
Kaynak:[168, TÇG CLM, 2007]	Kaynak: [81, Castle Cement UK, 2006]	Kaynak: [82, CEMEX Rugby UK, 2006]

1.2.4.3.2 Sıvı yakıt atıklar

Sıvı yakıt atıklar, kullanılmış çözücüler, boya artıkları veya uygun ısı değerlere sahip atık yağ gibi değişik atıkların özel atık yönetimi tesislerinde karıştırılması veya ön arıtmaya tabi tutulması suretiyle hazırlanabilir. Atık arıtmaya ilişkin daha fazla yararlı bilgi Atık Arıtma Endüstrileri için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [48, Avrupa Komisyonu, 2005].

Sıvı yakıt atıkların elleçlenmesi, örneğin depolanması ve beslenmesi sırasında organik bileşik emisyonlarından kaçınmak için bazı tehlikeli sıvı atıklara (örneğin çözücüler) dikkat edilmelidir. Örneğin buhar geri kazanımı gibi, gerektiğinde kullanılabilen çeşitli teknikler vardır. Buhar geri kazanım sistemleri, organik maddelerin akışına sadece buhar geri kazanım sistemi bağlantısı yapıldığında izin verilmesini ve buhar geri kazanım sistemi ile buna bağlı tesisatta normal çalışma esnasında, güvenlik nedeniyle gerekli olan salımlar dışında, gaz salınımını önleyecek şekilde çalıştırılır [76, Almanya 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.2.4.3.3 Atık ve girdi kontrolünün kalite gereksinimleri

Çimento fırınlarında hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılan atık malzemeler, tümüyle klinkerin içinde bağlı kalmaları nedeniyle ve hava emisyonları üzerinde olumsuz etkileri en aza indirmek için farklı kalite standartlarını karşılamak zorundadırlar. Atık kalitesinde süreklilik esastır. Yakıt atık özelliklerini garanti altına almak için, bir kalite güvence sistemine ihtiyaç vardır. Bu gibi bir güvence sistemi özellikle örnekleme, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili tedbirleri içerir. Daha fazla yararlı bilgi CEN/TC 343 'Geri Kazanılan Katı Yakıtlar' gibi Avrupa Standardizasyon Komitesi teknik şartnamelerinde bulunabilir. Ayrıca, mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimleri de göz önünde bulunmalıdır. Atıkların beraber yakılması sırasında 2010/75/AB sayılı Direktifin Bölüm IV ile Ek VI'da yer alan gereksinimleri, örneğin tehlikeli atık kullanımı sırasında operatör tarafından yerine getirilen kabul prosedürleri ile ilgili gereksinimler karşılanmalıdır. Kalite gereksinimleri ile ilgili temel bir kural olarak, yakıt ve/veya hammadde olarak kabul edilen atıklar çimento fırınına aşağıda belirtilen katma değerleri sağlamalıdır:

- ☐ atık malzemeden ısı değer
- ☐ atık malzemeden maddi değer

Yeterli ısı değere sahip olan atıklar çimento fırınlarında birincil yakıtların yerini alabilir. Bu atıkların ısı değerlerinin çok değişken olduğu unutulmamalıdır (bkz Bölüm 1.3.3.3).

Yanıcı atıkların veya ayrılabilir kalorifik fraksiyonlara sahip atıkların yakıt olarak kullanılmak üzere hazırlanması işlemi, genellikle çimento tesisi dışında yapılır. Bu atıklar genellikle

tedarikçi veya atık arıtma konusunda uzman kuruluşlar tarafından özel atık yönetimi tesislerinde ve çimento tesisinde hiçbir ilave işleme tabi tutulmaksızın doğrudan çimento fırınlarında kullanılabilecek şekilde hazırlanır. Ayrıca, teslim edilen atık malzemeler çimento fırınında kullanılmadan önce çimento tesisi personeli tarafından da düzenli olarak kontrol ve analiz edilir. Değişik kalite özelliklerini kontrol etmek amacıyla özel laboratuvar teçhizatı kullanılır.

Belirli niteliklere sahip yakıt atıkları hazırlamak ve harmanlamak için kullanılan teknikler, malzeme girdilerinin özelliklerine ve kullanıcıların gereksinimlerine bağlıdır. Üretime özgü atıklar gibi atık malzemeler bile termal özellikler ve kimyasal bileşim gibi niteliklerinde sabitlik gösteren homojen bir karışım sağlamak üzere kullanılmadan önce atık tesislerinde arıtılır ve harmanlanır. Yalnızca belirli durumlarda, örneğin kullanılmış lastikler veya kullanılmış petrol gibi atıklar başka bir işleme tabi tutulmaksızın teslim edildikleri şekliyle kullanılabilir. Farklı kaynaklardan gelen karışık katı atıklar veya karışık kentsel atıklardan ayrılmış fraksiyonlar gibi homojen olmayan atıkların varlığı, sabit düşük kirletici girdisine sahip güvenilir kalitenin elde edilmesi için izlemeye daha fazla çaba harcanmasını gerektirir.

Yakıt atıklar için önemli olan özellikler ve parametreler, ısı değeri ile birlikte içerdikleri su, kül, kükürt, klor ve ağır metallerdir (özellikle cıva, kadmiyum ve talyum). Ayrıca, brülörler için uygun olmaları da önemlidir. Klor, üretim süreci üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Bu nedenle kabul edilebilir klor derişimi, sahadaki durumun kendisine bağlıdır; ancak bu derişim fırın sisteminde ön ısıtıcıda tıkanıklık gibi işletimsel sorunlardan kaçınmak üzere mümkün olduğu kadar düşük tutulur. Yüksek hacimli klor girişinin olduğu durumlarda, korozyonu, tıkanmayı, kapanmayı vb. önlemek için genellikle bir klor baypası yapmak gerekebilir (bkz. Bölüm 1.2.5.4.1). Tipik klor derişimleri % <0,5 – 2 aralığındadır. Yakıt atıklarının uygunluğunun değerlendirilmesi ve kontrolü için AB-27 içinde özel sistemler ve şartnameler geliştirilmiştir, örneğin klinker pişirme işlemi için kullanılmak üzere seçilen atıklar için izin verilen azami kirletici değerler ile ilgili listeler ortaya konulmuştur. Tesise özgü süreç ve izin gereksinimlerini temel alan şartnameler için tesise özgü hususlar dikkate alınmıştır. Ayrıca, sıvı yakıt atıklarının teslimine ilişkin teknik normlar şartnamelerde belirlenmiştir. Yakıt atıklar ile ilgili bir iç şartname örneği Bölüm 6.2.2.1 ve Tablo 6.9'da açıklanmıştır. Ayrıca, bazı AB ülkelerinde kabul edilen uygun yakıt atıklar ile ilgili farklı malzemelere ilişkin girdi kriterleri örnekleri Bölüm 6.2.2.1.1'de verilmiştir.

Kullanılan diğer sistemler, çoğunlukla metal içeriğine odaklanmıştır (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2.1). Bu şartların tümünü karşılamayan diğer malzemelerin de kullanılabileceği unutulmamalıdır. Arıtma çamuru veya tahta atıklar kullanıldığı takdirde, muhtemel cıva emisyonları nedeniyle cıva girdisi düzenli olarak izlenmelidir.

Ayrıca, atık yakıtın yeterli miktarda mevcut olması gerekir. Kaynak seçimi, çimento prosesinde işletim veya kalite sorunlarına yol açabilecek malzemeleri azaltmak amacıyla tekli akışlarda dikkate alınacak ilk husustur.

Yakıtların (genelleşmiş veya atık) seçiminde, ürünlerin kalite gereksinimleri göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak çimentonun üretiminde kullanılmaya uygun yakıt atıklarının türleri ve miktarları konusunda büyük ölçüde tesise özgü durumlara bağlı olan sınırlamalar vardır [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Atık arıtma ile ilgili faydalı bilgiler, örneğin bazı ülkelerde çimento fırınlarında yakıt olarak kabul edilebilecek atıkların özelliklerine ilişkin örneklerin açıklandığı Atık Arıtma Sanayisi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [48, Avrupa Komisyonu, 2005].

1.2.4.3.3.1 Atıkların metal derişimleri

Metallerin derişimleri atık kaynağına göre değişir. Birçok Avrupa ülkesinde düzenleyici kurumlar ve/veya sanayi tarafından yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılabilen değişik atıklar için izin verilen azami madde değerlerine ilişkin listeler hazırlamıştır. Avrupa'daki farklı ülkelerden alınan, uygun yakıt atıklar için farklı maddelere ilişkin tipik metal derişim aralıklarının ve tipik girdi kriterlerinin örnekleri Bölüm 6.2.2.1.1'de bulunabilir. Ayrıca özel atıklara ilişkin diğer izin verilen çevresel performanslarda, farklı değerlere rastlanabilir. Ancak, yerel duruma bağlı olarak farklı kriterler uygulandığı için kararlaştırılmış bir eşik sınır değeri yoktur. Uygulanan kriterler şunları içerebilir:

- ☐ ulusal çevre politikaları ve mevzuat
- ☐ çimento sanayinin etkisinin bölgesel endüstriyel kalkınma bağlamında önemi
- ☐ bölgesel çevre yasa ve standartlarını uyumlaştırma çabaları
- ☐ geleneksel hammadde ve atıklardaki madde seviyeleri
- ☐ tesis koşulları ve emisyonlar
- ☐ mevcut atıklar için arıtma alternatifleri
- ☐ gerekli olan asgari ısı değerler
- ☐ çimento kalite gereksinimleri.

1.2.4.3.4 Atıkların depolanması ve taşınması

Yakıt atıklar genellikle özel atık yönetimi tesislerinde hazırlanır. Teslim edilen atıkların çimento tesisinde depolanması ve ardından çimento fırınına beslenmek üzere oranlanması gerekmektedir. Atık malzeme piyasalarının hızla gelişmeleri nedeniyle yakıt olarak kullanıma uygun atıkların temini değişken hale gelme eğiliminde olduğundan çok amaçlı depolama/ hazırlama tesislerinin tasarlanması tavsiye edilir.

Sıvı atık yakıtlar çoğunlukla tehlikeli atıklardır. Bu durum örneğin depolama, besleme gibi sıvı yakıt atık elleçleme sırasında dikkate alınmalıdır (bkz. Bölüm 1.2.4.3.1.2) [76, Almanya, 2006]. Ayrıca, ön arıtmaya tabi tutulmuş ve ayıklanmış atık fraksiyonlarından elde edilen yakıt atıklar kullanılırken kendi kendine tutuşma potansiyeli olan malzeme için güvenlik yönetimi dikkate alınabilir.

Malzemelerin depolanması ile ilgili faydalı bilgiler Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında da bulunabilir [96, Avrupa Komisyonu, 2006].

1.2.5 Klinker pişirme

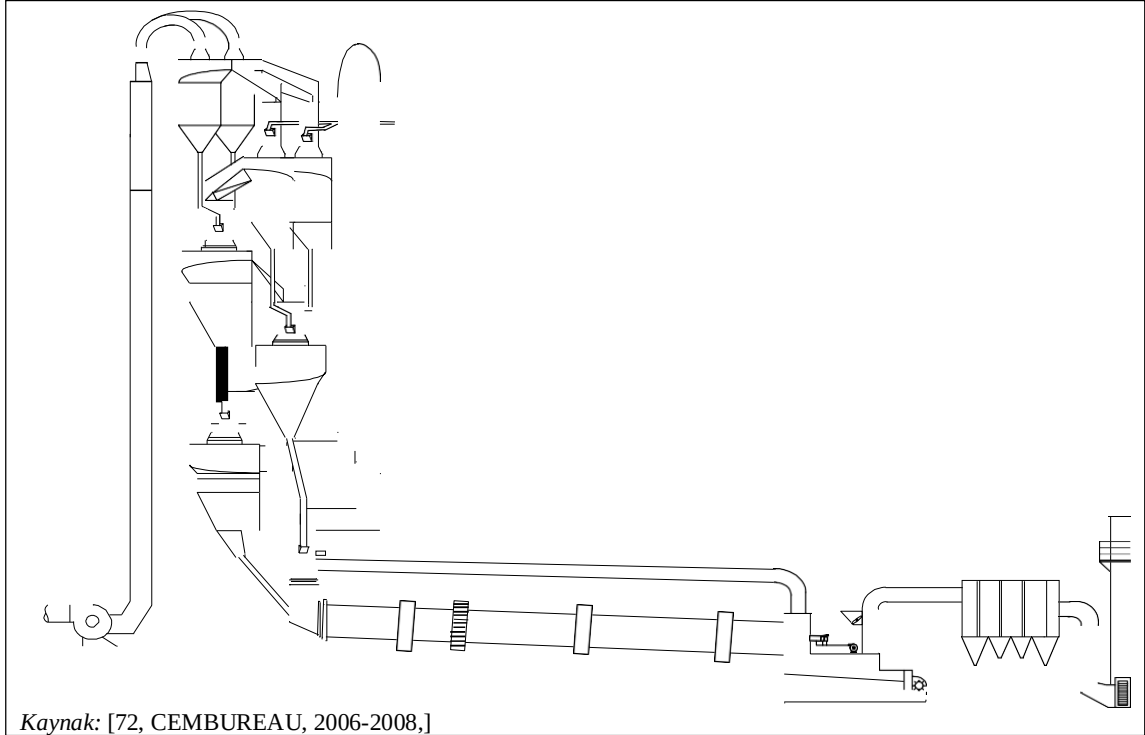
Sürecin bu kısmı emisyon potansiyeli ile ürün kalitesi ve maliyeti açısından en önemli kısımdır. Klinker pişirilirken farin (veya yaş proste farin harcı) döner fırın sistemine beslenir ve çimento klinkeri üretmek üzere kurutulur, ön ısıtmaya tabi tutulur, kalsine edilir ve sinterlenir. Klinker hava ile kurutularak depolanır.

Klinker pişirme prosesinde, hammadde karşımını çimento klinkerine dönüştürmek için yüksek proses sıcaklıklarına ulaşmak gereklidir. Döner fırınların sinterleme bölgesinde fırın şarj sıcaklıklarının 1 400 ila 1 500 °C arasında ve alev sıcaklığının 2 000 °C civarında tutulması gereklidir. Ayrıca klinkerin oksitleyici koşullar altında pişirilmesi gerekir. Bu nedenle döner fırının sinterleme bölgesinde fazla havaya ihtiyaç vardır.

Beyaz çimento üretiminde pişirme prosesi, hammadde karşımının bileşimine ve istenen nihai ürün bileşimine bağlı olarak sinterleme bölgesinde 1 600 °C dereceye varan sıcaklıkların oluşumuna yol açar. Hammaddelerin içinde ürünün rengini değiştirebilecek olan yapıştırıcı öğelerin mevcut olmaması gereksinimi nedeniyle 2 000 °C üstünde alev sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Genel olarak, klinkeri renklendirebilecek olan bazı elementlerin oksitlenmesini önlemek için indirgeyici koşullar sağlanır. Ayrıca, klinkerde bulaşımı önlemek için külsüz yakıt ve talk-manyezit veya

diğer spinel bağlayıcılı manyezit bazlı refrakterlerin seçimi son derece önemlidir. Beyaz çimentonun kalitesi üzerinde üretim tekniğinin çok büyük etkisi vardır [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007], [138, İtalya, 2007].

1895 yılı civarında ilk kez piyasaya sürülüşünden itibaren, döner fırın, tüm modern klinker üretim tesislerinin ana parçası haline gelmiştir. Dikey şaft fırını halen kireç üretimi için kullanılmakta, ancak çok az sayıda ülkede ve sadece küçük ölçekli fabrikalarda çimento klinkeri üretimi için kullanılmaktadır.



Kaynak: [72, CEMBUREAU, 2006-2008,]

Şekil 1.10: Bir ön ısıtıcı/ön kalsinatör/ızgaralı soğutuculu fırının şematik görünümü

İlk döner fırınlar, ısı tüketen termal prosesin tamamının fırının içinde meydana geldiği uzun yaş fırınlarıdır. Kuru proses kullanılmaya başlandığında, yukarıda Şekil 1.10'da görüldüğü üzere optimizasyonla beraber kurutma, ön ısıtma ve kalsinasyonun döner fırın yerine sabit bir tesiste gerçekleşmesini sağlayan teknikler ortaya çıkmıştır.

Döner fırın, uzunluk-çap oranı 10:1 ila 38:1 arasından değişen çelik bir borudan oluşur. 1. İki ila yedi (veya daha fazla) arasında değişen sayıda destek istasyonu ile desteklenen borunun eğimi %2,5 – 4,5 aralığındadır ve bir tahrik mekanizması döner fırını kendi ekseninde dakikada 0,5 ila 5,0 devir hızında döndürür. Borunun eğimi ve dönüşü, malzemenin yavaşça fırın boyunca taşınmasını sağlar. Çok yüksek pik sıcaklıklara dayanabilmesi için döner fırının tamamı ısıl dirençli (refrakter) tuğla ile kaplanmıştır. Uzun fırınların tümü ve kısa fırınların bazıları ısı aktarımını iyileştirici iç donanıma (zincirler, ist avrozlar, yükselticiler) sahiptir.

Süreç ve hammaddelere vb. bağlı olarak fırının iç yüzeyi boyunca geçici malzeme birikmesi meydana gelebilir. Bunlara kemer adı verilir ve besleme çıkışında (alçı kemerleri), sinterleme bölgesi yakınında (klinker kemerleri) veya ürün çıkış ağzında (kül kemerleri) oluşabilirler. Klinker ve kül kemerleri aniden kopabilir ve yeniden işlenebilecek veya atık olarak gözden çıkarılacak sıcak ve düşük kaliteli bir maddenin akarak fırının dışına çıkmasına yol açabilir. Ön ısıtma fırınlarının siklon ve ızgaralarında da tıkanmalara neden olan malzeme birikintileri oluşabilir.

Bu tür fırınlarda, besleme ve/veya yakıt vasıtasıyla dolaşıma giren element (klorürler, kükürt, alkaliler) girdisinin aşırı miktarda olması halinde sorunlarla karşılaşılabilen unutulmamalıdır (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2 ve 1.2.5.3.4).

1.2.5.1 Fırında pişirme

Ana brülör vasıtasıyla giren yakıt, alev sıcaklığı yaklaşık 2 000 °C olan ana alevi oluşturur. Proses optimizasyonu için, alevin belirli sınırlar dahilinde ayarlanabilir olması gereklidir. Dolaylı olarak ateşlenen modern bir brülörde alev birincil hava (toplam yanma havasının %10 – 15'i) ile şekillendirilir ve ayarlanır.

Fırın sistemine yakıt ikmali yapılabilecek olası besleme noktaları aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ döner fırın çıkışındaki ana brülör vasıtasıyla
- ☐ döner fırın giriş ucundaki geçiş odasında bulunan besleme oluğu vasıtasıyla (dökme yakıt için)
- ☐ ikincil brülörler vasıtasıyla besleme kanalına
- ☐ ön kalsinatör brülörleri vasıtasıyla ön kalsinatöre
- ☐ ön kalsinatöre bir besleme oluğu aracılığıyla (parça yakıt için)
- ☐ uzun yaş ve kuru fırınlarda orta fırın vanası vasıtasıyla (dökme yakıt için)
- ☐ Lepol ızgarasının sonunda.

Kömür/petrokok yakan tesisler hem doğrudan hem de dolaylı pişirme yapabilen tesislerdir. Doğrudan pişirmeli tesisler ince kömür depolama ve ince kömür dozajlama sistemi olmaksızın çalışırlar. Toz haline getirilmiş yakıt, taşıyıcı ve birincil hava (alev şekillendirme) görevi gören değirmen süpürme havası vasıtasıyla fırına doğrudan üflenir. Doğrudan pişirmeli tesislerin çeşitli dezavantajları vardır. Özellikle fırın sisteminin ısı kaybı 200 – 250 MJ/ton klinker civarındadır (modern fırın sistemlerinden %6 ila %8 daha fazla). Dolayısıyla günümüzde doğrudan pişirme nadiren uygulanır.

Uygun viskozite ve basınca sahip fuel oil bir püskürtme memesi vasıtasıyla, örneğin ana alevi oluşturmak üzere fırına beslenir. Alevin şekillendirilmesi esas olarak çok kanallı brülörler vasıtasıyla yakıt püskürtme başlığı merkezi bir yerde bulunacak şekilde gerçekleştirilir.

Doğal gaz fırın brülörleri de çoklu kanal prensibine göre tasarlanmış olup, gaz sadece kömür ve fuel oil değil aynı zamanda birincil havanın yerini almaktadır.

Çok kanallı brülörler çeşitli türdeki yakıt atıklarının kullanılmasına imkan verecek şekilde tasarlanmıştır (bkz. Bölüm 1.2.4). Bununla ilgili bir örnek Şekil 1.11’de verilmiştir.



Şekil 1.11: Çok kanallı bir brülör örneği

1.2.5.2 Uzun döner fırınlar

Uzun döner fırınlar çimento harcı, kırılmış filtre kekleri, nodüller veya kuru farin ile beslenebilirler ve bu nedenle tüm proses türleri için uygundur. En büyük uzun fırınların uzunluk/çap oranı 38:1'dir ve bunlar 200 metreden uzun olabilir. Bu büyük ünitelerde yaş proses kullanılmak suretiyle günde yaklaşık 3600 ton üretim gerçekleştirilir (Belçika, ABD, BDT "Bağımsız Devletler Topluluğu"). Uzun döner fırınlar kurutma, ön ısıtma, kalsine etme ve sinterleme işlemleri için tasarlanmıştır ve bu nedenle sadece besleme sisteminin ve soğutucunun eklenmesi gerekir. Uzun fırınların üst kısımları ısı aktarımını iyileştirmek amacıyla zincir perdelerle ve sabit tesisatlarla donatılmıştır.

1895'ten beri kullanılmakta olan yaş proses fırınları çimento klinkeri üretiminde kullanılan en eski döner fırın türleridir. Homojenleştirme işleminin sıvı malzeme ile daha kolay yapılması nedeniyle başlangıçta yaş hammadde hazırlaması uygulanmıştır. Yaş fırına beslenen malzemeler genellikle %32 ila 40 oranında su içerir. Bu su, beslenen malzemenin sıvı özelliklerinin korunması için gereklidir. Bu su daha sonra fırının giriş kısmında yer alan ve yakıtın yanması sonucunda oluşan ısıya önemli bir kısmının kullanıldığı özel olarak tasarlanmış kurutma bölgesinde buharlaştırılmalıdır. Bu teknikte ısı tüketimi yüksektir ve bu durum yüksek miktarda yanma gazı ve su buharı emisyonlarına neden olur.

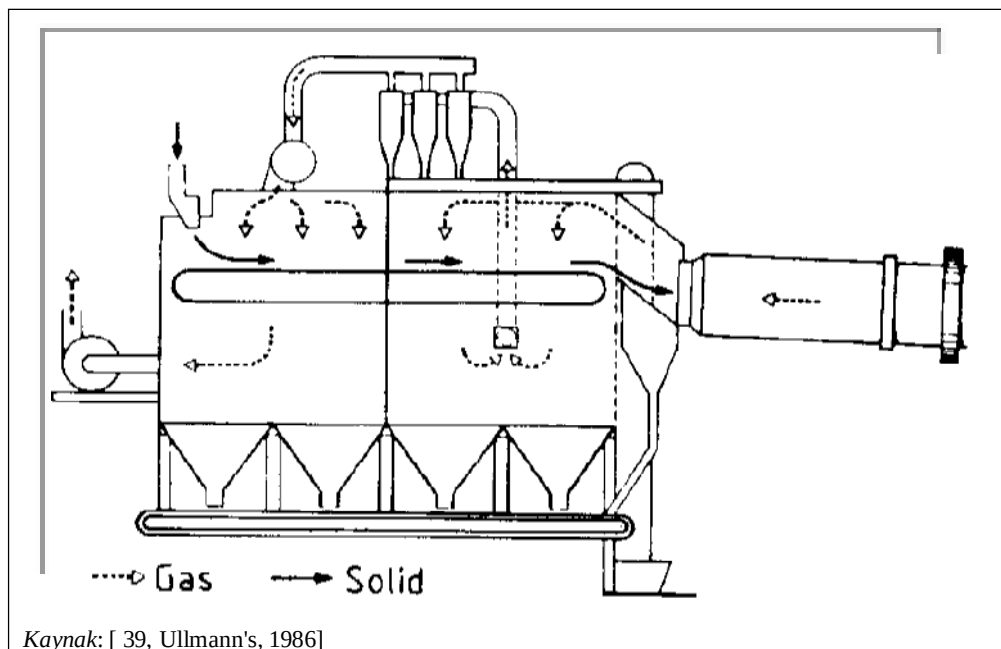
Uzun kuru fırınlar, hammadde hazırlamaya yönelik kesikli tip kuru homojenizasyon sistemlerine dayalı olarak ABD'de geliştirilmiştir. Yakıt tüketimlerinin yüksek olması nedeniyle Avrupa'daki kurulum sayısı azdır.

1.2.5.3 Ön ısıtıcı döner fırınlar

Ön ısıtıcılar ile donatılmış olan döner fırınlar tipik olarak 10:1 ila 17:1 arasında değişen uzunluk/çap oranına sahiptir. Izgaralı ön ısıtıcı ve süspansiyon ön ısıtıcı olmak üzere iki tür ön ısıtıcı vardır.

1.2.5.3.1 Izgaralı ön ısıtıcı tekniği

Lepol fırını olarak da bilinen ızgaralı ön ısıtıcı tekniği 1928 yılında icat edilmiştir. Klinkerleştirme prosesinin bir kısmının fırın dışında bulunan sabit bir tesiste gerçekleşmesini mümkün kılan ilk yaklaşımı temsil etmiştir. Bu sayede döner fırınların boyları kısalmış ve dolayısıyla ısı kayıpları azalarak enerji etkinlikleri artmıştır.



Şekil 1.12: Izgara ön ısıtıcısı
Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat

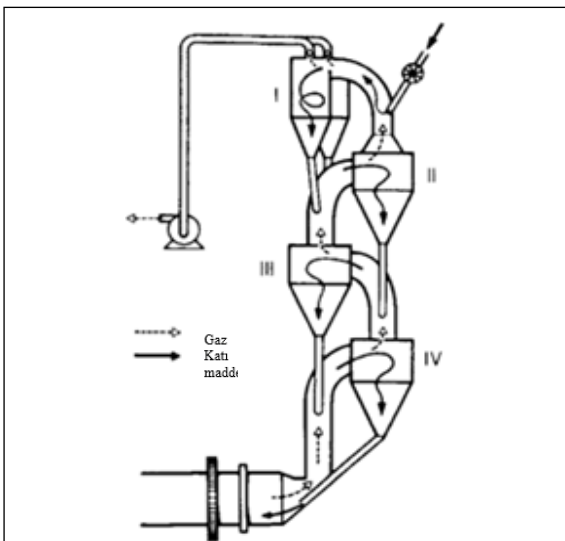
Izgaralı ön ısıtıcıda (bkz. Şekil 1.12) nodülizör diskinde bulunan kuru farinden (yarı kuru proses) veya ekstrüzyon cihazı içinde bulunan yaş çimento harcı filtre keklerinden (yarı yaş proses) meydana gelen nodüller, kapalı bir tünelin içinde yatay hareket eden ızgaranın üzerine beslenir. Tünel, ızgara için bir açıklık bırakmak suretiyle bir bölme vasıtasıyla sıcak gaz odası ve kurutma odası olarak ikiye bölünmüştür. Döner fırındaki dışa atım gazı, bir fan vasıtasıyla sıcak gaz odasındaki nodül katmanının arasından ve daha sonra ara toz toplayıcısının siklonlarının arasından ön ısıtıcının üst tarafına doğru çekilir. Fanı aşındırma kabiliyetine sahip olan büyük toz parçacıkları bu siklonların içinde yok edilir. Diğer fan ise gazı nemli nodül tabakası arasından kurutma odasının üst bölümüne doğru çeker ve son olarak toz toplayıcısının içine iter. Optimum termal verime ulaşmak amacıyla yarı yaş ızgaralı ön ısıtıcılar üç geçişli gaz sistemleri ile donatılabilir ve soğutucunun atık havası ham maddeyi kurutmak için kullanılabilir. Bir yarı yaş fırın sistemi için inşa edilmiş azami ünite kapasitesi 3300 ton/gündür.

Döner fırın dışa atım gazının ön ısıtıcıya giriş sıcaklığı 1000 – 1100 °C'dir. Dışa atım gazı sıcak gaz odasındaki malzeme tabakasından geçerken 250/300 °C'ye kadar soğur ve kurutma odasından 90 – 150 °C'de çıkar. Pişirilecek malzemelerin sıcaklığı kurutma odasında yaklaşık 150 °C'ye ve ısıtma odasında 700 – 800 °C'ye ulaşır.

1.2.5.3.2 Süspansiyon ön ısıtıcı tekniği

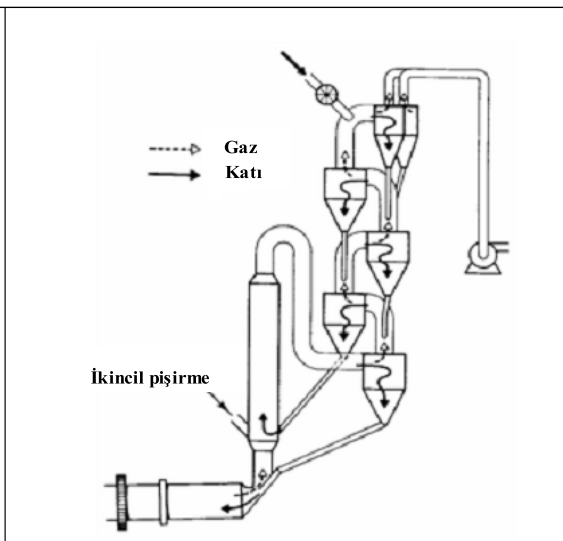
1930'ların başında süspansiyon ön ısıtıcının icadı önemli bir gelişme olmuştur. Kuru farinin ön ısıtmaya ve hatta kısmi kalsinasyona tabi tutulması (kuru/yarı-yaş proseslerde) döner fırındaki sıcak gazla farinin süspansiyonda tutulması suretiyle gerçekleşir. Çok geniş olan temas yüzeyi, hemen hemen tam ısı alışverişini, en azından teorik olarak sağlar.

Çeşitli süspansiyon ön ısıtıcı sistemleri mevcuttur. Örnekler Şekil 1.13 ve Şekil 1.14'te gösterilmiştir. Bunların genellikle 50 – 120 m yükseklikteki bir kulede birbirleri üzerine yerleştirilmiş olan dört ila altı kademeli siklonları vardır. En üstteki kademe tozun daha iyi ayrılmasını sağlamaya yönelik olarak iki paralel siklondan oluşabilir. Döner fırından çıkan dışa atım gazları aşağıdan yukarıya doğru siklon kademelerinden geçer. Kuru toz halinde hammadde karışımı, en üst siklon aşamasından önce dışa atım gazına ilave edilir. Siklonlarda karışım gazdan ayrılır ve takip eden siklon kademesinden önce tekrar gazla birleşir. Bu prosedür, malzeme nihayetinde en son kademedeki döner fırına boşaltılıncaya kadar, her kademe tekrarlanır. Daha yüksek sıcaklıkta birbiri ardına yapılan bu karıştırma, ayırma ve yeniden karıştırma işlemleri, optimum ısı aktarımını sağlamak için gereklidir.



Şekil 1.13: Süspansiyon ön

Kaynak: [39, Ullmann's, 1986



Şekil 1.14: Ön kalsinatörlü süspansiyon ön ısıtıcısı

Kaynak: [39, Ullmann's, 1986

1.2.5.3.3 Şaft ön ısıtıcıları

Teoride üstün ısı alışverişi özelliğine sahip olması nedeniyle süspansiyon ön ısıtıcı tekniği ortaya çıktıktan sonra çok sayıda şaft ön ısıtıcı üretilmiştir. Ancak eşit farin/gaz dağılımını sağlamadaki zorluklar gerçek performansın beklenilenden çok daha kötü olmasına yol açmış ve salt şaft kademelerinin kullanıldığı teknikler terk edilerek bunların yerine siklon kademeli hibrit sistemler veya salt çok kademeli siklon ön ısıtıcıları kullanılmaya başlanmıştır. Bu hibrit sistemlerden bazıları halen faal durumdadır ancak bunların çoğu salt siklon ön ısıtıcılarına dönüştürülmüştür.

Şaft kademesi siklon kademesine nazaran birikme sorunlarına karşı daha az hassastır. Dolaşımdaki unsurların (klorürler, kükürt ve alkaliler) aşırı miktarlarının mevcut olduğu durumlarda, bu durum alt kademe için avantaj sağlayabilir. Alt şaft kademesine sahip hibrit ön ısıtıcılar halen yeni tesisler için mevcuttur.

Şaft ön ısıtıcılı fırınların kapasitesi tipik olarak 1500 ton/gündür, hibrit sistemlerdeyse günde 3000 ton veya daha fazla üretim yapılabilir.

1.2.5.3.4 Dört kademeli siklon ön ısıtıcısı

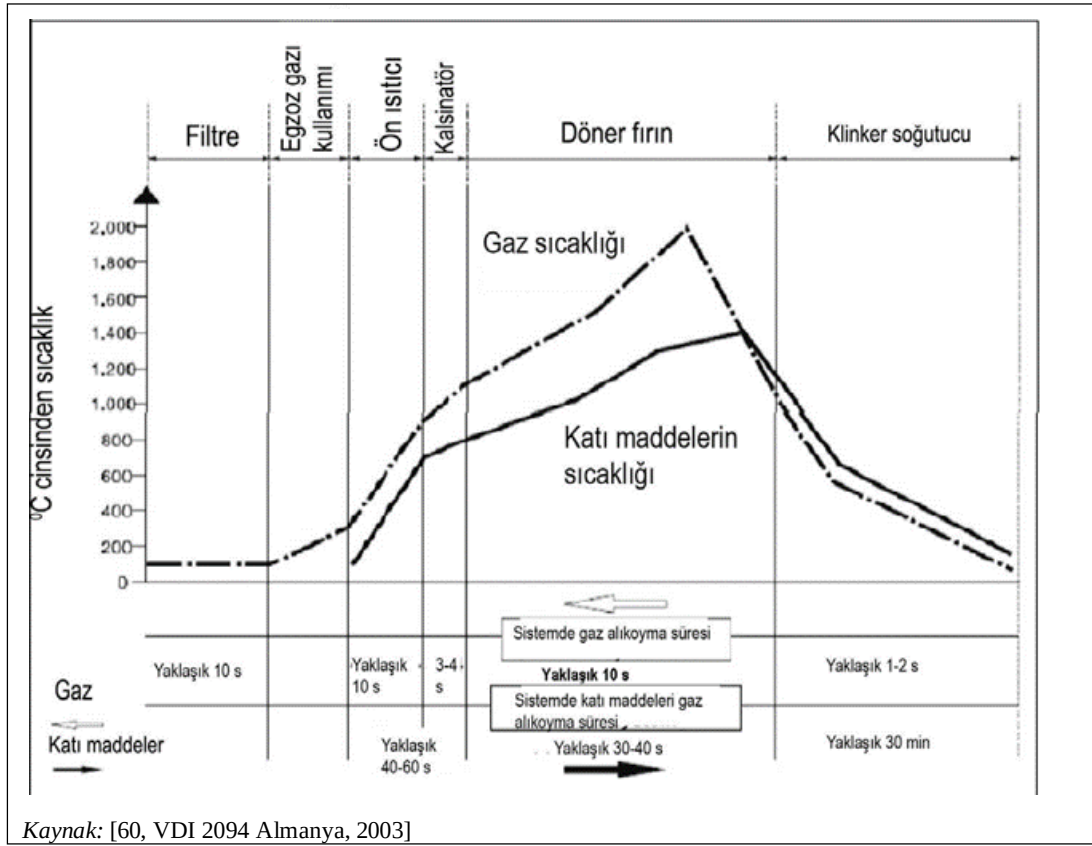
Günlük kapasitesi 1000 ila 3000 ton aralığında olan birçok tesisin kurulduğu 1970'lerde kullanılan standart teknik, dört kademeli siklonlu ön ısıtıcılı fırın sistemiydi (süspansiyon ön ısıtıcı, bkz. Şekil 1.13). Üst ön ısıtıcı siklon aşamasında 300 – 400 °C civarında bir sıcaklığa sahip olan dışa atım gazı normalde hammadde kurutma için kullanılır.

Fırına beslenen malzemenin dışa atım gazları ile yaklaşık 850 °C sıcaklığa ulaşacak şekilde ısıtılmış olması nedeniyle, farin döner fırına girdiğinde kalsinasyon yaklaşık %30 oranında tamamlanmış olacaktır. Geçmişte, besleme malzemeleri ve/veya yakıttan kaynaklanan dolaşım unsuru (klorür, kükürt ve alkaliler) girdilerinin aşırı olduğu durumlarda dört kademeli ön ısıtıcılarda büyük sorunlarla karşılaşmıştır. Bu unsurların yüksek derecede zenginleştirilmiş döngüleri, siklonlarda ve kanal duvarlarında birikmelere yol açarak sık sık tıkanmalara ve fırında birkaç günlük duraklamalara neden olurlar. Fırın gazının baypas edilmesi, diğer bir deyişle fırından çıkan partikül yüklü gaz akımının bir bölümünün çıkarılarak siklon sistemini baypas etmesinin sağlanması bu soruna sıklıkla getirilen çözümdür. Bu baypas gazı alkalileri yoğunlaştırmak üzere soğutulur ve boşaltılmadan önce bir toz toplayıcıdan geçirilir. Bazı bölgelerde klinker alkali düzeylerini kontrol altında tutabilmek için baypas tozunun ve fırın tozunun bir bölümünün atık alanına gönderilmesi gerekirken, diğer tüm durumlarda bunlar üretim sürecine geri beslenir.

Dört kademeli süspansiyon ön ısıtıcıların neredeyse tamamı üç ayaklı döner fırınlar ile çalışır. Bu 1970'ten beri kullanılan standart tasarımıdır. 3.5 ila 6 metre arasında çapa sahip olan fırınlar, 13:1 ila 16:1 arasından değişen uzunluk-çap oranına sahip olacak şekilde imal edilirler. Mekanik açıdan, uzun yaş ve kuru fırınlardan daha basit olmaları nedeniyle bunlar günümüzde muhtemelen en yaygın kullanılan fırın türüdür.

1.2.5.4 Ön ısıtıcılı ve ön kalsinatörlü döner fırınlar

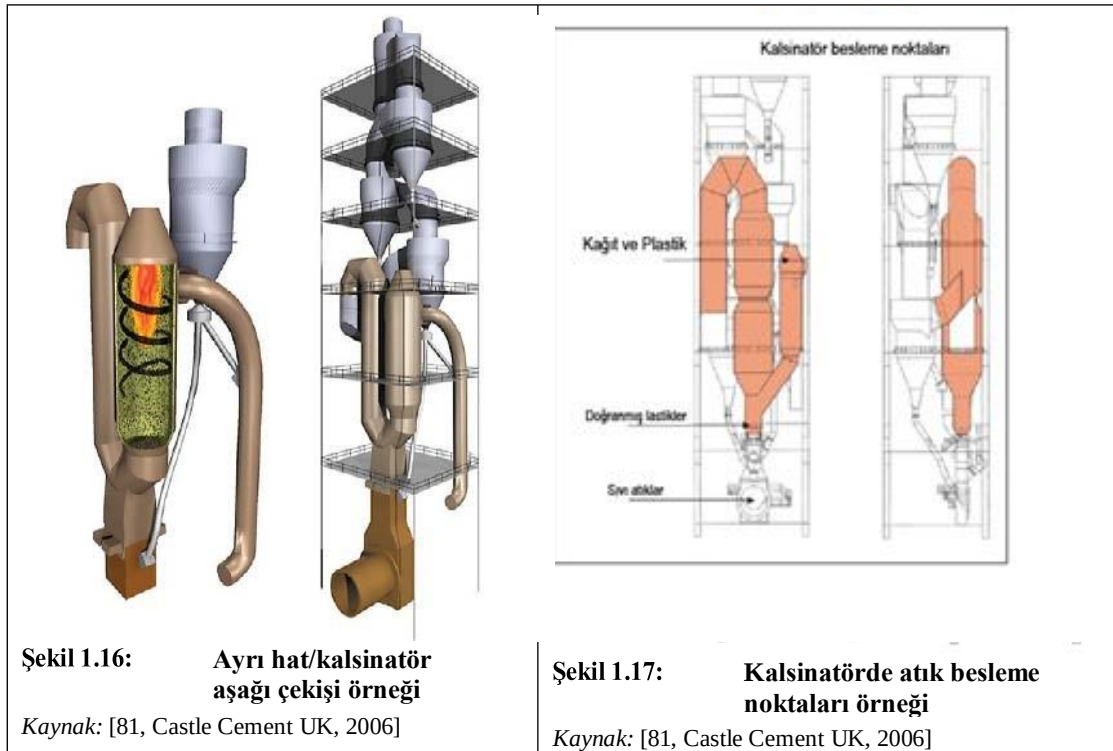
Ön kalsinasyon tekniği çimento endüstrisinde yaklaşık 1970'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu işlemde ısı girdisi iki nokta arasında bölünmüştür. Birincil yakıtın yanması fırının yanma bölgesinde gerçekleşir. İkincil yanma ise döner fırın ile ön ısıtıcı arasında bulunan özel bir alev bölmesinde gerçekleşir. Tipik bir ön kalsinasyonlu fırında toplam yakıtın % 65'i bu odada yakılabilir. Bunun nedeni, sıcak farinin önemli ölçüde daha uzun olan alıkonma süresi, siklon ön ısıtıcısının alt bölgesindeki fırın dışa atım gazları ve ilave üçüncül havanın kullanılmasıdır. Bu enerji, fırına girdiğinde neredeyse tümüyle kalsine edilmiş olan farini kalsine etmek için kullanılır. Yüzde 90'ın üzerinde kalsinasyon seviyeleri elde edilebilir. Kalsinatörde yanma için gerekli olan sıcak hava soğutucudan kanallıze edilir. Malzeme kalsinatörden yaklaşık 870 °C sıcaklıkta çıkar. Siklonlu ön ısıtıcılı bir fırın sistemindeki gaz ve katı maddelerin sıcaklık profilleri Şekil 1.15'te gösterilmiştir.



Şekil 1.15: Siklon ön ısıtıcı fırın sisteminde gaz ve katı sıcaklık profilleri

Bu prosedürün bir süspansiyon ön ısıtıcı fırına uygulanması Şekil 1.14'te gösterilmiştir. Prensipde ikincil yanma, ızgaralı ön ısıtması olan bir fırına da uygulanabilir. Her boyuttaki döner fırında ön kalsinasyon klinker kapasitesini artırır.

Beşe varan siklon ön ısıtıcı kademeleri ve bir ön kalsinatörü bulunan fırın sistemleri yeni kuru proses tesisleri için standart teknik olarak kabul edilmektedir. Bunun bir örneği Şekil 1.16'da gösterilmiştir. Atıkların yakıt olarak kullanılması ile ilgili kalsinatör tekniği Şekil 1.17'de gösterilmiştir.



Yeni bir tesisin büyüklüğü başta öngörülen piyasa gelişmeleriyle birlikte aynı zamanda ölçek ekonomisi boyutu tarafından belirlenmektedir. Günümüzde Avrupa'da bulunan yeni tesislerin tipik ünite kapasitesi 3000 ila 5000 ton/gün arasında değişmektedir. Teknik olarak, kapasitesi 15000 ton/gün olan daha büyük üniteler kurmak mümkündür ve 2007 yılı itibarıyla Asya piyasalarında faaliyette bulunan bir dizi 10000 ton/gün kapasiteli fırın vardır.

Daha önceki ön kalsinatör sistemlerinde sadece dört ön ısıtma kademesi bulunmaktaydı ve dolayısıyla dışa atım gazı sıcaklıkları ve yakıt tüketimi yüksekti. Doğal hammaddenin nem içeriğinin düşük olduğu durumlarda, özellikle torba filtre yoluyla tozsuzlaştırma ile kombinasyon halinde altı kademeli ön ısıtıcılar tercih edilebilir.

Dolaşım unsuru girdisinin aşırı olduğu durumlarda, fırının sürekli olarak çalışmasını sağlamak için bir fırın gazı baypası gereklidir. Ancak, farklı gaz akış özelliklerinden dolayı bir ön kalsinatörlü fırında yapılacak olan baypas, salt ön ısıtmalı fırında yapılacak olana göre etkilidir.

Farinin fırına % 75 ila 95 oranında kalsine edilmiş olarak girmesine rağmen, salt ön ısıtıcılı fırınlarda olduğu gibi ön kalsinatörlü fırınların çoğu, U/Ç oranı 13 : 1 ila 16 : 1 arasında olan ve kalsinasyon bölgesi bulunan bir döner fırın ile donatılmıştır.

1.2.5.4.1 Baypas sistemleri

Fırına klor, kükürt ve alkali içeren hammaddeler veya yakıtlar (atıklar dahil) beslendiğinde, fırın ile ön ısıtıcı arasındaki iç dolaşım zenginleştirme döngüsü görevi görür. Daha yüksek derişimlerde böyle bir çevrim, fırın girişi, kalsinatör ve iki alt aşama alanında tortu oluşumuna neden olur. Aksamaların en aza indirildiği düzenli bir fırın operasyonu enerji tasarruflu klinker üretimi için esas olduğundan, kaplama oluşumunun neden olduğu faaliyet durdurmalardan kaçınılmalıdır. Yani, alkali, klor ve bir düzeye kadar kükürtün yüksek miktarlarının dolaşıma girmesi, fırının girişinde gaz baypasını zorunlu kılar. Proses gazının bir miktarını gidermek suretiyle klor, kükürt ve alkalilerin yanı sıra diğer maddeler de dışarı atılır. Sıcak hammaddenin ve sıcak gazın giderilmesinin sonucunda, giderilen fırın giriş gazının yüzdesi başına yaklaşık 6 - 12 MJ/ton klinker daha fazla özgül enerji tüketimi meydana gelir. Tipik baypas oranları klor baypası için % 15'e kadar ve kükürt baypası için % 70'e kadardır. Baypas gazıyla birlikte çıkarılan SO_x bileşeninin sürecin parçası olarak meydana gelen yıkaması aşağıdakilere bağlıdır:

- ☐ reaktif kireç miktarı
- ☐ >300 °C sıcaklıklarda alıkoyma süresi
- ☐ su (buhar) varlığında <200 °C sıcaklıklarda alıkoyma süresi

Konfigürasyonuna ve kullanılabilecek ilave termal enerjiye bağlı olarak baypas yapılması ek emisyon oluşumuna neden olabilir [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, CEMBUREAU, 2006].

1.2.5.5 Şaft fırınları

Avrupa’da çimento üretimi için az sayıda şaft fırını kullanılmaktadır. Bu tür fırınlar refrakter tuğla ile kaplanmış 2 – 3 m çapında ve 8 – 10 m yüksekliğinde dikey bir silindirden oluşur. Bunlar üst kısımdan farin peletleri ve ince taneli kömür veya kok ile beslenirler. Pişirilen malzeme fırının üst, biraz daha büyük kısmında yer alan kısa bir sinterleme bölgesinin içinden geçer. Daha sonra alttan üflenen yanma havası ile soğutulur ve fırının alt tarafından klinker halinde dışarıya bir boşaltma ızgarası üzerinde çıkar.

Şaft fırınları günde 300 tondan az klinker üretir. Bunlar sadece küçük fabrikalar için ekonomiktir ve bu nedenle sayıları gittikçe azalmaktadır.

1.2.5.6 Fırın dışı atım gazları

Tüm fırın sistemlerinde dışı atım gazları, ana bacaya gitmeden önce tozların ayrıştırılması için hava kirliliği kontrol cihazından (elektrostatik toz tutucu veya torba filtre) geçer.

Kuru proseslerde dışı atım gazları nispeten yüksek sıcaklıklarda olabilir ve hareket halinde iken farin değirmenine ısı sağlayabilir (bileşik çalışma). Farin değirmeninin çalışmadığı durumlarda (doğrudan çalışma) gazlar normalde toz toplayıcısına gitmeden önce hacimlerinin azaltılması ve çökeltme özelliklerinin artırılması için bir şartlandırma kulesinde su püskürtme ile soğutulur.

1.2.5.6.1 CO aşırımları

Karbon monoksit, hammaddelerin içinde bulunan organik içeriklerden ve bazen yakıtın eksik yanmasından dolayı ortaya çıkabilir. Hammaddelerin ön ısıtma nedeniyle bu konuda yapacakları katkı, fırın gazları ile birlikte dışarı atılır.

ESP’ler partikül azaltımı için kullanıldığında çimento (ve kireç) fırınlarında CO seviyelerinin kontrolü, derişimlerin alt patlama sınırının iyice altında tutulmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. ESP’lerdeki CO seviyesi Tablo 1.38’de (bkz. Bölüm 1.4.5.3) verilen belirli seviyelerin üzerine çıktığı takdirde, elektrik sistemi patlama riskini önlemek amacıyla kapanır (devre dışı bırakılır). Bu durum azaltıma uğramamış partiküllerin fırından salınmasına yol açar. CO aşırımları, yanma sisteminin kararsız durumda çalışmasından kaynaklanabilir. Bu durum bazen katı yakıtların beslenmesi sırasında meydana gelebilir ve bu nedenle katı yakıt besleme sistemleri yakıtın brülöre taşmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Katı yakıtların nem içeriği özellikle bu açıdan çok önemli bir faktördür ve yakıt hazırlama ve besleme sistemlerinde takılma ve tıkanmaları engellemek için dikkatli bir biçimde kontrol edilmelidir.

CO aşırımlarının kontrolüne ilişkin olarak Bölüm 6.2.6’da bir kılavuz bulunabilir.

1.2.5.7 Klinker soğutucuları

Klinker soğutucusu fırın sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır ve yüksek sıcaklık işlem tesisinin performansı ve ekonomisi üzerinde belirleyici etkisi vardır. Soğutucu, prosese geri döndürmek için sıcak (1450 °C) klinkerden mümkün olduğunca fazla ısının geri kazanımı ve klinker sıcaklığının takip eden teçhizat için uygun bir düzeye düşürülmesi olmak üzere iki görev görür.

Isı, ana ve ikincil pişirmede yanma havası olarak kullanılan havayı termodinamik sınıra mümkün olduğunca yakın bir sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tutmak suretiyle geri kazanılır. Ancak yüksek sıcaklıklar, klinkerin aşırı aşındırıcı özelliği ve geniş granülometrik aralığı engelleyici faktörlerdir. Hızlı soğutma, klinkerin mineralojik yapısını düzenlemek suretiyle klinkerin öğütülebilirliğini iyileştirir ve çimento reaktivitesini optimize eder.

Klinker soğutucularına özgü sorunlar, yukarıda belirtilen gereksinimlerin aleyhine işleyen termal genişleme, aşınma, yanlış hava akışı ve düşük erişilebilirlik faktörleridir. Soğutucuların döner ve ızgaralı olmak üzere iki ana türü vardır.

Beyaz çimento üretimi için başka türde soğutucular kullanılmakta olup, bunlar, klinker soğutma sırasındaki azaltım koşullarını korumak üzere tesisin özelliklerine uygun olacak şekilde özel olarak imal edilir. Klinker kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla beyazlatma ve su püskürtme ile hızlı soğutmanın ilk aşamasında oksijensiz atmosfer kullanılmaktadır. Beyaz klinkerin su ile hızlı soğutulması sonucunda beyazlıkta önemli bir iyileşme elde edilir. Klinkerin soğutma aşamasında renk verici maddeler ve güçlü oksitlemeden kaynaklanan bulaşım önlenmelidir. [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007], [138, İtalya, 2007].

1.2.5.7.1 Döner soğutucular

1.2.5.7.1.1 Tüp soğutucular

Tüp soğutucuda, döner fırın için geçerli olan prensibin aynısı, tersine ısı alışverişi için kullanılır. Kendi tahrik tertibatı olan ikinci bir döner tüp, fırının çıkışına, genellikle ters konfigürasyonda, diğer bir deyişle fırının alt kısmında olacak şekilde monte edilir. Klinker fırından boşaltıldıktan sonra, ürünün hava akımına maruz kalmak üzere dağılmasını sağlayan kaldırıcılar ile teçhiz edilmiş olan soğutucuya girmeden önce bir geçiş davlumbazından geçer. Hava akımının soğutulma düzeyi, yakıtın yanması için gerekli hava uyarınca belirlenir. Soğutucunun performansını hız dışında etkileyebilecek tek unsur içindeki donanımlardır. Kaldırıcıların optimizasyonu sırasında ısı alışverişine (dağılım şekli) karşılık fırına geri dönen toz döngüsü dikkate alınmalıdır.

1.2.5.7.1.2 Planet (uydu) soğutucular

Planet veya uydu soğutucu, özel bir döner soğutucu türüdür. Sayıları genelde 9 ila 11 arasında değişen bir dizi soğutma tüpü Şekil 1.18’de gösterildiği şekilde döner fırının boşaltma çıkışına monte edilir. Sıcak klinker, fırın kabuğunda daire şeklinde dizilmiş, soğutma tüplerinin monte edildiği her noktada yer alan deliklerden içeriye girer. Soğutma havasının miktarı, yakıtın yanması için gerekli hava miktarı uyarınca belirlenir ve her tüpün içine boşaltma çıkışından girerek karşı akışimli ısı alışverişini sağlar. Tüplü soğutucuda klinkeri kaldıran ve dağıtan iç donanım çok önemlidir. Değişken işletme parametreleri yoktur. Toz döngüleri ile birlikte yüksek düzeyde aşınma ve termal şok, yüksek klinker çıkış sıcaklıklarının ve yetersiz ısı geri kazanımının olağandışı bir durum olmadığı anlamına gelir. Klinker çıkış sıcaklığı yalnızca, soğutma tüplerine veya kabuğa su püskürtmek suretiyle daha aşağıya düşürülebilir.

Üçüncül havanın çıkartılması pratikte mümkün olmadığı için planet soğutucu ön kalsinasyon için uygun değildir. Ancak, fırın besleme alanında %25 oranında yakıt ile ikincil pişirme yapmak mümkündür.



Kaynak: [45, Schorcht, 2006] [90, Macaristan, 2006]

Şekil 1.18: Planet soğutucu örneği

1.2.5.7.2 Izgaralı soğutucular

Izgaralı soğutucularda soğutma, hava geçirimli bir ızgaranın üzerine serilmiş olan klinker katmanından (klinker yatağı) yukarıya doğru hava akımı geçirmek suretiyle elde edilir. İki türlü klinker taşınması uygulanmaktadır, bunlar: hareketli ızgara veya pistonlu ızgaradır (itici kenarları olan basamaklar).

Son soğutma bölgesinden gelen sıcak hava yanma için kullanılmadığından hammadde, çimento katkı maddeleri veya kömür gibi malzemelerin kurutulması amacıyla kullanıma müsaittir. Kurutma amaçlı kullanılmadığı takdirde bu soğutucu atık hava usulüne uygun şekilde tozsuzlaştırılmalıdır.

1.2.5.7.2.1 Hareketli ızgaralı soğutucular

Bu tür soğutucularda klinker bir hareketli ızgara vasıtasıyla taşınır. Bu ızgara ön ısıtıcı ızgara (Lepol) ile aynı tasarım özelliklerini taşır. Soğutma havası fanlar tarafından ızgaranın altındaki bölmelere üflenir. Bu tasarımın avantajları klinker katmanının bozulmaması (basamaksız) ve fırını durdurmaksızın plakaların değiştirilebilmesidir. Mekanik açıdan karmaşık olması ve sınırlı yatak kalınlığından kaynaklanan yetersiz geri kazanımdan dolayı (ızgara ile duvarlar arasında etkili yalıtım yapılmasının zorluğu nedeniyle) bu tasarımın yeni tesislerde kullanımı 1980'li yıllardan itibaren durdurulmuştur.

1.2.5.7.2.2 Pistonlu ızgaralı soğutucular

Pistonlu ızgaralı soğutucuda klinkerin taşınması, klinker yatağını birbirini izleyen sıralar halindeki plakaların ön kenarlarından adım adım itme suretiyle gerçekleştirilir. Ön kenarların göreceli hareketi her ikinci sıraya bağlı olan hidrolik veya mekanik (dirsekli mil) tahrik düzeneği ile sağlanır. Izgara hareket etmez, bunun yerine klinker besleme girişinden boşaltma çıkışına kadar yol alır.

Isıya dayanıklı dökme çelikten yapılan ızgara plakaları genelde 300 mm genişliğindedir ve havanın içlerinden geçmesine yönelik delikleri vardır.

Soğutma havası fanlardan 300-1000 mmWG'de ızgaranın altında yer alan bölmelerden üflenir. Bu bölmeler basınç profilini koruyabilmek için birbirinden ayrılmıştır. İki tane soğutma bölgesi vardır:

- içindeki sıcak soğutma havasının ana brülör yakıtını (ikincil hava) ve ön kalsinatör yakıtını (üçüncül hava) yakmak için kullanıldığı geri kazanım bölgesi,

- ☐ ilave soğutma havasının klinkeri daha düşük sıcaklıklara düşürmek üzere soğuttuğu son soğutma bölgesi.

Modern soğutma tekniğinin temel özellikleri (tedarikçiye bağlı olarak) aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ yerleşik, değişken veya sabit basınç düşüşüne sahip, havayı geçiren ancak klinkeri geçirmeyen modern plakalar
- ☐ kanal ve girişler vasıtasıyla basınçlı plaka havalandırması
- ☐ ayrı olarak ayarlanabilen havalandırma bölgeleri
- ☐ sabit giriş
- ☐ daha az sayıda ve daha geniş ızgaralar
- ☐ silindirik kırıcı
- ☐ ısı kalkanları.

Çalışmakta olan en büyük üniteler yaklaşık 280 m² aktif yüzeye ve günlük 10 000 ton klinker soğutma kapasitesine sahiptir. Bu soğutucuların tipik işletimsel sorunları hava-klinker dengesizliğine, ince klinkerin akışkanlaşmasına (kızıl nehir), birikmelere (kardan adamlar) ve plakaların ömrünün kısılmasına yol açan ayrıklanım ve düzensiz klinker dağılımıdır.

1.2.5.7.2.3 Üçüncü nesil ızgaralı soğutucular

Modern teknoloji kullanılarak imal edilen pistonlu ızgaralı soğutucuların ortaya çıkışı ve geliştirilmesi 1983 yılı civarında başlamıştır. Tasarımın amacı, genelleşmiş soğutucuların neden olduğu sorunları ortadan kaldırmak suretiyle optimum ısı alışverişine, daha az soğutma havası ve daha küçük tozsuzlaştırma sistemleri kullanan kompakt soğutucu yapılarına bir adım daha yaklaşmaktır.

2000'li yıllarda çimento endüstrisinde tamamen yeni bir klinker soğutma kavramını temsil eden yeni bir nesil ortaya çıkmıştır. Temelde yatan fikir, klinker taşıma ile hava dağıtım sistemlerini birbirlerinden ayıran ve optimize eden bir soğutucu geliştirmek olmuştur. Pistonlu ızgaralı soğutucular ile karşılaştırıldığında sızdırmazlık havası ortadan kaldırılmış ve hava dağıtımı her türlü çalışma modu için optimize edilmiştir.

Bu tür soğutucuların temel özellikleri (tedarikçiye bağlı olarak) aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ bir eğimli veya yatay sabit ızgara
- ☐ hava dağıtımından ayrı olarak çapraz çubuklar, sevk bantları, yürüyen zeminler veya benzeri aygıtlarla klinker taşıma
- ☐ klinkerin yerinde kalarak ızgara bölümünün altına dökülmemesi
- ☐ sızdırmazlık havasının ortadan kaldırılması ve hava dağılımının otomatik kontrolü
- ☐ ince klinkerin akışkanlaşması (kızıl nehir) ile ilgili zorlukların daha iyi kontrol edilmesi nedeniyle klinker nakil verimliliğinin artırılması.

Bu tür soğutucular en büyük klinker kapasitesine sahip çimento fırınlarında çalışmaya uygundur.

1.2.5.7.3 Dikey soğutucular

Yerçekimli soğutucu veya G-soğutucu olarak adlandırılan bir tozsuz son soğutucu, planet soğutucusu veya kısa ızgaralı reküperatörün/soğutucunun sonrasında kurulmak üzere geliştirilmiştir. Isı alışverişinin klinkerin, klinker yatağı içinden geçen çapraz çelik borular üzerinden aşağıya doğru hareket etmesiyle meydana gelmesi ve dolayısıyla klinkerin bu boruların içinden üflenen hava ile soğutulması nedeniyle soğutma havası hiçbir zaman klinkerle temas etmez.

1.2.5.8 Kojenerasyon

Elektrik enerjisi üretimi ve çimento üretim prosesinden elde edilen fazla ısının kullanılması çimento tesislerinde uygulanabilir.

Normal koşullarda, çimento klinker fırınının yaydığı ısının büyük bir kısmı aşağıda belirtildiği şekilde kurutma ve kuru öğütme proseslerinde kullanılır:

- ☐ hammadde kurutma ve öğütme
- ☐ cüruf kurutma
- ☐ kum kurutma
- ☐ yakıt kurutma ve öğütme.

Çok kademeli süspansiyonlu siklon ön ısıtıcı tesisler (ön kalsinatörlü veya değil) mevcut hammaddenin niteliğine uymak üzere tasarlanmıştır. Hammaddeler çok yaş olduklarında malzemenin işlenmesi için ızgaralı klinker soğutucudan çıkan gaz da kullanılır.

Jeolojik koşullara ve mevsimsel yağışlara bağlı olarak kireç bazlı hammaddelerin nemini gidermek için değişen seviyelerde ısıya ihtiyaç duyulur. Ancak kimi zaman yukarıda belirtilen işlemler için mevcut ısı ihtiyacın üzerindedir. Fazla ısının mevcudiyeti ve daha sonra ısı geri kazanım tekniği ile ilgili olarak bu değişkenliğin hesaba katılması gerektiği akılda bulundurulmalıdır.

Fazla ısı bölgesel ısıtmanın yanı sıra, elektrik enerjisi üretimi için de kullanılabilir. Normalde bu prosesler suyla işletilmekte olup, elektrik enerjisi üretildiği takdirde nispeten yüksek buhar sıcaklığı/basıncı altında ekonomik şekilde işletilmeleri gerekir.

Düşük sıcaklıkta atık ısıdan elektrik enerjisi kojenerasyonu için Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesi, bir Alman çimento fırınında ilk kez uygulanmıştır. Bu işlem temelde sudan çok daha düşük sıcaklıklarda buharlaşan pentanın devindirici ortam olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Öne çıkan avantajları ise işlemin basit oluşu, kompakt yapısı ve 275 °C'nin altında ısı kaynakları ile nispeten yüksek seviyelerde verimlilik elde edilebilmesidir. Bu nedenle, belirli ön koşulların uygulanması halinde, çimento üretim prosesinden elde edilen ısı fazlasını kullanmak suretiyle elektrik enerjisi üretimi, buhar kullanarak elektrik üreten santrallere teknik açıdan uygun bir alternatif olarak kabul edilebilir.

Bir Alman çimento tesisinden elde edilen sonuçlar eldeki işletme modu ile 1,1 MW elektrik enerjisi üretilebileceğini göstermiştir. Bu durum 14 MW dışa atım havası atık ısı çıktısına ve 300°C dışa atım gazı sıcaklığına sahip olan bir klinker soğutucusu ile elde edilmiştir [76, Almanya, 2006], [78, E. Baatz + G. Heidt, 2000], [79, Almanya, 2001], [133, CEMBUREAU / Federhen, 2007].

Klinker soğutuculardan veya bölgesel ısıtma için fırından çıkan gazlardan ısı fazlasının geri kazanımı, genelleşmiş buhar çevrim prosesi ile elektrik enerjisi kojenerasyonu ve ayrıca ORC prosesi işletimi ile ilgili daha fazla bilgi ve örnek tesisler Bölüm 1.4.2.4 ve Bölüm 6.2.3'te bulunabilir.

1.2.6 Çimento öğütme ve depolama

1.2.6.1 Klinker depolama

Klinker ve diğer çimento bileşenleri silolarda veya kapalı hangarlarda depolanır. Daha büyük stoklar toz oluşumuna karşı gerekli önlemler alınmak kaydıyla açık havada depolanabilir.

En yaygın klinker depolama sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ yerçekimli boşaltmalı uzunlamasına depolar (sınırlı ömürlü stok)
- ☐ yerçekimli boşaltmalı dairesel depolar (sınırlı ömürlü stok)
- ☐ klinker depolama siloları (uzun ömürlü stok; belirli silo seviyelerinde klinkerin silodan çekilmesi sırasında zemin titreşimleriyle ilgili sorunlar meydana gelebilir)
- ☐ klinker depolama kubbeleri (sınırlı ömürlü stoklar).

1.2.6.2 Çimento öğütme

Portland çimentosu, çimento klinkeri ile alçı ve anhidrit gibi sülfatları birlikte öğütmek suretiyle üretilir. Katkılı çimentolarda (kompozit çimentolar) granül haline getirilmiş yüksek fırın cürufu, duman külü, doğal veya sentetik puzolan, kireçtaşı veya etkisiz dolgu maddeleri gibi başka bileşenler de bulunur. Bunlar klinker ile birlikte öğütülür veya ayrı olarak kurutulup öğütülmeleri gerekebilir. Öğütme tesisleri ile klinker üretim tesisleri ayrı yerlerde olabilir.

Belirli bir üretim sahasında seçilen çimento öğütme prosesinin ve tesis tasarımının türü üretilecek çimentonun türüne bağlıdır. Üretilen çimento türünde yer alan bileşenlerin öğütülebilirliği, nem oranı ve aşındırıcı davranışı özel önem arz eder.

Değirmenlerin çoğu kapalı devre çalışmak suretiyle çimentoyu öğütülen malzemeden gerekli incelikte ayırabilir ve kaba taneli malzemeyi değirmene geri gönderebilir.

Beyaz çimento üretimi için nihai öğütme, yüksek saflıkta uygun alçıtaşı türünün seçimiyle birlikte en önemli adımlar arasındadır. İnceliğin artırılması ve öğütme süresinin azaltılması için uygun bir öğütme yardımcısı (en fazla %1) kullanılır ve bunun sonucunda beyazlık % 5 – 7 oranında artar. Ayrıca beyaz mermer veya kuvars cam, saf silika jel, mika veya talk, kaolin (veya metakaolin) veya eser miktarda TiO_2 içeren tozlar gibi mikro dolgu maddeleri nispeten küçük miktarlarda kullanılabilir, [119, Sobolev, 2001].

1.2.6.2.1 Değirmen beslemesinin ölçülmesi ve oranlanması

Değirmene beslenen malzeme bileşenlerinin ağırlık cinsinden ölçülmesi ve oranlanmasının doğruluğu ve güvenilirliği öğütme sisteminin yüksek enerji verimliliğinin sürdürülmesi açısından çok önemlidir. Değirmenlere beslenen malzemenin ölçümü ve oranlanması için kullanılan başlıca teçhizat tartılı besleme bandıdır.

1.2.6.2.2 Çimento öğütme

Piyasada talep edilen çimento türlerinin çeşitliliği nedeniyle önde gelen sistemler dinamik hava ayırıcısı ile donatılmış en yeni öğütme sistemleridir.

Yaygın olarak kullanılan son öğütme sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ kapalı devre tüp değirmenler (kuru veya ön kurutma olmadığı takdirde sınırlı miktarda mineral ilavesi yapılabilir)
- ☐ dikey valsli değirmenler (kurutma kapasitesi nedeniyle yüksek oranda mineral ilaveleri için, ilave edilen minerallerin ayrı olarak öğütülmesi için özellikle uygundur)
- ☐ valsli presler (kuru veya ön kurutma olmadığı takdirde sınırlı miktarda

mineral ilavesi yapılabilir) Kullanılan diğer son öğütme sistemleri aşağıda

belirtilmiştir:

- ☐ açık devre boşaltma çıkışlı tüp değirmen
- ☐ mekanik hava ayırıcısı veya eski nesil siklonlu hava ayırıcısı olan kapalı devre boşaltma çıkışlı tüp değirmen
- ☐ yatay valsli değirmenler.

Bilyalı değirmenlerin (bir çeşit *tüp değirmen*) tüp çapları azami 6 m, uzunlukları ise azami 20 m'dir. İstenen öğütme inceliğine bağlı olarak farklı boyutlarda çelik bilyalar kullanılır. İstikrarlı işletme koşullarında bu tür değirmenin işletimi nispeten kolaydır ve yüksek işletme güvenilirliği ve sürekliliği sağlar. Belirli bir nem içeriğine sahip olan mineral katkılar, değirmene sıcak gaz vermek ve öğütme işleminden elde edilen ısıyı kullanmak suretiyle bir yere kadar kurutulabilir. Ancak, diğer tür değirmenler ile karşılaştırıldığında bilyalı değirmenlerin enerji tüketimi daha yüksektir ve enerji verimliliğinde son sırayı almaktadırlar.

Dikey valsli değirmenlerin çalışma ilkesi, mafsallı kollar ile desteklenen ve yatay öğütme tablası ya da öğütme çanağı üzerinde hareket eden iki ila dört adet öğütme valsinin hareketine dayalıdır. Dikey valsli değirmenler, değirmene beslenen malzemenin göreceli olarak yüksek nem içeriği ile baş edebildikleri için özellikle çimento ham maddelerinin veya cürufunun eş zamanlı öğütülmesi veya kurutulması için uygundur. Malzemenin değirmenin içinden geçme süresi, örneğin çimento cürufu öğütülmesi durumunda, çimento klinkerinin ön hidrasyonunu engelleyecek kadar kısadır.

Yüksek basınçlı çift valsli değirmen nispeten daha yüksek seviyede bakım gerektirir. Yüksek basınçlı çift valsli değirmenler çoğu kez bilyalı değirmenlerle birlikte kullanılır.

Yatay valsli değirmen, çimento öğütmede nispeten yakın geçmişte meydana gelen bir gelişmedir. Bu değirmen, hidrodinamik veya hidrostatik yataklarla desteklenen kısa bir yatay hazneden oluşur. Hazne bir dişli çember vasıtasıyla döndürülür. Haznenin içinde serbest bir şekilde dönebilen ve hidrolik olarak hazneye preslenebilen yatay bir vals vardır. Öğütülecek olan malzeme haznenin içine bir uçtan veya her iki uçtan beslenir ve daha sonra vals ile hazne arasından birkaç defa geçiş yapar. Değirmenden çıkan öğütülmüş malzeme ayırıcıya taşınır ve standart ebattan büyük parçalar değirmene geri gönderilir.

Öğütme tekniği örneklerinin temel özelliklerine dayalı olarak karşılaştırması Bölüm 1.3.3.2'de yer alan Tablo 1.19'da gösterilmiştir.

1.2.6.2.3 Mineral katkılarının öğütülmesi

Mineral katkılar genellikle klinker ve alçı ile birlikte öğütülür. Bunların ayrı olarak öğütülmesi için alınacak karar temel olarak aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır:

- ☐ nihai üründe ve çimento üretiminin bütününde kullanılan mineral katkı maddelerinin yüzdesi
- ☐ ayrı bir değirmen sisteminin mevcut olup olmadığı
- ☐ klinker ile mineral katkı maddelerinin öğütülebilirliğinde önemli bir farkın olup olmadığı
- ☐ mineral katkı maddelerinin nem içeriği.

Mineral katkı maddelerinin önceden kurutulması gerekiyorsa, fırın dışı atım gazlarını ve/veya soğutucunun dışı atım havasını veya bağımsız bir sıcak gaz kaynağını kullanan kurutma sistemlerinden yararlanılabilir.

Birlikte öğütme sistemleri

Hammaddelerin kuru/yarı-kuru olarak öğütülmesi için belirtilmiş olan öğütme sistemlerinin tümü mineral katkı maddelerinin klinker ve alçı ile birlikte öğütülmesi için kullanılabilir. Ancak adı geçen sistemlerin çoğu, besleme karışımının nem içeriğini azami % 2 veya sıcak gaz kaynağı kullanıldığı takdirde % 4 olarak sınırlar. Nem içeriği daha yüksek olduğu takdirde sistemler mineral katkı maddelerinin bir kurutucuda ön kurutmaya tabi tutulmalarını gerekli kılar. Bunun istisnası ise, nem içeriği azami % 20 olan malzemeleri işleyebilen ancak yine de sıcak gaz kaynağına ihtiyaç duyan dikey vals sistemidir.

Ayrı öğütme

Mineral katkı maddelerinin ayrı öğütülmesi için hammaddelerin kuru/yarı kuru öğütülmesine yönelik sistemler kullanılabilir. Ancak, katkı karışımlarının nem içerikleri ile ilgili hususlar bu sistemler için de geçerlidir ve ön kurutma gerekli görülebilir.

1.2.6.2.4 Partikül boyutu dağılımına göre ayırma

Çimento öğütme sisteminden çıkan bir ürünün tane büyüklüğü dağılımı çimento kalitesi için son derece önemlidir. Bu parametrelerin özellikleri, ayırıcının ayarlamak suretiyle elde edilir. En yeni rotorlu kafes türü ayırıcıların önceki tasarımlara nazaran çeşitli üstünlükleri vardır, bunlar:

- ☐ sistemin daha düşük özgül enerji tüketimi (daha az aşırı öğütme)
- ☐ sistemin iş hacminin (verimlilik) artması
- ☐ ürün soğutma imkanı
- ☐ ürün inceliğinde ayarlamalar yapma konusunda daha fazla esneklik
- ☐ daha iyi partikül boyutu dağılım kontrolü, daha iyi ürün tekdüzeliği.

1.2.6.2.5 Kromatların indirgenmesi – krom (VI)

Çimento doğal hammaddelerden üretilmiş olduğundan, krom içeriği koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir, ancak varlığı kaçınılmazdır. Portland çimentoda bulunan kromun ana kaynakları kireçtaşı, kum ve özellikle kil gibi doğal hammaddelerdir. Yakıtlar (genelleşmiş (fosil) ve atık) ikincil kaynaklar arasında yer alır. Dolayısıyla, yerkabuğunun kimyasal bileşimindeki doğal farklılıkların sonucu olarak krom içeriği önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Mevcut kromun bir kısmı ‘altı değerlikli krom’ (krom (VI)) olarak suda çözünebilir haldedir.

2003 yılında İş Sağlığı Ulusal Enstitüsü tarafından inşaat sanayiindeki işçilerde çimentodaki krom (VI) içeriğiyle ilgili olarak alerjik dermatit oluşumu konusunda bir epidemiyolojik değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmede ‘bitmiş çimentoda bulunan kromun ana kaynakları hammaddeler, fırında bulunan refrakter tuğlalar ve krom öğütme ortamıdır. Bu kaynakların yapacağı göreceli katkılar, hammaddelerin krom içeriğine ve üretim koşullarına bağlı olarak değişebilir. Klinkerin %17-28 krom içeren alaşım toplarıyla öğütülmesi konusunda yapılan bir çalışmada çimentoda bulunan altı değerlikli krom, orijinal klinkerin içinde bulunana nazaran iki mislinden fazla artmıştır.’ denilmektedir.

Krom (VI), suda çözüldüğü zaman korumasız deriye nüfuz edebilir. Bu suda çözünür krom (VI) ‘çimento egzaması’ olarak da anılan alerjik dermatite neden olabilir. ‘Çimento egzaması’, su ile karışan çimentonun alkali yapısının neden olduğu tahriş edici dermatit olarak adlandırılan başka bir dermatit türünü de kapsar.

Kromatlar ile ilgili AB Direktifi (2003/53/AK), %0,0002’den (2 ppm) fazla çözünür krom (VI) içeren çimentonun satışını ve kullanımını sınırlandırmıştır. Genel olarak çimento sanayinde, hammaddeler ana kaynak olduğu için giriş aşamasında çimentodaki kromat miktarını azaltmak mümkün değildir. Bu nedenle 2007 yılında çimentoda bulunan suda çözünebilir kromu (VI) azaltmak için kullanılan tek yol nihai ürünlere indirgeyici madde ilave edilmesidir. Avrupa’da kullanılan ana indirgeyici maddeler demir sülfat ve kalay sülfattır [86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [111, Avrupa Birliği, 2003].

1.2.6.3 Çimentonun depolanması

Çimentonun depolama silolarına taşınması için hem pnömatik hem de mekanik taşıyıcı sistemler kullanılabilir. Normalde mekanik sistemlerin yatırım maliyeti daha fazla olmakla birlikte, işletme maliyeti pnömatik taşımaya kıyasla çok daha düşüktür. Zincirli kovalı asansör ile bir arada kullanılan hava sürgülü veya vidalı/zincirli konveyörler en yaygın kullanılan taşıma sistemidir.

Farklı çimentolar silolarda ayrı ayrı depolanır. Genelde çimentoların depolanması için çeşitli silolar gereklidir. Ancak yeni silo tasarımları birden fazla çimento çeşidinin aynı silo içerisinde depolanmasını mümkün kılmaktadır. Çimento depolaması için kullanılan silo konfigürasyonları aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ boşaltma hunisi olan tek hücreli silolar
- ☐ merkezi konili tek hücreli silolar
- ☐ çok hücreli silolar
- ☐ merkezi konili kubbe silolar

Bu silolardan çimento boşaltma işlemini başlatmak ve sürdürmek için silonun alt tarafında bulunan havalandırma yastıkları vasıtasıyla basınçlı hava kullanılır.

1.2.7 Paketleme ve sevkiyat

Çimento silolardan dökme olarak doğrudan karayolu, demiryolu veya deniz tankerlerine veya paketleme istasyonuna gönderilir.

1.3 Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri

Bu belgede aksi belirtilmedikçe, çimento endüstrisi ile ilgili bu kısım için, baca gazı hacim akışlarının ve derişimlerinin ölçülmesine ilişkin standart koşulların, yine Terimler Sözlüğünde belirtilen aşağıdaki tanımlarla ilgili olduğuna dikkat edilmelidir:

m ³ /s	hacimsel akış hızı: bu belgede aksi belirtilmediği sürece, hacimsel akış hızları hacimce %10 oksijen içeriği ve standart hali referans alır
mg/Nm ³	derişim: belgede aksi belirtilmediği sürece, gaz halindeki maddelerin veya madde karışımlarının derişimi, hacimce %10 oksijen ve standart haldeki kuru baca gazını referans alır
standart hal	273 K sıcaklık, 1013 hPa basınç ve kuru gaz anlamına gelir

Buna ek olarak, emisyon aralıkları için referans oksijen seviyesi %10 olmakla birlikte pişirme prosesindeki fiili oksijen seviyesinin %10'un çok altında, örneğin %3 olduğu akılda tutulmalıdır. Emisyon derişimi hesaplama formülü aşağıda gösterilmektedir:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesindeki emisyon derişimi O_R ; O_R (hacimce %): referans oksijen seviyesi
 E_M (mg/Nm³): ölçülen oksijen seviyesindeki emisyon derişimi O_M ; O_M (hacimce %): ölçülen oksijen seviyesi

İzleme ile ilgili ek yararlı bilgiler İzleme Genel İlkeleri Referans Dokümanında (MON) bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

Çimento üretimi ile ilgili temel çevresel hususlar havaya emisyonlar ve enerji kullanımıdır. Atık su deşarjı genellikle yüzey akıntısı ve soğutma suyu ile sınırlıdır ve su kirliliğine önemli bir katkıda bulunmaz. Yakıtların depolanması ve taşınması toprak ve yeraltı suları için potansiyel bir bulaşım kaynağıdır.

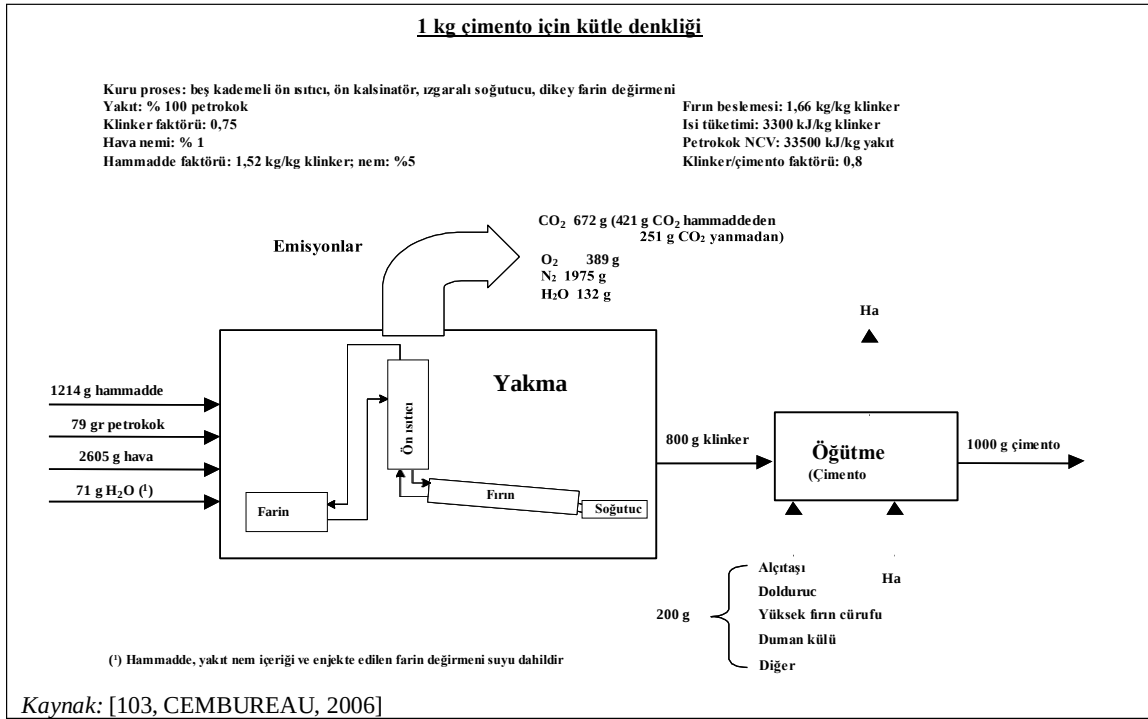
Bir kütle denkliğinin amacı, kütlenin korunumu kanununu dikkate alarak sisteme giren ve çıkan kütle bileşenlerinin değerlendirilmesidir. Tüm kütle denkliği öğelerinin değerlendirilebilmesi için hammadde ve yakıt bileşimleri, gaz akımları, atmosferik veriler ve benzeri proses verileri hakkında önceden bilgi sahibi olmak gereklidir. Farin değirmeni, ön ısıtıcı, fırın ve soğutucudan oluşan sisteme sahip bir çimento tesisinde aşağıda belirtilen girdi ve çıktı akışları önemlidir:

- girdi akışları:
 - hammaddeler (genelleşmiş ve/veya atık)
 - enerji (yakıtlar (fosil ve/veya atık ve/veya biyokütle), elektrik enerjisi)
 - su (yakıt nemi, hammadde nemi, hava nemi ve farin değirmeninde su enjeksiyonu dahil)
 - hava (birincil hava, nakil havası, soğutma havası ve kaçak hava)
 - yardımcı maddeler (mineral katkılar, ambalaj malzemesi)
- çıktı akışları:
 - klinker
 - proses kayıpları/atığı (filtre tozları)
 - havaya emisyonlar (örneğin. toz, NO_x, SO_x; ayrıca bkz. Şekil 1.19 kütle dengesi)
 - suya emisyonlar (nadiren)

Girdi verileri aşağıdaki gibidir:

- ☐ kuru proses: beş kademeli ön ısıtıcı, ön kalsinatör, ızgaralı soğutucu, dikey farin değirmeni
- ☐ yakıt: %100 petrokok
- ☐ ısı tüketimi: 3300 kJ/kg klinker
- ☐ petrokok (net) ısı değeri (NCV): 33500 kJ/kg yakıt
- ☐ fırın beslemesi: 1,66 kg/kg klinker; standart fırın beslemesi kimyasal bileşimi
- ☐ hammadde faktörü: 1,52 kg/kg klinker ve %5 nem
- ☐ hava nemi: %1
- ☐ farin değirmeni:
 - kaçak hava: % 30
 - su enjeksiyonu: % 0.5 fırın beslemesi
- ☐ klinker/çimento faktörü: 0,8.

Kuru proses ve yakıt olarak petrokok kullanmak suretiyle 1 kg çimento üretimi için kütle dengliği Şekil 1.19'da gösterilmiştir.



Şekil 1.19: Kuru işlemede 1 kg çimento üretimi için kütle dengliği

1.3.1 Su tüketimi

Üretim sürecinin bir dizi aşamasında su kullanılır. Bazı durumlarda, su, hammadde hazırlama, klinker pişirme ve gazların soğutulması gibi soğutma işlemlerinde ve çimento harcı üretimi için uygulanan teknolojik proseslerde kullanılır. Yarı-kuru proseslerde su, kuru farinin pelet haline getirilmesi için kullanılır. Yaş proses kullanan tesislerde fırına beslenen çimento harcının hazırlanması için daha çok su kullanılmakta (üretilen ton çimento başına) olup, genel olarak ton başına 100- 600 litre su tüketimi rapor edilmiştir. Ayrıca, özel uygulamalarda su klinkeri soğutmak için kullanılmakta olup yaklaşık 5 m³/s su tüketimi rapor edilmiştir. Çoğu durumda, tüketilen su içme suyu değildir [45, Schorcht, 2006], [75, Estonya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [120, İspanya, 2007].

1.3.2 Hammadde tüketimi

Çimento üretimi yüksek hacimli bir süreçtir. Tablo 1.15'te yer alan rakamlar, Avrupa Birliği'nde çimento üretimi için kullanılan hammaddelerin genel ortalama tüketimlerini göstermektedir. Son sütunda yer alan rakamlar, Avrupa çimentosunun içerdiği ortalama klinker miktarı baz alınarak yapılan hesaplama sonucunda elde edilen yıllık 1,23 milyon ton çimento üretiminden yola çıkarak, günde 3 000 ton veya yılda 1 milyon ton klinker üreten bir tesisi temsil etmektedir.

Tablo 1.15: Çimento üretiminde hammadde tüketimi

Malzemeler (kuru bazda)	Ton klinker başına	Ton çimento başına	Yıllık Mt klinker başına
Kireçtaşı, kil, şist, marn, diğer	1,57 t	1,27 t	1 568 000 t
Alçıtaşı, anhidrit	-	0,05 t	61 000 t
Mineral katkıları	-	0,14 t	172 000 t
Kaynak: [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım]			

1.3.2.1 Atıkların hammadde olarak tüketimi

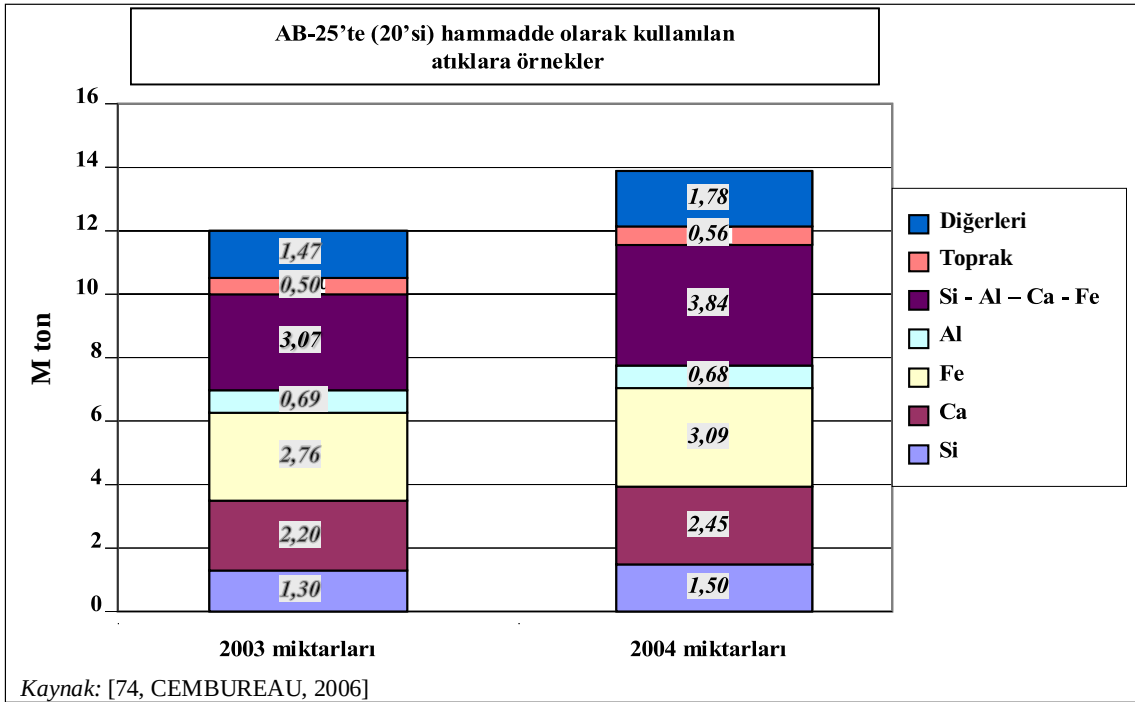
Atıkların klinker pişirme prosesinde hammadde olarak kullanımı, nispeten büyük miktarda hammaddenin ikamesini sağlayabilir. (Ayrıca bkz. Bölüm 1.2.4). Klinker üretiminde hammadde olarak kullanılan atıkların miktarları 2001 yılından bu yana iki mislinin üstüne çıkmıştır. 2004 yılında klinker üretiminde kullanılan atık hammaddeler, çimento sektörünün yaklaşık 14 milyon ton genelleşmiş hammaddeyi doğrudan tasarruf etmesini sağlamış olup, bu rakam ihtiyaç duyulan doğal hammaddelerin yaklaşık %6,5'luk bölümüne eşittir.

Ancak bu hammaddeler, klinker pişirme prosesi için gerekli olan özellikler, kimyasal elementler ve bileşimlere sahip olmalı ve bunları karşılamalıdır. Bu atık malzemelerin prosesin emisyon davranışı ve emisyonlar üzerinde etkileri olabilir. Emisyonlar üzerindeki etkiler Bölüm 1.3.4.13'te açıklanmıştır. 2003 ve 2004 yıllarında AB-27'de çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan ve kimyasal elementleri ile nitelendirilen atıkların tüketim listesi Tablo 1.16'da verilmiştir. AB-27'de 20 ülkenin kullanımındaki payları Tablo 1.20'de gösterilmiştir.

Tablo 1.16: 2003 ve 2004 yıllarında AB-27’de çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan ve kimyasal elementleri ile nitelendirilen atıklar

Hammadde olarak kullanılan atıklar			
İstenen (birincil) kimyasal elementler	Atık kolları örnekleri	2003 miktarları (milyon ton)	2004 miktarları (milyon ton)
Si	Kullanılmış döküm kumu	1,52	1,50
Ca	Endüstriyel kireç Kireç harçları Karpit çamuru İçme suyu artımından kaynaklanan çamur	2,20	2,44
Fe	Pirit külü Sentetik hematit Kırmızı çamur	3,29	3,37
Al		0,71	0,69
Si-Al-Ca-Fe	Uçucu kül Cüruflar İnce kırıcı artıkları	3,37	3,78
Toprak		0,45	0,50
S grubu	Sanayi yan ürünü alçıtaşı		
F grubu	CaF ₂ Filtre çamuru		
Diğer		1,56	1,71
Toplam		13,10	13,89

Kaynak: [74, CEMBUREAU, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]

**Şekil 1.20: AB-27'nin 20 ülkesinde hammadde olarak kullanılan atıklar**

Çimento öğütmek için hammadde olarak atık kullanımına bağlı tüketim artmıştır. Örnek olarak, bitümlü şist uçucu külü kullanımının 2000 yılından 2005 yılına kadar ikiye katlanarak 100 kt/yıl seviyesine ulaşmış olduğu rapor edilmiştir [75, Estonya, 2006].

1.3.3 Enerji kullanımı

Çimento endüstrisi, kullanılan prosese bağlı olarak yüksek enerji tüketen bir endüstridir. Çimento üretiminde kullanılan iki ana enerji türü yakıt ve elektriktir. Enerji verimliliği (termal ve elektrik) ekonomik ve teknolojik ihtiyaçlar tarafından yönlendirilen tüm iş kararlarının bir parçası olarak uzun yıllar boyunca Avrupa çimento endüstrisi için bir öncelik olmuştur [103, CEMBUREAU, 2006].

1.3.3.1 Termal enerji talebi

Çimento klinkeri üretimi için teorik termal (yakıt) enerji talebi, klinker pişirme prosesinin (1 700 ila 1 800 MJ/ton klinker) kimyasal/ mineralojik reaksiyonları için gerekli olan enerji miktarı ve özellikle Tablo 1.17’de verilen örneklerde belirtildiği gibi hammaddenin nem içeriğine bağlı olarak, hammaddenin kurutulması ve ön ısıtılması için gerekli olan termal enerji miktarı tarafından belirlenir. Modern ön ısıtıcı fırınlarda siklonların sayısı hammaddenin kimyasal bileşimi ile sınırlı olabilir.

Tablo 1.17: Farinin kurutulması için termal enerji ihtiyacı örnekleri

Özellikler	Birim	Hammadde nemi (% a/a)			
		3	6	9	12
Siklon aşamalarının sayısı	-	6	5	4	3
Kurutma için gerekli entalpi	MJ/t klinker	150	290	440	599
Kaynak: [137, Klein/Hoenig, 2006]					

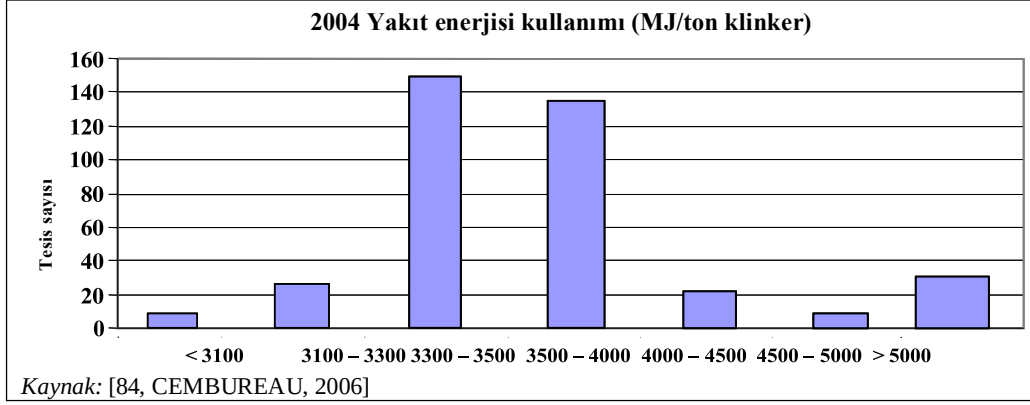
Farklı fırın sistemleri ve fırın boyutları için gerekli olan fiili termal (yakıt) enerji talebi ile beraber özel çimento üretimi için kullanılan yakıt enerjisi Tablo 1.18’de gösterilen aralıklar içindedir. Uygulamadan elde edilen deneyim, kuru proses kullanan, çok kademeli siklonlu ön ısıtıcıları ve ön kalsinasyon fırınları olan tesislerin enerji tüketiminin yaklaşık 3000 MJ/ton klinkerden başladığını ve 3800 MJ/ton klinkerin üzerine çıkabildiğini (yıllık ortalama olarak) göstermektedir. Bu aralıktaki değişim, sistemlerin kapatılması ve çalıştırılması ile örneğin değişen hammadde özellikleri gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Hammadde nem oranının siklon ön ısıtıcı fırınların termal enerji talebi üzerindeki tahmini etkisi Tablo 1.17’de verilmiştir

Tablo 1.18: AB-27’de çimento üretiminde yakıt enerjisi kullanımı

Özgül termal enerji talebi (MJ/ton klinker)	Proses
3 000 – <4 000	Kuru proses, çok kademeli (üç ila altı kademeli) siklonlu ön ısıtıcılar ve ön kalsinasyon fırınları için
3 100 – 4 200	Kuru proses, siklon ön ısıtıcı döner fırınlar için
3 300 – 5 400	Yarı kuru/yarı yaş prosesler için (Lepol fırını)
5 000’e kadar	Kuru proses uzun fırınlar için
5 000 – 6 400	Yaş proses uzun fırınlar için
3 100 – 6 500 ve üstü	Şaft fırınlar ve özel çimento üretimi için
Kaynak: [75, Estonya, 2006] [76, Almanya, 2006] [84, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [120, İspanya, 2007], [168, TÇG CLM, 2007]	

AB-27 çimento sanayiinde 2004 yılındaki yakıt enerjisi kullanımı, kullanılan farklı prosesler (kuru, yarı-kuru/yarı-yaş veya yaş) ve yakıtlar (fosil ve/veya atık) arasında herhangi bir ayırım yapılmaksızın Şekil 1.21’de gösterilmiştir. AB-27 içinde yaklaşık 30 çimento fabrikası, örneğin beyaz çimento gibi

özel çimento üretimi için 5000 MJ / tondan fazla klinker ile yüksek miktarda yakıt enerjisi tüketicisi konumundadır (ayrıca bkz. Tablo 1.18). Beyaz çimento üretimi ile ilgili enerji tüketimi, bu tür beyaz klinkerin üretimi için gerekli, diğer klinker türlerinin (gri klinker) üretimine kıyasla yüksek olan sıcaklıktan etkilenir [75, Estonya, 2006], [84, CEMBUREAU, 2006], [120, İspanya, 2007].



Şekil 1.21: 2004 yılında AB-25 çimento sanayi yakıt enerjisi kullanımı

Aşağıda belirtilenler gibi çeşitli parametreler özgül enerji tüketimini etkileyebilir [92, Avusturya, 2006]:

- ☐ proses ve tesis tasarımı
 - üç ila altı siklon kademesi
 - kalsinatör
 - üçüncül hava
 - değirmenin bileşik çalışması
 - fırının uzunluk-çap oranı
 - klinker soğutucu tipi
- ☐ fırın iş hacmi
- ☐ hammadde ve yakıtların nem içeriği
- ☐ yanabilirlik gibi hammadde özellikleri
- ☐ yakıtların özgül ısı değeri
- ☐ klinker tipi
- ☐ fırına beslenen malzemelerin ve yakıtların homojenizasyonu ve hassas dozlaması
- ☐ alev soğutma dahil olmak üzere proses kontrolünün optimizasyonu
- ☐ baypas oranı.

Kullanılan yakıt karışımını değiştirirken, yakıtların türüne (genelleşmiş veya yakıt atık), örneğin nem içeriği, reaktivite veya irilik gibi parametrelerine ve kullanılan yakıtların ısı değeriyle bağlı olarak klinkerin ton başına özgül enerji tüketimi çeşitli nedenlerden dolayı farklılık gösterebilir.

Çoğu durumda fırın sisteminin dışında ve hatta çimento tesisinin dışında kısmen veya tamamen kurutulan, kömür veya linyit gibi fosil yakıtların hazırlanması, enerji tüketimi üzerindeki başlıca etki kaynaklarından. Örneğin linyit, %50'nin üzerinde nem içerecek şekilde çıkarılabilir ve çimento tesisine gönderilmeden önce kurutulması gerekir. Kurutulmuş yakıtlar daha yüksek nem içeriği olan yakıtlarla ikame edildiğinde klinkerin fırın sisteminde ton başına enerji tüketimi artabilir ancak bu artış, fosil yakıtların kurutularak nakledilmesinden kaçınmak suretiyle tasarruf edilen enerjiyle genel anlamda telafi edilir.

Yakıtın nemi hususunda prosesin verimliliği, yakıtı procesten elde edilen atık ısıyı kullanarak kurutma veya nem içeriğini yok etmek için daha fazla enerji gerektirecek şekilde doğrudan fırının

içinde kurutma gibi, uygulanan kurutma türüne bağlı olarak değişir. Bazı yakıtlar hammadde olarak kullanılan yaş mineralleri de kısmen içerebilir. Bu mineraller fırın sisteminde kurutulur ve bu durum klinkerin ton başına özgül enerji tüketimini arttırabilir.

Ayrıca, yakıt atıkla yüksek ikame oranı ile birlikte örneğin bu yakıt atıkların daha düşük olan ısı değerleri, yüksek nem içerikleri, tesisin tasarımı gibi değişik parametreler, Avusturya ve Birleşik Krallık'tan verilen örneklerde olduğu gibi (bkz. Bölüm 1.3.3.3) daha fazla enerji kullanımına yol açabilir. Tesislerin uygun olduğu ve bazı yakıt atık türlerinin beraber yakılması için özel olarak tasarlandığı durumlarda bile termal enerji tüketimi 3 120 – 3 400 MJ/t klinker aralığında olabilir. Avusturya çimento tesisleri 48 saatlik bir testin sonucunda nispeten nemli plastikler dahil düşük ısı değere sahip yakıtlarla 3 400 MJ/t klinker termal enerji tüketimi elde etmişlerdir. Ayrıca Birleşik Krallık'ta beş kademeli bir ön kalsinasyon fırını için 3473 kJ / kg enerji tüketimi rapor edilmiştir. Ancak, iyileştirme potansiyeli ortaya konmuştur [81, Castle Cement UK, 2006], [92, Avusturya, 2006], [163, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [171, A TEC, 2007].

1.3.3.2 Elektrik enerjisi talebi

Ana elektrik kullanıcıları değirmenler (son öğütme ve hammadde öğütme) ve dışa atım fanları (fırın/farin değirmeni ve çimento değirmeni) olup, her ikisi birlikte toplam elektrik enerjisinin %80'den fazlasını tüketirler. Enerji maliyetleri (yakıt ve elektrik şeklinde) ton çimentonun üretimine ilişkin toplam üretim maliyetinin ortalama %40'ını temsil eder. Elektrik enerjisi toplam enerji gereksiniminin %20'ye kadar olan bölümünü temsil eder. Elektrik enerjisi ihtiyacı 90 ila 150 kWh/ton çimento arasında değişir. 2004 ve 2006 yılları arasında elektrik maliyetlerinin toplam çimento üretim maliyetleri içindeki payı % 14'ten % 25'e yükselmiştir. Yaş proses, yarı yaş veya kuru prosese nazaran daha fazla enerji tüketir [20, Rother, 1996 Ocak,], [84, CEMBUREAU, 2006].

Elektrik kullanımı öğütme gereksiniminden yola çıkarak ürün özellikleri tarafından belirlenir. Bazı durumlarda, eski hammadde değirmenlerini yenileri ile değiştirmek suretiyle elektrik kullanımı en aza indirilmiştir. Farklı öğütme teknikleri ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiye genel bakış Tablo 1.19'da verilmiştir. Bir değirmeni başka bir öğütme cihazı ile değiştirmenin her zaman mümkün olmadığı unutulmamalıdır. Ayrıca, en uygun öğütme tekniği konusunda yapılacak bir değerlendirme sırasında ekonomik yönlerin her zaman göz önüne alınması gerektiğini de belirtmek gerekir.

Tablo 1.19: Öğütme tekniklerinin kilit özelliklere dayalı karşılaştırılması

Öğütme prosesi	Enerji tüketimi	Bakım gereksinimleri	Kurutma kapasitesi	İyi inceliğe öğütme elverişliliği
Bilyalı değirmen	%100	Küçük	Ortalama	İyi
Gutbett valsli değirmen	%65 ila 50	Az ila çok	Düşük ⁽¹⁾	Ortalama
Dikey valsli değirmen	%75 ila 70	Ortalama	Yüksek	Ortalama
⁽¹⁾ Sınıflandırıcıda kurutma Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003] [76, Almanya, 2006]				

1.3.3.3 Atıkların yakıt olarak tüketimi

Gerekli enerji ihtiyacını karşılamak için genelleşmiş yakıtlar ile birlikte yakıt atıklar da kullanılmakta olup yakıt atıkların tüketimi son yıllarda sürekli olarak artmıştır. Avrupa'da 2004 yılında çimento fırınlarında toplam 6,1 milyon ton farklı türde atık, yakıt olarak kullanılmıştır. Bu atıkların yaklaşık bir milyon tonu tehlikeli atıktı. AB-23+ ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü), hızla artmaya devam eden genelleşmiş yakıtların yakıt atıklarla ikamesi, 1990 yılında yaklaşık %3'ten 2007 yılında yaklaşık % 17'ye ulaşmıştır, bu da yaklaşık 4 milyon ton kömür tasarrufuna karşılık gelmektedir [74, CEMBUREAU, 2006].

Ancak, bu ikame oranlarını arttırmak için benzer fırsatlara sahip Üye Devletler arasında büyük farklılıklar gözlenmektedir. 2007 yılında tesisler halihazırda %80'in üzerinde ikame oranlarına ulaşmaktaydı. Örneğin dört kademeli, iki hatlı ön ısıtıcısı ve planet soğutucuya sahip döner fırından oluşan bir kuru proses fırın sisteminde, enerji tüketiminin %100'ü yakıt atıklar tarafından karşılanabilir. Bunun bir örneği Bölüm 6.2.2.1'de verilmiştir.

Bu atıkların ısı değerlerinin 3 ila 40 MJ/kg aralığında çok büyük değişiklik gösterdiği akılda tutulmalıdır. Genelleşmiş yakıtların ısı değerlerinin (ortalama, net) örneğin tipik kömür için 26 - 30 MJ/kg, tipik fuel oil için 40 - 42 MJ/kg olduğu, katı atıkların ısı değerlerinin 8,5 MJ/kg olabileceği ve plastik malzemelerin ısı değerlerinin 40 MJ/kg'a ulaşabileceği literatürde belirtilmiştir [143, Williams, 2005]. Yeterli ısı değerleri olan yakıt atıklar fosil yakıtların yerini almak suretiyle fosil yakıt tasarrufu sağlar. Ancak, fırınlar atıkları yakmaya uygun olmalı ve koşullar yüksek enerji verimliliğine katkıda bulunmak üzere (bkz. Bölüm 1.3.3.1 ve 1.4.2.1.3) optimize edilmelidir. Farklı atık maddelerin tipik ısı değerlerinin örnekleri Tablo 1.20'de gösterilmiştir.

Tablo 1.20: AB-27'de yakıt olarak kullanılan farklı atık türleri için ısı değer örnekleri

Yakıt atık türlerine örnekler (tehlikeli ve tehlikesiz)	Isı değer örnekleri (MJ/kg)
Odun	Yaklaşık 16
Kağıt, karton	3 – 16
Tekstil	40'a kadar
Plastik	17 – 40
İşlenmiş fraksiyonlar (RDF)	14 – 25
Kauçuk/lastikler	Yaklaşık 26
Endüstriyel çamur	8 – 14
Belediye kanalizasyon çamuru	12 – 16
Hayvansal küspe, yağlar	14 – 18, 27 – 32
Hayvan küspesi (karkas unu)	14 – 21,5
Kömür/karbon atığı	20 – 30
Zirai atıklar	12 – 16
Katı atık – emdirilmiş talaş	14 – 28
Çözücüler ve ilgili atıklar	20 – 36
Petrol ve petrol içeren atık	25 – 36
Bitümlü şist bazlı yakıt karışımı (%85 – 90 bitümlü şist)	9,5
Arıtma çamuru (nem içeriği > %10)	3 – 8
Kanalizasyon çamuru (nem içeriği < %10 ila 10)	8 – 13
Kaynak: [75, Estonya, 2006] [168, TÇG CLM, 2007] [180, Mauschwitz, 2004]	

Aşağıda Birleşik Krallık ve Avusturya'dan verilen örneklerde gösterildiği gibi, yıllık ortalama özgül termal enerji ihtiyacının farklı parametrelere bağlı olarak (bkz. Bölüm 1.4.2.1.3) artabileceği akılda tutulmalıdır.

Birleşik Krallık'taki örnek tesislerde kullanılan ve örneğin kentsel, ticari ve/veya endüstriyel atıklardan elde edilen yakıt atıkların ısı değeri (net) 15 ila 23 MJ/kg arasında değişebilmektedir. Ancak bir tesiste kullanılan toplam yakıt için 30000 ton kömüre eşdeğer olan %25 termal ikame oranı rapor edilmiştir. Yakıt atıklar daha düşük ısı değere sahip olduklarından gerekli olan yakıt atık miktarı 44118 tondur [153, Castle Cement UK, 2007], [154, CEMEX UK, 2006]. Başka bir örnek 100000 ton kömürün yerine 125000 ton yakıt atık kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu %20 oranında daha fazla yakıt atık kullanılması anlamına gelir [81, Castle Cement UK, 2006].

Avusturya'da 1997 ve 2004 yılları arasında fosil yakıtların kullanımı sürekli olarak azalmış, bunun yanı sıra 1997 yılında %19 olan atık girdisi 2004 yılında % 47'ye yükselmiştir. Termal enerji ihtiyacı ilk olarak 2000 yılında 3554 MJ / ton klinker'den 3481 MJ / ton klinker'e düşmüştür. Ancak, 2000-2004 yılları arasında yakıt karışımı önemli oranda değişmiş (bkz. Bölüm 6.2.2.2, Tablo 6.21) kömürde önemli bir azalma olmuş (% 44,9'dan % 17,6'ya) ve aynı zamanda petrokok (% 3,2'den % 16,0'a) ve plastik gibi atıkların (

%9,1'den % 17,6'ya) ve diğer yakıt atıklarının (% 2,4'ten % 10,2'ye) kullanımında önemli bir artış meydana gelmiştir [92, Avusturya, 2006].

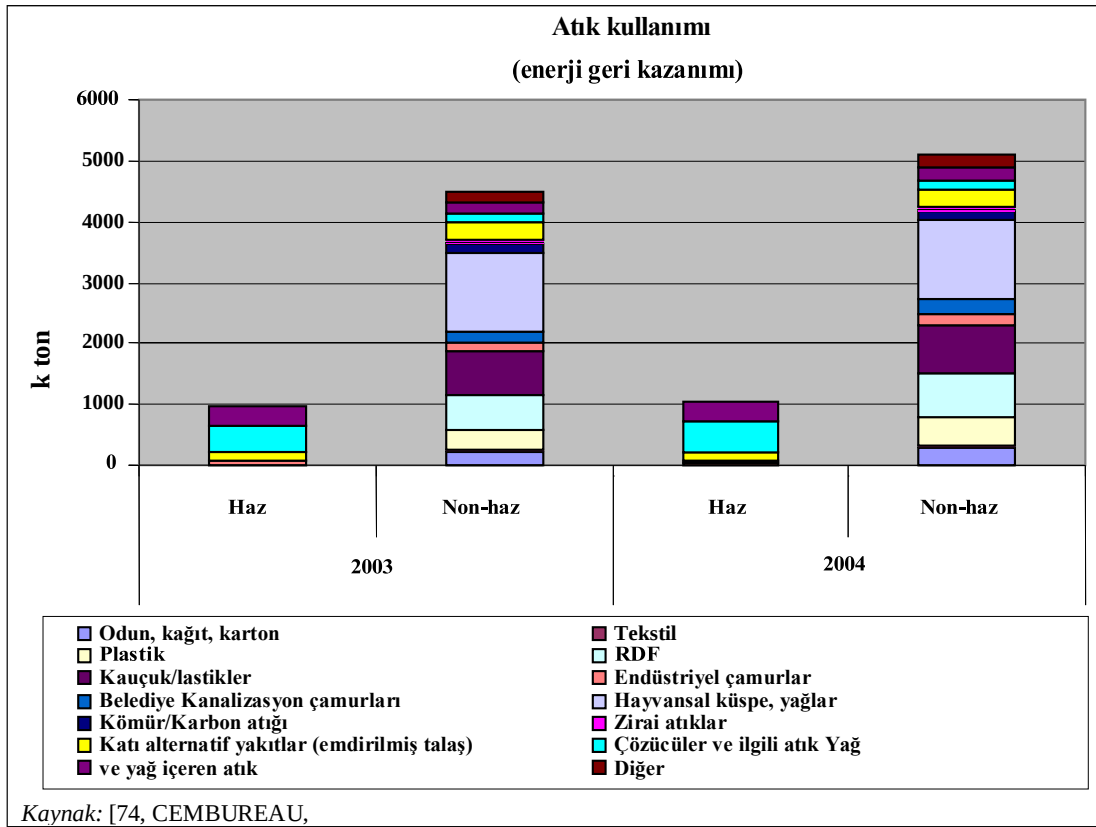
Artırılmış olan değişik atık türleri için hesaplanan ısı değerlerinin örnekleri ve atıkların ısı değer hesaplarına ilişkin örnekler ile ilgili bilgiler Atık Yakma için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir. [57, Avrupa Komisyonu, 2005].

Tehlikeli olmayan atıkların kullanımındaki artış, tehlikeli atıkların kullanımındaki artıştan daha kayda değer düzeydedir. Bu durum toplumsal evrimi (kanalizasyon çamurunda, hayvan küspesinde ve arıtılmış kentsel atıklardaki artış) ve atık sınıflandırması üzerinde artan toplumsal odağı yansıtmaktadır. Bazı ülkelerde %100'e kadar varabilen, ortalama % 17'lik termal ikame oranı ile klinker pişirme prosesinde atıkların yakıt ve hammadde olarak kullanımının yaygın bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Kullanılan 6 milyon tonun yaklaşık %10'u biyokütledir. AB-23+ ülkelerinde kullanılan yakıt atıklarının ikame oranı Tablo 1.22'de gösterilmiştir [74, CEMBUREAU, 2006], [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [92, Avusturya, 2006], [107, Belçika, 2006], [112, Çek Cumhuriyeti, 2006].

AB-27 çimento fırınlarında pişirme için yakıt olarak kullanılan çeşitli tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların tüketimleri Tablo 1.21 ve Şekil 1.21'de gösterilmiştir. AB-27 çimento fırınlarında yakıt atıklarının toplam tüketimi 2004 yılında 2003 yılına nazaran artmıştır [74, CEMBUREAU 2006].

Tablo 1.21: AB-27 çimento fırınlarında 2003 ve 2004 yıllarında yakıt olarak kullanılan farklı atık türlerinin tüketimi

Yakıt atık türleri					
Grup No ⁽¹⁾	Atık tipi	1 000 ton cinsinden miktarlar			
		2003		2004	
		Tehlikeli	Tehlikesiz	Tehlikeli	Tehlikesiz
1	Odun, kağıt, karton	0,000	214 991	1 077	302 138
2	Tekstil	0,000	19 301	0,000	8 660
3	Plastik	0,000	354 070	0,000	464 199
4	RDF	4 992	570 068	1 554	734 296
5	Kauçuk/lastikler	0,000	699 388	0,000	810 320
6	Endüstriyel çamur	52 080	161 660	49 597	197 720
7	Belediye kanalizasyon çamuru	0,000	174 801	0,000	264 489
8	Hayvansal küspe, yağlar	0,000	1 313 094	0,000	1 285 074
9	Kömür/karbon atığı	1 890	137 213	7 489	137 013
10	Zirai atıklar	0,000	73 861	0,000	69 058
11	Katı atık (emdirilmiş talaş)	164 931	271 453	149 916	305 558
12	Çözücüler ve ilgili atık	425 410	131 090	517 125	145 465
13	Petrol ve petrol içeren atık	325 265	181 743	313 489	196 383
14	Diğer	0,551	199 705	0,000	212 380
Toplam		975 119	4 502 435	1 040 247	5 133 353
⁽¹⁾ Her bir grup bir dizi EWC listesini kapsar, bkz. Bölüm 6.2.1'deki Tablo 6.1					
Kaynak: [74, CEMBUREAU, 2006]					



Şekil 1.22: AB-27’de çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan çeşitli tehlikeli (haz) ve tehlikesiz (non-haz) atık türlerinin tüketimi

Tablo 1.22: AB-23+ ülkelerinde çimento üretimi için yakıt atıklarının ikamesi

Ülke	Yakıt atıklar için izin verilen kapasiteler (t/yıl)		Kullanılan yakıt atık miktarı (t/yıl)		Isı salınımı yüzdesi (%)			
					Tehlikeli atık		Tehlikesiz atık	
	Ulusal aralık ⁽¹⁾	Ulusal ortalama	Ulusal aralık ⁽¹⁾	Ulusal ortalama	Ulusal aralık ⁽¹⁾	Ulusal ortalama	Ulusal aralık ⁽¹⁾	Ulusal ortalama
Avusturya ⁽²⁾	10 000 – 35 000	-	9 500 – 39 000	30 000	30 – 45	12	15 – 50	35
Belçika, Hollanda, Lüksemburg	-	-	58 500 – 402 000	138 930	0 – 25	11	21 – 30	24
Çek Cumhuriyeti	90 000 ⁽³⁾	-	-	40 000	0 – 40	15	0 – 100	37
Danimarka, Finlandiya, İsveç, Norveç, İrlanda	300 000 ⁽³⁾	-	22 000 – 120 000	75 000	2 – 20	15	24 – 35	32
Estonya, Letonya, Polonya, Macaristan	15 000 – 380 000	125 000	8 000 – 67 369	27 271	13,4 – 14	13,7	16 – 26,1	17,5
Fransa	125 000 – 265 000	-	300 – 113 000	37 374	0 – 41,2	14	0,4 – 52	14,6
Almanya	-	-	218 157 ⁽³⁾	56 857	0 – 25	5,2	76 ⁽³⁾	43,6
Yunanistan, Portekiz, Romanya, Slovenya	20 000 – 500 000	20 506	640 – 60 000	9 196	0 – 3,8	0,7	0,4 – 15,6	2
İtalya	5 000 – 115 000	28 000	5 300 – 90 600	13 100	1,3 – 21	12	0,9 – 37	11,3
İspanya	8 800 – 100 000	43 000	2 000 – 36 000	15 500	0 – 27,8	4,8	2 – 25	8,5
Birleşik Krallık	25 000 – 788 400	182 337	0 – 55 960	24 086	0 – 27,6	6	0 – 40	7,8
Not: Rakamlar, AB-23+ ülkelerinden gelen yanıtlardan derlenmiştir (1) Azami/Asgari (2) Yalnızca 2004 rakamları (3) Azami Kaynak: [168, CEMBUREAU, 2007], [178, TÇG CLM, 2008]								

1.3.4 Hava emisyonları

Çimento üretimi sırasında hava emisyonları ve gürültü emisyonları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca atıkların kullanımı ile ilgili olarak örneğin atıkların depolanması ve taşınması nedeniyle kokular ortaya çıkabilir (bkz. Bölüm 1.3.8). Bu kısımda, örneğin hammaddelerin, katkı maddelerinin ve yakıt atıklar dahil olmak üzere yakıtların depolanması ve taşınması gibi diğer süreç adımları da dahil olmak üzere çimento üretim sürecinde hava kirletici emisyonların değer aralıkları sunulmuştur.

Direktif, emisyon sınır değerlerinin tespiti için uygun oldukları takdirde dikkate alınması gereken temel hava kirletici maddelerin gösterge niteliğindeki genel bir listesini içerir. Atık kullanımı dahil olmak üzere çimento üretimi ile ilgili olanlar aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ azot oksitleri (NO_x) ve diğer azot bileşikleri
- ☐ kükürt dioksit (SO_2) ve diğer kükürt bileşikleri
- ☐ toz
- ☐ uçucu organik bileşikler (UOB) dahil toplam organik bileşikler (TOK)
- ☐ poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar (PCDD ve PCDF)
- ☐ metaller ve bileşikleri
- ☐ hidrojen florür (HF)
- ☐ hidrojen klorür (HCl)
- ☐ karbonmonoksit (CO).

Listede adı geçmemekle beraber karbon dioksitin (CO_2) çimento üretimi açısından önemli olduğu kabul edilmektedir. CO_2 emisyonları ve emisyon ticareti planı ile ilgili genel bilgi Topluluk içinde sera gazı emisyonu ticaretine imkan tanıyan bir planı ortaya koyan ve 2009/29/AK sayılı Direktifle tadil edilen, Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in 13 Ekim 2003 tarih ve 2003/87/AK sayılı Direktifinde bulunabilir [99, Avrupa Birliği, 2003] [191, Avrupa Birliği, 2009]. Ayrıca, özellikle NO_x azaltımı için örneğin SNCR gibi ikincil önlemler/teknikler kullanıldığında NH_3 emisyonlarının da önemli olduğu kabul edilebilir.

Çimento üretimindeki ana emisyonlar fırın sisteminden kaynaklanan havaya emisyonlardır. Bunlar hammaddeler ve yakıtların yanması ile ilgili fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkar. Bir çimento fırınından çıkan gazların ana bileşenleri, yanma havasından kaynaklanan azot, CaCO_3 kalsinasyonu ve yakıtın yanmasından kaynaklanan CO_2 , yanma prosesinden ve ham maddelerden kaynaklanan su buharı ile oksijen fazlasıdır.

Tüm fırın sistemlerinde katı maddeler sıcak yanma gazlarına doğru karşı akışlı olarak hareket eder. Bu karşı akış, sanki dolaşimli bir gömülü akışkan yatak görevi gördüğü için kirleticilerin emisyonlarını etkiler. Yakıtın yanması veya hammaddenin klinkere dönüştürülmesi sonucu oluşan birçok bileşen, karşı akışlı hareket eden hammadde tarafından soğutulana veya hammadde üzerine yoğunlaşana kadar sadece gaz halinde kalır.

Malzemenin soğurma kapasitesi fiziko-kimyasal durumuna göre değişir. Bu durum ise malzemenin fırın sistemindeki konumuna bağlıdır. Örneğin, fırın prosesinin kalsinasyon aşamasından çıkan malzeme yüksek oranda kalsiyum oksit içerir ve bu nedenle HCl, HF ve SO_2 gibi asit türlerini soğurma kapasitesi yüksektir.

İşletimdeki fırınlardan kaynaklanan emisyonların verileri Tablo 1.23'te verilmiştir. Fırınlarda içinde çalıştıkları emisyon aralıkları ağırlıklı olarak ham maddelerin ve yakıtların özelliklerine, tesisin yaşına, tasarımına ve ayrıca izin makamı tarafından belirlenen gereksinimlere bağlıdır. Örneğin, safsızlıkların derişimi ve ateşleme/kalsinasyon sırasında kireçtaşının davranışı emisyonları etkileyebilir, örneğin hammaddenin değişen kükürt içeriği önemli bir rol oynar ve dışa atım gazındaki kükürt emisyonlarının aralığı üzerinde etkiye sahiptir.

Tablo 1.23: Avrupa çimento fırınlarından kaynaklı emisyon aralıkları verileri

Avrupa çimento fırınlarından bildirilen emisyonlar ⁽¹⁾			
Kirletici	mg/Nm ³	kg/ton klinker	ton/yıl
NO _x (NO ₂ olarak)	145 – 2 040	0,33 – 4,67	334 – 4 670
SO ₂	4 837'ye kadar ⁽²⁾	11,12'ye kadar	11 125'e kadar
Toz	0,27 – 227 ⁽³⁾	0,00062 – 0,5221	0,62 – 522
CO	200 – 2 000 ⁽⁴⁾	0,46 – 4,6	460 – 11 500
CO ₂	-	Yaklaşık 672 g/t _{çimento}	1,5456 milyon
TOK/UOB	1 – 60 ⁽⁵⁾	0,0023 – 0,138	2,17 – 267
HF	0,009 – 1,0	0,021 – 2,3 g/t	0,21 – 23,0
HCl	0,02 – 20,0	0,046 – 46 g/t	0,046 – 46
PCDD/F	0,000012 – 0,27 ng I-TEQ/Nm ³	0,0276 – 627 ng/t	0,0000276 – 0,627 g/yıl
Metaller ⁽⁶⁾			
Hg	0 – 0,03 ⁽⁷⁾	0 – 69 mg/t	0 – 1 311 kg/yıl
Σ (Cd, Tl)	0 – 0,68	0 – 1 564 mg/t	0 – 1 564 kg/yıl
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0 – 4,0	0 – 9 200 mg/t	0 – 9 200 kg/yıl

(1) Kütle rakamlarında 2300 m³/ton klinker ve yılda bir milyon ton klinker baz alınmıştır. Emisyon aralıkları yıllık ortalamalar ve çeşitli ölçüm tekniklerine dayalı gösterge niteliğindeki değerlerdir. Referans O₂ içeriği normalde olduğu gibi %10'dur.

(2) 253 adet döner fırının temiz gazında yapılan SO₂ ölçümlerinden elde edilen değerlerdir. 11 ölçüm skalanın üzerindedir. Bunlardan 7'sinin ikame oranı '0', 3'ünün oranı '0 - 10' arası ve bir adedinin oranı '40'ın üzerinde'dir. Hammaddeler uçucu kükürt bileşikleri (örn. pirit) içerdikleri takdirde yüksek SO₂ emisyonları beklenir. Aslında bu oksitlenebilir bileşikler daha üst siklon kademelerinde bile SO₂ haline gelebilir. Bu SO₂ farin değirmeninde ince öğütülmüş hammadde tarafından yakalanabilir.

(3) Rakamlar 253 döner fırının temiz gazında sürekli olarak yapılan toz ölçüm değerleridir. 8 ölçüm skalanın üzerindedir. Emisyon seviyeleri büyük ölçüde azaltma teçhizatının durumuna bağlıdır

(4) Bazı durumlarda, örneğin NO_x azaltma nedeniyle, CO emisyonları 2000 mg/Nm³'ün üstünde olup 5000 mg/Nm³'e (11,5 kg / ton klinker) varabilir.

(5) 120 ölçümden elde edilen yıllık ortalama değerlerdir; çok az sayıda değer 60 mg/Nm³'ün üzerindedir (122,6 mg/Nm³ veya 0,28 kg/ton klinker'e kadar).

(6) '0' tespit seviyesi (LOD) anlamına gelir

(7) 306 spot ölçümden elde edilen 0,02 mg/Nm³ ortalama ve 0,57 mg/Nm³ (1 311 mg/ton klinker) üst değerdir.

Kaynak: [8, CEMBUREAU, 2001] [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım] [12, Hollanda, 1997] [19, Haugh, 2001], [29, Lohse, 2001] [97, CEMBUREAU, 2007] [168, TÇG CLM, 2007]

Tüm fırın türleri için, m³/ton klinker (kuru gaz, 101,3 kPa, 273 K) cinsinden ifade edilen tipik fırın dışı atım gazı hacimleri, 1700 ile 2500 arasındadır [8, CEMBUREAU, 2001]. Süspansiyonlu ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırın sistemlerinin dışı atım gazı hacimleri normalde yaklaşık 2300 m³/ton klinker'dir (kuru gaz, 101.3 kPa, 273 K).

Ayrıca öğütme (değirmenden geçirme) ve taşıma operasyonları ile hammaddeler, katı yakıt ve ürün gibi diğer kaynaklardan oluşan yönlendirilmiş toz emisyonları vardır. Hammaddelerin ve katı yakıtların herhangi bir şekilde dışarıda depolanmasının yanı sıra, çimento ürün yükleme dahil olmak üzere herhangi bir malzeme sevkiyat sistemi de difüz toz emisyonu potansiyeline sahiptir. Bu hususlarda iyi tasarım veya koruma sağlanmadığı takdirde emisyonların büyüklüğü önemli düzeyde olabilir ve düşük salınım düzeyleri yerel ölçekte rahatsızlığa yol açabilir.

1.3.4.1 Toz (partikül madde)

1.3.4.1.1 Kanalize toz emisyonları

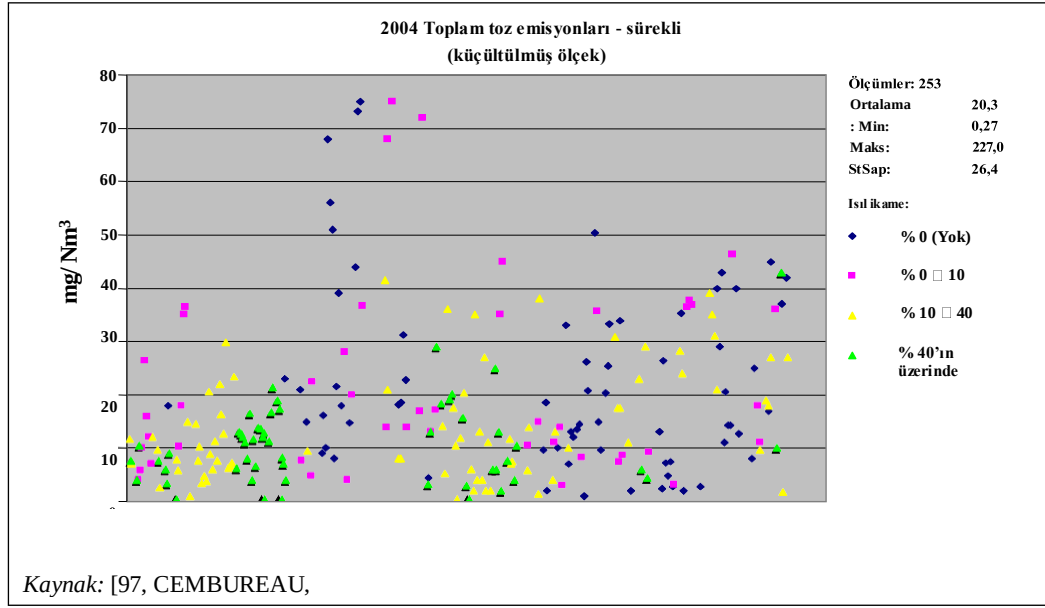
Özellikle fırın bacalarından çıkan emisyonlar olmak üzere toz emisyonları, çimento üretimine ilişkin en önemli çevresel endişelerden biri olagelmıştır. Toz emisyonlarının ana kaynakları hammadde hazırlama prosesi (farin değirmenleri), öğütme ve kurutma birimleri, klinker pişirme prosesi (fırınlara ve klinker soğutucuları) yakıt hazırlama ve çimento öğütme üniteleridir (değirmenler). Bir çimento tesisindeki aşağıda belirtilen yan prosesler, atık kullanımından bağımsız olarak toz emisyonlarına yol açar:

- ☐ hammaddelerin kırılması
- ☐ hammadde konveyörleri ve asansörleri
- ☐ hammadde ve çimento depolama
- ☐ hammadde, çimento ve kömür öğütme değirmenleri
- ☐ yakıtların (petrokoks, taşkömürü, linyit) depolanması ve
- ☐ çimento sevkiyatı (yükleme).

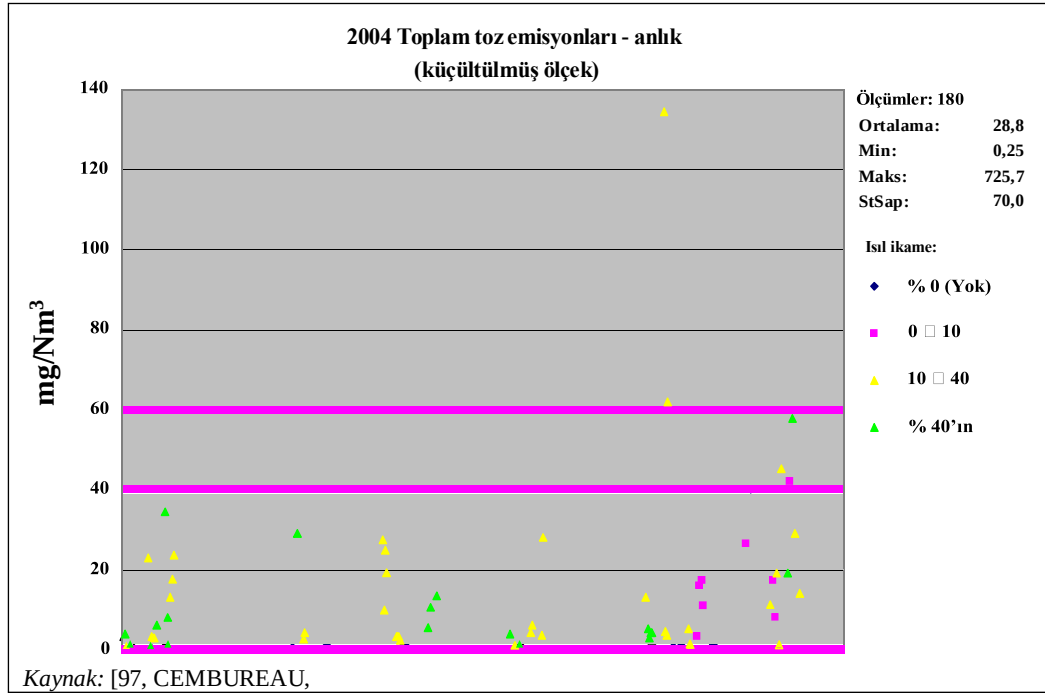
Tüm bu prosesler esnasında tozlu malzemelerden büyük miktarlarda gaz akışı geçer. Kırma, öğütme ve sevkiyat gibi faaliyetlerde, teçhizat üzerinde hafif emme uygulanır ve bu kaynaklar normalde torba filtrelerle donatılır. Modern elektrostatik toz tutucuların ve torba filtrelerin tasarımı ve güvenilirliği, toz emisyonlarının önemsiz seviyelere düşürülmesini sağlamış ve rapor edilen tesislerin %37'sinde emisyon seviyesi 10 mg/Nm³'ün (günlük ortalama değerler) altına düşürülmüştür. Sistem türleri ve filtre tozu ile toz emme miktarları Tablo 1.24'te gösterilmiştir.

253 adet döner fırında sürekli olarak ölçülen toplam toz emisyonları ve 180 adet döner fırından elde edilen spot toz ölçümleri Şekil 1.23 ve Şekil 1.24'te gösterilmiştir. Bu ölçümlerin tümü, AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde bulunan farklı tesislerden alınmıştır (bkz. Terimler Sözlüğü). Bu şekilde termal ikame değişik renkleri kullanılmak suretiyle işaretlenmiştir. Toz emisyonları çoğunlukla 0,27 ila <30 mg/Nm³ aralığındadır. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir [97, CEMBUREAU, 2007]. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 m³ kuru gaza işaret eder.

Ayrıca, ESP ile donatılmış döner fırın sistemlerinden elde edilen tipik temiz gaz toz içerikleri (günlük ortalama değerler) <10 ila 30 mg/Nm³ aralığında değişmektedir. Baca gazlarının torbalı filtrelerle azaltılmasından sonra rapor edilen toz emisyonları günlük ortalama değer olarak <10 ila 20 mg/Nm³ aralığında değişmektedir. [92, Avusturya, 2006], [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [90, Macaristan, 2006], [112, Çek Cumhuriyeti, 2006].



Şekil 1.23: AB-27 ve AB 23+ ülkelerinde 253 döner fırından gelen temiz gazda sürekli toz ölçümlerinden elde edilen emisyon değer aralıkları



Şekil 1.24: AB-27 ve AB 23+ ülkelerinde döner fırınların temiz gazında 180 spot toz ölçümünden elde edilen toz emisyon değerleri

Tablo 1.24, bazı ESP türlerinin ve torba filtrelerinin örneklerini göstermektedir. Belirtilen değerler tipik aralıkları temsil etmekte ve parantez içindeki değerler bazı durumlar özelinde rapor edilmiş olan aşırı değerleri belirtmektedir. Genel bakış ayrıca duruma göre filtre tozu ve toz emme tahminlerini içermektedir. Bileşik ve doğrudan çalışma değirmen işletimi ile ilgilidir (değirmen devrede, değirmen devre dışı).

Tablo 1.24: Toz ayırma için kullanılan sistem tipi örnekleri, işletimsel veri ve enerji talebi

Toz azaltmaya yönelik sistem türleri ve işletimsel veriler			
Parametre	Birim	ESP'ler	Torba filtreler
İnşa yılı		1962 – 2004	1999 – 2005
Basınç yitimi	hPa	1 – 8	10 – 12 (2) ⁽¹⁾
Sıcaklık	°C	90 – 190	90 – 160 ⁽²⁾
Elektrik enerjisi ihtiyacı	kWs/t klinker	1 – 4	0,1 – 0,2
Fan güç ihtiyacı	kWs/t klinker	0,15 – 1,2	1,5 – 1,8
Toplam enerji ihtiyacı	kWs/t klinker	1,15 – 5,2	1,6 – 2,0
Filtre tozu ve toz emme miktarı			
Parametre	Birim	Bileşik çalışma	Doğrudan çalışma
Filtre tozu miktarı	kg/t klinker	54 – 144 (1 718) ⁽¹⁾	80 – 200 10 – 70 ⁽¹⁾
Toz emme	kg/t klinker	0 – 35	0 – 66 (165) ⁽¹⁾
(1) Parantez içindeki değerler bazı durumlar özelinde rapor edilmiş olan aşırı değerleri belirtmektedir.			
(2) PTFE membranlı cam elyaflar kullanılarak 240 °C değeri rapor edilmiştir.			
Kaynak: [76, Almanya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]			

Bazı durumlarda, baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin güvenlik nedenleriyle kapatılmasını gerektirecektir (CO aşırımları). Herhangi bir işletim sorununu önlemek için, dışa atım gazındaki yüksek CO derişimleri ve buna bağlı olarak patlayıcı karışım oluşumu ihtimali kesin olarak ortadan kaldırılmalıdır. Baca gazları otomatik CO izleme cihazıyla sürekli olarak izlenmelidir. Fırında pişirme sürecinin farklı aşamalarında ve fırın sisteminin kapanması ve çalıştırılması sırasında, farklı aralıklarda ve süre zarflarında CO aşımı örnekleri rapor edilmiştir. İrlanda'da 2006 yılında, CO aşırımları sırasında bazı durumlarda 60'ın üzerinde ve 130 mg/Nm³'e varan (yarım saatlik ortalama değerler) toz emisyonları ayda bir ila altı kez olmak üzere rapor edilmiştir. Bunlar arasında, toplam 184 dakika olmak üzere 1 – 13 dakika aralığında CO aşım süreleri bildirilmiştir [159, İrlanda, 2006]. Ancak, örneğin Alman çimento tesislerinde CO aşırımları en aza indirilmiş olup, toplam süre aralıklarına örnekler yılda 1 ila 29 dakika arasında değişmekte, bu da Tablo 1.25'te de gösterildiği gibi toplam fırın işletim süresinin < % 0,001 ila 0,009'una karşılık gelmektedir.

Tablo 1.25: Bir Alman çimento fabrikasında CO aşım sıklıklarına örnekler

Yıl	Toplam süre	
	(dakika)	(toplam fırın çalışma süresi yüzdesi)
2000	12	0,003
2001	29	0,009
2002	1	<0,001
2003	6	0,001
2004	5	0,001
Kaynak: [158, Almanya, 2007]		

1.3.4.1.2 İnce toz emisyonları PM₁₀ ve PM_{2.5}

PM₁₀ ve PM_{2.5} toz emisyonları, partikül boyutu çap olarak sırasıyla 10 ve 2,5 mikrondan az olan ve katı halde veya aerosol olarak ortaya çıkabilen ince partiküllerden oluşur. Bu tür ince tane, sülfat, nitrat ve amonyumlu partikül madde oluşturmak üzere reaksiyona giren azot oksitler ve sülfür gibi öncül gazlar ile amonyağın dahil olduğu bir dizi fiziko-kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelebilir ve insan sağlığı sorunlarına yol açabilir. Çimento endüstrisinde, PM₁₀ ve/veya PM_{2.5}, pişirme ve soğutma prosesi sonucunda oluşabilir, ancak yan prosesler de (bkz. Bölüm 1.3.4.1.1) ince tane oluşumuna yol açabilir.

Son birkaç yıl içinde bu çok ince tane fraksiyonlarını ve bunların örneğin baca gazı akımından ölçülen toplam toz emisyonları bazında dağılımını tespit etmek ve boyutlarını ayırtmak için farklı ölçüm metodolojileri ve hesaplama modelleri ile birlikte örnekleme cihazları geliştirilmiştir. Almanya'da yapılan bir araştırma, toplam toz emisyonlarının büyük bir kısmının atık gazdaki toplam tozun derişiminden bağımsız olarak ince tane halinde yayıldığını göstermektedir. Elektrostatik toz tutucular uygulandığında, çimento endüstrisinden alınan örneklerin gösterdiği gibi, toz fraksiyonunun yaklaşık %90'ı 10 µm (PM₁₀) ve yaklaşık %50'si 2.5 µm'nin (PM_{2.5}) altındadır (bkz. Tablo 1.26). Toplam toz emisyonları filtre örnekleme ölçümleri (düzlem filtre cihazı) ile ölçülmüştür. Tozu baca gazı akımından izokinetik şartlarda çekmek ve boyutları ayırtılmış partikül fraksiyonlarına ayırmak için kademeli ayırıcılar kullanılmıştır. Ayrıca, İrlanda çimento tesislerinden yayılan ince tane fraksiyonlarının örnekleri Bölüm 6.2.2.3'te bulunabilir. Yani ince tanenin büyük bir kısmı toplam toz yükünü azaltmak suretiyle azaltılabilir. Yüksek verimli tozsuzlaştırma sistemi ile donatılmış tesisler ince tane yükünün giderilmesine nispeten daha az katkıda bulunurlar [113, İrlanda, 2007], [117, Almanya, 2000].

Tablo 1.26: Alman çimento fırınlarından çıkan toplam tozdaki ince tane dağılımı üzerine araştırma

Emisyon kaynağı		Toplam toz derişimi ⁽¹⁾ (mg/Nm ³)	İnce toz oranı (%)			İnce toz derişimi (mg/Nm ³)		
			< 2.5	< 10	> 10	< 2.5	< 10	> 10
		Mm						
Fırın (ESP) ⁽²⁾	ESP sonrası fırın baca gazı	15,4	51	87	13	7,9	13,4	2,9
Klinker soğutucusu (ESP)	Klinker soğutucusu ESP sonrası baca gazı	14,0	68	99	1	9,5	13,9	≤ 0,1
Siklon ön ısıtıcı (ESP), doğrudan mod ⁽³⁾	ESP sonrası fırın baca gazı	2,3	84	97	3	1,9	2,2	≤ 0,1
Siklon ön ısıtıcı (ESP), bileşik mod ⁽⁴⁾	ESP sonrası fırın baca gazı	4,8	66	97	3	3,2	4,7	≤ 0,1
(1) Toplam toz filtre örnekleme ölçümleri (düz filtre cihazı) ile ölçülmüştür, boyutlar kademeli ayırıcılar ile ayırılmıştır (2) Lepol fırını, artık hizmet dışı (3) Öğütme devre dışı (4) Öğütme devrede Kaynak: [117, Almanya, 2000]								

Bölgesel Hava Kirliliği Bilgi ve Simülasyon Modeli (RAINS) yerel ve bölgesel hava kirliliğinin kontrolü ile küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması arasındaki sinerjiyi ve ödünleşimleri keşfetmek üzere genişletilmiştir. Bu yeni Sera Gazı ve Hava Kirliliği Etkileşimleri ve Sinerjileri modeli (GAINS) tüm ölçeklerde yararları azami seviyeye çıkartan kirlilik kontrol stratejilerinin ortaya çıkarılmasına yardımcı olmaktadır.

RAINS modeli PM₁₀ ve PM_{2.5}'in, Tablo 1.27'de gösterildiği gibi ham gazdaki (işlemden önce) toplam partikül maddenin (78 g/Nm³) %60'ını temsil ettiğini gösterir. Toz azaltma teknikleri örnekleri azaltma verimlilikleriyle birlikte Tablo 1.28'de gösterilmiştir.

Tablo 1.27: RAINS modeline göre ham gaz toz derişimi örnekleri

Parametre	Ham gaz derişimi
Toplam partikül madde (TPM)	130 g/Nm ³
PM ₁₀	TPM'nin %42'si
PM _{2.5}	TPM'nin %18'i
Kaynak: [172, Fransa 2007]	

Tablo 1.28: RAINS modeline göre azaltma verimlilikleri ile birlikte toz azaltma tekniklerine örnekler

Teknik	Azaltım verimliliği (%)		
	Toplam partikül madde	PM ₁₀	PM _{2.5}
Siklon	74,4	52,8 6	30
ESP 1	95,8	94,14	93
ESP 2	98,982	97,71	96
ESP 3	99,767	99,51	99
Torba filtre	99,784	99,51	99
Yaş gaz yıkayıcı	98,982	97,71	96
Kaynak: [172, Fransa 2007]			

1.3.4.1.3 Difüz toz emisyonları

Difüz toz emisyonları malzemelerin ve katı yakıtların depolanması ve taşınması sırasında ortaya çıkabilir ve örneğin açık depolamadan, hammadde konveyörlerinden ve aynı zamanda karayolu taşımacılığı nedeniyle karayolu yüzeylerinden kaynaklanabilir. Klinkerin/çimentonun ambalajlanması ve sevkiyatı nedeniyle oluşan toz da önemli düzeyde olabilir. Difüz emisyonların etkisiyle toz düzeylerinde yerel artış meydana gelebilir, proses sırasında oluşan toz emisyonları ise (genellikle yüksek bacalardan çıkan) daha geniş bir alanda hava kalitesi üzerinde etkili olabilir.

Toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda, konveyörler ve asansörler kapalı sistemler olarak inşa edilir. Kamyonlar tarafından kullanılan yollar difüz toz emisyonlarını önlemek üzere periyodik olarak asfaltlanır ve temizlenir. Ayrıca bu emisyonları önlemek için tesis alanında su püskürtme uygulanır. Mümkün olduğu yerlerde kapalı depolama sistemleri kullanılır. [76, Almanya, 2006].

1.3.4.2 Azot oksitler

Klinker pişirme prosesi azot oksitlerin (NO_x) oluşumuna yol açan yüksek sıcaklıkta bir süreçtir. Bu oksitler çimento üretim tesislerinin yol açtığı hava kirliliği açısından büyük öneme sahiptir. Bunlar, yanma işlemi sırasında yakıt azotun alev içinde oksijen ile birleşmesi veya hava azotunun yanma havası içinde oksijen ile birleşmesi sırasında oluşur.

NO_x üretiminin iki ana kaynağı vardır:

- ☐ termal NO_x:
 - yanma havası içindeki azotun bir bölümü çeşitli azot oksitlerini oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girer
 - fırın alevi içinde azot oksit oluşumunun ana mekanizmasıdır
- ☐ yakıt NO_x:
 - yakıt içinde kimyasal olarak bağlı olan azot içeren bileşikler, çeşitli azot oksitlerini oluşturmak üzere havadaki oksijenle reaksiyona girer.

Bununla birlikte, atıkların kullanılması esnasında NO_x emisyonlarında bazı küçük değişiklikler gözlemlenebilir:

- ☐ Yakıt atıklar su içerdiği veya daha fazla oksijen gerektirdiği takdirde (alev sıcaklığı üzerinde düşürme etkisi), birincil pişirme sırasında oluşan NO_x düşük olabilir. Etki, alev soğutma ile benzer niteliktedir.
- ☐ Kaba taneli yakıt bir indirgeme bölgesi oluşturduğu takdirde ikincil pişirme/ön kalsinatör pişirmesi sırasında meydana gelen NO_x miktarı daha düşük olabilir. [97, CEMBUREAU, 2007].

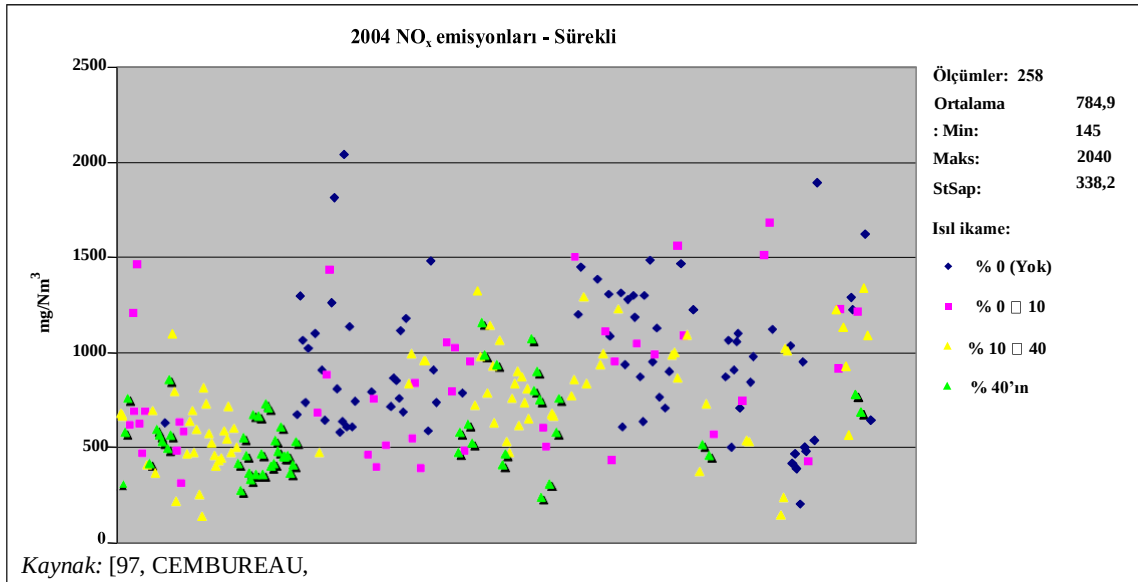
Ayrıca, fırın sıcaklığının 1000 °C'den az olduğu bir yetersiz sıcaklık bölgesine NO_x indirgeme için NH₃ enjekte edildiği takdirde NH₃ oksitlenmesi yoluyla da NO_x oluşabilir.

Termal NO_x 1050 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Klinker kalitesine ilişkin nedenlerle yanma prosesi, yanma havası içindeki moleküler azotun kısmi oksitlenmesi sonucunda azot monoksitin oluştuğu oksitleyici koşullarda gerçekleşir. Termal NO_x, ağırlıklı olarak bu reaksiyonu gerçekleştirmek için yeterli sıcaklığa sahip fırının pişirme bölgesinde üretilir. Pişirme bölgesinde üretilen termal NO_x miktarı hem pişirme bölgesinin sıcaklığına hem de oksijen içeriğine bağlıdır (fazlalık hava faktörü). Termal NO_x için reaksiyon hızı sıcaklıkla birlikte artar ve bu nedenle, daha sıcak pişirme bölgesi gerektiren pişirilmesi zor karışımlar, daha kolay pişen karışımların yer aldığı fırınlardan daha fazla termal NO_x üretme eğilimindedirler. Reaksiyon hızı aynı zamanda artan oksijen içeriğiyle birlikte de artar (fazlalık hava faktörü). Aynı fırını arka uça daha fazla oksijen içerecek şekilde çalıştırmak (fazlalık hava faktörü), pişirme bölgesinde daha fazla termal NO_x oluşumuna yol açacaktır (ancak SO₂ ve/veya CO emisyonları azalabilir).

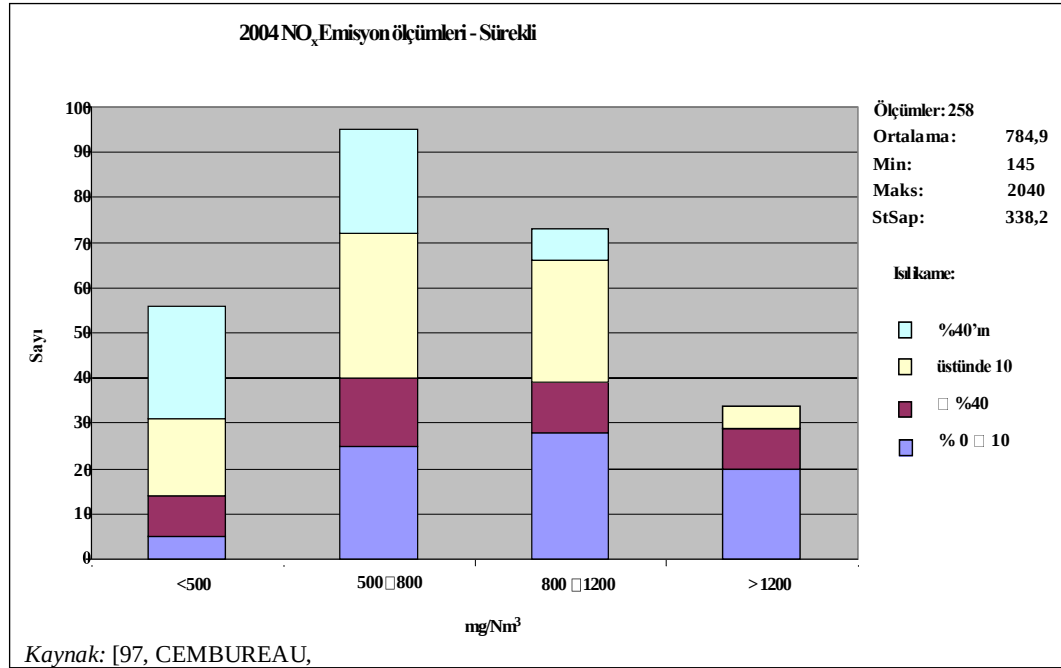
NO ve NO₂, çimento fırını dışı atım gazlarındaki baskın azot oksitlerdir. Yakıt içindeki azot bileşiklerinden kaynaklı yakıt NO_x daha düşük öneme sahiptir. Çimento döner fırın sistemlerinde ana pişirme alanında yakıt NO (azot monoksit) oluşumu önemsiz düzeydedir. Bir çimento fırınından kaynaklanan NO_x emisyonları normalde yakıt kullanımı yerine havaya bağlı azot ile ilişkilidir. Döner fırınlarda dışı atım gazı içinde bulunan azot oksitlerin yaklaşık %95'ini azot monoksit (NO) ve yaklaşık % 5'ini azot dioksit (NO₂) oluşturur [76, Almanya, 2006], [92, Avusturya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007]. Yakıt kaynaklı NO_x, yakıtın içinde mevcut olan azotun, ikincil bir pişirme ünitesinde daha düşük sıcaklıklarda yanması sonucunda oluşur. Yakıtın içindeki azot, N₂ gazını oluşturmak üzere diğer azot atomları ile birleşir veya yakıt kaynaklı NO_x oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girer. Bir ön kalsinatörde fiili sıcaklık 850- 950 °C aralığında olup, önemli ölçüde termal NO_x oluşturmak için yeterince yüksek değildir, ancak yakıt kaynaklı NO_x meydana gelir. Benzer şekilde, bir süspansiyon ön ısıtıcı fırının fırın besleme borusunda veya bir ön ısıtıcı ızgarasının kalsine etme odasında olduğu gibi, bir fırın sisteminin arka ucundaki diğer tür ikincil yakıt ateşleme, yakıt kaynaklı NO_x oluşumuna neden olabilir. Bu nedenle yakıtın %60'ına kadar olan bölümünün kalsinatörde yakılabileceği ön kalsinatör fırınlarında yakıt kaynaklı NO_x oluşumu, toplam NO_x emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu fırınlardaki termal NO_x oluşumu, tüm yakıtın sinterleme bölgesinde yakıldığı fırınlara kıyasla çok daha düşüktür.

NO_x emisyonları kullanılan fırın prosesine bağlı olarak değişir. NO_x oluşumu sıcaklık ve oksijen içeriğinin yanı sıra (fazlalık hava faktörü), alevin şekli ve sıcaklığı, alev bölmesi geometrisi, yakıtın reaktivitesi ve azot içeriği, nem mevcudiyeti, eldeki reaksiyon süresi ve brülör tasarımıyla etkilenebilir.

Avrupa çimento fırınları yıllık ortalama olarak asgari 145 mg/Nm³ ve azami 2040 mg/Nm³ olmak üzere yaklaşık 785 mg NO_x/Nm³ (NO₂ olarak ifade edilir) yayarlar. 2004 yılında NO_x emisyonları ile ilgili örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan farklı tesislerden toplanmış ve Şekil 1.25 ve Şekil 1.26 'da gösterildiği üzere termal ikame oranına göre sınıflandırılmıştır. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler, standart koşullar altında bir m³ kuru gaza işaret eder [94, Avrupa Birliği, 2004], [97, CEMBUREAU, 2007].



Şekil 1.25: 2004 yılında AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarından kaynaklanan, ikame oranlarına göre sınıflandırılmış NO_x emisyonları (NO₂ olarak ifade edilir)



Şekil 1.26: NO_x seviye ölçümlerinin ısıl ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı

Avusturya'da yıllık ortalama NO_x emisyonları 2004 yılında 645 mg/Nm³ (standart koşullarda sürekli ölçüme dayalı yıllık ortalama) olarak gerçekleşmiş ve değerler yıllık ortalama olarak ölçülen 313 - 795 mg NO_x/Nm³ aralığında değişiklik göstermiştir. En yüksek ve en düşük aralık değerleri farklı tesislerde ölçülmüştür. Avusturya'da bulunan tüm fırınlarda birincil teknikler kullanılmakta olup, üç fırında alev soğutma, iki fırında kademeli yanma vardır ve ikisinde pilot aşamasında olmak üzere beş fırın SNCR tekniği ile donatılmıştır. 2007 itibariyle Avusturya'da bulunan tüm çimento fırınları SNCR ile donatılmıştır [92, Avusturya, 2006].

2006 yılında Almanya'da sekiz fırın kademeli yanma tekniği ile işletilirken, 34 fırında NO_x azaltımı için SNCR tekniği kullanılmıştır. Yıllık ortalama değerler olarak 200 – 800 mg/Nm³ aralığında NO_x emisyonları 43 döner fırının temiz gazında ölçülmüştür. Ulusal mevzuat gereğince 2007 yılından itibaren Alman çimento fırınlarında NO_x emisyonunun

en azından 500 mg/Nm³ sınırında tutulması gerekmektedir. Almanya'da faaliyette bulunan SNCR kurulumlarının çoğu %10 – 50 NO_x azaltım oranları ve 500 mg/Nm³ 'ün altında NO_x emisyon seviyeleri olacak şekilde tasarlanmış ve/veya çalıştırılmaktadır. Prosese entegre teknikler ile birlikte, izin belgesinde belirtilen bireysel emisyon limit değerine bağlı olarak, 200 – 500 mg/Nm³ aralığında günlük ortalama emisyon değerleri elde edilmiştir [76, Almanya 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [173, Almanya, 2007].

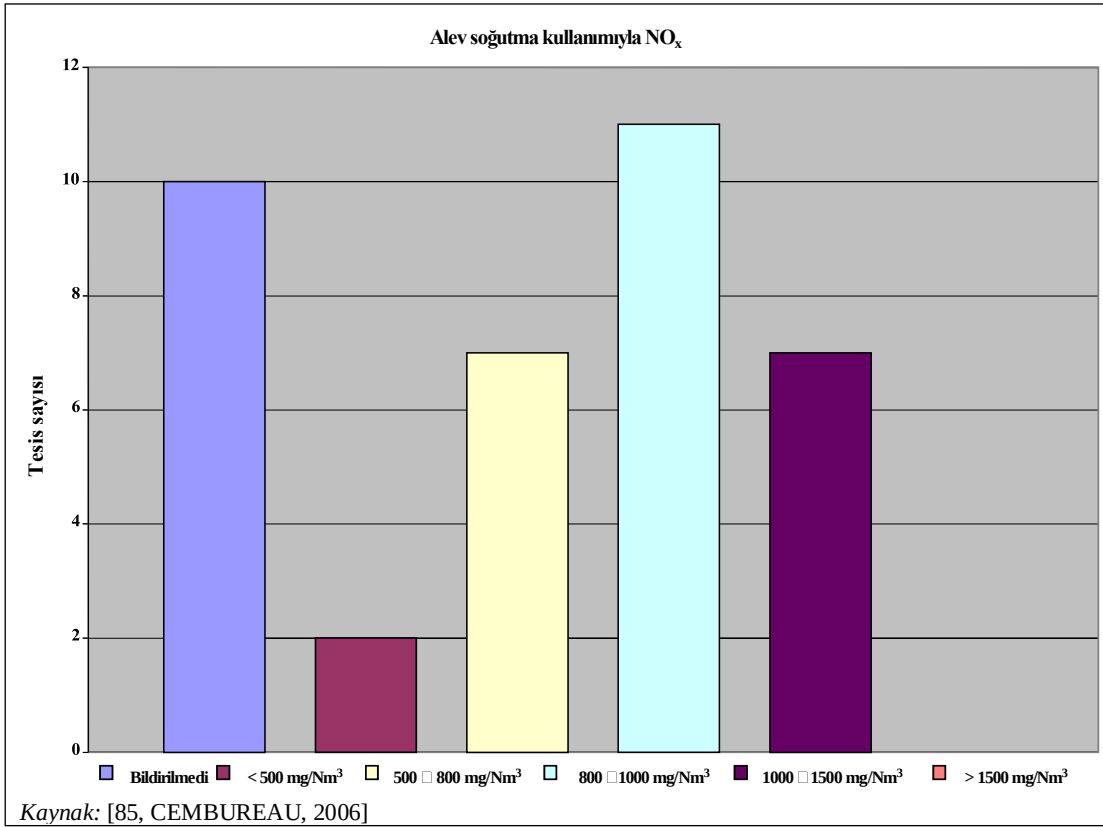
İsveç'te yüksek verimli SNCR tekniği 1997 yılından beri üç çimento fırınında uygulanmaktadır. O zamandan beri uzun vadeli NO_x emisyonları 200 mg/Nm³ civarında gerçekleşmiştir. 2004 yılında yıllık ortalama değer 221 mg/Nm³ olarak, aylık ortalama değerler ise 154 ila 226 mg/Nm³ aralığında gerçekleşmiştir. NO_x yükü 130 ila 915 t/yıl aralığında gerçekleşmiştir [114, İsveç, 2006].

Finlandiya çimento tesislerinde yıllık ortalama değer olarak ölçülen NO_x emisyonları 500 ila 1200 mg/Nm³ arasında değişmektedir [63, Finlandiya, 2006]. Çek Cumhuriyeti'nde, NO_x emisyonları 400 ila 800 mg/Nm³ aralığında ölçülmüştür [112, Çek Cumhuriyeti, 2006]. Fransa'da 2001 yılında 33 çimento tesisinde NO_x emisyonlarının ortalama değeri 666 mg/Nm³ olarak ölçülmüştür [116, Fransa, 2002]. Danimarka'da bir yaş uzun çimento fırınında SNCR uygulanmış ve %40 – 50 azaltım verimliliği ile <800 mg/ Nm³ NO_x emisyon seviyesi rapor edilmiştir [182, TÇG CLM, 2008].

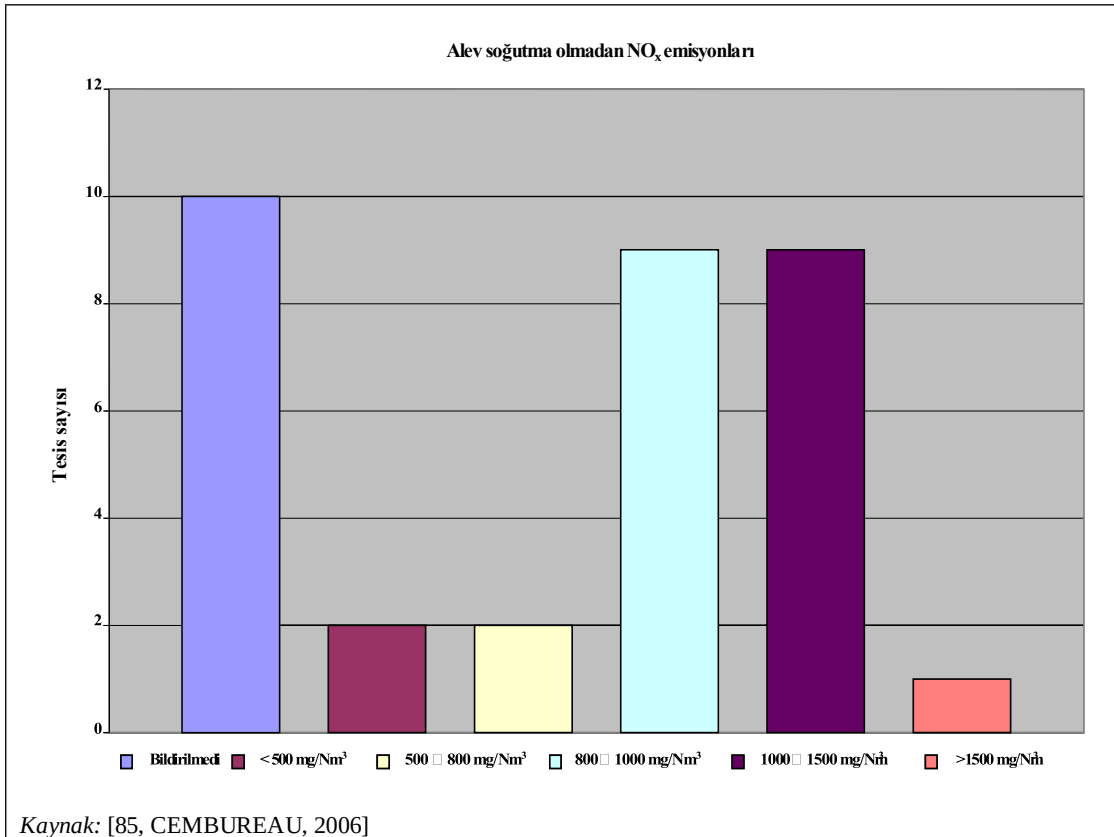
Beyaz çimento üretimi ile ilgili olarak bazı hammaddelerin pişirme işlemi sırasında klinker haline dönüşmesinde zorluklar meydana gelmekte olup, kristalografi veya mineralojilerine bağlı olarak bunlar için daha yüksek alev sıcaklıkları gerekmektedir. Beyaz klinkerin özel durumunda ise, eriyebilen metallerin yokluğu, klinker sıcaklıklarının gri klinker için olan sıcaklıklardan yaklaşık 150 °C daha yüksek olmalarına yol açmaktadır. Yüksek alev sıcaklıkları ise daha yüksek termal NO_x oluşumuna neden olmaktadır [120, İspanya, 2007].

Çimento endüstrisinde NO_x azaltımı ile ilgili teknikler Bölüm 1.4.5.1'de açıklanmıştır. Ayrıca, AB-27 ve AB-23 ülkelerinde 2008 yılında NO_x azaltma tekniklerinin uygulandığı büyük çaplı tesislerin bilinen rakamları Bölüm 1.4.5.1 Tablo 1.33'te sunulmuştur.

NO_x azaltımı için alevle soğutma kullanılır. Azaltım oranları/verimlilikleri % 10 - 35 aralığında rapor edilmiştir. Alev soğutma kullanılarak elde edildiği bildirilen emisyon aralıkları Şekil 1.27'de gösterilmektedir. İki tesiste 500 mg/Nm³'ten daha düşük seviye elde edilmiş, yedi tesiste 500 – 800 mg/Nm³ emisyon aralığı elde edilmiş ve 11 tesiste 800 – 1000 mg/Nm³ aralık elde edilmiştir (yıllık ortalama değerler). Çeşitli tesislerde elde edilen bu emisyon aralıklarına kıyasla, çeşitli çimento tesisleri tarafından alev soğutma uygulanmadan elde edilen NO_x emisyon aralıkları Şekil 1.28'de gösterilmektedir. Daha düşük NO_x emisyon aralığı pek az sayıda tesiste elde edilmiştir.

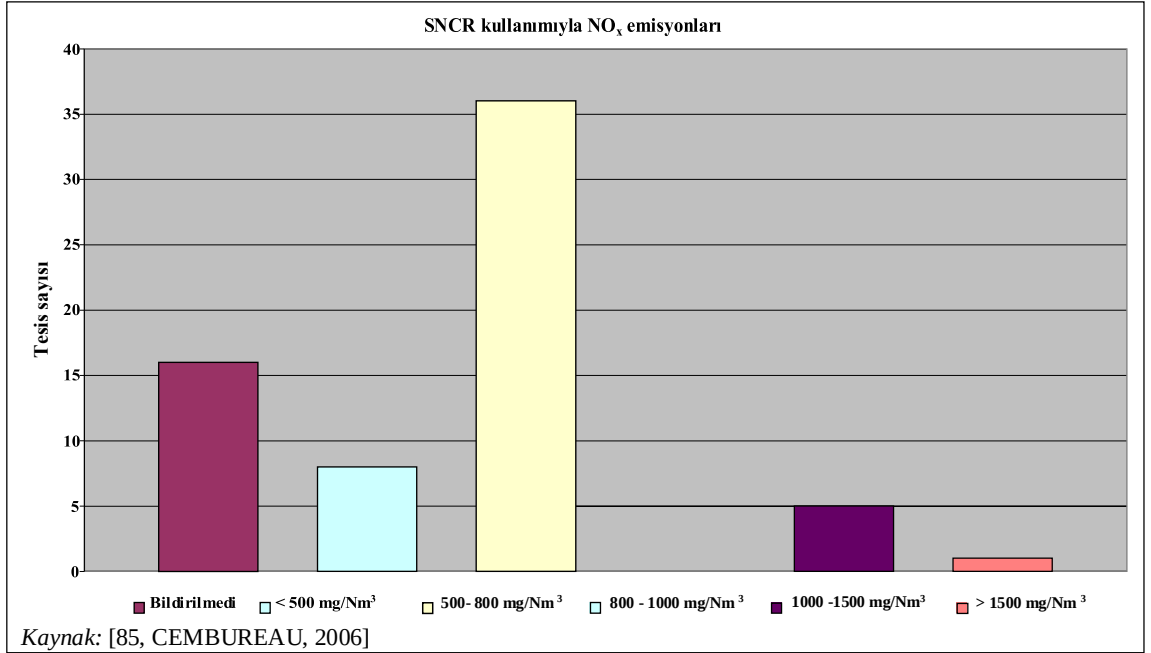


Şekil 1.27: AB- 23+'daki bir takım çimento fabrikalarında alev soğutma kullanılarak elde edilen NO_x emisyonu aralıkları

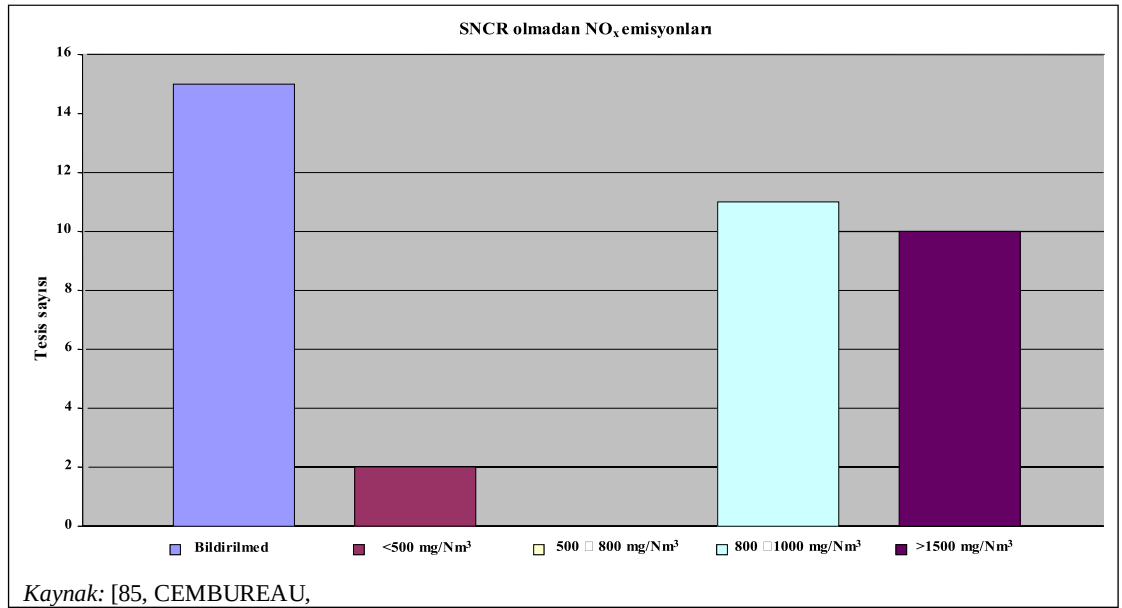


Şekil 1.28: AB- 23+'daki bir takım çimento fabrikalarında alev soğutma kullanılmadan elde edilen NO_x emisyonu aralıkları

Şekil 1.29 ve Şekil 1.30’da gösterildiği gibi, çimento tesislerinde NO_x azaltımı için SNCR kullanımı, SNCR tekniğini kullanmayan çimento tesislerine kıyasla meydana gelen NO_x emisyon aralığını aşağı indirmektedir (yıllık ortalama değerler).



Şekil 1.29: NO_x azaltımı için SNCR kullanan tesislerden elde edilen NO_x azaltımı



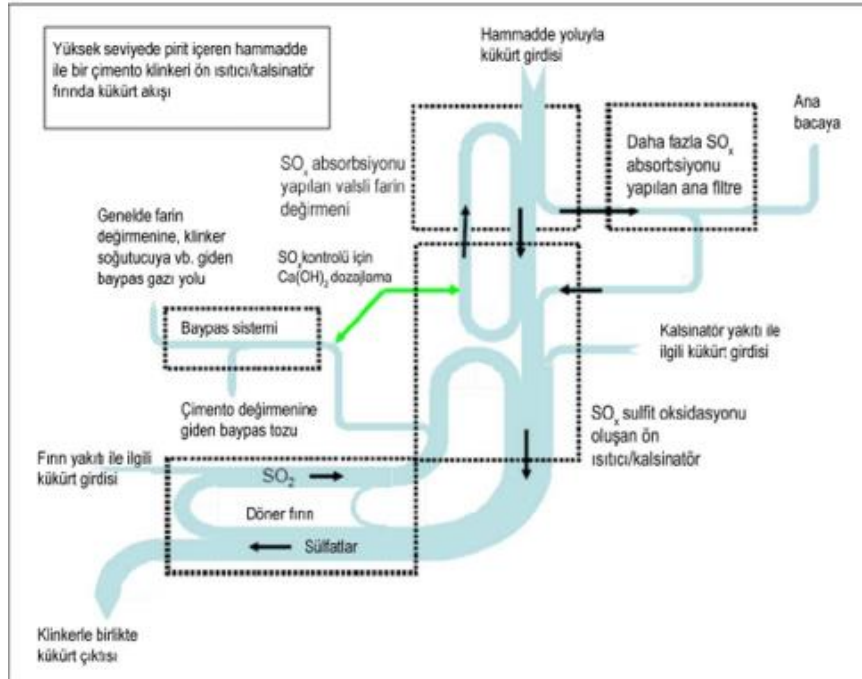
Şekil 1.30: SNCR kullanılmayan tesislerden elde edilen NO_x azaltımı aralıkları

1.3.4.3 Kükürt dioksit

Çimento tesislerinden kaynaklanan SO_2 emisyonları toplam kükürt bileşikleri girdisine ve kullanılan prosesin tipine bağlı olup, öncelikle hammaddelerin içindeki uçucu kükürt içeriği ve muhtemelen yakıtlar tarafından belirlenir. SO_x üretimi ile potansiyel emisyonları da fırın sisteminde gerçekleşen kükürt dolaşımına bağlıdır. Kükürt, dışa atım gazları içindeki SO_2 , klinkerin içindeki CaSO_4 ve diğer kombine bileşikler ve toz gibi fırın sisteminin farklı çıktılarından salınır. Ancak, kükürtün büyük bir bölümü klinker bünyesine dahil olur veya proses tarafından sistemin dışına atılır.

Kendi yataklarına bağlı olarak, hammaddeler sülfat veya sülfür şeklinde bağlı kükürt içerebilir. Sülfatlar döner fırın sistemlerinin sinterleme bölgesinde mevcut olan, yerleşmiş indirgen koşullar ve yakıt ile atıkların yanmasıyla artabilecek yüksek sıcaklıklarda sadece kısmen termal olarak ayrılan kararlı bileşiklerdir. Sonuç olarak sülfat şeklinde mevcut olan kükürt, klinker kalitesi için gerekli olduğunda klinker ile birlikte hemen hemen tümüyle fırın sisteminin dışına atılır. Buna karşın sülfürler ön ısıtıcıda oksitlenir ve kısmen kükürt dioksit şeklinde salınırlar.

Yakıt ile fırın sistemine girmiş olan kükürt oksitlenerek SO_2 halini alır; sinterleme bölgesinin, kalsinasyon bölgesinin ve ön ısıtıcının alt kademesinin güçlü alkali doğası gereği önemli düzeyde SO_2 emisyonları meydana gelmez. Bu kükürt, sinterleme bölgesindeki kısmi sülfat bozunmasından kaynaklanan küçük SO_2 derişimleri ile birlikte fırın sisteminin kalsine etme bölgesine girer. Kalsinasyon bölgesinde SO_2 hammaddelerden kaynaklanan alkaliler ve alkali sülfatların yanı sıra başka unsurlarla reaksiyona girer. Kısmen karbondan arındırılmış farin ile temas ettiğinde, fazla SO_2 önce CaSO_3 ve sonra CaSO_4 bileşiğine dönüşür. Bu sülfatlar tekrar döner fırına girerler. Böylelikle, klinker vasıtasıyla dışarı atılan kükürt ile dengede olan kükürt döngüleri oluşturulur. (Şekil 1.31).



Kaynak: [97, CEMBUREAU, 2007]

Şekil 1.31: Çimento ön ısıtıcısı/ön kalsinatör fırınında kükürt akış diyagramı

Döner fırının kalsinasyon alanı fırın dışa atım gazları içinden SO_2 yakalama ideal koşullar sağlar. Bununla birlikte, fırın sisteminin çalışma koşulları, örneğin döner fırındaki oksijen derişimi SO_2 tutmak üzere optimize edilmedğinde SO_2 emisyonları meydana gelebilir. Ayrıca sıcaklık, nem içeriği, gazın alıkonma süresi, gaz fazındaki oksit derişimi, katı yüzey

alanının mevcudiyeti vb. çeşitli faktörler reaksiyonun verimliliğini etkileyebilir. [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Organik kükürt içeren hammaddeler kullanıldığında ve özellikle hammadde kaynaklı kükürt derhal oksitlenebilir türde olduğunda (örn. pirit ya da akpirit olarak) yüksek SO₂ emisyonları beklenebilir. Sülfatık hammadde bileşenlerinden farklı olarak bu oksitlenebilir bileşikler daha üst siklon kademelerinde bile SO₂ haline gelebilir. Bu koşullar altında, hammaddeyle ilgili SO₂ emisyon derişimleri 1,2 g/Nm³'e kadar ve duruma bağlı olarak ikincil emisyon kontrol teknikleri sağlanmadığında daha da yüksek olabilir.

Bununla birlikte, uçucu kükürt içermeyen veya çok az hammadde kullanan fırınlarda SO₂ emisyonları ile ilgili çok az sorun baş gösterir. Baca gazındaki emisyon derişimleri bazı fırınlarda azaltma olmaksızın 10 mg/Nm³'ün altında olup, SO₂ emisyon derişimi kullanılan hammaddedeki uçucu kükürt seviyeleri ile birlikte artar.

İkincil kontrol teknikleri kullanılarak, örneğin kireç hidrat kullanımı ile SO₂ emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir. Şekil 1.32 AB-25 ülkelerindeki çimento tesislerinin temiz gazındaki SO₂ ölçümlerinin değerlerini göstermektedir [97, CEMBUREAU, 2007].

SO₂, bir miktar SO₃ üretilmekle ve indirgen koşullar altında H₂S meydana gelebilmekle beraber, salınan ana (%99) kükürt bileşimidir. Hammaddede sülfürler ve organik olarak birleşmiş kükürt halinde yer alan kükürt buharlaşacaktır, %30 veya daha fazlası ön ısıtıcının ilk aşamasından salınabilir.

Kalsinasyon alanının aksine, oluşan SO₂ %40 ila 85 oranında ön ısıtıcıda tekrar yakalanır. Fırın dışı atım gazlarının su buharı içeriğinin dışında, siklon ön ısıtıcısında CaCO₃ tarafından SO₂ yakalanmasını etkileyen temel parametreler, ham gaz toz içeriği ve özellikle en üst siklon aşamasındaki ham gaz oksijen derişimidir. Fazla oksijen (tatmin edici çimento ürün kalitesi için fırında %1 ila 3 oranında O₂ seviyesi korunur) normalde salınan tüm sülfür bileşiklerini derhal oksitleyerek SO₂ haline dönüştürür. Uzun fırınlarda SO₂ ile alkali maddeler arasındaki temas çok iyi değildir ve yakıt atıklar gibi yakıtların içindeki kükürt önemli miktarda SO₂ emisyonlarına yol açabilir.

Gaz şartlandırma kulesi/ buharlaştırma soğutucusunda SO₂ tutulması yaklaşık %10 ile göreceli olarak düşüktür. Öğütme-kurutma ünitesindeyse bunun aksine, malzemenin ufalanması sürekli olarak, SO₂ yakalamaya elverişli olan yeni ve oldukça etkin partikül yüzeylerinin ortaya çıkmasına neden olur. Kurutma prosesi, soğurmayı arttırmak üzere gaz atmosferinin daima su buharıyla zenginleştirilmiş olmasını sağlar. Bileşik modda çalışan tesislerden elde edilen deneyim, farin değirmeninde %20 ila 70 arasında SO₂ yakalanabileceğini göstermiştir. SO₂ yakalamayı etkileyen faktörler arasında hammadde nemi, değirmen sıcaklığı, değirmende tutma süresi ve öğütülmüş malzemenin inceliği yer alır. Bu nedenle farin öğütülmesinin, farin değirmeni fırın içinde SO₂ azaltımı görevi görecektir şekilde optimize edilmesi önemlidir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Kükürtün çoğu klinkerin içinde sülfat olarak kalacak olmasına rağmen, uçucu kükürt içeriği yüksek olan hammaddelerden kaynaklanan SO₂ emisyonları önemli düzeyde olabilir ve ana kirletici olarak kabul edilebilir.

Normal işletim koşullarından sapma

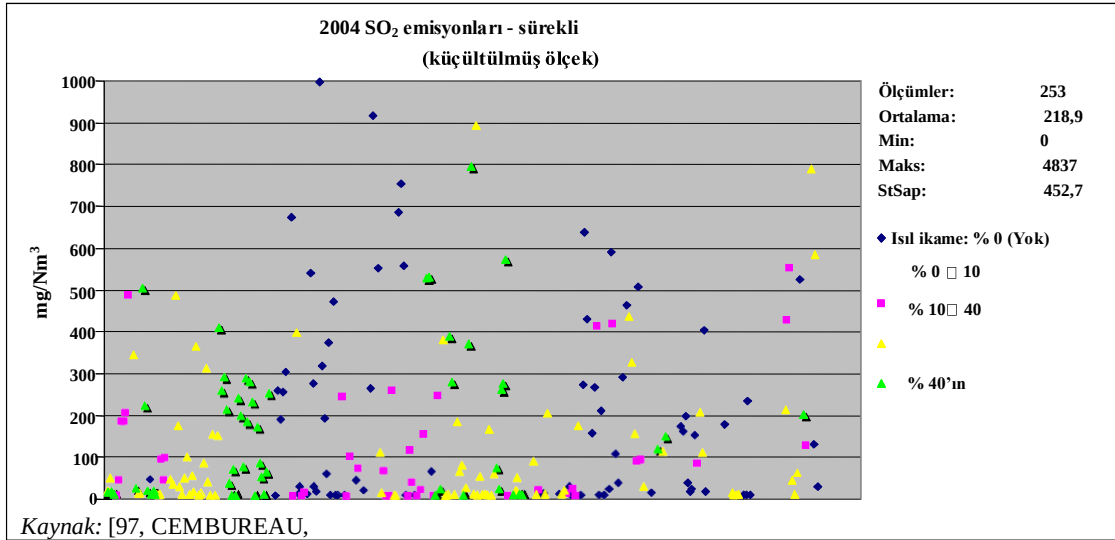
Kükürtün alınma etkinliğini azaltan indirgen koşullar altında gerçekleşen yanma gibi, normal işletme koşullarından sapmaya neden olan olaylar SO₂ emisyonlarının artmasına yol açar:

- ☐ ön kalsinatörde tamamlanmamış yanma veya iri taneli yakıt atıkların fırının arka ucunda düzgün yanmaması

- ☐ çok zor yanabilen yakıt karışımlarını yakan fırınlarda oluşabilecek aşırı sıcak yanma bölgesi
- ☐ fırın şarjında alkalilerden kaynaklanan kükürt fazlası
- ☐ fırın ile ön ısıtıcı kademeleri arasında aşırı seviyelerde kükürt devridaimi

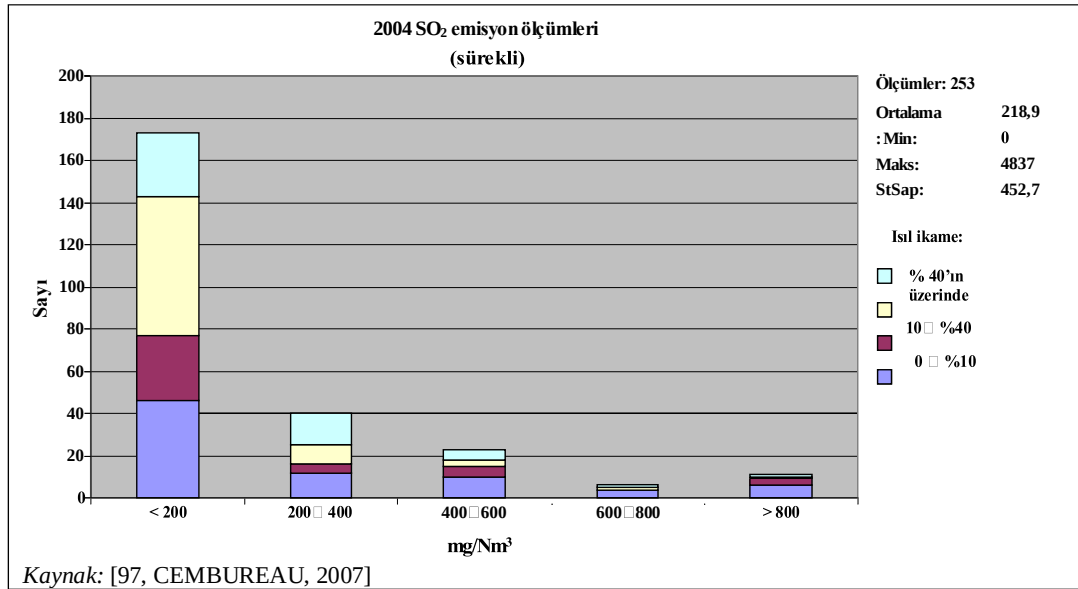
2004 yılında SO₂ emisyonları ile ilgili örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23 ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan farklı tesislerden toplanmıştır. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 m³ kuru gaza işaret eder. Temiz gazda SO₂ ölçüm değerleri 253 adet döner fırından toplanmıştır. 11 ölçüm skalanın üzerinde çıkmıştır. Şekil 1.32’de gösterildiği gibi bunlardan yedisinin ikame oranı sıfır, üçünün ikame oranı 0 ila 10 arasında ve birinin ikame oranı 40’ın üzerindedir [97, CEMBUREAU, 2007]. Bununla birlikte, bir İsviçre çimento fabrikasında 3000 mg/Nm³e kadar piklere ulaşabilen, 1 400 – 1700 mg/Nm³ aralığında ham gaz derişimleri gözlenmiştir [86, EURITS, 2006].

Şekil 1.32’de gösterildiği gibi SO₂ büyük ölçüde soğurularak çimento klinkerinin ve çimento fırını tozunun (CKD) içine hapsedilir. Yakıt atıklarının kullanımının toplam SO₂ emisyonları üzerinde bir etkisi yoktur. Uzun döner fırınlarda SO_x ve alkali maddeler arasındaki temas daha az verimlidir ve yakıtlardaki kükürt, SO_x emisyonlarına yol açabilir.



Şekil 1.32: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento tesislerinin temiz gazındaki SO₂ ölçümlerinin değerleri

Bu SO₂ emisyonlarının sınıflandırılması ve dağılımı Şekil 1.33'te gösterilmektedir [97, CEMBUREAU, 2007].



Şekil 1.33: SO₂ seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı

Beyaz çimento üretiminde çeşitli koşullar ve bunların bileşimleri, bazı durumlarda yakıt kaynaklı kükürtün klinkerin içinde tutulma yatkınlığının önemli ölçüde azalmasına ve bu nedenle daha yüksek SO₂ emisyonlarına neden olur. Bu koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ farinin yanmaya elverişsizliği
- ☐ hammaddelerin yüksek derecede saflığı nedeniyle fırına beslenen malzemelerin düşük alkali içeriği
- ☐ genel olarak indirgeyici atmosfer gibi fırın koşulları
- ☐ fırın konfigürasyonu: Lepol fırınları yaygındır ve modern ön ısıtıcılı fırınlarda siklonların sayısı hammaddenin kimyasal bileşimi (alkali-kükürt dengesi) ile sınırlı olabilir [120, İspanya, 2007].

1.3.4.4 Karbon oksitler (CO₂, CO)

1.3.4.4.1 Karbon dioksit (CO₂)

CO₂ emisyonları, yaklaşık 3500 ila 5000 MJ/ton klinker özgül ısı ihtiyacı ile bağlantılı olarak 900 ila 1000 kg/ton gri klinker olarak tahmin edilmiştir, ancak bu durum yakıtın türüne bağlıdır. Çimentonun mineral katkı olarak öğütülmesi nedeniyle ton başına çimento olarak bakıldığında CO₂ emisyonları azalır. (Şekil 1.19 ile kıyaslayınız). Bunun yaklaşık % 62'si kalsinasyon prosesi esnasında oluşur, kalan % 38'i ise yakıtın yanması ile ilgilidir. Yakıtın karbon içeriğinin yanması sonucunda oluşan CO₂ emisyonları hem özgül ısı ihtiyacı hem de yakıtın karbon içeriği ile ısı değeri oraniyle doğru orantılıdır. Yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonları giderek azaltılmış olup, son 25 yılda esas olarak daha yüksek yakıt verimine sahip fırın proseslerinin uygulanması sonucunda yaklaşık % 30'luk azaltım kaydedilmiştir.

CO₂ emisyonları ve emisyon ticareti planı ile ilgili bilgi Topluluk içinde sera gazı emisyonu ticaretine imkan tanıyan bir planı ortaya koyan ve 2009/29/AK sayılı Direktifle tadil edilen, Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in 13 Ekim 2003 tarih ve 2003/87/AK sayılı Direktifinde bulunabilir [99, Avrupa Birliği, 2003] [191, Avrupa Birliği, 2009]. Ayrıca, Emisyon Ticareti Planı Direktifi kapsamında sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanmasına ilişkin bilgiler, 29 Ocak 2004 tarihli Avrupa Komisyonu Kararında (2004/156/AK) ve 18 Temmuz 2007 tarihli Komisyon Kararında (2007/589/AK) bulunabilir [122, Avrupa Komisyonu, 2004] [193, Avrupa Birliği, 2007].

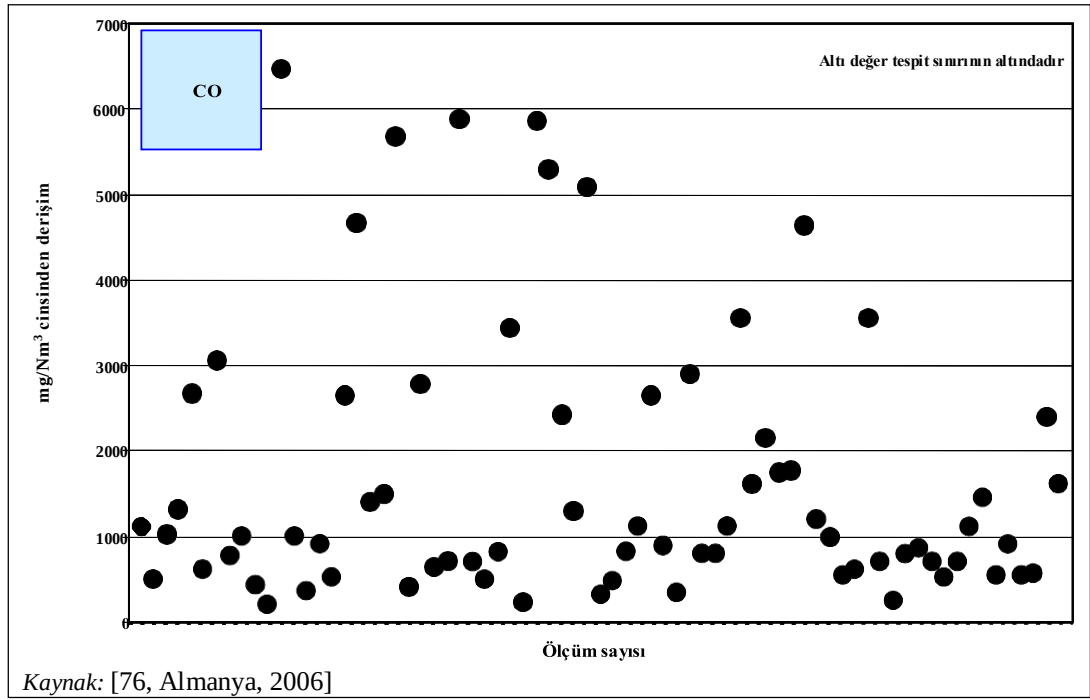
1.3.4.4.2 Karbon monoksit (CO)

Klinker pişirme prosesi sırasında meydana gelen CO ve organik bağlı karbon emisyonları, normalde fırın besleme ön ısıtması sırasında doğal hammaddeler yoluyla giriş yapan küçük organik bileşen (jeolojik tarih süresince kayaca dahil olan organizma ve bitki kalıntıları) miktarlarından kaynaklanır. Bunlar fırın besleme malzemelerinin ön ısıtması sırasında CO ve CO₂ oluşturmak üzere oksitlenir. Bu proseste, toplam organik karbon gibi organik eser gazlar da küçük miktarlarda oluşur. Bu nedenle, klinker pişirme prosesi esnasında temiz gazın CO içeriği ve içindeki organik eser gazlar yanma durumu hakkında bir sonuca varmaya izin vermez.

Bununla birlikte, ikincil pişirmede kötü yanma ve uygun olmayan yanma koşullarından dolayı da ek CO emisyonları meydana gelebilir. Öte yandan, CO emisyonu oranındaki böyle bir artışın NO_x emisyonlarındaki azalma ile aynı zamana rastladığı belirtilmelidir. Ancak indirgen koşullarının SO_x emisyonları üzerinde olumlu bir etkisi olabilir.

Elektrik santralleri gibi enerji dönüşüm tesislerinde, CO ve organik olarak bağlı karbonun dışa atım gazındaki derişimleri, yakıtların yanma oranı için bir ölçüttür. Buna karşılık klinker pişirme prosesi, klinker kalitesi nedenlerinden dolayı her zaman fazla hava ile çalıştırılması gereken bir malzeme dönüştürme prosesidir. Yüksek sıcaklık aralığında uzun alıkoyma süreleri ile birlikte bu durum yakıtın tümüyle yanmasına yol açar [76, Almanya, 2006].

Hammadde yatağına bağlı olarak, doğal hammaddeler vasıtasıyla prosese kg klinker başına 1,5 ila 6 g organik karbon getirilir. Çeşitli kökenlerden gelen farinlerin kullanıldığı testler, hammadde içindeki organik bileşiklerin %85 – 95 arasındaki bölümünün %3 oksijen varlığında CO₂, ancak aynı zamanda %5-15'inin de CO oluşturduğunu göstermiştir. Bu koşullar altında uçucu organik karbon bileşikleri (UOB) olarak salınan oran %1'in çok altındadır. CO derişimi, Şekil 1.34'te gösterildiği gibi 1000 mg/Nm³ kadar yüksek olup, 2000 mg/Nm³'ü ve hatta Şekil 1.34'te gösterildiği gibi bazı durumlarda 5000 mg/Nm³'ü aşabilir. Bununla birlikte 29 Alman döner fırından alınan, sürekli ölçümlerden elde edilen bu CO emisyon derişim değerleri örneklerinin çoğu, yıllık ortalama değer bakımından 200 ila 2200 mg/Nm³ aralığındadır (CO tespit limiti 1,8 – 2,5 mg/Nm³) [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]. Malzeme bunkeri, taşıma konveyörü ve besleyicinin, katı yakıt besleme hızının en az iniş çıkışla sürekli olmasını sağlayacak şekilde tasarlanması esastır. Aksi takdirde substokiyometrik yanma meydana gelerek %0,5'in üzerinde kısa süreli CO tepe noktalarına ulaşmasına yol açabilir. Bu durum azaltıma yönelik herhangi bir ESP'nin patlama önleme için otomatik kapanması gibi ek bir soruna yol açacaktır.

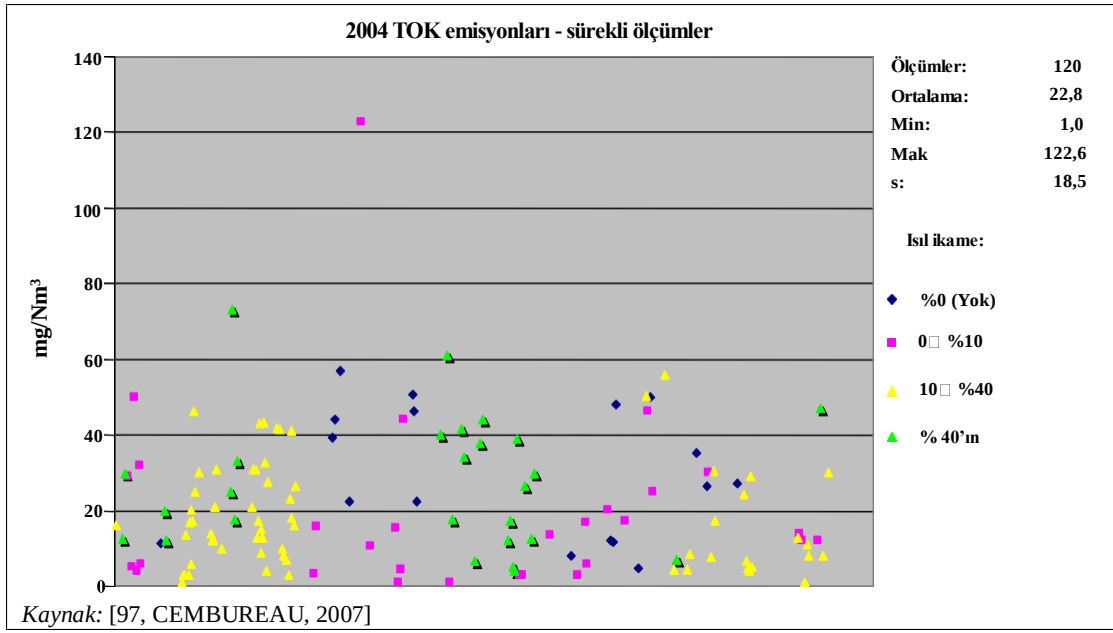


Şekil 1.34: 2004 yılında 29 Alman döner fırınının temiz gazında ölçülen CO emisyon derişimi değerleri

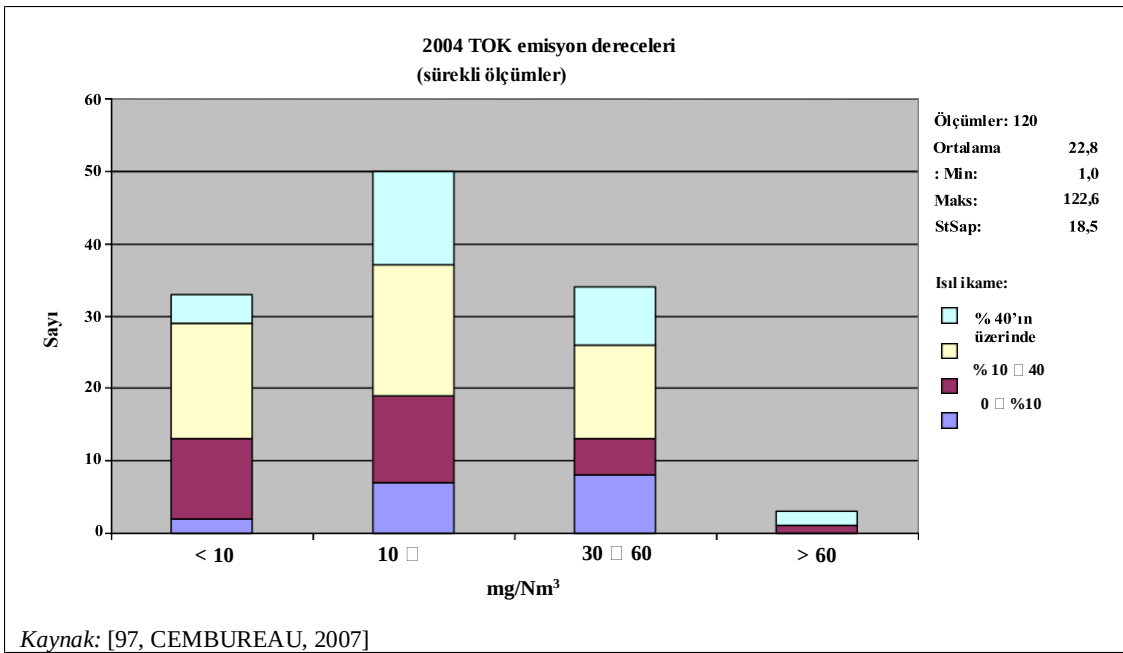
1.3.4.5 Toplam organik bileşikler (TOK)

Isı (yanma) proseslerinde genel olarak, uçucu organik bileşik (ve karbon monoksit) oluşumu çoğunlukla yetersiz yanma ile ilişkilidir. Çimento fırınlarında emisyonlar, kullanılan fırının türü, fırındaki gazların yüksek alıkonma süresi, yüksek sıcaklık, alevin tabiatı (2000 ° C) ve artık oksijen koşulları nedeniyle normal kararlı çalışma koşulları altında düşük olacaktır. Bunlar organik bileşiklerin yüksek verimlilik oranı (> %99,9999) ile ayrıştırıldığı ve yok edildiği proses koşullarıdır [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007]. Çalıştırma veya anormal çalışma (bozulma) koşulları sırasında derişimler artabilir. Bu olaylar örneğin haftada bir iki defa veya iki veya üç ayda bir gibi değişen sıklıklarla meydana gelebilir.

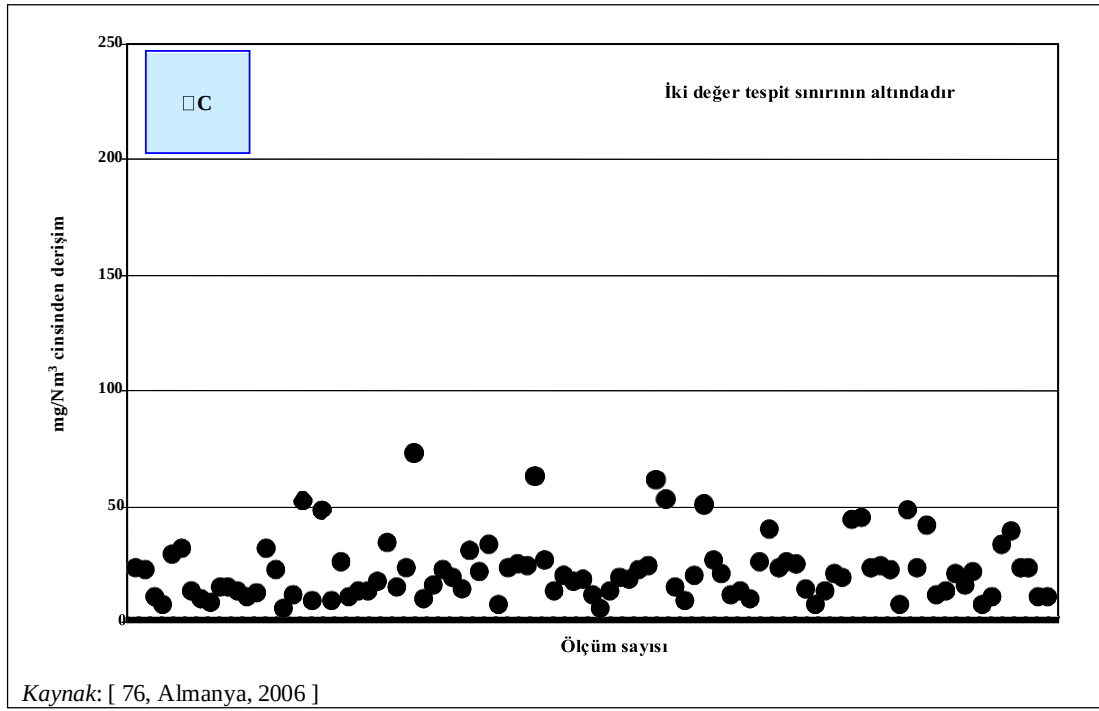
Uçucu organik bileşiklerin (UOB'ler) emisyonu, fırına beslenen malzemelerin prosesin ilk aşamalarında (ön ısıtıcı, ön kalsinatör) ısıtılması ile birlikte, farinin içinde bulunan organik maddenin uçucu hale gelmesiyle gerçekleşir. Organik madde 400 ila 600 ° C arasındaki sıcaklıklarda salınır. Şekil 1.35'te gösterildiği gibi çimento fırınlarından çıkan dışa atım gazının UOB içeriği TOK olarak ölçüldüğünde, genelde 1 ila 80 mg/Nm³ arasındadır. Ancak, bazı nadir durumlarda hammadde özelliklerinden dolayı emisyonlar 120 mg/Nm³'e ulaşabilir. 2004 yılında TOK emisyonları ile ilgili örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23 ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan farklı tesislerden toplanmıştır. Temiz gazda devamlı olarak yapılan TOK ölçümlerinin değerleri 120 döner fırından toplanmış ve aynı zamanda bu ölçümlerin dağılımları, Şekil 1.35 ve Şekil 1.36'da gösterildiği gibi termal ikame açısından TOK seviyeleri olarak sınıflandırılmıştır. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler standart koşullar altında 1 Nm³ kuru gaza ilişkin değerlerdir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [97, CEMBUREAU, 2007]. 27 Alman döner fırınından alınan sürekli ölçümler, Şekil 1.37'de gösterildiği gibi 75 mg/Nm³'e varan (yıllık ortalama değer) karbon emisyonu derişim değerleri örnekleri göstermektedir. Ölçümlerin çoğu 30 mg/Nm³'ün altındadır (yıllık ortalama değer) (tespit sınırı 1,5 – 2,1 mg/Nm³) [76, Almanya, 2006].



Şekil 1.35: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarının temiz gazında sürekli TOK ölçümlerinden elde edilen toz emisyon değerleri



Şekil 1.36: Sürekli TOK seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı



Şekil 1.37: 2004 yılında 27 Alman döner fırınının temiz gazında ölçülen toplam organik karbon emisyon derişimi değerleri

1.3.4.6 Poliklorlu dibenzo-*p*-dioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF)

PCDD/F, fırın ve proses tasarımı, yanma şartları, besleme özellikleri ile tipi ve operasyon emisyon kontrol teçhizatının türü ve çalışmasına bağlı olarak çeşitli formasyon mekanizmalarının bir araya gelmesi sonucunda oluşur. Ayrıca, organik maddelerin varlığında herhangi bir klor girişi ısı (yanma) prosesinde potansiyel olarak PCDD/F'nin oluşmasına neden olabilir. Hammaddelerde bulunan klor ve hidrokarbon öncülerinin yeterli miktarda olmaları halinde PCDD/F ön ısıtıcının içinde veya sonrasında ve hava kirliliği kontrol cihazında oluşabilir (ayrıca bkz. Bölüm 1.2.4). PCDD/F oluşumu ve takip eden emisyonları, aşağıda belirtilen beş faktörün eşzamanlı mevcudiyetini gerektirir:

- ☐ hidrokarbonlar
- ☐ klorürler
- ☐ katalizör:
 - bazı raporlar Cu^{2+} (ve Fe^{2+}) iyonunun katalitik etkiye sahip olduğunu öne sürmektedir
- ☐ uygun sıcaklık penceresi:
 - 200 ila 450 °C aralığında, en fazla 300 – 325 °C
- ☐ uygun sıcaklık penceresinde uzun kalma süresi

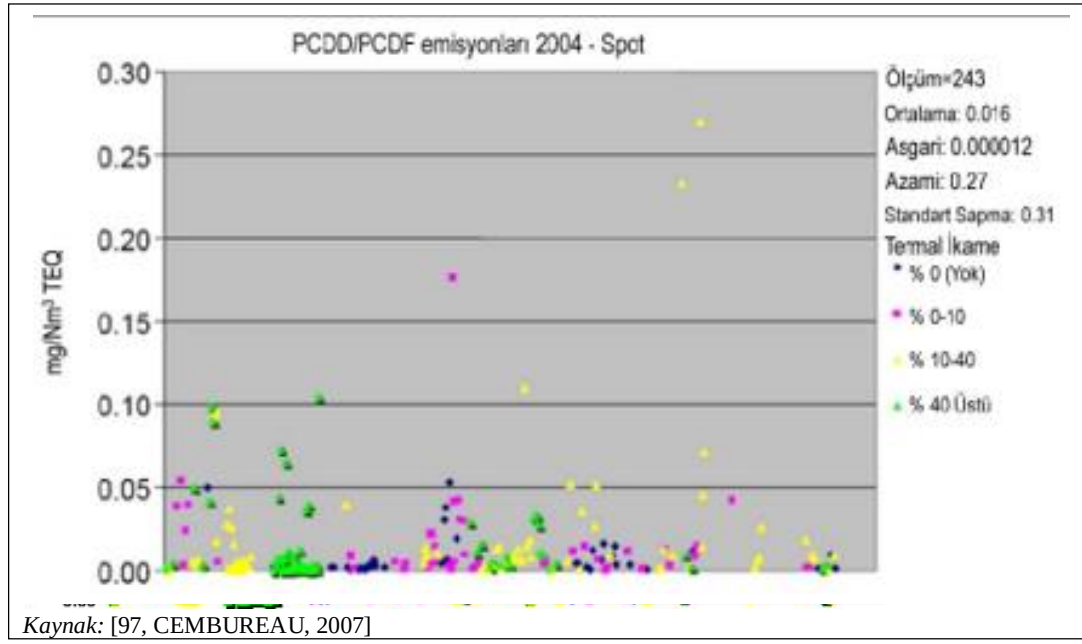
Buna ek olarak, gaz akışı içinde moleküler oksijenin mevcut olması gereklidir. Oluşum hızı artan oksijen derişimiyle, 0,5'lik bir reaksiyon derecesi ile artar.

Yukarıda belirtildiği gibi, PCDD/F reformasyonunun de novo sentezi yoluyla ve 450 °C'den 200 °C'ye soğutma penceresinde meydana geldiği bilinmektedir. Bu nedenle, fırın sistemini terk eden gazların bu aralık boyunca hızla soğutulması önemlidir. Uygulamada, gelen hammaddeler fırın gazlarıyla ön ısıtmaya tabi tutulduklarından, ön ısıtma sistemlerinde bu durum meydana gelmektedir. PCDD/F'nin imha edildiği yerlerde artan sıcaklık nedeniyle ön ısıtıcıda yüksek PCDD/F derişimleri beklenmez. PCDD/F yaklaşık 925 °C sıcaklıkta hızla ayrışır. Dahası bu imha süreci, malzemenin nispeten sıcak bölgelere, gazın ise nispeten soğuk bölgelere taşındığı dinamik süreç tarafından desteklenir. Fırın besleme malzemesi tarafından soğurulmuş olan PCDD ve PCDF, termal olarak yok edildikleri veya daha hafif

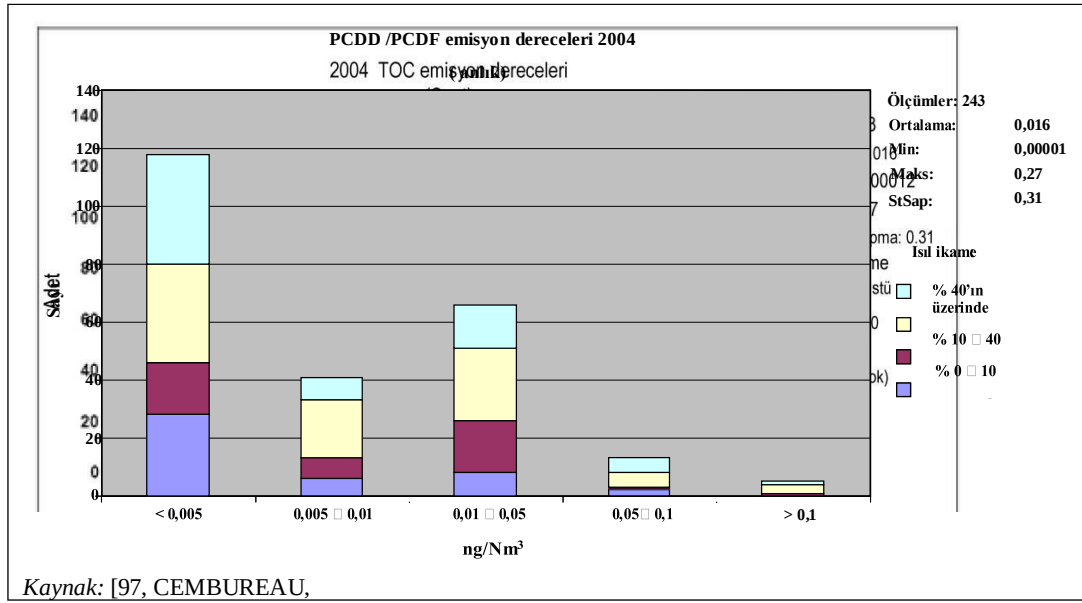
homologlara ayrıştırıldıkları daha yüksek sıcaklıklara (400 – 600 °C) sahip bölgelere nakledilirler. Bunlar gaz evresine salınır ve daha soğuk bölgelerde (200 – 300 °C), yeniden süblimleşerek fırın beslemesine dahil olurlar. Ayrıca, fırında uzun kalma süresi ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle istikrarlı fırın koşullarında PCDD/F emisyonları genellikle düşüktür. Detaylı araştırmalar ve ölçümler günümüzde atıkların ve tehlikeli atıkların yakıt olarak kullanıldığı durumlarda bile çimento sanayindeki PCDD/F emisyonlarının düşük kabul edilebileceğini göstermiştir. Ölçüm verileri, farklı çalışma koşullarında faaliyet gösteren ve ana brülör ile fırının girişine (ön ısıtıcı/ön kalsinatör) beslenen çok çeşitli atık ve tehlikeli atıkların kullanıldığı yaş ve kuru fırınlardan toplanmıştır. Bu araştırmaların sonucunda aşağıdaki nedenlerden dolayı, Avrupa’da çimento üretiminin nadiren önemli bir PCDD/F emisyon kaynağı olduğu anlaşılmıştır:

- birincil teknikler uygulandığı takdirde çimento fırınlarının çoğu 0,1 ng I-TEQ/Nm³ emisyon seviyesini karşılayabilir (bkz. Bölüm 1.4.6)
- atıkların yakıt olarak ve ana brülöre, fırın girişine veya ön kalsinatöre beslenen hammadde olarak kullanılması, kalıcı organik kirletici emisyonlarını görünürde etkilememekte ve değiştirmemektedir. [88, SINTEF, 2006].

2004 yılında PCDD/F emisyonları ile ilgili örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23 ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan tesislerden toplanmıştır. Temiz gazdaki PCDD/F ölçümlerinden elde edilen değerler, Şekil 1.38 ve Şekil 1.39’da gösterildiği gibi spot ölçümlerden alınmıştır. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 m³ kuru gaza işaret eder [97, CEMBUREAU, 2007]. Şekil 1.38’de gösterildiği üzere bildirilen veriler, Avrupa’daki çimento fırınlarının Direktifte atık yakma tesisleri içinsınır değer olan 0,1 ng I-TEQ/Nm³ emisyon derişimine büyük ölçüde uyum sağlayabildiğini göstermektedir. 39 döner fırının (süspansiyonlu ön ısıtmalı fırınlar ve Lepol fırınları) temiz gazında ölçülen PCDD/F derişim değerlerinin Alman ölçümleri, emisyon derişimlerinin genellikle 0,1 ng I-TEQ/Nm³’ün oldukça altında olduğunu, ortalama derişimlerin ise Şekil 1.40’ta gösterildiği üzere 0,02 ng I-TEQ/Nm³’ten az olduğunu göstermektedir. 26 vakada, herhangi bir PCDD/F emisyonu tespit edilmemiştir. İspanya’da PCDD/F ölçümleri, tüm kapsamın %69,5’ini temsil eden 41 fırında yapılan 89 ölçüm dahil olmak üzere 2000 ila 2003 yılları arasındaki dönemde yapılmıştır. Bu araştırmalar fırın pişirme prosesi için kullanılan değişik yakıtlarla ilgili olarak yapılmıştır. Örneğin atıktan türetilen yakıtlar (RDF) gibi yakıt atık kullanan fırınlarda PCDD/F emisyon faktörü 0,83 - 133 ng I-TEQ/t_{klinker} aralığında değişir ve bu sonuçlar, emisyon faktörü 0,67 - 246 ng I-TEQ/t_{klinker} aralığında değişen genelleşmiş yakıt besleme sonuçlarıyla epey benzerlik gösterir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya 2006], [86, EURITS, 2006],[88, SINTEF, 2006],[91, CEMBUREAU, 2006], [150, Fabrellas/Larrazabal/Martinez/Sanz/Ruiz/Abad/Rivera, 2004].

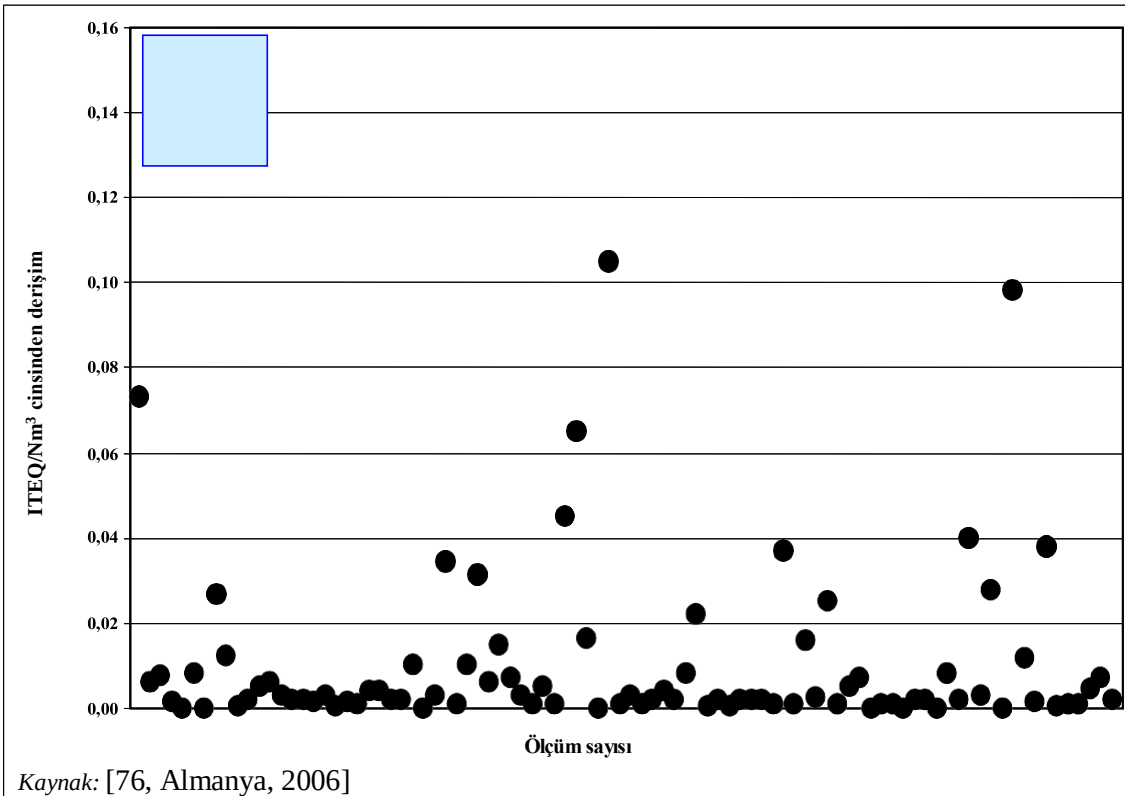


Şekil 1.38: 2004 yılında AB-27 ve AB-23+ ülkelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılmış PCDD/F emisyonları



Şekil 1.39: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki çimento fırınlarından kaynaklanan PCDD/F spot seviye ölçümlerinin ısı ikame oranına göre sınıflandırılmış dağılımı

39 Alman döner fırınında ölçülen PCDD/F emisyon örnekleri Şekil 1.40'ta gösterilmektedir. Bu bilgiler yılda üç kere belli bir günde yapılan ölçümlerin bireysel sonuçlarıdır. 26 vakada, herhangi bir PCDD/F emisyonu tespit edilmemiştir. Standarttan hiçbir tespit sınırı eksiltme/çıkartma yapılmadığı unutulmamalıdır. Bu PCDD/F ölçümleri/örneklemeleri ile ilgili standart limit 0,0051 ng I- TEQ/Nm³'tür. Ölçüm sonuçlarını değerlendirmek için yöntemin laboratuvarlar arası değişimi (değişik laboratuvarlar arasında kıyaslama) dikkate alınmalıdır. [184, CEN standardı EN-1948, 2007]. I-TEQ, uluslararası toksik eşdeğeri teriminin kısaltmasıdır [76, Almanya, 2006].



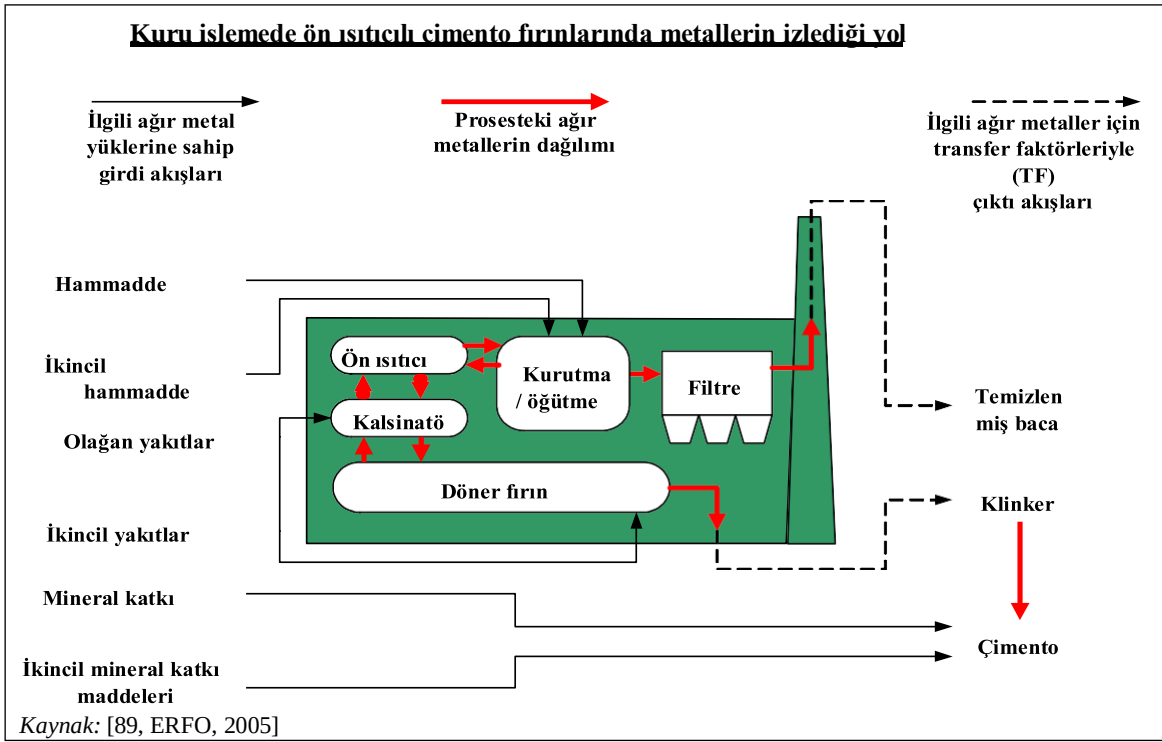
Şekil 1.40: 2004 yılında 39 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen PCDD/F emisyon değerleri

1.3.4.7 Metaller ve bileşikleri

Hammaddeler ve yakıtlar her zaman metal içerecektir. Derişimleri bir yerden diğerine büyük ölçüde değişim gösterir ve atmosfere emisyon potansiyelini etkileyen oldukça karmaşık mekanizmalar mevcuttur. Ayrıca, yakıt olarak kullanılan atıklardaki metal derişimleri atık kaynağına göre değişmektedir. Metal bileşikleri, metallerin uçuculuklarına ve tuzlarına göre dört sınıfa ayrılabilir:

1. Ba, Be, Cr, As, Ni, V, Al, Ti, Ca, Fe, Mn, Cu ve Ag gibi uçucu olmayan ya da refrakter özelliklere sahip metaller veya bu özelliklere sahip bileşikleri:
 - bu metaller klinker tarafından tamamen emilir ve onunla birlikte boşaltılır, yani fırın sisteminde dolaşıma girmez. Dışa gazındaki tek emisyon toz yoluyla gerçekleşir ve bu nedenle sadece toz girdisine ve toz ayrıştırma etkinliğine bağıdırlar. Bundan dolayı emisyonlar genellikle çok düşüktür.
2. Yarı uçucu olan metaller veya bu özelliğe sahip bileşikleri: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K ve Na:
 - bu metaller 700 ila 900 °C arasındaki sıcaklıklarda sülfatlar veya klorürler olarak yoğunlaşır ve iç dolaşım gerçekleşir. Bu yolla, fırının ön ısıtmaya tabi tutulmuş olan sisteminde birikmiş olan yarı uçucu elementler siklon ön ısıtıcıda tekrar çökelirler ve yüksek bir oranda ve neredeyse tümüyle klinkerin içinde kalırlar.
3. Talyum: uçucu olan metal veya bu özelliğe sahip bileşiğı:
 - talyum bileşikleri (örneğin; TlCl) 450 ila 550 °C arasında, eşanjörü olan fırınların durumunda da birikebilecekleri yer olan ön ısıtıcı üst alanında yoğunlaşırlar (iç dolaşım).
4. Cıva: uçucu olan metal veya bu özelliğe sahip bileşiğı (bkz. Bölüm 1.3.4.7.1):
 - cıva ve cıva bileşikleri fırının ve ön ısıtıcının içindeki çoğı bölümden geçerler ve atık gazın ısisına bağılı olarak ham gaz tozu tarafından sadece kısmen adsorbe edilirler [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006].

Kuru işlemede ön ısıtıcılı çimento fırınlarında metallerin izlediğı yol Şekil 1.4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.41: Kuru işlemede ön ısıtıcılı çimento fırınlarında metallerin izlediği yol

Klinker yakma işlemindeki metallerin kendi davranışları ve emisyon seviyeleri, uçuculuğa, fırına giriş senaryosuna, hammadde ve yakıtlardaki metalik elementlerin derişimine (özellikle atıklar veya tehlikeli atıklar kullanıldığında), prosesin türüne ve en önemlisi ana bacadaki toz toplama sistemlerinin tutuş verimliliğine bağlıdır.

Hammaddeler ve yakıtlar vasıtasıyla pişirme prosesine giren metaller, uçuculuklarına bağlı olarak ön ısıtıcının ve/veya döner fırının sıcak bölgelerinde kısmen veya tamamen buharlaşabilir, gaz evresinde mevcut olan bileşenler ile reaksiyona girebilir ve fırın sisteminin daha soğuk bölümlerinde fırın beslemesi üzerinde yoğunlaşabilirler. Yakıtlardan kaynaklanan metaller ilk olarak yanma gazlarına girerler ancak fırının ve ön ısıtıcının alıkoyma kapasitesi sayesinde son derece küçük bir oranda salınırlar. Klinker üretiminde hammadde: yakıt kütle oranı yaklaşık 10:1 olduğundan, hammadde ile ilgili girdiler emisyonlar üzerinde belirleyicidir [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006] [92, Avusturya, 2006].

Uçucu olmayan metal bileşikleri prosesin içinde kalır ve çimento klinker bileşiminin (>%99,9) bir parçası olarak fırından çıkar. Yarı uçucu metal bileşikleri, fırın sisteminin daha soğuk bölümlerinde hammadde üzerinde yoğunlaşmak üzere sinterleme sıcaklıklarında kısmen gaz fazına alınır. Bu durum fırın sisteminde fırın ve ön ısıtıcı ile sınırlı olan veya kurutma öğütme ünitesinin de dahil olduğu bir döngüsel etkiye yol açar (iç döngüler). Metaller ön ısıtıcı alanında büyük ölçüde yoğunlaştığı takdirde, bunlar fırın şarjı ile birlikte fırına geri döndürülecektir. Bu durum bir iç metal döngüsüne (fırın/ön ısıtıcı döngüsü) yol açar. Bu döngüsel etki, girdi ve çıktı arasında çimento klinkeri vasıtasıyla bir dengenin kurulduğu ve sürdürüldüğü noktaya kadar oluşur [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006].

Uçucu metal bileşikleri, fırının baca gazı ile salınmadıkları takdirde daha düşük sıcaklıklarda hammadde partikülleri üzerinde yoğunlaşır ve potansiyel olarak iç veya dış döngü oluştururlar, özellikle talyum ve cıva ile bileşikleri kolaylıkla buharlaşır. Bunlar tümüyle klinker matrisi içinde yakalanmazlar. Talyum ve bileşikleri 450 ila 500 °C derece arasındaki sıcaklıklarda siklon ön ısıtıcının üst kısmında yoğunlaşır. Bu nedenle fırın sistemine giren talyumun büyük bir bölümü ön ısıtıcıda tutulur. Bunun sonucunda

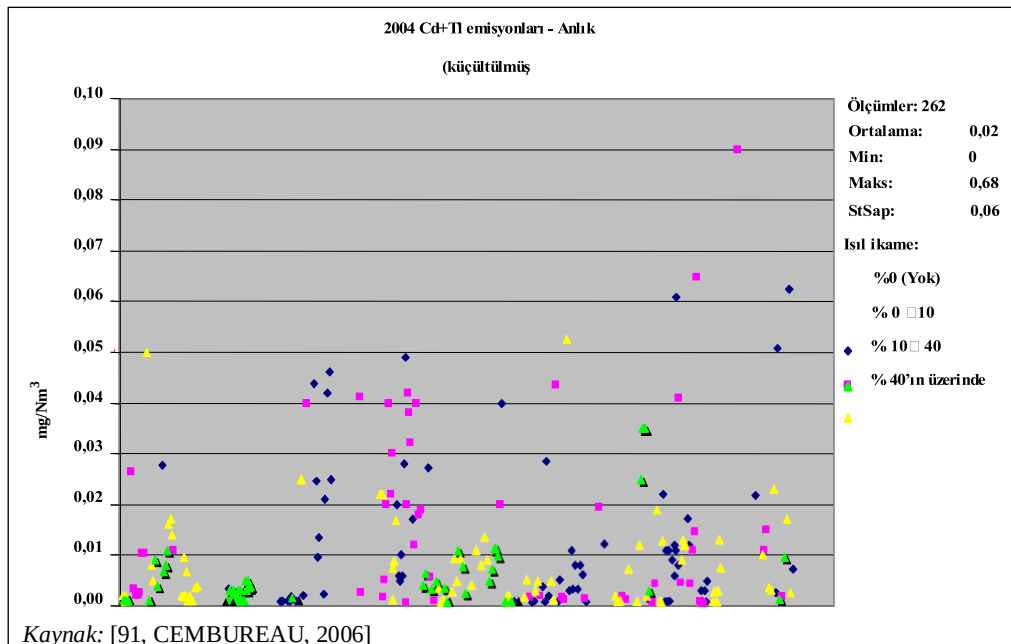
ön ısıtıcı, hammadde kurutma ve dışa atım gazı arıtma arasında bir döngü meydana gelebilir (iç ve dış). Talyum emisyon seviyesi, dış çevrimin derişim seviyesi ve toz toplayıcının toplama verimliliği ile belirlenir. Örneğin ESP tozunun talyum derişimi, talyum çevriminin derişim seviyesinin bir ölçütüdür [60, VDI 2094 Almanya, 2003].

Ayrıca, daha küçük ölçüde olsa da kadmiyum, kurşun, selenyum ve bunların bileşikler uçuca hale gelmeye özellikle elverişlidir. Kalsinasyon besleme stoğu ile reaksiyona girdikleri veya kalsinasyon odasının soğuk alanlarında, ön ısıtıcıda veya takip eden kurutma tesislerinde çökelti haline geldikleri zaman, uçuca hale gelmeye elverişli metal bileşikler bir iç döngüye girer.

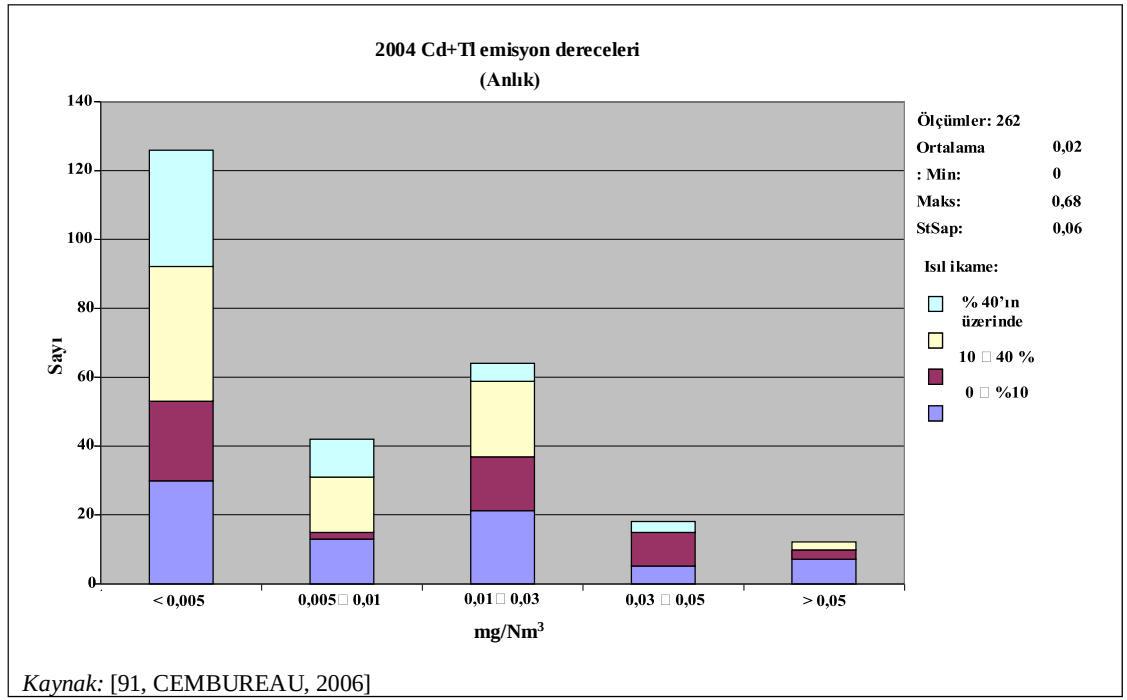
Toz ile birlikte yoğunlaşmış uçuca bileşikler toz ayırıcılarda ayrılarak farine geri gönderildiğindeyse metaller bir dış döngü oluştururlar [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996].

Çimento üretiminden kaynaklanan tozlar az miktarda arsenik (As), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), kurşun (Pb), talyum (Tl) ve çinko (Zn) gibi metal bileşikler içerirler. Metal yüklü tozların ana kaynağı, ön ısıtıcılar, ön kalsinatörler, döner fırın ve klinker soğutucuların da dahil olduğu fırın sistemidir. Metal derişimi, fırın sistemindeki besleme stoğuna ve devridaime bağlıdır. Özellikle, kömür ve yakıt atıklarının kullanımı proses metal girişini artırabilir. Fırın sistemine giren metaller değişken uçuculukta olduğundan ve yüksek sıcaklıktan dolayı, çimento fırın sistemindeki sıcak gazlar da gaz halinde metal bileşiklerini içerir. Denge üzerine araştırmalar, uçuculuğu yüksek olan elementlerin klinkerin içinde kalma süresinin düşük olduğunu ve bunun sonucunda bu maddelerin fırın sisteminin içinde biriktiklerini göstermiştir. [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996]

Şekil 1.42 ve Şekil 1.43'te gösterildiği gibi kadmiyum ve talyum emisyonlarının değerleri, döner fırınların temiz gazında yapılan 262 spot Σ (Cd, Tl) ölçümü sonucunda elde edilmiştir. 2004 yılında bu ölçümlerin tümü çeşitli AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde yer alan farklı tesislerden alınmıştır. Termal ikame Şekil 1.43'te farklı renklerle gösterilmektedir. Beş ölçüm skalanın üzerindedir. Bunlardan dört adedinin ikame oranı '0' , ve bir adedinin oranı '0 – 10'dur. Emisyonlar kullanılan yakıta bağlı olmaksızın değişmektedir. Bunun nedeni, kadmiyum ve talyumun gaz ile birlikte kaçacak kadar uçuca olmaması ve bunların esas olarak toz ve klinkerde konsantre olmalarıdır. Bu nedenle emisyonlar yakıtlardan çok toz alma cihazının verimliliğine bağlıdır [97, CEMBUREAU, 2007].

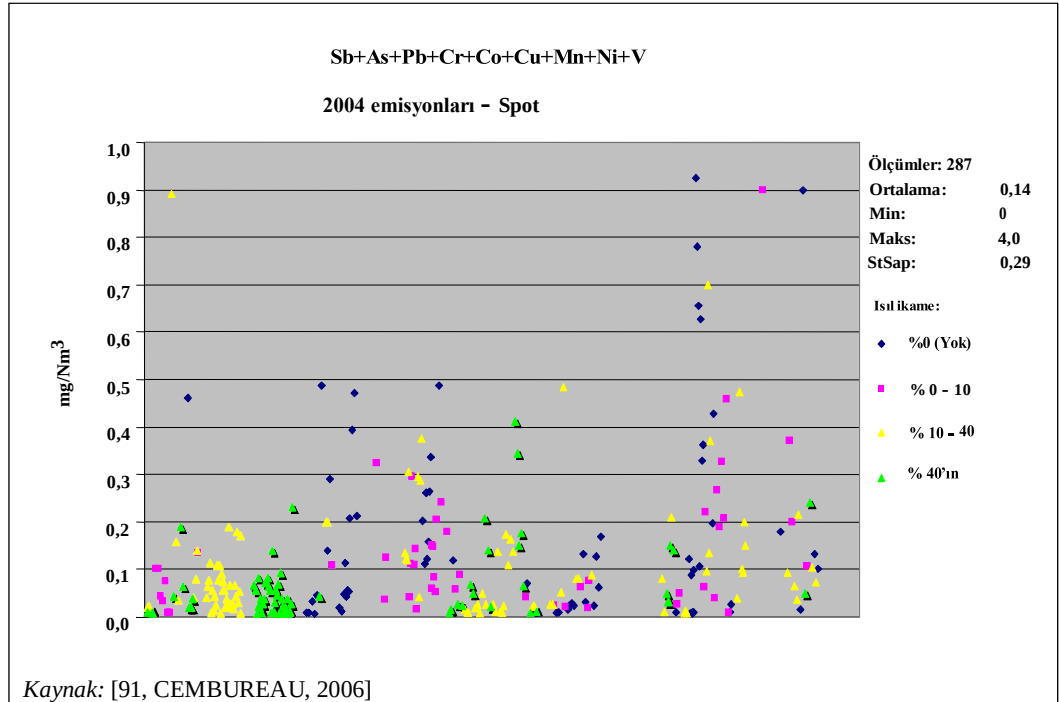


Şekil 1.42: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 262 spot Σ (Cd, Tl) ölçümünden elde edilen kadmiyum ve talyum emisyon değerleri

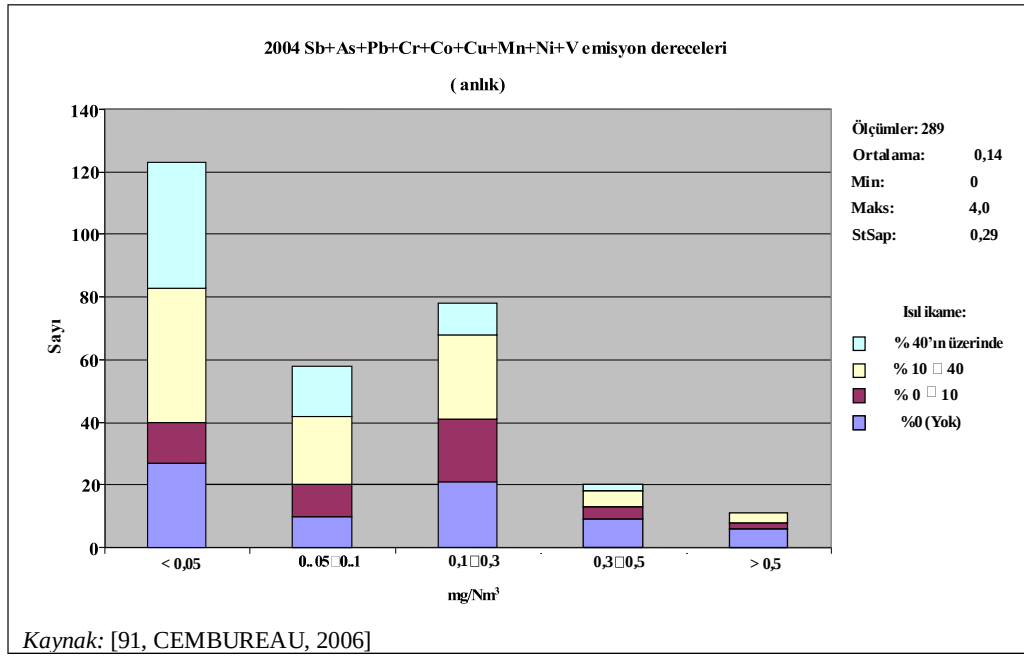


Şekil 1.43: Σ (Cd, Tl) seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı (Cd, Tl) seviyeleri

Şekil 1.44 ve Şekil 1.45'te gösterildiği gibi kadmiyum ve talyum emisyonlarının değerleri, döner fırınların temiz gazında yapılan 287 spot Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) ölçümü sonucunda elde edilmiştir. 2004 yılında bu ölçümlerin tümü çeşitli AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan farklı tesislerden alınmıştır. Termal ikame Şekil 1.45'te farklı renklerle gösterilmektedir. Üç ölçüm skalasının üzerindedir. Bunlardan birinin ikame oranı '0', birinin '0 – 10' arası ve birinin oranı '10 – 40' arasındır.



Şekil 1.44: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki spot Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) ölçümünden elde edilen emisyon değerleri



Şekil 1.45: Σ (Cd, Tl) seviye ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) seviyeleri

1996'dan 1998'e kadar farklı metal bileşenlerinin çimento fırın sistemlerinin temiz gazında yapılan ölçümlerinden elde edilen örnek derişim aralıkları Tablo 1.29'da gösterilmektedir.

Tablo 1.29: 1996'dan 1998'e kadar çimento fırını sistemlerinin temiz gazında yapılan ağır metal derişimi ölçümlerinden elde edilen aralıklar

Bileşen	Derişim ⁽¹⁾ (mg/Nm ³)
Antimon	< 0,007 – 0,05
Arsenik	< 0,007 – 0,025
Berilyum	< 0,004
Kurşun	< 0,012 – 0,2
Kadmiyum	< 0,002 – 0,008
Krom	< 0,014 – 0,03
Kobalt	< 0,012 – 0,15
Bakır	< 0,011 – 0,095
Manganez	< 0,007 – 2
Nikel	< 0,008 – 0,075
Cıva	< 0,005 – 0,12
Selenyum	< 0,008 – 0,02
Tellür	< 0,0017 – 0,015
Talyum	< 0,005 – 0,03
Vanadyum	< 0,007 – 0,075
Çinko	< 0,1 – 0,45
Kalay	< 0,01 – 0,025

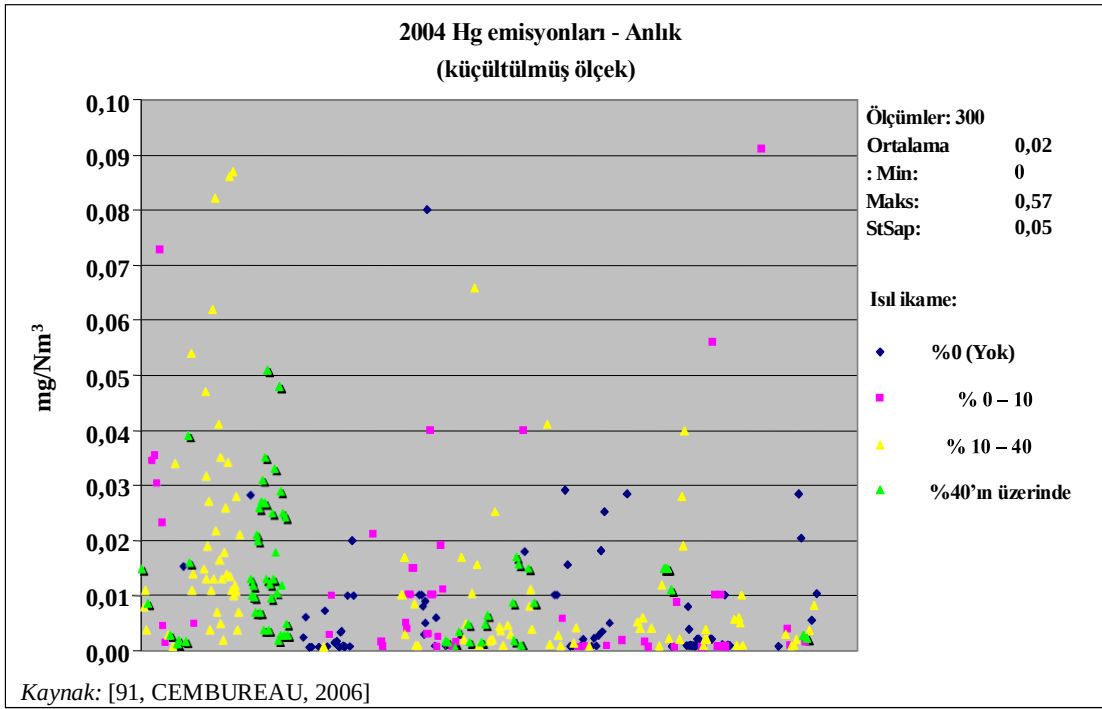
⁽¹⁾ Derişim, su buharı içeriğinin azaltılmasından sonraki standart sıcaklık ve basınç koşullarıyla; partikülle taşınan ve filtreden geçen fraksiyonların toplamıyla; örnekleme dönemi için ortalamaları alınan tekil ölçümlerden elde edilen sonuçlarla ilişkilidir
Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003]

1.3.4.7.1 Cıva

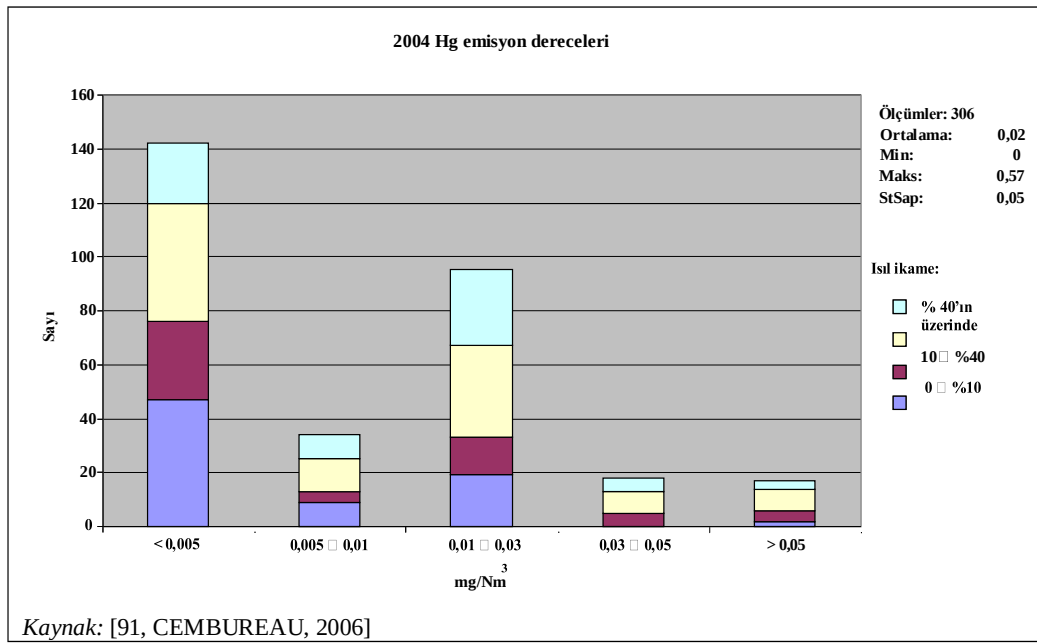
Cıva ve bileşikleri uçucu hale gelmeye özellikle elverişlidir (yüksek derecede uçucu metal). Cıva toksik bir metalik element olup cıva kirliliği küresel, yaygın ve kroniktir, bu nedenle tesislerden atmosfere emisyonların azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle, cıva emisyonlarını kontrol etmek için fırın sistemine cıva girişini sınırlamak gerekebilir (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2, 1.2.4.3.2.1 ve 1.3.4.13). Cıva ve bileşikleri fırın sisteminde ve/veya ön ısıtıcıda tamamen çökelmez veya alıkonulmaz ve bu nedenle, klinkerin içinde yakalanmazlar. Gazın soğuması nedeniyle dışa atım gazının izlediği yol üzerinde çökelirler ve atık gazın sıcaklığına bağlı olarak ham madde partikülleri tarafından kısmen adsorbe edilirler. Bu kısım fırın dışa atım gazı filtresinde tutulur. Bu nedenle cıva yalnızca, derişim seviyesinin ve emisyonların esas olarak dışa atım gazı koşulları tarafından belirlendiği dış çevrimde zenginleşebilir. Cıva emisyonlarında uzun dönemli bir artışı önlemek için, dış çevrim derişiminin sınırlandırılması gerekli olabilir, örneğin filtre sisteminde toplanan tozun bir kısmını sürekli veya aralıklı olarak kaldırarak. Ayrıca, dışa atım gazı sıcaklığı azaldıkça tutma ve dolayısıyla cıva giderimi artar. Siklon ön ısıtıcı fırın sistemlerinde yapılan ölçümlerden elde edilen bilgiler, cıvanın %90'dan fazlasının 130 °C'nin altındaki dışa atım gazı sıcaklıklarında oluşan partiküllerin üzerinde bulunduğunu göstermektedir. Daha sonra fırın sisteminin toz toplayıcısı içindeki cıva bileşikleri tamamen çıkarılır. Toz toplayıcısının yüksek toplama verimliliği nedeniyle, döner fırın sistemlerinin temiz gazındaki cıva derişimleri genellikle algılama sınırının altındadır (bkz. Şekil 1.46 ve Şekil 1.47).

Toz toplayıcıdan gelen toz çimento değirmenine geri gönderilebilir. Yakıt atıklarının kullanılması durumunda, fırının cıva girdisi düzenli olarak sınırlandırılabilir (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2.1 ve 6.2.2.1.1). Cıva emisyonlarını azaltmaya yönelik bir başka seçenek ise toz filtreleme sırasında cıva ve bileşiklerinin çökmesini arttırmak üzere şartlandırma kulesi sonrasında dışa atım gazı sıcaklığını azaltmaktır. Ayrıca, bir Alman fabrikasında, baca gazına yüzütutan olarak aktif karbon enjekte edilmiştir [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]

Şekil 1.46 ve Şekil 1.47'de gösterildiği gibi cıva emisyonlarının değerleri, döner fırınların temiz gazında yapılan 306 spot Hg ölçümü sonucunda elde edilmiştir. 2004 yılında bu ölçümlerin tümü çeşitli AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde yer alan farklı tesislerden alınmıştır. Termal ikame Şekil 1.47'de farklı renklerle gösterilmektedir. Altı ölçüm skalanın üzerindedir. Bunlardan birinin ikame oranı '0', biri '0 – 10', ikisi '10 – 20' arası ve iki ölçümden elde edilen oranlar '40' üzeridir. Daha önce belirtildiği gibi cıva en uçucu ağır metaldir ve yakalama katsayısı düşüktür. Yakıt atıklar kullanılmadan önce titiz bir kabul ve muayene işlemine tabi tutulmaktadır [97, CEMBUREAU, 2007].



Şekil 1.46: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 306 spot Hg ölçümünden elde edilen cıva emisyon değerleri



Şekil 1.47: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki 306 spot Hg ölçümünden elde edilen cıva emisyon değerleri

1.3.4.8 Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)

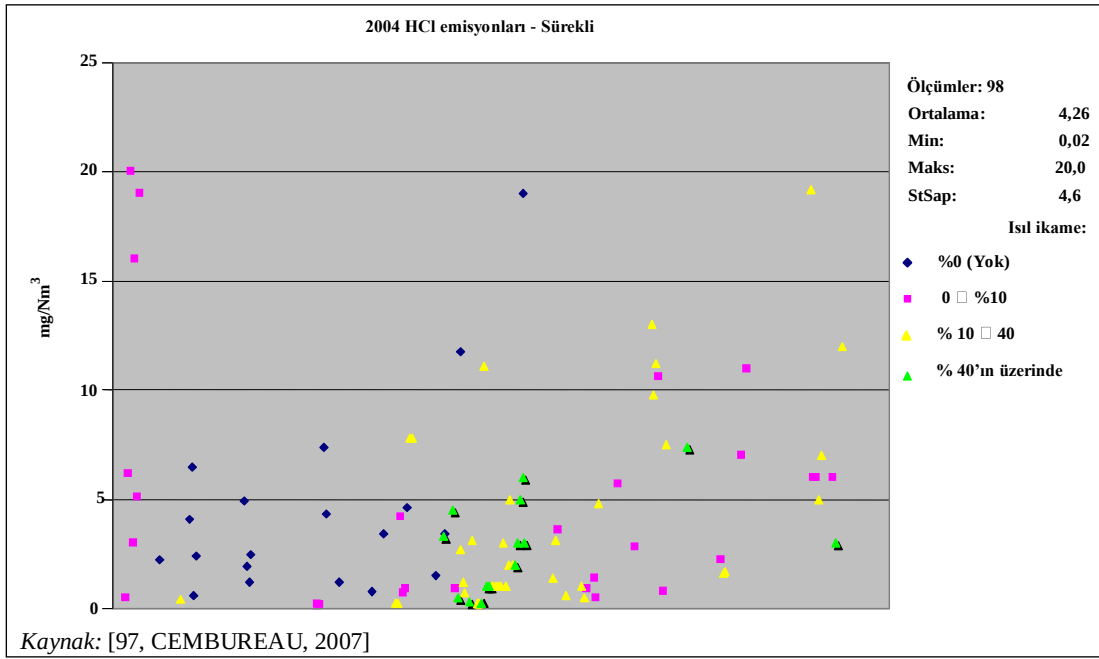
Klorürler ve florürler küçük miktarda ek bileşenlerdir. Hammadde ve/veya yakıt olarak farklı girdiler yoluyla fırın sistemine girebilirler. Bu maddeler için düzenli periyodik izleme yapılması uygundur.

1.3.4.8.1 Gaz halinde inorganik klor bileşikleri

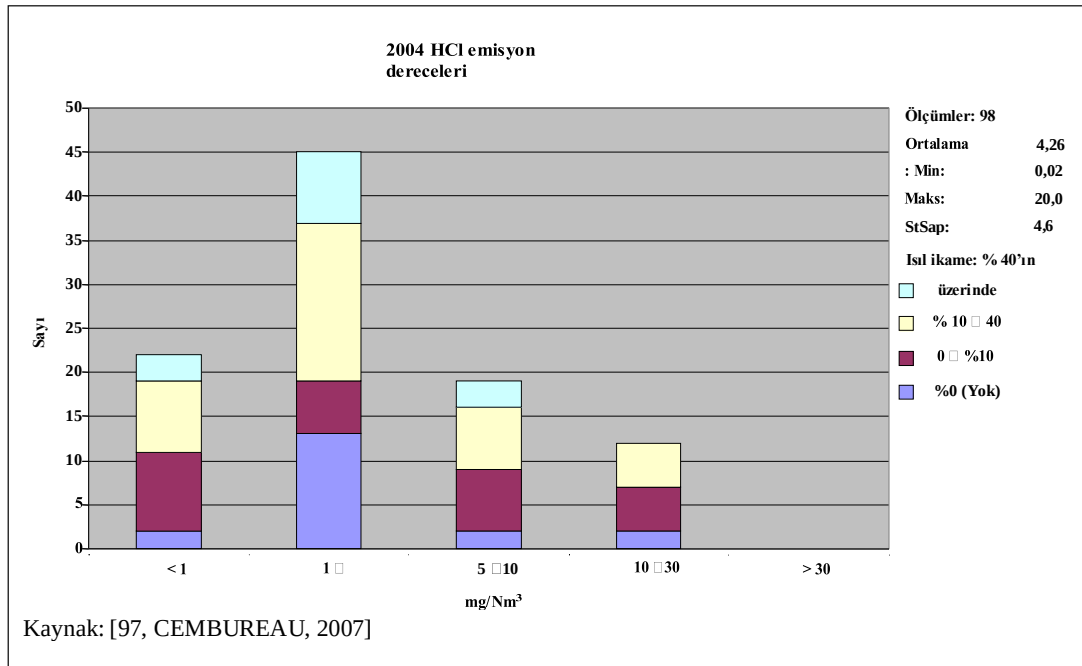
Klor bileşikleri, klinker pişirme prosesinin ham maddelerinde ve yakıtlarında bulunan küçük miktarda ilave bileşenlerdir. Bunlar fırın sistemine farklı girdiler yoluyla ve fırın sistemindeki pişirme prosesi esnasında girebilirler; alkali klorürler oluşturmak üzere, fırına şarj edilen malzemelerin içinde bulunan alkaliler ile reaksiyona girerler. Başlangıçta buhar halinde olan bu bileşikler, 700 ila 900 °C sıcaklıklarda fırın beslemesi veya fırın tozu üzerinde yoğunlaşırlar ve daha sonra tekrar döner fırın sistemine girerek tekrar buharlaşırlar. Bunlar döngüsel davranış gösterir ve döner fırın ile ön ısıtıcı arasındaki alanda zenginleştirilebilirler. Fırın girişindeki bir baypas alkali klorür döngülerinin etkili azaltımını sağlar ve böylece işletimde arızaları azaltır. 0,2 g Cl/kg klinker klorür girdisi için, tesisin kendi özelliklerine bağlı olarak, fırın dışı atım gazlarının bir yan akımı baypas yoluyla yönlendirilir ve ön ısıtıcının alt bölümünde birikmelerin önünü almak üzere soğutulur. Gaz akışı soğutulurken, gaz halindeki alkali klorür bileşikleri fırın toz partikülleri üzerinde yoğunlaşır ve daha sonra bir toz toplayıcı vasıtasıyla sistemden çıkartılabilir. Toplanan baypas tozu kontrollü şartlar altında çimento değirmeni besleme akımına geri döndürülür.

Şekil 1.48'de gösterildiği gibi klinker prosesi sırasında gaz halindeki inorganik klor bileşikleri Avrupa çimento tesislerinde hiç salınmaz veya çok az miktarlarda bulunur. Döner fırın sistemlerinin dışı atım gazında tespit edilen gaz halindeki inorganik klorürlerin mevcudiyeti, genellikle temiz gaz tozunda bulunan aşırı ince taneli alkali klorür fraksiyonlarına bağlanabilir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007]

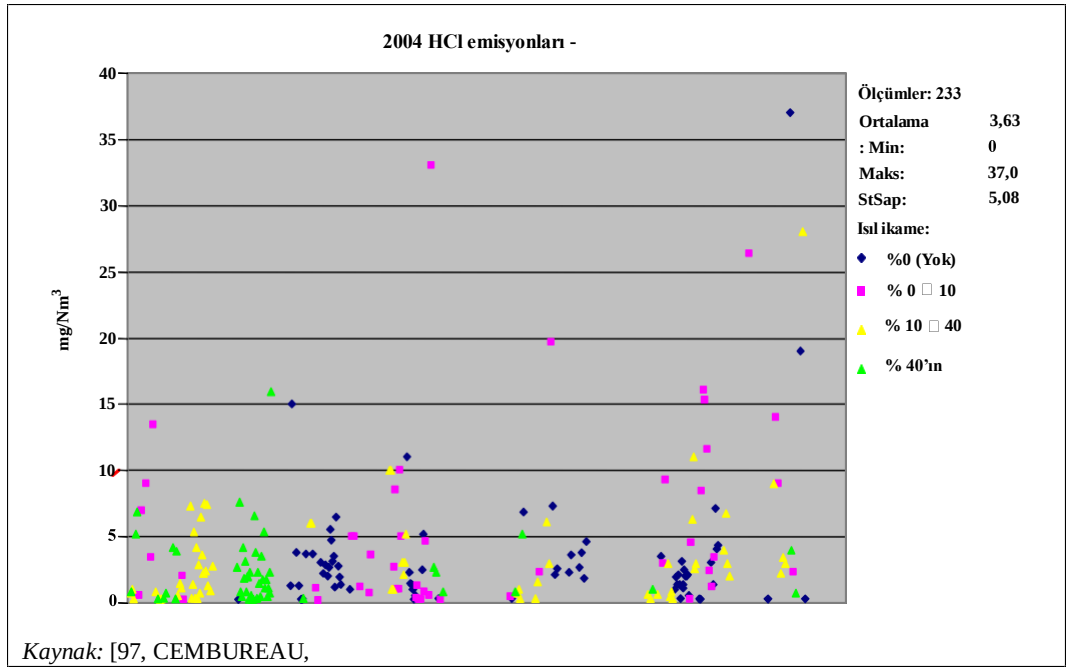
2004 yılında sürekli ve spot HCl emisyon ölçümlerinden elde edilen örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23 ülkelerinde yer alan tesislerden toplanmıştır. Temiz gazdaki PCDD/F ölçümlerinden elde edilen değerler, Şekil 1.48 ve Şekil 1.50'de gösterildiği gibi 98 döner fırın ile 233 spot ölçümden elde edilen değerlerden alınmıştır. Şekil 1.49 ve Şekil 1.51, sürekli HCl ölçümlerinin ve spot ölçümlerin emisyon dağılımını göstermektedir. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 Nm³ kuru gaza işaret eder [97, CEMBUREAU, 2007]. Ayrıca, 0 – 8 mg/Nm³ (yıllık ortalama değer) aralığında olan emisyon örnekleri Şekil 1.52'de gösterilmiş olup, 39 Alman döner fırınında yapılan ölçümlerde 91 adet değer tespit sınırının altında ve biri 15 mg/Nm³'ün üstündedir [76, Almanya, 2006].



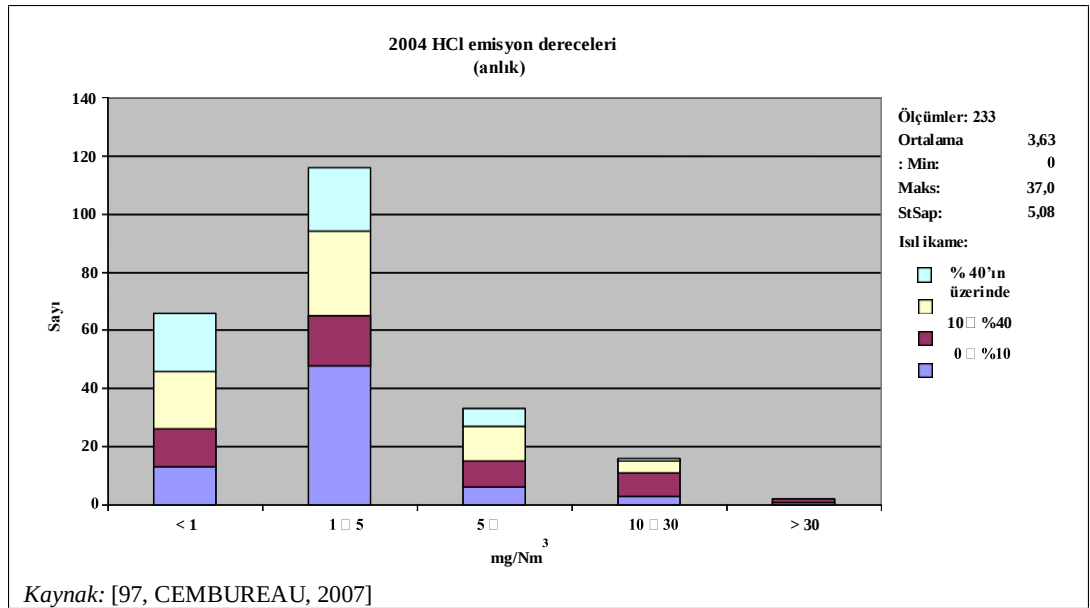
Şekil 1.48: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki 98 çimento fırınının temiz gazının sürekli HCl ölçümlerinden elde edilen HCl emisyon değerleri



Şekil 1.49: Sürekli HCl ölçümlerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan dağılımı

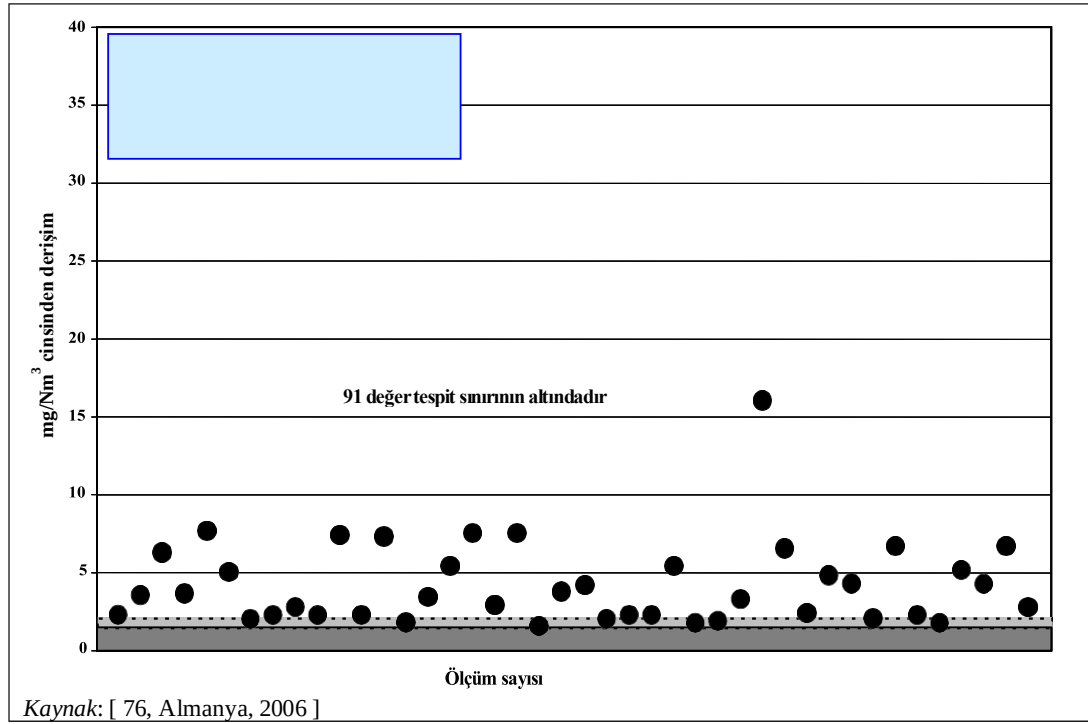


Şekil 1.50: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazındaki 233 spot ölçümden elde edilen emisyon değerleri



Şekil 1.51: HCl seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HCl spot ölçüm dağılımı

38 Alman döner fırınında ölçülen HCl emisyon örnekleri Şekil 1.52de gösterilmektedir. Bu bilgiler yılda üç kere belli bir günde yapılan ölçümlerin bireysel sonuçlarıdır. 91 ölçümde emisyon değeri, 1,5 – 2,1 mg/Nm³ aralığında olan tespit sınırının altında çıkmıştır.



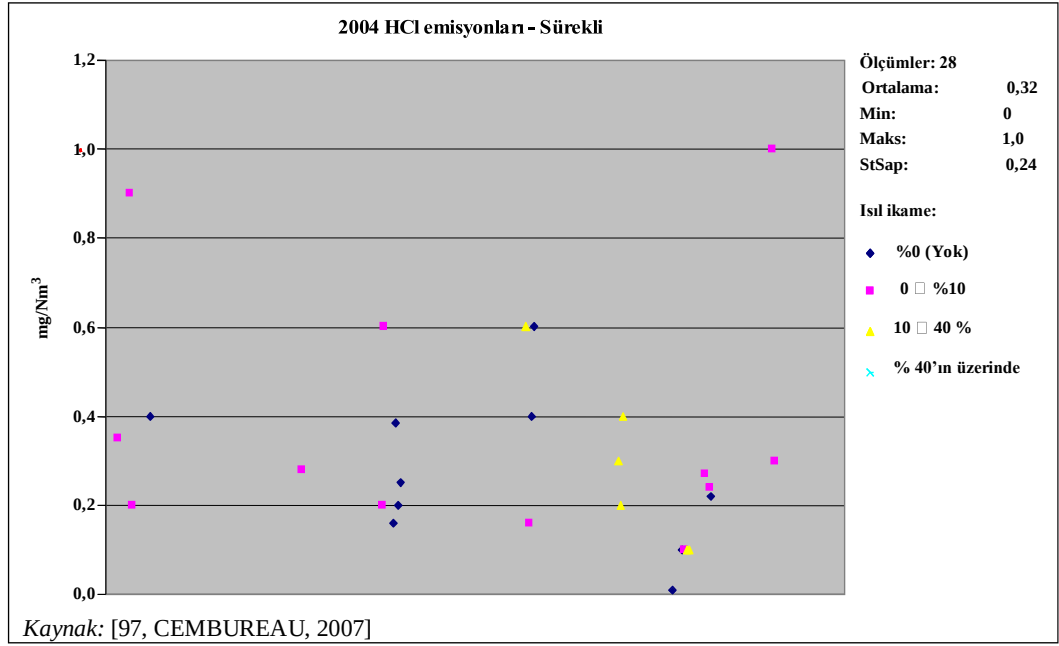
Şekil 1.52: 2004 yılında 38 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen gaz halinde inorganik klor bileşiklerinin HCl olarak ifade edilen emisyonları

1.3.4.8.2 Gaz halinde inorganik flor bileşikleri

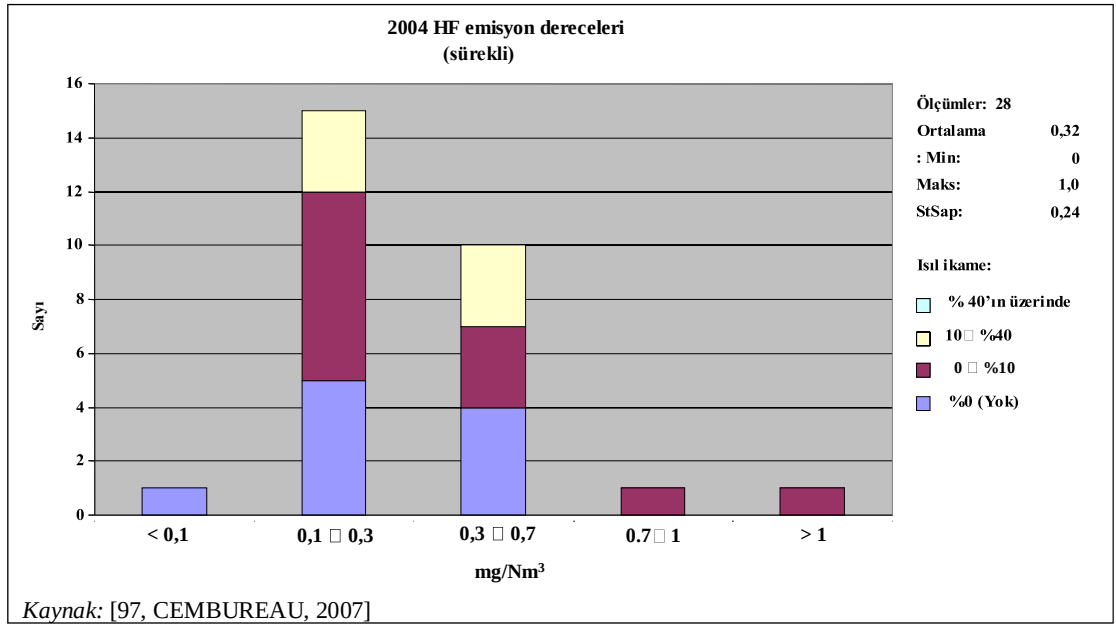
Döner fırınlarda mevcut florun %90 ila 95'i klinker içinde hapsolmuştur ve geri kalan kısmı yanma prosesi şartlarında kararlı olan kalsiyum florür (CaF_2) şeklinde toz ile bağlıdır. Büyük miktarda fazlalık kalsiyum nedeniyle, gaz halindeki flor bileşikleri ve özellikle hidrojen florür emisyonlarının kapsam dışı kaldığı söylenebilir. Gaz ölçüm filtresinden geçebilen aşırı ince tane fraksiyonları döner fırın sistemlerinde az miktarda bulunan gaz halindeki flor bileşikleri gibi davranabilir. Az miktardaki florürler fırın tozu ile, örneğin CaF_2 halinde dışarı atılırlar.

2004 yılında sürekli ve spot HF emisyon ölçümlerinden elde edilen örnek veriler çeşitli AB-27 ve AB-23 ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) yer alan farklı tesislerden toplanmıştır. Temiz gazdaki PCDD/F ölçümlerinden elde edilen değerler, Şekil 1.53 ve Şekil 1.55'te gösterildiği gibi 28 döner fırın ile 210 spot ölçümden elde edilen değerlerden alınmıştır. Beş ölçüm skalanın üzerindedir. Bunlardan dört adedinin ikame oranı sıfır, ve bir adedinin oranı 40'ın üstündedir. Şekil 1.54 ve Şekil 1.56, sürekli HF ölçümlerinin ve spot ölçümlerin emisyon dağılımını göstermektedir. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 Nm^3 kuru gaza işaret eder. Çimento fırın sistemlerinden salınan, HF cinsinden ifade edilen florür değerleri 1 mg/Nm^3 'ün altındadır [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

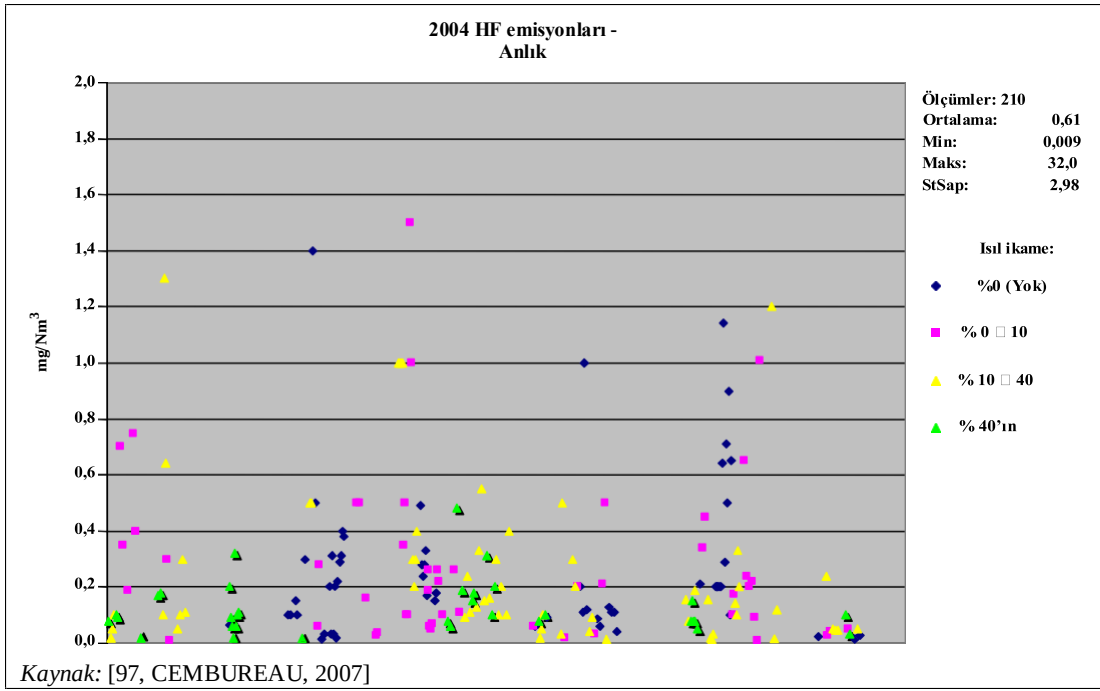
Ayrıca, $0,005 - 0,35 \text{ mg/Nm}^3$ aralığında olan HF emisyon örnekleri Şekil 1.57'de gösterilmiş olup, 38 Alman döner fırınında yapılan ölçümlerde 106 adet değer tespit sınırının altında kalmıştır. Bu bilgiler yılda üç kere belli bir günde yapılan ölçümlerin bireysel sonuçlarıdır. Tespit sınırı $0,04$ ila $0,06 \text{ mg/Nm}^3$ arasındadır [76, Almanya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006].



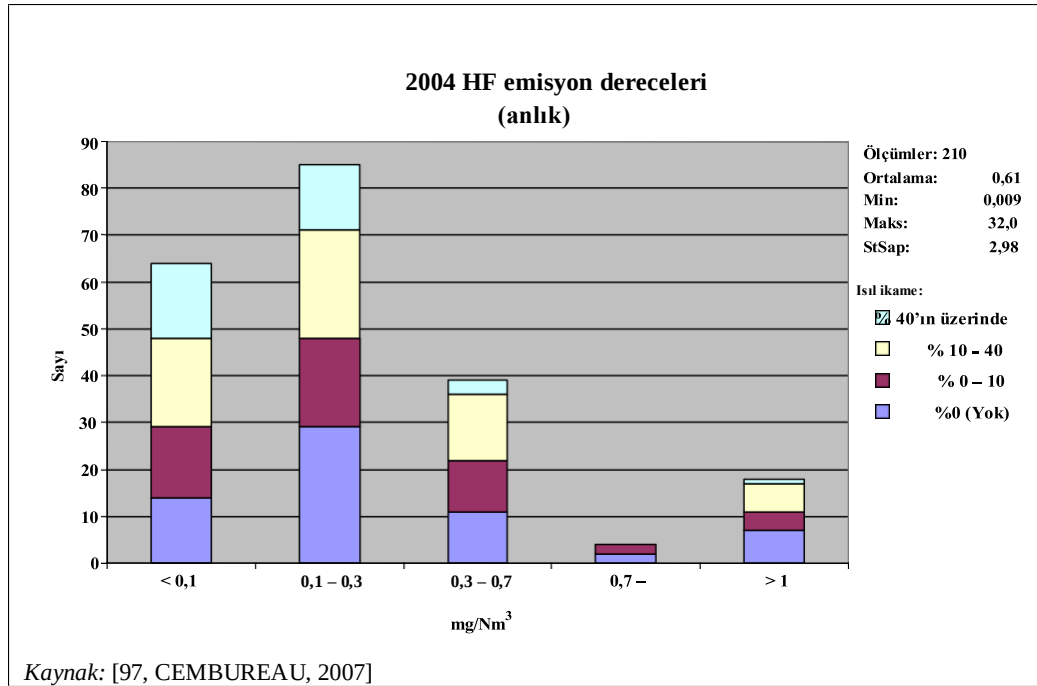
Şekil 1.53: AB-27 ve AB-23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazının sürekli HF emisyon ölçümlerinden elde edilen HF emisyon değerleri



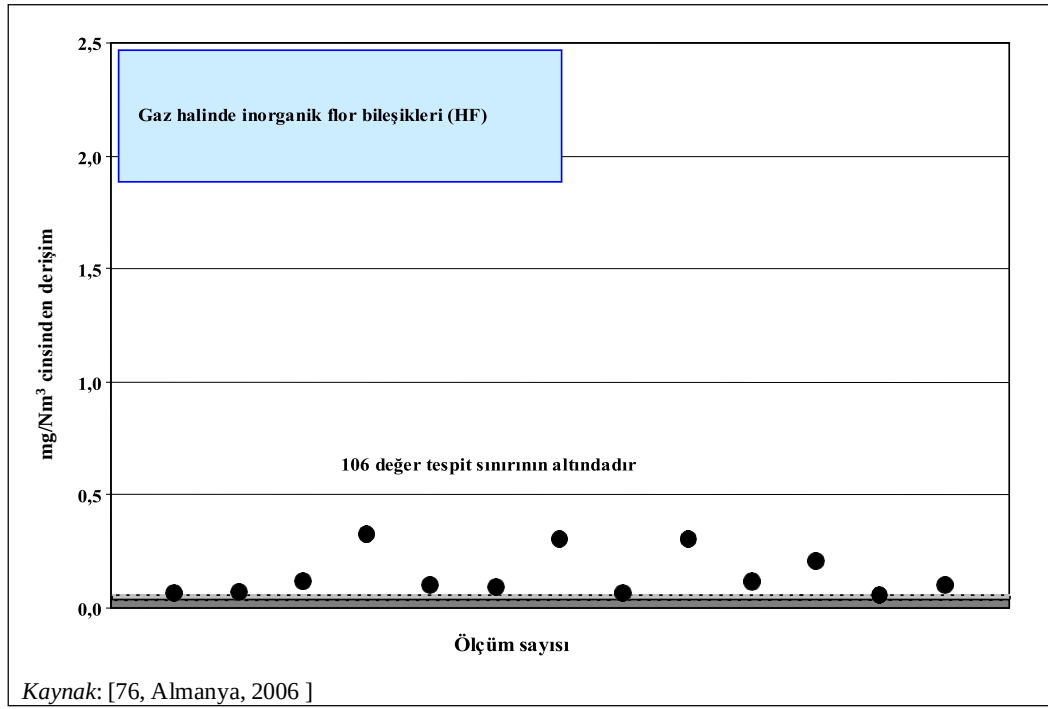
Şekil 1.54: HF seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HF sürekli ölçüm dağılımı



Şekil 1.55: AB-27 ve AB 23+ ülkelerindeki döner fırınların temiz gazında spot HF ölçümlerinden elde edilen emisyon değerleri



Şekil 1.56: HF seviyelerinin ısı ikame oranlarına göre sınıflandırılan HF spot ölçüm dağılımı

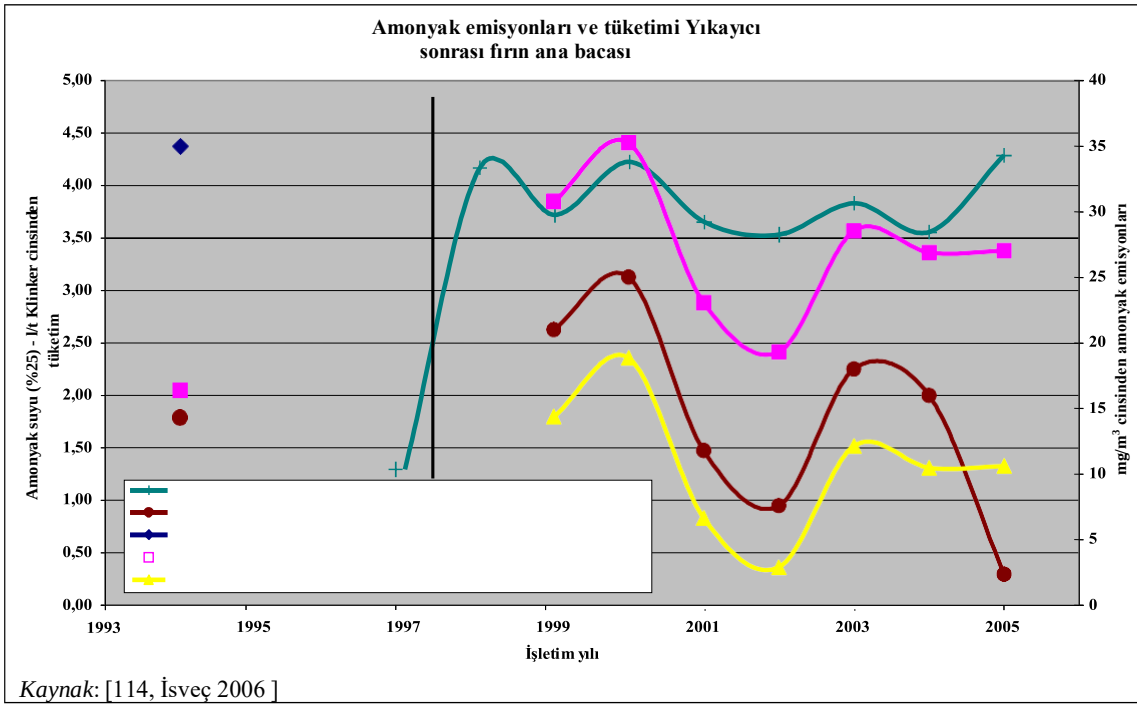


Şekil 1.57: 2004 yılında 38 Alman döner fırınından kaynaklanan temiz gazda ölçülen, gaz halindeki inorganik flor bileşiklerinin HF olarak ifade edilen emisyonları

1.3.4.9 Amonyak (NH₃)

NH₃ emisyonları hammaddelerden kaynaklanır ve prosesin ilk aşamalarında meydana gelir. Çimento fırınlarında oluşan dışa atım gazının NH₃ içeriği 200 mg/Nm³'e kadar yükselebilir. Ek NH₃ içeriği, seçici katalitik olmayan azaltım (SNCR) tekniği gibi azaltma tekniklerinden kaynaklanabilir, bu durumda reaksiyona girmemiş amonyağın değişken emisyonları da meydana gelebilir (amonyak kayması). NH₃ emisyonlarının düzenli olarak izlenmesi esastır.

1994 ila 2006 yılları arasında İsveç'te iki tesiste yapılan araştırmalar (amonyak emisyonlarını test etmek için yapılan ilk denemeler) hammaddeden kaynaklanan NH₃ emisyonlarının 10 – 35 mg/Nm³ aralığında olduğunu göstermiştir. Dahası 1998 yılında bu tesislerden biri yıkayıcı çözeltisi içindeki amonyağı temizleyerek iniş ve çıkışları dengeleyen bir SO_x yıkayıcısı ile donatılmıştır. Şekil 1.58'de gösterildiği üzere bu yıkayıcının bacasından yayılan amonyak emisyonları 1998 yılından itibaren sürekli olarak ölçülmüştür. Yıkayıcı hizmete alındığından beri kısa süreli tepe noktaları 125 mg/Nm³'e kadar ulaşmaktadır. Bu durum, yıkayıcı sıvısının 53'ten 59 °C'ye getirilmesi ve dengenin kaydırılmasıyla birikmiş amonyağın salınmasıyla meydana gelmektedir. Ancak bu tesisler öğütme tesisleri (hammadde ve kömür değirmeni) ile donatılmış olup, amonyak burada da adsorbe edilir ve sadece küçük bir miktar amonyak, alçı (3 kg/s) ile birlikte çimento değirmeni tesislerine taşınır. Çimento değirmeni kapalı devrede düşük sıcaklıklarda çalışır ve çimento silosundan amonyak kokusu çok nadiren algılanır.



Şekil 1.58: SO_x yıkayıcı ile donatılmış bir İsveç çimento tesisinden kaynaklanan amonyak emisyonları

2007 yılında yüksek verimli SNCR tekniği ile donatılmış olan bir Alman çimento tesisinde altı aylık bir süre boyunca araştırmalar ve denemeler gerçekleştirilmiştir. İlgili NH₃:NO molar oranları olan 0,7 – 0,8 ile 1,4 – 1,5'i uygulamak suretiyle 350 ve 200 mg/Nm³ (günlük ortalama değer) NO_x emisyon seviyeleri elde edilmiştir. Ancak düşük NO_x emisyon seviyesi elde etmek için, yapılan NH₃ ölçümleri, özellikle çalışma esnasında değirmen devre dışı iken 50 – 200 mg/Nm³ aralığında önemli düzeyde amonyak kayması ile sonuçlanmıştır. 200 mg/Nm³ (NH₃: üç aylık ortalama değer 11 mg/Nm³) emisyon seviyesine ulaşmak için amonyak kayması, 350 mg/Nm³ (NH₃: üç aylık ortalama değer 21 mg/Nm³) ile karşılaştırıldığında iki kat daha yüksekti (ayrıca bkz. Bölüm 6.2.4.2) [160, Almanya, 2007], [173, Almanya, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

Ayrıca, 2004 yılında İrlanda'da bir çimento tesisinde kısa süreli SNCR denemelerinden yola çıkarak yapılan araştırmalar, fırının ön ısıtıcısının sonrasında ham gazda 4 ila 26 mg/Nm³ aralığında NH₃ derişimleri göstermiştir. Bu derişimler, iki enjeksiyon konfigürasyonu test edilerek ölçülmüştür (standart koşullar; bire bir NH₃:NO molar oranı ⁽¹⁾ ve %50 NO_x azaltma oranı). NH₃ kayması, bir indirgeyici maddenin aşırı stokiyometrik ilavesine sınırlar getirir. Bu madde için düzenli periyodik izleme yapılması uygundur. [76, Almanya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [114, İsveç, 2006], [123, İrlanda, 2005] [168, TÇG CLM, 2007], [173, Almanya, 2007].

SCR tekniği ile donatılmış bir Alman tesisinden alınan bir örnek, 1 mg/Nm³'ün altında NH₃ kayması vermiştir [173, Almanya, 2007].

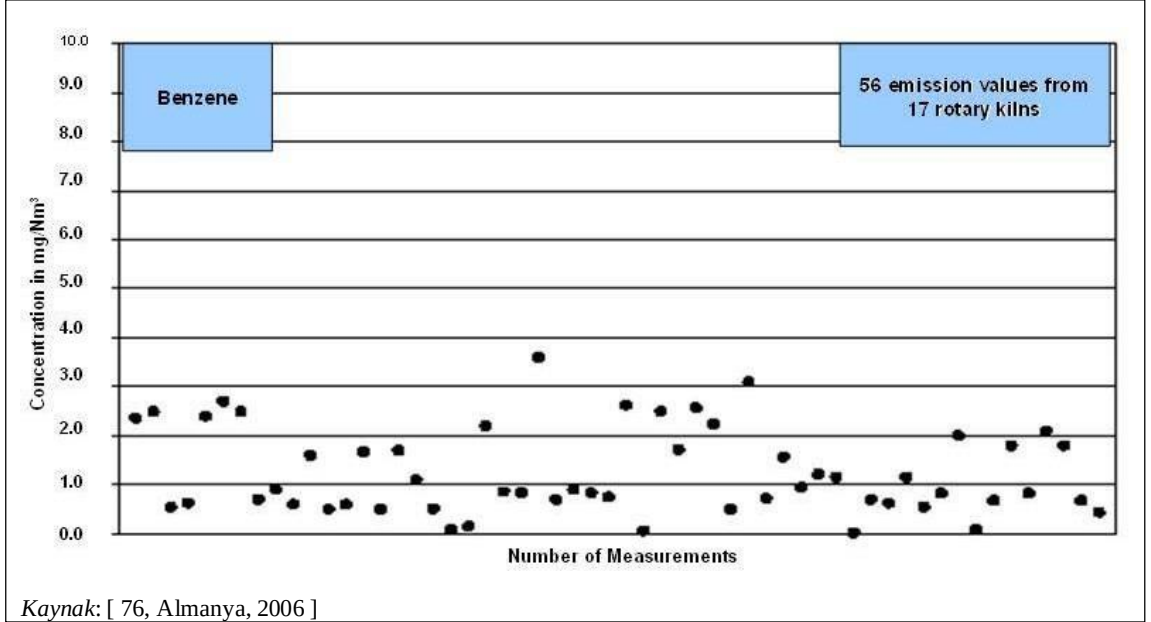
Hammaddedeki NH₃ aynı zamanda indirgeyici madde olarak da işlev görür (bkz. Bölüm 6.2.5) [76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.3.4.10 Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEX)

Bazen özel çalışma koşulları altında bu maddelerin ölçümü gerekli görülebilir.

Bazı Alman tesislerinde 2004 yılından itibaren benzenin ilave bireysel ölçümleri yapılmakta olup, sonuçlar 0,02 ila 3,6 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Düşük derişimlerde benzen

emisyonları, fırın besleme ön ısıtması sırasında doğal hammaddeler yoluyla giriş yapan küçük organik bileşen (jeolojik tarih süresince kayaca dahil olan organizma ve bitki kalıntıları) miktarlarından kaynaklanır. Alman fırınlarında ölçülen benzen emisyon derişimlerinin örnekleri Şekil 1.59'da gösterilmektedir (0,013 mg/Nm³'lük algılama sınırına göre). Benzen emisyonları kullanılan yakıtlara bağlı değildi.



Şekil 1.59: 17 Alman döner fırınında ölçülen benzen emisyon derişimi değerleri

1.3.4.11 Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)

Bazen özel çalışma koşulları altında bu maddelerin ölçümü gerekli görülebilir.

1.3.4.12 Diğer organik maddeler

Çimento üretim sürecinden kaynaklanan diğer organik kirleticiler, örneğin klorobenzenler, ayrıca eşdüzlemsel türdeşleri ve kloronaftalinler de dahil olmak üzere PBC'dir (poliklorlu bifeniller).

Bazen özel çalışma koşulları altında bu maddelerin ölçümü gerekli görülebilir.

1.3.4.13 Atık malzemelerin kullanılmasının emisyon davranışı ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri

Emisyon davranışı

Klinker yakma prosesinden kaynaklanan toz emisyonları atık kullanımından etkilenmez.

Mevcut bilgilere göre, ön ısıtıcı ve toz toplayıcının partiküllere bağlı metalleri tutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle uygun atık kullanımının klinker pişirme prosesinden kaynaklanan metal emisyonları üzerinde çok az etkisi vardır. Emisyonlar üzerinde etkisi olabileceği için yakıtların fırına beslenme yönteminin (besleme noktası) çok önemli olduğu akıld tutulmalıdır (bkz. Bölüm 1.2.4.1). Klinker üretim sürecinden kaynaklanan metal emisyonlarını belirleyen faktörler

döner fırın sistemindeki metallerin bireysel davranışları, girdi durumu ve ayrıca toz toplayıcının toplama verimliliğidir. Girdi durumunun kendisi, kullanılan hammadde ve yakıtlardaki metal derişimi tarafından belirlenir. Klinker üretiminde hammadde: yakıt kütle oranının yaklaşık 10:1 olması, hammadde ile ilgili girdilerin emisyonlar üzerinde belirleyici olduğu anlamına gelir. Uygulamada, atıkların kullanımı bireysel elementlerin fırın sistemine toplam girişlerinin artmasına veya azalmasına neden olabilir. Uçucu olmayan metaller büyük ölçüde klinker matrisinin içine hapsolmuşlardır ve fırın sistemini klinker akımı ile terk ederler. Pb ve Cd gibi yarı uçucu metaller fırın sisteminde kararlı döngüler oluştururlar. Bu elementler döngüden çıkartılır ve büyük bir kısım klinker akışı veya toz içinde tutulur. Uçuculuklarından dolayı Hg ve Tl özel durum teşkil eder. Yüksek uçuculukla birlikte proses sıcaklıkları, yetersiz giderme kapasitesine neden olur. Bu da girdi yükü ile bacadaki emisyon derişimi arasında tesise özgü bir ilişkinin oluşmasını sağlar. Dışa atım gazı sıcaklığına bağlı olarak cıva toz toplayıcının içinde partiküle bağlı olarak ve/veya buhar halinde bulunur. Bu nedenle, cıva ve uçucu metal emisyonlarını kontrol etmek için fırın sistemine cıva ve metal girişlerini sınırlamak gerekebilir. Karışık atık fraksiyonlarından geri kazanılmış yakıtları yakarken uçucu metal girişlerini izlemek için bir rutin kabul analizi gerekli olabilir (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2).

İnorganik dışa atım gazı bileşenleri NO_x, HCl ve HF, hammadde seçiminden etkilenmez. Mevcut bilgilere göre, fırın için uygun besleme noktasını kullanmak suretiyle çimento üretim sürecinde atık kullanımının bu emisyonlar üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Farin ile aynı yoldan sisteme giren uçucu kükürt bileşikleri veya uçucu organik bileşikleri girdilerinin atık işlemesi ile arttırılmaması kaydıyla aynı durum SO₂, CO ve TOK emisyon bileşenleri için de geçerlidir. Oluşan SO₂, ek teknikler olmaksızın döner fırında veya ön kalsinatörde klinkere bağlanır.

Döner fırın sistemlerindeki yanma koşulları, düşük PCDD/F emisyon derişimleri sağlar. Kaydadeğer kalıcı organik madde derişimleri içermesi muhtemel atık malzemeler, örneğin PCB yüklü kullanılmış yağlar, güvenilir imhalarını sağlamak üzere ana pişirme sistemi üzerinden beslenir. Durum özelinde besleme noktası seçimine ilişkin şüpheler olduğu takdirde, atıkların kullanıldığı ve kullanılmadığı referans ölçümler yapılmalıdır. Kapsamlı ölçüm programlarına göre, uygulamada kullanılan atık ne olursa olsun PCDD/F emisyonları öngörülen değer olan 0,1 ng I-TEQ/m³ün çok altındadır.

İkincil pişirmeye beslenen atıklar (bkz. Bölüm 1.2.4.1 ve 1.2.5.1) girdi ve proses parametreleri için kalitatif sınırlamalar getiren döner fırın yüksek sıcaklık bölgesine geçmez. Ancak, birçok modern ön kalsinatörün içinde sıcaklık 850 ° C'nin üzerinde olup, bunların 2 saniyeden uzun kalma süreleri vardır ve bu durum bunları atık kullanımı için uygun hale getirir.

Yakıt atık kullanan Alman çimento fırınının örnek koşulları ve yıllık emisyon izleme sonuçları Bölüm 6.2.2.1, Tablo 6.5 ve Tablo 6.6 'da gösterilmektedir.

Enerji verimliliği üzerinde etkiler

Örneğin ince öğütülmüş, kuru ve/veya yüksek ısı değeri olan yakıtlara kıyasla daha yüksek nem içeriği olan, daha kaba taneli ve daha düşük reaktiviteye sahip olan yakıt atıklar kullanılırken termal enerji ihtiyacı artabilir. Düşük enerji verimliliği de baca gazı hacmini arttırmak suretiyle daha yüksek hava kirletici emisyon yüklerine neden olabilir.

[3, Avusturya, 1997], [76, Almanya, 2006], [86, EUR1TS, 2006], [137, Klein/Hoenig, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.3.4.14 Atıkların kullanılmasının ürün kalitesi üzerindeki etkileri

Atıkların klinker yakma işleminde kullanılması, çimento ürünlerindeki metal derişimlerini değiştirebilir. Hammaddeler ve yakıtlar yoluyla toplam girdiye bağlı olarak, atık işleme sonucunda ürünlerdeki elementlerin bireysel derişimleri artabilir veya azalabilir.

Çimentonun beton ve harç üretimi için çakıl ve kum gibi agregalarla harmanlanması nedeniyle, sonuçta klinker pişirme prosesinde kullanılan atıkların çevreye ilişkin etkilerinin değerlendirilebilmesi için belirleyici olan, yapı malzemeleri (beton veya harç) içindeki metallerin davranışdır.

Beton ve harçtan kaynaklanan metal emisyonları düşüktür. Kapsamlı testlerden elde edilen sonuçlar metallerin çimento tuğla matrisi içine sıkıca bağlandıklarını doğrulamaktadır. Ayrıca, kuru olarak ambalajlanmış beton metal salınımlarını önlemeye yardımcı olan yüksek difüzyon direncine sahiptir.

Beton ve harç üzerinde yapılan testler, eluatlardaki metal derişimlerinin, örneğin ulusal mevzuatta öngörülen değerlerin kayda değer ölçüde altında olduğunu göstermiştir. Değişik ve kısmen aşırı koşullar altında depolama, çevre açısından önem arz eden herhangi bir salınıma yol açmamıştır. Bu durum numunenin sızdırmazlık testi öncesinde ezilmesi veya ufalanması durumunda da geçerlidir.

Atık maddelerin dikkatli seçimi ve izlemesi, atık kullanımının çevreye zarar verecek boyutta metal emisyonlarına yol açmamasını sağlar. Metal emisyonları, geçerli hava kirliliği kontrol standartlarının birkaç basamak farkıyla altındadır. Atık kullanımının ürünün çevresel kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur. Bu koşullar altında, çimentonun beton ve harç üretimi için herhangi bir kısıtlama olmaksızın kullanımına devam edilebilir. Bu malzemelerin geri kazanılabilirlikleri hiçbir şekilde etkilenmez.

Alman çimentolarının metal içeriği düzenli olarak analiz edilmektedir. Son değerler 2001 yılında yayınlanmıştır. Daha önceki araştırmaların sonuçları ile yapılan kıyaslama, ilgili dönemde atık maddelerin kullanımında önemli miktarda artış olmasına rağmen çimentoların metal içeriğinde herhangi bir artış olmadığını göstermiştir [76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.3.5 Proses kayıpları/atıklar

Çimento üretiminden kaynaklanan proses kayıpları/atıklar genellikle şunlardan meydana gelir:

- ☐ farinin hazırlanması sırasında hammaddelerden ayrılan istenmeyen taşlar
- ☐ baypas akışından ve bacadan çıkartılan fırın tozu
- ☐ yarı yaş proseste kullanılan oldukça alkali olan ve askıda katı madde içeren filtre preslerinden gelen filtre süzöntüsü
- ☐ örneğin toz tutucu gibi gaz temizleme ünitelerinden kaynaklanan toz
- ☐ baca gazı temizleme sisteminde kullanılmış olan emici maddeler (granüllü kireçtaşı, kireçtaşı tozu)
- ☐ paketleme aşamasında ortaya çıkan atıklar (plastik, odun, metal, kağıt, vb).

Yukarıda bahsedilen birikmiş proses kayıplarının bir kısmı geri dönüştürülebilir ve ürün özellikleri veya proses gereksinimleri doğrultusunda tesiste yeniden değerlendirilebilir. Tesiste geri dönüştürülmesi mümkün olmayan malzemeler, diğer sanayilerde kullanılmak veya harici atık geri dönüşüm ya da atık bertaraf tesislerine gönderilmek üzere tesisi terk eder. Fırın tozu doğrudan çimento üretim prosesi içinde yeniden kullanılabilir veya başka amaçlar için kullanılabilir.

Atıkların ve katı maddelerin içinde PCDD/F'ler de bulunur ve 2006 yılında yapılan bir çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- ☐ çimento fırını tozu (CKD) ve filtre tozu
 - 6,7 ng I-TEQ/kg ortalama derişim
 - 96 ng I-TEQ/kg azami derişim
- ☐ klinker
 - 1,24 ng I-TEQ/kg ortalama derişim
 - 13 ng I-TEQ/kg maksimum derişim.

Bu çalışma ayrıca, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, çimento üretiminden kaynaklanan proses kayıplarındaki/atıklarındaki dioksin seviyelerinin balık, tereyağı, anne sütü gibi gıdalarla aynı düzeyde olduğunu ve tarım arazisine uygulanan kanalizasyon çamuru için izin verilen azami derişim olan kg başına 100 ng TEQ'den daha az olduğunu göstermektedir. [88, SINTEF, 2006].

1.3.6 Suya emisyonlar

Genel olarak, çimento üretiminde atık su oluşmaz. Çimento üretiminde kuru veya yarı-kuru işlem uygulandığında su sadece örneğin temizlik amaçlı olarak düşük miktarlarda kullanılır. Prensip olarak, suyun prosese geri dönüştürülmesi nedeniyle herhangi bir suya emisyon gerçekleşmez.

Yarı yaş proste çimento harcı kullanılır ve filtre preslerinde suyu alınır. Yaş proste su hammaddeleri öğütürerek çimento harcı oluşturmak için kullanılır. Kullanılan hammaddeler genellikle yüksek oranda nem içerir. Çimento harcı ya suyun buharlaştığı fırına doğrudan ya da öncesinde bir çimento harcı kurutucusuna beslenir.

Bazen soğutma prosesinde klinkeri soğutmak için kullanılan su, klinker malzemesinin yüksek sıcaklığı nedeniyle doğrudan buharlaşır.

Belirli bir örnek tesisten alınan su dengesi Bölüm 6.2.2.3'teki Tablo 6.24'te bulunabilir.

1.3.7 Gürültü

Gürültü emisyonları tüm çimento üretim süreci boyunca, hammaddelerin hazırlanması ve işlenmesi, klinker pişirme ve çimento üretim prosesi, malzemelerin depolanması ile nihai ürünlerin sevkiyatı ve nakledilmesi sırasında oluşur. Çimento üretim prosesinin çeşitli yerlerinde kullanılan ağır makineler ve büyük fanlar özellikle aşağıda belirtilenlerden gürültü ve/veya titreşim emisyonlarının yayılmasına neden olabilir:

- ☐ oluklar ve silolar
- ☐ hammadde, yakıtlar, klinker ve çimentonun kırılması, ezilmesi, öğütülmesi ve elenmesi ile ilgili tüm işlemler
- ☐ çıkış fanları
- ☐ fanlar
- ☐ kanal titreşimi.

Tesisler ulusal mevzuat uyarınca azaltım standartlarına uymakla yükümlü olup gürültü araştırmaları yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Çimento sektöründe gürültü emisyonlarını azaltmak için ofis binaları, duvarlar, ağaçlar veya çalılar gibi doğal gürültü bariyerleri kullanılmaktadır. Tesisin yakınında konut alanlarının bulunması durumunda, çimento üretim alanında yeni binaların planlanması gürültü emisyonlarını azaltma zorunluluğu ile bağlantılıdır. [45, Schorcht, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006].

1.3.8 Kokular

Koku emisyonları, iyi işletilen bir tesiste çok nadiren sorun teşkil eder. Hammaddeler, ön ısıtıcıda ısıtıldığı zaman yanmayan ve sadece pirolizlenen yanıcı bileşenler (kerojenler) içerdikleri takdirde hidrokarbon emisyonları oluşur. Bu hidrokarbon emisyonları bacanın üzerinde bir ‘mavi pus’ veya duman bulutu olarak görülebilir ve kötü hava şartlarında çimento tesisinin etrafında kokuya neden olabilirler.

Kükürt içeren yakıtların yanması ve/veya kükürt içeren hammaddelerin kullanılması koku emisyonlarına yol açabilir (özellikle şaft fırınlarında karşılaşılan bir sorundur).

Ayrıca, hammadde veya yakıt olarak kullanılan atık malzemeler de özellikle hazırlama ve depolama gibi farklı süreç aşamaları sırasında koku emisyonlarına yol açabilir. NO_x azaltımı için amonyak kullanımı, uygun şekilde yapılmadığı takdirde bazı süreç aşamalarında koku emisyonlarına yol açabilir.

1.3.9 İzleme

1.3.9.1 Parametrelerin ve emisyonların izlenmesi

Fırın prosesini kontrol edebilmek amacıyla aşağıda belirtilen parametrelerin sürekli olarak ölçülmesi tavsiye edilir:

- ☐ basınç
- ☐ sıcaklık
- ☐ O₂ içeriği
- ☐ NO_x
- ☐ CO, ve belki SO_x derişimi yüksek olduğunda
- ☐ SO₂ (CO, NO_x ve SO₂ arasında optimizasyon sağlamaya yönelik gelişmekte olan bir tekniktir).

Emisyonların miktarını doğru şekilde belirlemek için aşağıda belirtilen parametrelerin sürekli olarak ölçülmesi tavsiye edilmektedir (ölçüldükleri noktadan sonra seviyelerinde değişiklik olduğu takdirde bunların kontrol amacıyla kullanılmak üzere yeniden ölçülmeleri gerekebilir):

- ☐ dışa atım hacmi (hesaplanabilir ancak bazı kesimler tarafından karmaşık bulunmaktadır)
- ☐ nem (hesaplanabilir ancak bazı kesimler tarafından karmaşık bulunmaktadır)
- ☐ sıcaklık
- ☐ toz
- ☐ O₂
- ☐ NO_x
- ☐ SO₂ ve
- ☐ CO.

Aşağıdaki maddeler için düzenli periyodik izleme yapılması uygundur:

- ☐ metaller ve bileşikler
- ☐ TOK
- ☐ HCl
- ☐ HF
- ☐ NH₃ ve
- ☐ PCDD/F.

Ancak, 1 ila 30 günlük sürelerle sürekli TOK, NH₃, HCl ve HF ölçümü ve izlemesi ve PCDD/F ile PCB’nin analizler için sürekli olarak örneklenmesi mümkündür. Ayrıca, iki AB-27 Üye Devletinde sürekli Hg ölçümü yapılmaktadır.

Bazen özel çalışma koşulları altında aşağıdaki maddelerin ölçümü gerekli görülebilir:

- ☐ BTX (benzen, toluen, ksilen)
- ☐ PAH (poliaromatik hidrokarbonlar) ve
- ☐ diğer organik kirleticiler, örneğin klorobenzenler, PCB (poliklorlu bifeniller) (eşdüzlemsel türdeşleri ve kloronaftalinler vb. dahil).

Uçucu metal içeriği yüksek olan atıkların hammadde veya yakıt olarak kullanılmaları halinde metallerin ölçülmesi özellikle önemlidir. Ayrıca, kullanılan yakıtta, proses koşullarına ve emisyonların önemine bağlı olarak ek ölçümler yapılması gerekebilir. Ayrıca, mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimleri de göz önünde bulundurulmalıdır, örneğin atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gerekir.

Çimento fırınlarında atık kullanıldığı takdirde ve özellikle kanalizasyon çamuru kullanıldığında, TOK ve cıva emisyonları çoğu zaman çimento fırınlarının dışa atım gazından; yürütülen düzenli sürekli toz, NO_x, SO₂ ve CO emisyon ölçümlerine ek olarak, bazı durumlarda sürekli olmak üzere izlenir. Alman çimento fabrikalarında sürekli olarak yapılan cıva ölçümleri ile ilgili daha fazla bilgi çimento endüstrisi ile ilgili sonuç ve öneriler bölümünde bulunabilir (bkz. Bölüm 5.1). Kullanılan yakıt atıkların girdilerine ve türlerine, proses koşullarına ve emisyonların önemine bağlı olarak HCl, HF, ağır metaller, benzo-a-piren, benzen ile poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD'ler) ve dibenzofuranlar (PCDF'ler) için ek ölçümler yapılmaktadır. Ayrıca, atık kullanımı söz konusu olduğunda çoğunlukla, örneğin yılda bir kere tekrarlanan ölçümler yapılmaktadır [76, Almanya, 2006].

Tesisin ilk EED izni için müracaat ederken tüm bu maddelerin en az bir kez ölçülmüş olması uygundur.

Diğer faydalı bilgilere Genel İzleme İlkeleri konulu Referans Belge ile ulaşılabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

1.4 MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler

Bu kısımda, bu belge kapsamındaki faaliyetlerde yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama potansiyeline sahip olduğu düşünülen teknikler (veya bunların kombinasyonları) ve ilgili izleme çalışmaları açıklanmaktadır. Açıklanan teknikler hem kullanılan teknolojiyi, hem de tesisin tasarımının, inşasının, bakımının, işletiminin ve hizmetten çıkarılmasının nasıl gerçekleştirildiğini içermektedir.

Çevre yönetim sistemlerini, prosese entegre teknikleri ve boru çıkışı tedbirlerini kapsar. Atıkların en aza indirilmesi ve geri dönüşüm prosedürleri dahil olmak üzere atık önleme ve yönetiminin yanı sıra, kullanımı ve yeniden kullanımı optimize ederek hammadde, su ve enerji tüketimini azaltan teknikler de dikkate alınmaktadır.

Direktifin Ek III kısmında MET'i belirlemek için bir dizi kriter sıralanmış olup bu bölümdeki bilgiler kapsamında bu hususlar ele alınacaktır. Mümkün olduğunca, Direktifte yer alan MET tanımına göre tekniklerin karşılaştırılması ve bir değerlendirme yapılması amacıyla her bir teknik hakkındaki bilgilerin özetlenmesi için Tablo 1.30'da yer alan standart yapı kullanılmaktadır.

Bu kısımda listelenen tekniklerin, sektörde uygulanabilecek bütün teknikleri kapsadığı düşünülmemelidir. Tesis özelinde MET'in belirlenmesinde dikkate alınabilecek başka teknikler mevcut olabilir veya geliştirilebilir.

Tablo 1.30: Her tekniğe ilişkin bilgiler

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
Tanım	Kimyasal denklemlerin veya diğer denklemlerin, resimlerin, diyagramların ve akış şemalarının uygun şekilde kullanıldığı, tekniğin kısa bir açıklaması.
Elde edilen çevresel faydalar	Tekniğin uygulanmasıyla elde edilecek başlıca potansiyel çevresel faydalar (enerji tüketiminin düşürülmesi, suya, havaya ve toprağa salınan emisyonların azaltılması, ham madde tasarrufu, üretim veriminde artış, atık miktarının azaltılması vb.)
Ortamlar arası etkiler	Tekniğin uygulanmasıyla ilişkili çevre üzerindeki olumsuz etkiler, çevre üzerindeki etkinin bir bütün olarak değerlendirilmesi için teknikler arasında karşılaştırma yapılmasına imkan sağlar. Bu, aşağıdaki gibi konuları içerebilir: ☐ hammadde ve su tüketimi ve özellikleri ☐ enerji tüketimi ve iklim değişikliğine katkısı ☐ stratosferik ozon tüketme potansiyeli ☐ fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli ☐ havaya salınan emisyonlardan kaynaklanan asitleşme ☐ ortam havasında partikül maddelerin varlığı (mikro partiküller ve metaller dahil); ☐ havaya veya suya emisyonlardan kaynaklanan kara ve su ötrofikasyonu ☐ sudaki oksijeni tüketme potansiyeli ☐ kalıcı/toksik/biyobirikimli bileşenler (metaller dahil) ☐ kalıntı/atık oluşumu ☐ kalıntıları/atıkları yeniden kullanma veya geri dönüştürme imkanına getirilen sınırlar ☐ gürültü ve/veya koku oluşumu ☐ artan kaza riski. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkilere İlişkin Referans Belge (ECM) dikkate alınmalıdır.
İşletim verileri	Gerçek ve tesise özgü performans verileri (hammadde, su, enerjiden kaynaklanan emisyon ve tüketim seviyeleri, üretilen kalıntı/atık miktarları dahil). Aşağıdakilerle ilgili diğer yararlı bilgiler:

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
	☐ tekniğin nasıl tasarlanacağı, çalıştırılacağı, sürdürüleceği, kontrol edileceği ve hizmet dışı bırakılacağı ☐ tekniğin kullanımına ilişkin emisyonların izlenmesine dair hususlar ☐ tekniğin hassasiyeti ve dayanıklılığı ☐ kazaların önlenmesi ile ilgili konular.
Uygulanabilirlik	Tekniğin, sektör genelinde uygulanıp uygulanamayacağı belirtilir. Aksi takdirde, söz konusu tekniğin sektör içinde kullanımına ilişkin ana genel teknik kısıtlamalar belirtilir. Örneğin: ☐ sektördeki tekniğin uygulanamayacağı tesislerin veya proseslerin türü; ☐ bazı genel durumlarda uygulamaya dair kısıtlılıklar; örneğin: ☐ güçlendirme ile ilgili faktörleri (örneğin alan müsaitliği) ve halihazırda kullanılan tekniklerle etkileşimleri dikkate alarak, yeni veya mevcut bir tesisle ilgili olup olmadığı ☐ kullanılan yakıt veya ham madde türü. Bu kısıtlamalar, nedenleri ile birlikte belirtilmiştir. Bu kısıtlamaların, tesis özelinde tekniğin uygulanabilirliğini etkileyebilecek olası yerel koşulların bir listesi olması amaçlanmamıştır.
Ekonomik boyut	Maliyetler (sermaye/yatırım, bu maliyetlerin nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere bakım ve işletme maliyetleri) ve olası tasarruflar (örn. azaltılmış hammadde veya enerji tüketimi, atık ücretleri, diğer tekniklere nazaran kısa geri ödeme süresi) veya nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere gelirler ya da diğer faydalar hakkında bilgi. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler Referans Belgesi (ECM) ve Genel İzleme İlkeleri (MON) Referans Belgesi, sırasıyla ekonomik boyutlar ve izleme maliyetleri açısından dikkate alınır.
Uygulamanın itici gücü	Uygulanabilir olduğunda, bugüne kadar tekniğin uygulanmasını sağlayan ya da teşvik eden özel yerel koşullar, gereklilikler (örneğin mevzuat, güvenlik tedbirleri) veya çevresel olmayan tetikleyiciler (örneğin verimin artması, ürün kalitesinin iyileşmesi, sübvansiyonlar ve vergi indirimleri gibi ekonomik teşvikler) sunulur.
Örnek tesisler	Tekniğin uygulandığı ve bilgilerin toplandığı ve ilgili kısmın yazılmasında kullanılan tesise (tesislere) atıf. Tekniğin AB'de veya dünya genelinde ne kadar kullanıldığının bir göstergesi.
Referans literatür	İlgili kısım yazılırken kullanılan ve teknikle ilgili daha ayrıntılı bilgiler içeren literatür veya diğer referans materyal (örn. kitaplar, raporlar, çalışmalar). Referans materyalin çok sayıda sayfadan oluştuğu durumlarda, ilgili sayfaya (sayfalara) ya da bölüme (bölümlere) atıfta bulunulacaktır.

1.4.1 Hammadde tüketimi

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Toplanan tozun üretim prosesine geri dönüştürülmesi ve/veya yeniden kullanımı hammaddelerin toplam tüketimini azaltır. Bu geri dönüşüm doğrudan fırının veya fırın besleme malzemesinin içinde (alkali metal içeriği kısıtlayıcı faktördür) ya da mamul çimento ürünleri ile karıştırılmak suretiyle gerçekleşir.

Uygun atıkların hammadde olarak kullanımı doğal kaynak girdisini azaltabilir, ancak bu, fırın prosesine giren maddeleri her zaman yeterli düzeyde kontrol etmek suretiyle gerçekleştirilmelidir.

Ortamlar arası etkiler

Doğal kaynaklardan tasarruf.

Hammadde olarak uygun atıklar kullanmak suretiyle ve bunların özelliklerine bağlı olarak değişik emisyonların oluşması mümkün olabilir.

Atık kalite kontrolünün ve emisyon izlemenin maliyetleri artabilir.

İşletim verileri

Bkz. Bölüm 1.2.4.2.

Uygulanabilirlik

Bu önlem prensipte kalite kontrol, uçucu organik maddeler ve ağır metal içeriği ile ilgili olarak çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Hammadde maliyetleri düşürülebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklikler. Yerel
koşullar
Ekonomik hususlar.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.
[168, TÇG CLM, 2007].

1.4.2 Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)

Bu bağlamda Enerji Verimliliği için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında da (ENE) faydalı bilgiler bulunabilir [181, Avrupa Komisyonu, 2008].

1.4.2.1 Termal enerji kullanımının azaltılması

Termal enerji kullanımı, fırın sisteminde termal enerji optimizasyon tekniklerini uygulamak gibi değişik teknikleri değerlendirmek ve uygulamak suretiyle azaltılabilir (bkz. Bölüm 1.4.2.1.1.). Örneğin; nem içeriği, yanabilirlik (bkz. Bölüm 1.4.2.1.2), değişik özellik ve değişken parametrelere sahip yakıtların kullanımı (bkz. Bölüm 1.4.2.1.3) ve gaz baypas sistemi kullanımı (bkz. Bölüm 1.4.2.1.4) gibi hammadde özellikleri olmak üzere çeşitli faktörler, modern çimento fırınlarının enerji tüketimini etkiler. Teknikler kendi başlarına uygulanabilir. Bununla birlikte, tüm tekniklerin birlikte bağlam içinde değerlendirilmesi gerekir.

Ayrıca fırının üretim kapasitesinin enerji ihtiyacı üzerinde etkisi vardır.

1.4.2.1.1 Fırın sistemleri

Tanım

Entegre kalsinatör ve üçüncül hava kanalı olan çok kademeli (dört ila altı kademeli) siklon ön ısıtıcılı fırın sistemleri yeni tesisler ve büyük çaplı yenilemeler için standart teknik olarak değerlendirilmektedir. Hammadde nem içeriğinin yüksek olması gibi bazı durumlarda üç kademeli siklonlu tesisler kullanılmaktadır. Optimize edilmiş koşullar altında bu gibi bir konfigürasyonda 2900 - 3300 MJ/ton klinker kullanılacaktır.

Termal enerji optimizasyon tedbirleri/teknikleri aşağıda belirtilenler de dahil olmak üzere tesisin farklı ünitelerinde uygulanabilir:

- ☐ soğutucu:
 - modern bir klinker soğutucusunun kurulumu, örn. sabit ön ızgara
 - daha düzenli bir soğutma havası dağılımı sağlamak için nispeten yüksek akış direnci sunan nispeten soğuk ızgara plakalarının kullanılması
 - ayrı ızgara bölümlerine kontrollü soğutma havası beslemesi
- ☐ fırın:
 - yüksek kapasite kullanımı
 - optimize edilmiş uzunluk:çap oranı
 - verilen yakıt türüne göre optimize edilmiş fırın tasarımı
 - optimize edilmiş fırında pişirme sistemleri
 - tekdüze ve kararlı çalışma koşulları
 - proses kontrollerinin optimizasyonu
 - üçüncül hava kanalı
 - stokiyometriğe yakın, ancak oksitleyici fırın koşulları
 - mineralleştirici kullanımı
 - içeri hava kaçağının azaltılması
- ☐ kalsinatör:
 - düşük basınç düşüşü
 - fırın besleyicisinde eşit sıcak farin dağılımı
 - zayıf alkali dolaşımı nedeniyle çok az kaplama oluşumu
 - farinin kapsamlı ön kalsinasyonu
- ☐ ön ısıtıcı:
 - siklonlarda düşük basınç düşüşü ve yüksek ısı geri kazanım düzeyi
 - yüksek siklon toplama oranı
 - gaz kanalı enkesitleri boyunca eşit farin dağılımı
 - iki hatlı ön ısıtıcıda katı ve gaz akımlarının eşit dağılımı
 - siklon kademeleri (toplamda üç ila altı siklon)
- ☐ malzeme elleçleme:
 - hammadde ve yakıtların düşük nem içeriği
 - yüksek ısı değeri olan kolay yanabilen yakıtlar
 - fırına beslenen malzemelerin homojenizasyonu ve eşit beslemesi (hassas dozlaması)
 - yakıtların homojenleştirilmesi ve eşit beslemesi
- ☐ değirmenler:
 - değirmenlerin bileşik çalışması.

Elde edilen çevresel faydalar

Termal enerji kullanımının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Uzun fırınlarda gaz/hava eşanjörünün veya su verme sisteminin ve ön ısıtıcılı/ön kalsinatörlü fırınlarda gaz baypas sisteminin kullanılması yakıt enerjisini artırır.

Alev soğutmanın kullanılması için suyu buharlaştırmaya yönelik ilave ısı gerekebilir, bu da enerji verimliliğini düşürür.

Daha düşük sayıda siklon, ön ısıtıcıdan çıkan baca gazı yoluyla daha yüksek termal kayıplara neden olur.

İşletim verileri

Kısa vadeli performans testinin (örn. 36 saatlik performans testi) optimize edilmiş koşulları altında termal enerji kullanımı 2 900 – 3 300 MJ/ton klinkerdir. Normal işletme koşullarından sapmalara yol açan olaylar nedeniyle (örneğin çalıştırma ve kapatma) yıllık ortalama değerler yaklaşık 160 – 320 MJ/ton klinker kadar daha yüksektir.

Tesislerin uygun olduğu ve bazı yakıt atık türlerinin kullanımı için özel olarak tasarlandığı durumlarda bile termal enerji tüketimi 3 120 – 3400 MJ/t klinker aralığında olabilir. Kullanılan yakıt atıklarının örneğin ısı değer, reaktivite, irilik gibi özellikleri enerji verimliliğini etkiler (bkz. Bölüm 1.2.4.3 ve 1.3.3.3) [92, Avusturya, 2006], [162, A TEC, 2006], [171, A TEC, 2007].

Belirtilen değerler, kapasitesi 3000 t/gün olan fırın sistemleri için hesaplanmış olup bu kapsamda geçerlidir. Ayrıca üretim kapasitesinin enerji ihtiyacı üzerinde etkisi vardır. Klinkerin kapasitesi daha yüksek olan örneğin 5000 t/gün olan fırınlarda pişirilmesi yaklaşık 100 MJ/ton klinker tasarruf sağlarken, daha küçük olan, örneğin 1500 t/gün üretim yapan fırınlarda enerji tüketimi daha fazladır ve aradaki fark 200 MJ/ton klinkere kadar ulaşır. Bu etkilerin başlıca nedeni, üretilen ton klinkere isabet eden değişken fırın mantosu ısı kayıplarıdır. Fırının enerji tüketimi ile ilgili olarak yapılacak bir değerlendirmede bu etkilerin hesaba katılması gereklidir [84, CEMBUROU, 2006].

Siklon ön ısıtıcı kademelerinin sayısı arttıkça fırın prosesinin enerji verimliliği de artar. En düşük enerji tüketimi beş veya altı siklonla elde edilebilir (bkz. Bölüm 1.3.3.1 ve Tablo 1.17). Ancak, siklon kademelerinin sayısı esas olarak hammaddenin nem içeriği uyarınca tespit edilir (ayrıca bkz. Bölüm 1.4.2.1.2).

Uygulanabilirlik

Uygun siklon kademesi sayısı, iş hacminin yanı sıra, yerel hammaddelerin nem içeriği ve yanabilirlik açısından büyük değişiklikler göstermesi nedeniyle, atık dışa atım gazı ısı ile kurutulması gereken hammaddelerin ve yakıtların nem içeriğine göre belirlenir [76, Almanya, 2006].

Aşağıda örnekleri verilen çeşitli etkiler, günümüz koşullarına uygun ön kalsinatörlü ve siklon ön ısıtıcılı tesislerin enerji tüketimini etkileyebilir:

- ☐ nem içeriği ve yanabilirlik gibi hammadde özellikleri (bkz. Bölüm 1.2.2, 1.2.4.2 ve 1.4.2.1.2)
- ☐ değişen özelliklere sahip yakıtların kullanımı (bkz. Bölüm 1.2.3, 1.2.4 ve 1.4.2.1.3)
- ☐ gaz baypas sisteminin kullanılması (bkz. Bölüm 1.2.5.4.1 ve 1.4.2.1.4)
- ☐ hedeflenen klinker kalitesi
- ☐ fırın boyutu ve kapasitesi.

Ekonomik boyut

Enerji kullanımı (termal ve elektrik) genel olarak üretim maliyetinin % 30 – 40'ını oluşturur.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki

gereklilikler. Yerel

koşullar

Enerji verimliliğine giden yolda enerji maliyeti ve emisyon ticareti.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [84, CEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Avusturya, 2006], [136, Avrupa Komisyonu, 1993], [153, Castle Cement UK, 2007], [154, CEMEX UK, 2006], [162, A TEC, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [171, A TEC, 2007], [181, Avrupa Komisyonu, 2008].

1.4.2.1.2 Hammadde özellikleri

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

İstenilen iş hacmi ve hammaddelerin nem içeriği genel enerji verimliliğini etkiler. Malzemelerin tercihen dışa atım gazı ısı ile kurutulmaları gerektiğinden bu parametreler kullanılacak olan uygun siklon kademesi sayısını belirler (bkz. Bölüm 1.2.4.2, 1.3.3 ve Tablo 1.17). Nem içeriği ne kadar yüksek olursa, enerji ihtiyacı da o kadar yüksek olacaktır. Daha yüksek sayıda siklonun, ön ısıtıcıdan çıkan baca gazı yoluyla daha düşük termal kayıplara neden olacağı unutulmamalıdır.

Ortamlar arası etkiler

Bazı yakıtlar, hammadde olarak kullanılan ve fırın sistemi içinde kurutularak ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden olan bir yaş mineral kısmı da içerirler.

İşletim verileri

Fırına giren ve nem oranı %8,5'ten az olan hammaddelerle ilgili kurutma işlemi modern bir çimento tesisinde dört, beş veya altı kademeli ön ısıtıcıdan gelen dışa atım gazı kullanılarak tamamlanır. Kurutma için gerekli enerjinin azaltılmasına ihtiyaç duyulan yerlerde, beş kademeli bir ön ısıtıcı ile karşılaştırıldığında, altıncı siklon kademesi yaklaşık 60 MJ/ton klinker tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Sadece fırın ön ısıtma sistemi için hesaplandığında, beş kademeli yerine dört kademeli siklon ön ısıtıcı kullanılması yaklaşık 90 MJ/ton klinker ek kullanım gerektirecektir. Üç kademeli siklonlar kullanıldığında enerji ihtiyacındaki ek artış 250 MJ/ton klinkeri bulacaktır. Üç kademeli siklonlar sadece oldukça yaş malzemenin mevcut olduğu özel durumlarda kullanılır.

Ancak hammaddenin nem içeriği %8,5'in üstünde ve en fazla % 10-11 olduğunda, ısının kurutma prosesinde (farin değirmeni) kullanılabilmesi için daha az siklon kademesi olması (örneğin dört adet) tercih edilir.

Uygulanabilirlik

Prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [84, Castle Cement UK, 2006], [81, CEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Avusturya, 2006], [136, Avrupa Komisyonu, 1993], [137, Klein/Hoenig, 2006], [153, Castle Cement UK, 2007], [154, CEMEX UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.2.1.3 Yakıt özellikleri

Tanım

Kullanılan yakıtların yeterli ısı değeri, düşük nem içeriği, yeterli kükürt içeriği gibi özelliklerinin yanı sıra metaller, halojen bileşikler, uçucu maddeler, hava kabarcığı enjeksiyonunun fırının özgül enerji tüketimi üzerinde olumlu etkileri vardır.

Fırın sisteminin dışında ve hatta çimento tesisinin dışında kısmen veya tamamen kurutulan, kömür veya linyit gibi fosil yakıtların hazırlanması, enerji tüketimi üzerindeki ana etkilerden biri olduğundan, fırında iyileştirilmiş enerji verimliliğine yol açabilir. Örneğin linyit, % 50'nin üzerinde nem içerecek şekilde çıkarılabilir ve çimento tesisine gönderilmeden önce kurutulması gerekir. Ayrıca, yakıtların kurutulması için atık ısı kullanımı termal enerjiden tasarruf sağlar. Yüksek nem oranına sahip yakıtların yerine kurutulmuş yakıtların getirilmesi, fırın sisteminde klinkerin ton başına enerji tüketiminin azalmasını sağlar.

Elde edilen çevresel faydalar

Kalsinatörde, çok yüksek ve çok düşük reaktiviteye sahip geniş bir yakıt yelpazesinin olması, enerji verimliliğini etkileyen bir faktördür. Düşük reaktiviteye sahip veya kaba taneli yakıt yerine ince öğütülmüş kuru ve yeterli ısı değere sahip yakıt kullanılması enerji verimliliğinin artmasını sağlar.

Ortamlar arası etkiler

Bazı yakıtlar, hammadde olarak kullanılan ve fırın sistemi içinde kurutularak ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden olan bir yaş mineral kısmı da içerirler.

Atık kullanmak suretiyle ve bunların özelliklerine bağlı olarak farklı emisyonların oluşması mümkün olabilir.

Yakıt atıklar ile birlikte daha az reaktif veya kaba taneli olan yakıtların yüksek ikame oranı, termal enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılması gereken yakıt miktarında artışı getirecektir (bkz. Bölüm 1.3.3, 1.3.3.3, 6.2.2.2 ve Tablo 6.21).

Yakıtları fırın sistemi dışında kurutmak için ilave enerji kullanılabilir.

İşletim verileri

Bir yanda taş kömür kullanılan ve diğer yanda da linyit kullanılan, birbirlerinin aynı olan ve genelde fosil yakıtlar kullanan iki fırın sistemi arasında yapılan kıyaslama, değişik yakıt kalitelerine bağlı olarak yaklaşık 100 MJ/ton klinker fark olduğunu göstermiştir.

Düşük reaktiviteye sahip veya kaba taneli olan yakıt kullanımı ile kıyaslandığında ince öğütülmüş kömür kullanımı enerji ihtiyacını örneğin 300 MJ/ton klinkerden daha fazla azaltabilir. Kolay yanabilen ve nem içeriği düşük olan yakıtları kullanmak suretiyle termal enerji ihtiyacının düşük olması sağlanabilir (küçük tesisler için de geçerlidir).

Tesislerin uygun olduğu ve bazı yakıt atık türlerinin kullanımı için özel olarak tasarlandığı durumlarda termal enerji tüketimi 3 120 – 3 400 MJ/t klinker kadar düşük olabilir. Kullanılan yakıt atıklarının örneğin yeterli ısı değeri, reaktivitesi, iriliği gibi parametreleri ve özellikleri enerji verimliliğini etkiler (bkz. Bölüm 1.2.4.3 ve 1.3.3.3) [92, Avusturya, 2006], [162, A TEC, 2006], [171, A TEC, 2007]. Ayrıca, beş kademeli bir ön kalsinatörlü fırın ile ilgili olarak 3473 kJ/kg enerji tüketimi rapor edilmiştir. [81, Castle Cement UK, 2006], [163, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Uygulanabilirlik

Premsipte tüm fırın türleri için uygulanabilir.

Bir yakıt karışımını tanımlarken göz önüne alınan ana parametreler yakıtların yerel olarak mevcut olması, teknik imkanlar ve tedarikin uzun vadeli garantisidir.

Yakıt atık kullanıldığında, bu atıkların ısı değeri hesaba katılmalıdır. Daha düşük ısı değere sahip olan yakıtların kullanılması halinde termal enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlara nazaran daha yüksek miktarda yakıt atık kullanılmasının gerekli olabileceği dikkate alınmalıdır.

Ekonomik boyut

Değişik türdeki fosil ve/veya yakıt atıklar ile bunların hazırlanma maliyetleri çok farklıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Ekonomik gereklilik.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Özellikle Avusturya ve Birleşik Krallık'ta olmak üzere AB-27'deki çimento fabrikaları.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [84, CEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Avusturya, 2006], [136, Avrupa Komisyonu, 1993], [153, Castle Cement UK, 2007], [154, CEMEX UK, 2006], [162, A TEC, 2006], [163, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [171, A TEC, 2007].

1.4.2.1.4 Gaz baypas sistemleri

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Düşük seviyede klor, kükürt ve alkali içeren hammadde ve yakıtlar fırın ile ön ısıtıcı arasındaki iç dolaşımdan kaynaklanan zenginleştirme döngüsünü en aza indirebilir. Ayrıca fırın girişinde, kalsinatörde ve iki alt aşamada yüksek derişimlerin sebep olabileceği birikinti oluşumu en aza indirilebilir. Aksamaların en aza indirildiği düzenli bir fırın operasyonu enerji tasarruflu klinker üretimi için esas olduğundan, kaplama oluşumunun neden olduğu faaliyet durdurmalardan kaçınılmalıdır. Alkali, klor ve bir düzeye kadar kükürtün düşük miktarlarının dolaşıma girmesi, fırının girişinde gaz baypası kullanımını en aza indirebilir. Proses gazının bir miktarını gidermek suretiyle klor, kükürt ve alkalilerin yanı sıra diğer maddeler de dışarı atılır (bkz. Bölüm 1.2.5.4.1).

Ortamlar arası etkiler

Sıcak hammaddenin ve sıcak gazın giderilmesinin sonucunda, giderilen fırın giriş gazının yüzdesi başına yaklaşık 6 - 12 MJ/ton klinker daha fazla özgül enerji tüketimi meydana gelir. Bu nedenle, gaz baypası kullanımının en aza indirilmesi, özgül enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

İşletim verileri

Enerji kullanımı için Bölüm 1.3.3'e bakın.

Uygulanabilirlik

Prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Proses tekniğinin gereksinimleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [84, CEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [92, Avusturya, 2006], [136, Avrupa Komisyonu, 1993], [153, Castle Cement UK, 2007], [154, CEMEX UK, 2006].

1.4.2.1.5 Çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılması

Tanım

Enerji kullanımını ve çimento ürününün birim kütlesi başına ifade edilen çimento endüstrisi emisyonlarını azaltmak için kullanılan bir teknik, çimento ürünlerinin klinker içeriğini azaltmaktır. Bu azaltma, öğütme aşamasında örneğin kum, cüruf, kireçtaşı, uçucu kül ve puzolan gibi dolgu maddelerini ve ilave maddeleri eklemek suretiyle yapılır.

Elde edilen çevresel faydalar

Enerji kullanımının azaltılması.

Havaya emisyonların azaltılması.

Doğal kaynaklardan tasarruf.

Atık malzemelerin sahaya gönderilmesinin önlenmesi.

Ortamlar arası etkiler

Çimento tesisinde son ürüne dolgu maddelerini ve ilave maddeleri eklemek, malzemelerin depolanmasının ve taşınmasının kontrolünün yanı sıra nihai çimento ürününün kalite gereksinimlerinin kontrolünü sağlar.

İşletim verileri

Avrupa'da çimentodaki ortalama klinker içeriği %80 – 85'tir. Birçok çimento üreticisi, klinker içeriğini daha da azaltmak için teknikler üzerinde çalışmaktadır. Bir tekniğin, ürün kalite/performansını korurken, üretim maliyetlerini arttırmaksızın klinker içeriğinin % 50'sini ikame ettiği öne sürülmektedir. Çimento standartlarında, klinker içeriği %20'den az olup kalan kısmın yüksek fırın cürufundan meydana geldiği bazı çimento türleri tanımlanmaktadır. Ancak, düşük klinker içerikli çimento türleri sadece özel kullanıma yöneliktir.

Uygulanabilirlik

Prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Ekonomik gereklilikler.

Uygun atık malzemelerin mevcudiyeti.

Teknik özellikler ve karbon verimliliği ile ilgili gereksinimler.

Çimento standartları uyarınca gereksinimler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.2.2 Elektrik enerjisi kullanımının azaltılması

Tanım

Elektrik enerjisi kullanımı, güç yönetim sistemlerinin kurulması, klinkerin ufalanması için gerekli olan yüksek basınçlı öğütme valsleri ile fanlar için değiştirilebilir hıza sahip tahrikler gibi enerji tasarruflu teçhizatın kullanılması ve bazı durumlarda eski hammadde değirmenlerinin yenileriyle değiştirilmesi suretiyle en aza indirilebilir (bkz. Bölüm 1.3.3.2). Elektrik kullanımı, gelişmiş izleme sistemleri kullanmak ve sisteme giren hava kaçaklarını azaltmak suretiyle de optimize edilebilir. İlerdeki bölümlerde açıklanan örneğin proses kontrol optimizasyonu gibi bazı azaltım tekniklerinin de enerji kullanımı üzerinde olumlu etkileri vardır.

Elde edilen çevresel faydalar

Elektrik kullanımının azaltılması ve en aza indirilmesi.
Kaynaklardan tasarruf ve emisyonlar ile atıkların azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Öğütme tekniği örneklerinin temel özelliklerine dayalı olarak karşılaştırması Bölüm 1.19 ve Tablo 1.3.3'te gösterilmiştir. Bazı durumlarda, eski hammadde değirmenlerini yeni alternatiflerle değiştirmek suretiyle elektrik kullanımı en aza indirilmiştir.

Uygulanabilirlik

Prensipte tüm fırınlar için uygulanabilir.

Ekonomik boyut

2006 yılında elektrik enerjisi kullanımı toplam çimento üretim maliyetinin tipik olarak % 15 – 25'ine karşılık gelmiştir (bkz.Bölüm 1.3.3.2).

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.
Ekonomik gereklilikler, maliyet tasarrufları.
Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.
[76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [181, Avrupa Komisyonu, 2008], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.2.3 Proses seçimi

Tanım

1993 yılında Avrupa Komisyonu tarafından başlatılan çimento sektöründe enerji teknolojilerine ilişkin bir çalışmada da gösterildiği gibi seçilen proses tüm kirleticilerin emisyonlarını etkileyecek ve aynı zamanda enerji kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Örnek olarak proses tadilatları, öğütme prosesi ve farin hazırlamadaki iyileştirmeler ile enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi gibi bir dizi teknik iyileştirmeler veya tadilatların yanı sıra bunlara karşılık gelen enerji tasarrufu potansiyelleri belirlenmiştir [136, Avrupa Komisyonu, 1993].

Bölüm 1.3.3.1 ve Tablo 1.17'de verilen örneklerde gösterildiği gibi hammadde kurutma ve ön ısıtma için gerekli olan termal enerji esas olarak hammaddenin nem içeriğine bağlıdır. Nem içeriği ne kadar düşük olursa, enerji ihtiyacı da o kadar düşük olacaktır.

Çok kademeli ön ısıtma ve ön kalsinasyonlu kuru proses fırını, yeni tesisler ve geniş çaplı yükseltmeler için geline son nokta olarak değerlendirilmektedir. Genel olarak, Avrupa'da faaliyet gösteren yaş proses fırınları ile yarı kuru ve yarı yaş proses fırınlarının yenilendikleri zaman kuru prosese dönüştürülmeleri beklenmektedir [12, Hollanda, 1997].

Elde edilen çevresel faydalar

Enerji tüketiminin azaltılması.
Kaynaklardan tasarruf ve emisyonlar ile atıkların azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Modern çimento tesisleri için, hammadde girdisinin nem oranı %8,5'ten az olduğunda kurutma işlemi dört veya beş kademeli ön ısıtıcıdan gelen dışa atım gazı kullanılarak ve ek ısıya ihtiyaç duyulmaksızın tamamlanır. Bir örnekte görüldüğü gibi, tesiste en yüksek verimliliği elde etmek için izlenen strateji, yüksek nem oranı içeren tebeşir bazlı hammaddelere dayalı tesislerin kapatılmasını gerektirmiştir. Tebeşirin nem oranı %20'nin üzerindedir.

Birleşik Krallık'ta (Padeswood Works), toplam ısı ihtiyacı 5 649 MJ / ton klinker olan iki yaş proses fırını bir adet ön kalsinatörlü fırın ile değiştirilmiştir. Bu iki yaş proses fırınına kıyasla, 2006 yılında yeni kuru ön kalsinatörlü fırının toplam ısı ihtiyacı 3473 MJ/t klinker olarak gerçekleşmiş ve bu durum yaklaşık 2176 MJ/t klinker iyileşme ile enerji ihtiyacında yaklaşık %36 azalma sağlamıştır. Ancak bu ısı ihtiyacı, hammadde olarak kullanılan atıkta bulunan organik karbonun ön ısıtıcı kulesinin üst siklon aşamalarında yanarak kulenin tepesinde yüksek sıcaklıklara yol açması nedeniyle beş kademeli ön kalsinatörlü bir fırın için beklenenden daha yüksektir. Proses geliştirmenin bir parçası olarak kule sıcaklıkları azaltılacak ve bu durum toplam ısı tüketiminin yaklaşık 3150 MJ/t'a inmesini sağlayacaktır. Fırında %100'e kadar yakıt atık kullanımına izin verilmiştir, ancak 2008 yılında, işletimsel performans yaklaşık %30 civarında gerçekleşmiştir [81, Castle Cement BK, 2006], [163, Castle Cement BK, 2006], [182, TÇG CLM, 2008].

Uygulanabilirlik

Prensipte çimento endüstrisinde yeni tesisler/geniş çaplı yükseltmeler için uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Yaş procesten kuru prosese dönüşüm oldukça pahalı olup maliyet 100 milyon avroya kadar çıkabilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Padeswood Works, Castle Cement UK.

[12, Hollanda, 1997], [81, Castle Cement UK, 2006] [136, Avrupa Komisyonu, 1993]

[163, Castle Cement UK, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.2.4**Fırınlardan ve soğutuculardan/kojenerasyondan enerji geri kazanımı****Tanım**

Buhar ve elektrik için kojenerasyon santrallerinin veya kombine ısı ve elektrik santrallerinin kullanımı, prensipte çimento üretiminde uygulanmaktadır. Bu durum uzun zamandan beri süregelen eşzamanlı ısı ve elektrik ihtiyacından kaynaklanmaktadır (bkz. Bölüm 1.2.5.8). Organik Rankine Döngüsü (ORC) prosesi ve genelleşmiş buhar döngüsü prosesleri halihazırda işletilmektedir. Ayrıca, klinker soğutuculardan veya fırından çıkan gazlardan geri kazanılan fazla ısı bölgesel ısıtma için kullanılmaktadır.

Kojenerasyon tesisinin temel özelliği tahrik motoruna sahip olmasıdır, ancak iki adet çimento tesisinde düşük sıcaklıktaki dışa atım gazından elektrik üretimi yapılmaktadır. Fazla ısı ağırlıklı olarak klinker soğutucusundan ve bir düzeye kadar fırından çıkan gazlardan geri kazanılır.

Elde edilen çevresel faydalar

Fazla ısının procesten geri kazanılmasıyla buhar ve elektrik gücünün kojenerasyonu, enerji maliyetlerinden bağımsızlığın artması ve CO₂ emisyonlarının azalması.

Kaynaklardan tasarruf ve emisyonların azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Genelleşmiş buhar döngüsü prosesi ve Organik Rankine Döngüsü (ORC) prosesi

İsveç'teki Slite çimento tesisinde genelleşmiş buhar döngüsü prosesi kullanılmaktadır. Geri kazanılabilir ısı, elektrik üretmek için bir buhar türbinini yeniden kullanan bir üçüncü taraf tarafından işletilen ve çimento tesisinin bitişiğinde bulunan mevcut elektrik tesisine gönderilmektedir. Buhar, biri klinker soğutucusunda ve diğeri fırının alt kanalında olmak üzere iki kademeli bir ısı geri kazanım kazan sisteminde oluşturulmaktadır. Bu tesis yaklaşık 6 MW enerji sağlamaktadır. 1999 için yapılan hesaplama göre, kazan ve buhar dağıtım sistemi için yatırım maliyetleri 8 milyon avro olup bunun %25'i sübvansede edilmiştir. Yeniden kullanılan mevcut buhar türbini tesis ekonomisine önemli katkılarda bulunmuş, ancak bunun için maliyet hesabı yapılmamıştır. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık 50 GWs olup, tesisin toplam enerji ihtiyacının dörtte birini karşılamaktadır. Daha ayrıntılı açıklama Bölüm 6.2.3.1'de bulunabilir.

Organik Rankine Döngüsü (ORC), düşük sıcaklıktaki atık ısının elektrik üretimi amacıyla klinker soğutucusundan geri kazanılması için Almanya'daki Lengfurt çimento fabrikasında kullanılmaktadır. Bu teknik temel olarak bir organik devindirici ortamın (pentan) kullanımına dayanmaktadır. Sonuçlar 1,1 MW elektrik gücünün eldeki işletme modunda üretilebileceğini göstermiştir. Elde edilen çalışma sürekliliği, çimento fırınının çalışma süresinin %97'si kadardır. Klinker soğutucunun, klinker soğutucu dışa atım havası vasıtasıyla 14 MW atık ısı çıktısı ve 300 – 350 °C arasında dışa atım gazı sıcaklığı olup bunun ortalama yaklaşık 9 MW'lık kısmından faydalanılmaktadır. Lengfurt çimento tesisinde kullanılan bu ORC tekniği yaklaşık 10 yıldır iyi durumda çalışır haldedir. Daha fazla açıklama Bölüm 6.2.3.2'de bulunabilir.

Bölgesel ısıtmaya yönelik olarak klinker soğutuculardan veya fırından çıkan gazlardan geri kazanım

Atık ısı, sıcak su temini için klinker soğutucudan da geri kazanılabilir. Çoğu zaman, toz toplayıcı olarak ESP'ye ihtiyaç duyulduğundan dolayı, kazan filtrenin temiz gaz tarafındadır. Alternatif olarak, kazandan sonra tozsuzlaştırma cihazı olarak bir torba filtre kurulduğu takdirde sağlam ve aşınmaya dayanıklı bir atık ısı kazanına ihtiyaç vardır. Atık ısı geri kazanımlı sıcak su sistemleri bulunan tesisler arasında Almanya'da Burglengenfeld ve Türkiye'de Büyükçekmece ve Çanakkale tesisleri yer almaktadır.

Skövde'de bulunan bir İsveç çimento tesisinde de çıkış gazı alt kanalında konuşlanan bir ısı geri kazanım kazanı yer almaktadır. Slite çimento tesisinde olduğu gibi, burada da 1,2 MW olan ısı geri kazanımı 2,5 MW olan tasarım değerinin ve planlananın altındadır. Slite'deki duruma benzer şekilde, ön ısıtıcı kulesinden gelen tipik ince tane etkili ısı alışverişini önler. Bu halen bir sorun olup ön ısıtıcı çıkış gazının ısı kaynağı olarak kullanımına, teknik açıdan olduğu gibi ekonomik açıdan da zorluk teşkil etmektedir.

Uygulanabilirlik

Prencipte, yeterli ısı fazlası olduğu ve uygun proses parametreleri karşılanabildiği takdirde tüm çimento tesislerine uygulanabilir. Yerel koşullar ve maliyet hususları dikkate alınmalıdır.

Ekonomik boyut

Tam kapsamlı büyük bir santralin maliyeti, kurulu MW elektrik gücü başına ortalama 0,8 ila 1,2 milyon avro arasındadır. Almanya'da Lengfurt'ta bulunan tesis (Organik Rankine Döngüsü (ORC) prosesi) bunun yaklaşık 3,3 kat üzerindedir. Lengfurt ORC tesisi 1 MW kapasiteyle özellikle küçük bir örnektir, ancak kısmen Alman hükümeti tarafından finanse edilmesi nedeniyle ekonomik açıdan uygundur.

Benzer bir şekilde Slite çimento tesisinde (genelleşmiş buhar döngüsü prosesi), buhar türbini jeneratörü %25 finansman desteği ve teçhizatın kritik ve pahalı bir parçasının mevcut olması sayesinde uygulanabilmektedir. Sadece işletme gelirlerine bakarak bir su buharı kazanı ve elektrik üretim sistemine tam yatırımı gerekçelendirmek zordur.

Daha yeni ve etkili ön ısıtıcı kulelerinin ve klinker soğutucuların hat üzerinde hizmete alınmasıyla, kullanılmayan fazla ısı miktarı azalacak olup, ısının büyük bölümüne malzeme kurutma prosesi için ihtiyaç duyulması nedeniyle kojenerasyon için ekonomik ölçeğin elverişli

olmaması mümkündür.

Elektrik üretimi için fırın ve klinker soğutucudan atık ısının geri kazanımı durum özelinde değerlendirilebilir. Ekonomik uygulanabilirlik yerel elektrik fiyatına ve tesis büyüklüğüne de bağlı olabilir.

Bölgesel ısıtma için özellikle klinker soğutucudan ısı geri kazanımının dışında aşağıdaki durumların oluşması halinde ısı geri kazanımı uygun olabilir:

- ☐ Belirli bir miktarda fazla ısı mevcut olduğu takdirde
- ☐ Geri kazanılan ısı bölgesel ısıtma vasıtasıyla satılabildiği takdirde
- ☐ Bölgesel ısıtma mevcut olduğu veya bir ortak tarafından finanse edildiği ve işletildiği takdirde
- ☐ Jeneratör tarafından, tesise yönelik kullanım amacıyla veya kamu elektrik şebekesine vermek üzere elektrik üretildiği takdirde.

Uygulamanın itici gücü

Yasal gereksinimler, örneğin; Kojenerasyon Direktifi [94, Avrupa Birliği, 2004].

Maliyetlerin azaltılması.

Kaynak tasarrufu.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Yukarıda açıklanan iki adet atık ısı kojenerasyon santralini (İsveç ve Almanya'da bulunan çimento fabrikaları) yanı sıra, ABD Michigan'da bulunan Alpena (40 MW), Kore'de bulunan Halla (10.6 MW) ve her ikisi de Japonya'da bulunan Tagada ve Kanda gibi başka tesisler de vardır [133, CEMBUREAU / Federhen, 2007], [76, Almanya, 2006], [78, E. Baatz + G. Heidt, 2000], [79, Almanya, 2001], [94, Avrupa Birliği, 2004], [168, TÇG CLM, 2007], [181 Avrupa Komisyonu, 2008].

1.4.3 Genel teknikler

1.4.3.1 Proses kontrol optimizasyonu

Tanım

Klinker pişirme prosesinin optimizasyonu genelde proses parametrelerini dengelemek suretiyle ısı tüketimini azaltmak, klinkerin kalitesini arttırmak ve teçhizatın ömrünü arttırmak (ateşe dayanıklı astar kaplama gibi) için yapılır. NO_x , SO_2 ve toz gibi emisyonların azaltılması bu optimizasyonun ikincil etkileridir. Fırının proses parametrelerinin tasarım değerlerine yakın ve düzgün ve istikrarlı bir şekilde çalıştırılması tüm fırın emisyonları için faydalıdır. Optimizasyon, hammadde homojenizasyonu, muntazam kömür dozlamasının sağlanması ve soğutucu faaliyetinin iyileştirilmesi gibi teknikleri kapsar. Katı yakıt besleme oranının asgari sayıda iniş ve çıkışla sabit kalmasını sağlamak için besleme bunkerlerinin, taşıma konveyörlerinin ve besleyicilerin modern gravimetrik katı yakıt besleme sistemi gibi iyi tasarıma sahip olmaları şarttır.

NO_x azaltımı, alev ve pişirme sıcaklıklarının düşürülmesi, yakıt kullanımının azaltılması ve fırın sistemi içinde indirgen ortama sahip bölgelerden kaynaklanır (ayrıca bkz. Bölüm 1.4.5.1.6). NO_x kontrolü için oksijen içeriğinin (fazla hava) kontrolü çok önemlidir. Genellikle, örneğin bir çimento fırınının arka ucundaki oksijen içeriği (fazla hava) ne denli düşükse, üretilen NO_x emisyonu da o denli düşük olur. Ancak bu durum düşük oksijen seviyeleri söz konusu olduğunda CO ve SO_2 artışlarına karşı dengelenmelidir [37, Birleşik Krallık, 1996].

Fırın proses optimizasyonlarının SO_2 emisyonları üzerindeki etkisi uzun yaş ve kuru fırınlarda kayda değer iken ön ısıtıcılı fırınlarda çok düşüktür. SO_2 azaltımı, kalsinasyon prosesinden meydana gelen CaO, düşük alev ve pişirme sıcaklıklarında azalan SO_2 uçuculuğu, fırındaki oksitleyici ortam ve kararlı fırın işletiminden kaynaklanır [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

ESP'lerin uygulandığı durumlarda fırın durmalarının ve CO aşımalarının önlenmesi toz emisyonlarını azaltır ve böylelikle aynı zamanda toza adsorplanan herhangi bir maddenin, örneğin metallerin emisyonlarını da azaltır.

Daha hızlı ölçüm ve kontrol teçhizatına sahip modern kontrol sistemleri, daha yüksek kapatma kriterlerine izin verebilir ve böylece CO aşımalarının sayısını azaltabilir (ayrıca bkz. Bölüm 1.3.4.1.1, 1.4.5.3 ve 6.2.6).

Bazı çimento teçhizat tedarikçileri genelde NO_x seviyelerini izlemek suretiyle yanmanın kontrol edilmesine dayalı uzman otomatik kontrol sistemleri geliştirmişlerdir [37, Birleşik Krallık, 1996].

Proses parametreleri ve emisyonların izlenmesi ve ölçümü, proses kontrol optimizasyonu ve kararlı fırın işletiminin sağlanması açısından elzemdir.

Elde edilen çevresel faydalar

Azaltılmış alev ve pişirme sıcaklıkları NO_x emisyonlarının azalmasına yol açar. Ayrıca, yakıt tüketimi azaltılabilir. ESP'ler kullanılarak fırın bozulmaları ve CO aşımalarının önlenmesiyle toz emisyonları azaltılır.

Ortamlar arası etkiler

Emisyonların ve yakıt tüketiminin azaltılması.

İşletim verileri

Başlangıçtaki NO_x seviyelerine bağlı olarak, uzun yaş ve kuru fırınlarda %30'a varan NO_x ve % 50'ye varan SO₂ azaltımı bildirilirken, ön ısıtıcılı fırınlar için bildirilen oranlar oldukça düşüktür. [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

Uygulanabilirlik

Proses Kontrol optimizasyonu tüm fırınlara uygulanabilir ve fırın operatörlerinin eğitim/öğretiminden dozaj sistemleri, homojenizasyon siloları, ön harmanlama yatakları ve yeni klinker soğutucuları gibi yeni ekipmanların montajına kadar değişen birçok unsur içerebilir. Proses kontrol optimizasyonunun SO₂ emisyonları üzerindeki etkisi uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda yüksek, ön ısıtıcılı fırınlarda ise çok düşüktür.

ESP'ler kullanıldığında, çimento endüstrisinde CO aşımı yönetimi uygulanabilir (bkz. Bölüm 1.4.5.3).

Ekonomik boyut

Proses kontrol optimizasyonu tekniklerinin maliyeti çok değişkendir ve 5 milyon avroya kadar varmaktadır.

Örneğin bilgisayar bazlı bir üst seviye kontrol sistemi gibi, genelde NO_x seviyelerini izlemek suretiyle yanmanın kontrol edilmesine dayalı gelişmiş uzman otomatik kontrol sistemleri için gerekli yatırım yaklaşık 300000 avro olup, gerekli olan ölçme ve dozajlama sistemlerinin tesise kurulumu için ilave yatırım gerekebilir.

Fırın optimizasyonu esas olarak işletme maliyetlerini azaltmak, kapasiteyi arttırmak ve ürün kalitesini geliştirmek için yapılır. Optimize edilmiş bir fırının işletme giderleri genellikle optize edilmemiş olduğu duruma nazaran daha düşüktür. Elde edilen tasarruf diğer faktörlerin yanı sıra yakıt ve refrakter malzeme tüketiminin azalmasından, daha düşük bakım masraflarından ve daha yüksek verimlilikten kaynaklanmaktadır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [37, Birleşik Krallık, 1996] [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.3.2 Yakıt ve hammadde seçimi**Tanım**

Fırına giren tüm maddelerin dikkatlice seçilmesi ve kontrol edilmesi emisyonların azalmasını sağlayabilir. Örneğin hammaddelerin ve yakıtın kükürt içeriklerini kısıtlamak SO₂ salınımlarını azaltabilir. Aynı durum, örneğin azot, metaller ve organik bileşikler, HCl ve HF gibi diğer maddeleri içeren hammaddeler ve yakıtlar için de geçerlidir. Ancak değişik fırın sistemleri ve besleme noktaları arasında bazı farklılıklar mevcuttur. Örneğin yakıt kükürtü, ön ısıtmalı ve ön kalsinatörlü kuru fırın sistemleri için sorun teşkil etmez ve ana brülörden beslenen yakıtın içindeki organik bileşiklerin tümü yok edilir.

Giren malzemelerin klor içeriğini kısıtlamak, birikimlere neden olarak fırın koşullarını olumsuz etkileyen ve bu nedenle toz emisyonlarının artmasına yol açacak şekilde elektrostatik toz tutucuların performansını bozan alkali klorürlerin (ve diğer metal klorürlerin) oluşumunu azaltır. Yüksek alkali malzemeler, son üründe yüksek alkali içeriğini önlemek amacıyla tozun bir kısmının fırın sistemi içinde geri dönüştürülmesi yerine uzaklaştırılmasını gerektirebilir. Bu durumda düşük alkali malzemelerin kullanılması tozun prosese geri döndürülmesini ve böylece prosesin oluşturduğu atığın azalmasını sağlar.

Genelleşmiş yakıtların ve hammaddelerin yerine değişik türde atıklar kullanılabilir. Ancak, bu atıkların belirli özellikleri ve parametreleri üzerinde dikkatli kalite kontrolü yapılması esastır (bkz. Bölüm 1.2.4 ve 1.2.4.3.2). Uygun ısı değer ve reaktiviteye sahip, düşük nem ve kirletici içeriği olacak şekilde seçilen yakıt olarak kullanılan atıklar, fosil yakıtlardan tasarruf edilmesini sağlayabilir (bkz. Bölüm 1.3.3 ve 1.4.3.3). Hammadde olarak kullanılan ve UOB, halojenli bileşikler ve cıva içeren atıklar, özellikle emisyonlar açısından sorun yaratabilir. Fırın sistemi içine uçucu metal içeriği yüksek olan malzemeleri beslemekten kaçınılmalıdır (bkz. Bölüm 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 ve 1.4.7. Metallerdeki cıva içeriği en aza indirilmelidir, ayrıca cıva emisyonlarını kontrol etmek için fırın sistemine cıva girişini sınırlamak gerekebilir (bkz. Bölüm 1.3.4.13). Bu bağlamda, atıktaki maddeler için derişim aralığı örneklerinin sunulduğu Bölüm 6.2.2.1.1'e de göz atın. UOB/halojenli bileşikler içeren atıklar sadece uçucu bileşenler yeterli tutma süresiyle yüksek sıcaklıklarda ayrıştırılabildiği takdirde kullanılabilir. Atık kullanıldığı takdirde sistematik izleme yapmak gereklidir.

Elde edilen çevresel faydalar

Yakıtların ve hammaddelerin dikkatli seçimi, emisyonlara neden olabilecek maddelerin girişini sınırlandırabilir. Yakıt atıklarının kullanılması fosil yakıtlardan tasarruf edilmesini sağlar ve ayrıca atık sahasına gönderimleri azaltabilir.

Ortamlar arası etkiler

Atıklar dahil her türlü yakıt ve hammaddenin emisyonlar (özellikle cıva gibi uçucu metallerden kaynaklananlar) üzerinde etkisi olabilir.

İşletim verileri

Veri bulunamamıştır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir. Organik maddelerin tamamen yanması sağlandığı ve atık girdi kontrolü ile emisyon kontrolü, örneğin düşük seviyede metal ve dioksin emisyonu oluşumunu garanti ettiği takdirde, uygun atık malzemelerin hammadde olarak kullanımı uygulanabilir niteliktedir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[74, CEMBUREAU, 2006], [76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.3.3 Atıkların yakıt olarak kullanılması

Tanım

Yeterli (net) ısı değerine sahip olan seçilmiş atıklar (bkz. Bölüm 1.3.3.3 ve Tablo 1.20) belirli şartları ve özellikleri karşıladıkları takdirde çimento fırınında kömür gibi genelleşmiş fosil yakıtların yerine yakıt olarak kullanılabilir (bkz. Bölüm 1.2.4.1, Bölüm 1.2.4.3). Bunlar çoğu zaman, ancak klinker pişirme prosesine özel hazırlanmış yakıtları sağlamaya yönelik belirli bir ön arıtma sonrasında kullanılabilirler (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2). Aşağıda belirtilenler gibi değişik kriterler fırının çalışması ve emisyonlar üzerinde etkili olabilecek olan yakıt atıklarının seçiminde belirleyici bir rol oynar:

- ☐ fiziksel kriterler, örn. hava sürüklenme
- ☐ kimyasal kriterler, örn. klor, kükürt, alkali ve fosfat içeriği, reaktivite ve uçucu metal içeriği.

Yakıt atık özelliklerini garanti altına almak için, bir kalite güvence sistemine ihtiyaç vardır. Bu gibi bir güvence sistemi özellikle örnekleme, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili tedbirleri içerir. Daha fazla yararlı bilgi CEN/TC 343 'Geri Kazanılan Katı Yakıtlar' gibi Avrupa Standardizasyon Komitesi teknik şartnamelerinde bulunabilir. Bu bağlamda, atıktaki maddeler için derişim aralığı örneklerinin sunulduğu Bölüm 6.2.2.1.1'e de göz atın.

Yakıtların fırına beslenme şekli, kullanılan atıkların türüne ve özelliklerine bağlı olarak emisyonlar üzerinde etkili olabileceğinden, yakıtların fırına verildikleri noktalar dikkate alınmalıdır (bkz. Bölüm 1.2.5.1). Genel olarak, ana brülörden beslenen yakıtlar en yüksek yanma sıcaklıklarına maruz kalırlar. Besleme noktalarının tümü için sıcaklık ve kalma süreleri, fırın tasarımına ve fırın çalışmasına bağlıdır (bkz. Bölüm 1.2.4.1). Atık Yakma Direktifi'nin (WID) gereksinimlerini karşılamak için proses gazları 850 °C sıcaklığı iki saniye boyunca korumak zorundadır (bkz. Bölüm 1.2.4.3.2 ve 1.3.4.5). Yüzde 1'den fazla klor içeriği olan atıkları kullanırken işletme koşulları 1 100 °C sıcaklık ve iki saniye kalma süresi olmalıdır.

Emisyonları kontrol etmek için ek çevresel teçhizat kurulabilir. Çevre, güvenlik ve kalite standartlarını sağlamak için özel kontrol ve proses teknikleri gereklidir.

Tehlikeli atıkların (sıvı yakıt atıklar) kullanımı için güvenlik yönetimi, örneğin depolama, besleme sırasında dikkate alınmalıdır (bkz. Bölüm 1.2.4.3.3). Ayrıca, ön arıtmaya tabi tutulmuş ve ayıklanmış atık fraksiyonlarından elde edilen yakıt atıklar kullanılırken kendi kendine tutuşma potansiyeli olan malzeme için güvenlik yönetimi dikkate alınmalıdır.

Elde edilen çevresel faydalar

Atık yakıtların seçimi, aşağıdakiler de dahil olmak üzere birbiriyle ilişkili bir dizi husus tarafından yönlendirilir:

- ☐ emisyonların azaltılması, örn. fosil CO₂, NO_x
- ☐ doğal kaynakların kullanımının azaltılması, örn. fosil yakıtlar ve hammaddeler.

Ortamlar arası etkiler

Farklı tür yakıt atıklarının örneğin nem, ısı değer gibi özellikleri ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketimini etkileyebilir, örneğin; düşük (net) ısı değer ve yüksek nem içeriği ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden

olabilir. Aynı enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli ısı değeri daha düşük olan yakıt atıklarının miktarı genelleşmiş yakıtlara kıyasla daha fazladır.

Örneğin yüksek uçucu metal derişimleri gibi özelliklerine bağılı olarak, yakıt atıklarının emisyonları üzerinde etkisi olabilir. Bu kontrol edilebilir ve uygun girdi kontrolüyle en aza indirilebilir.

İşletim verileri

Kullanılan yakıt karışımını değıştirirken, yakıtların türüne ve kullanılan yakıtların ısı değerine bağılı olarak klinkerin ton başına özgül enerji tüketimi çeşitli nedenlerden dolayı farklılık gösterebilir. Fosil yakıtların ısı değerlerinin (ortalama, net) örneğin tipik kömür için 26 – 30 MJ/kg, tipik fuel oil için 40 – 42 MJ/kg olduğu ve plastik malzemelerin ısı değerlerinin 17 ila 40 MJ/kg aralığında olduğu literatürde belirtilmiştir. Bu atıklar arasında ısı değerlerinin çok geniş bir aralıkta, 40 MJ/kg'a varan farklılıklar gösterdikleri akılda tutulmalıdır. Çimento fırınlarında kullanılan hayvan küsesinin (karkas unu) ısı değerlerinin 14 ile 22 MJ/kg arasında olduğu bildirilmektedir.

Uygulanabilirlik

Prensipte organik maddenin tamamen yanması kaydıyla teknikler çimento endüstrisinde uygulanabilir. Atık girdi kontrolü ile emisyon kontrolü, örneğin metaller ve PCDD/F gibi emisyonların düşük seviyede olmasını garanti eder.

Ekonomik boyut

Fosil yakıt kullanımına kıyasla yakıt atıklarının kullanımı işletme maliyetlerini azaltabilir. Enerji kullanımı genel olarak üretim maliyetinin %30 – 40'ını oluşturur. Bu nedenle yakıt maliyetleri çimento üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Maliyetler yakıt atıklarının türlerine ve yerel koşullara göre değışmekle birlikte yakıt atıklar genelleşmiş fosil yakıtlardan daha ucuz olabilir. Bununla birlikte, atık yakıtların sıklıkla bir çimento fırınında kullanılmak üzere ön işleme tabi tutulması ve yeterince homojen hale getirilmesi gerekir, bu da ek maliyetlere neden olabilir. Ayrıca ek izleme ve analiz maliyetleri oluşabilir.

Uygulamanın itici gücü

Ekonomik gereklilikler.

Yakıt giderlerinin azaltılması.

Yerel koşullar

Kaynakların mevcudiyeti.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[59, Avrupa Birliği, 2000], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [74, CEMBUREAU, 2006], [76, Almanya, 2006], [92, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.4 Toz emisyonları (partikül madde)

Bu kısımda, difüz (bkz. Bölüm 1.3.4.1.1 ve 1.3.4.1.2) ve kanalize (bkz. Bölüm 1.3.4.1.3) emisyonları önlemeye yönelik teknikler açıklanmıştır. Bu bağlamda ek bilgilere Depolama Kaynaklı Emisyonlar konulu ve Kimyasal Sektöründe Yaygın Atık Su ve Atık Gaz Arıtma/Yönetim Sistemleri konulu MET-Ref'lerden de ulaşılabilir [95, İsveç, 2006], [96, Avrupa Komisyonu, 2006].

1.4.4.1 Tozlu işlemlere yönelik teknikler

Tanım

Difüz toz emisyon kaynakları ağırlıklı olarak hammaddelerin, yakıtların ve klinkerin depolanması ve taşınması ile üretim alanında kullanılan araç trafiğinden meydana gelir. Olası difüz toz kaynaklarını asgari seviyeye indirmek için basit ve doğrusal bir saha yerleşim düzeni tavsiye edilir. Tesisin tam ve doğru bakımı, hava sızıntı ve sıçrama noktalarının azaltılması sayesinde, her zaman dolaylı olarak

difüz tozun azaltılmasıyla sonuçlanacaktır. Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanılması da difüz tozun azaltılmasına ve sürekli sorunsuz çalışmanın sağlanmasına yardımcı olur.

Burada, ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilecek olan çeşitli difüz toz azaltma teknikleri sunulmuştur (bkz. 1.3.4.1):

- ☐ öğütme, eleme ve karıştırma gibi tozlu işlemlerin muhafaza edilmesi/etrafının kapatılması
- ☐ difüz toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen konveyörler ve asansörlerin etrafının kapatılması
- ☐ hava kaçakları ve sıçrama noktalarının azaltılması, kurulumun tamamlanması
- ☐ otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı
- ☐ sorunsuz işletimin sağlanması
- ☐ tesisin doğru ve eksiksiz bakımı için seyyar ve sabit toz emme:
 - bakım işlemleri sırasında veya taşıma sistemlerinde bir sorun oluştuğunda malzemelerin dökülmesi gerçekleşebilir. Çıkarma işlemleri sırasında difüz toz emisyonlarının oluşmasının engellenmesi için vakum sistemleri kullanılabilir. Yeni binalara sabit toz emme sistemleri kolayca kurulabilir, mevcut binalarda ise hareketli sistemler ve esnek bağlantılar kurulması daha iyi olacaktır.
 - bazı durumlarda, pnömatik aktarım sistemleri için bir dolaşım süreci faydalı olabilir
- ☐ torba filtrelerde havalandırma ve toplama:
 - tüm malzeme taşıma işlemleri mümkün olduğu kadar negatif basınç altında tutulan kapalı sistemlerde yapılmalıdır. Bu amaçla kullanılan emiş havasının tozu daha sonra havaya salınmadan önce bir torba filtre vasıtasıyla giderilir.
- ☐ otomatik taşıma sistemi ile kapalı depolama kullanımı:
 - klinker siloları ve kapalı tam otomatik hammadde depolama alanları yüksek hacimli stokların oluşturduğu difüz toz sorununa en etkili çözüm olarak kabul edilir. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında difüz toz oluşumunu önlemek için bu tür depolar bir veya daha fazla torba filtre ile donatılır.
 - yeterli kapasiteye sahip depolama silolarının ve doldurma işlemi sırasında çıkan tozlu havayı idare etmeye yönelik devre kesici anahtarlı ve filtreli düzey göstergelerinin kullanımı
- ☐ sevk ve yükleme işlemleri için, çimento yüklemeye yönelik toz giderme sistemi ile donatılmış ve kamyonun yükleme zeminine doğru konumlandırılmış olan esnek doldurma borularının kullanımı.

Elde edilen çevresel faydalar

Difüz toz emisyonlarının azaltılması.

Gürültünün azaltılması makinelerin etrafının kapatılması ile de mümkündür.

Ortamlar arası etkiler

Vakum sistemlerinin kullanılması enerji tüketimini artırır.

Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknikçe bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknikçe bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[76, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.4.2 Toplu depolama alanları ve stok depolarına yönelik teknikler

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Tozlu mineral hammaddelerinin veya yakıtların toplu depolama alanlarından açık havaya difüz emisyonların azaltılması için, bu tür toplu depolama alanları ve stok depoları perde, duvar veya dikey yeşillikten oluşan çevreleyiciler (açık stok için doğal veya yapay rüzgar bariyerleri) ile kapatılabilir.

Difüz toz azaltma için bazı teknikler şunlardır:

- ☐ açık stok rüzgar koruması:
 - tozlu malzemelerin açık havada depolanmasından kaçınılmalıdır, ancak bu mümkün olmadığında da uygun şekilde tasarlanmış rüzgar bariyerleri kullanarak difüz tozu azaltmak mümkündür
- ☐ su püskürtme ve kimyasal toz bastırıcılar:
 - Difüz tozun noktasal kaynağı iyi bir konumda yer aldığında, bir su püskürtme enjeksiyon sistemi kurulabilir. Toz parçacıklarının nemlendirilmesi toplaşma ve böylece tozun çökmesine yardımcı olur. Su püskürtmenin genel verimliliğini artırmak için çok çeşitli maddeler mevcuttur
- ☐ asfaltlama, yol ıslatma ve temizlik:
 - kamyonların kullandığı alanlar mümkün olduğunca asfaltlanmalı ve yüzey mümkün olduğunca temiz tutulmalıdır. Yolları ıslatmak, özellikle kuru havalarda difüz toz emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca yol süpürme makineleri de temizlik için kullanılabilir. Difüz toz emisyonlarını en alt seviyede tutmak için iyi temizlik uygulamaları kullanılmalıdır.
- ☐ stokların nemlendirilmesi:
 - stoklardaki difüz toz emisyonları, yükleme ve boşaltma noktalarının yeterli nemlendirilmesi ve yüksekliği ayarlanabilir konveyör bantları kullanılarak azaltılabilir.

Depolama alanlarının yükleme veya boşaltım noktalarından gerçekleşen difüz toz emisyonları önlenemiyorsa; boşaltım noktasının yüksekliğinin, yığının değişken yüksekliğine mümkünse otomatik olarak uydurulması veya yükün boşaltım hızının azaltılması ile bu emisyonlar azaltılabilir.

Ortamlar arası etkiler

Alanların ıslak tutulması su tüketimini artırır.

Vakum sistemleri ve püskürtme sistemlerinin kullanılması enerji tüketimini artırır.

Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknikçe bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknikçe bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri, İspanya'daki Gador tesisi.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [45, Schorcht, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.4.3 Kanalize toz emisyonlarının azaltılması

Çimento fabrikalarından kaynaklanan toz emisyonlarının farklı ana noktasal kaynakları vardır. Bunlar fırın sistemleri, klinker soğutucuları ile hammadde, çimento ve kömür değirmenleri ve yardımcı proseslerdir. İnce tozun (PM_{10} , $PM_{2.5}$) büyük bir bölümü toplam toz yükünü azaltmak ve yüksek verimli tozsuzlaştırma sistemleri kullanmak suretiyle azaltılabilir. Bu işler için geçmişte çeşitli tozsuzlaştırma cihazları kullanılmıştır, ancak 2007 yılında toz azaltma için kullanılan başlıca kuru baca gazı filtre sistemleri, torba filtreler, elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) veya her ikisinin bileşimi olan hibrid filtrelerdir. Bazı durumlarda, sinterlenmiş lamel filtrelerin kullanıldığı rapor edilmiştir ancak bunlar çimento fırını uygulamalarında kullanılmamıştır. ESP, torba filtre sistem türleri ve filtre tozu ile toz emme miktarları Tablo 1.24'te gösterilmiştir. Malzemelerin taşınma ve depolamasının yanı sıra hammaddelerin ve yakıtların ezilmesinden ve öğütülmesinden kaynaklanan difüz toz emisyonları da önemli olabilir (bkz. Bölüm 1.4.4.1 ve 1.4.4.2). Tablo 1.31, bu bölümün metninde bulunan işletimsel verilerin bir özetini göstermektedir. Bu tabloda bir genel bakış verilmiş olup takip eden uygun bölüm ve paragraflarla bir arada okunmalıdır.

ESP'lerin ve torba filtrelerin kendilerine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Her ikisi de normal çalışma sırasında çok yüksek tozsuzlaştırma verimliliğine sahiptir. Yüksek CO derişimi, fırın çalıştırma, fırın kapatma veya bileşik çalışmadan (ham değirmen açık) doğrudan çalışmaya (ham değirmen kapalı) geçiş gibi özel koşullar durumunda, ESP'lerin verimliliği önemli ölçüde azalabilirken torba filtrelerin verimliliği daha az etkilenir. Ancak ESP kullanılan durumlarda CO aşımalarının etkileri Bölüm 6.2.6'da görüldüğü üzere en aza indirilebilir. ESP'ler ve torba filtreler % 99 partikül alıkoymanın üzerinde yüksek genel verimliliğe sahiptir ve her ikisi de partikül boyutundan etkilenir. Yeterli verimliliği sürdürmek için her iki tip filtre sisteminin de uygun şekilde (periyodik olarak) bakımı yapılmalıdır. Dışa atım gazı sıcaklığına bağlı olarak, farklı filtre ortamı türlerinin kullanılması gerekir. Torba filtrelerin bir dezavantajı kullanılmış filtre torbalarının atık olmaları nedeniyle ulusal yönetmelikler uyarınca bertaraf edilmeleri gereğidir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWO CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

Tablo 1.31: Çimento üretim sürecinde toz kontrol tekniklerine genel bakış

Tedbir/teknik	Uygulanabilirlik	Emisyon verisi ⁽¹⁾		Maliyet ⁽²⁾	
		mg/Nm ³ ⁽³⁾	kg/ton ⁽⁴⁾	Yatırım	İşletme
				Milyon EUR	EUR/t klinker
Elektrostatik toz tutucular	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucuları, çimento değirmenleri	<10 – <20 <10 – <20 <10	0,02 – 0,05 0,02 – 0,05 0,02	2,1 – 6,0 0,8 – 1,2 0,8 – 1,2	0,1 – 0,2 0,09 – 0,18 0,09 – 0,18
Torba filtreler	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucuları, değirmenler (hammadde, çimento, kömür değirmenleri)	<5 <5 <10	0,01 0,01 0,02	2,1 – 6,0 ⁽⁵⁾ 1,0 – 1,4 ⁽⁵⁾ 0,3 – 0,5 ⁽⁵⁾	0,15 – 0,35 0,1 – 0,15 0,03 – 0,04
Hibrit filtreler	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucuları, çimento değirmenleri	<10 – 20	0,02 – 0,05		
Difüz toz azaltma	Tüm tesisler	-	-	-	-

(1) Emisyon verileri bu kısmın ilgili paragrafında bulunabilir
(2) Normalde günlük 3 000 ton klinker fırın kapasitesine ve 500 g toz/Nm³e varan başlangıç emisyonlarına işaret eden, 10 – 30 mg/Nm³e emisyon azaltma maliyeti
(3) Fırın sistemleri için günlük ortalamalar, kuru gaz, 273 K, 101,3 kPa ve % 10 O₂
(4) kg/ton klinker: 2 300 m³/ton klinkeri baz alarak
(5) %99,9'un üzerinde ayırma verimleri için kullanılan filtre ortamına bağlıdır, bkz. Tablo 1.32

ESP, torba filtre sistem türleri ve filtre tozu ile birlikte toz emme miktarlarına daha fazla örnek Bölüm 1.3.4.1.1'de ve Tablo 1.2.4'te gösterilmiştir. Bu değerler tipik aralıkları temsil etmekle birlikte, genel bakış ayrıca duruma göre filtre tozu ve toz emme tahminlerine de imkan tanımaktadır [76, Almanya, 2006].

1.4.4.3.1 Elektrostatik toz tutucular (ESP)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) partikül maddelerin hava akımı içinde izlediği yol boyunca bir elektrostatik alan oluşturur. Partiküller negatif yüklü hale gelirler ve pozitif yüklü toplama plakalarına doğru hareketlenirler. Toplama plakaları periyodik olarak sallanarak veya titretilerek materyalin yerinden oynaması ve altta bulunan toplama hunilerine düşmesi sağlanır. Partiküllerin yeniden yakalanmalarını, böylelikle baca gazı görünürlüğünü etkileme potansiyelini en aza indirmek amacıyla ESP'lerin sallanma döngülerinin optimize edilmesi önemlidir. ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve yüksek nem şartlarında çalışabilmeleridir.

ESP performansı, aşağıdakiler gibi çeşitli işletimsel parametrelere bağlıdır:

- ☐ gazın nem içeriği
- ☐ baca gazı kimyası
- ☐ baca gazı akış hızı
- ☐ partikül boyutu dağılımı ve kimyasal takviyesi
- ☐ partikül elektrik direnci
- ☐ partikül yükleme hızı
- ☐ gaz sıcaklığı
- ☐ işletim başlatma ve durdurma
- ☐ elektrik alanının gücü
- ☐ elektrotların alanı ve şekli
- ☐ SO₂ derişimi
- ☐ nem içeriği
- ☐ farklı çalışma koşulları arasında geçiş aşamaları.

Performans özellikle materyalin elektrotlar üzerinde birikerek bir yalıtım tabakası oluşturması ve bu nedenle elektrik alanını küçülmesi nedeniyle bozulabilir. Bu durum, yüksek miktarda klorun ve kükürtün fırın prosesine girmesi halinde, alkali metal klorürleri ve sülfatlarının oluşmasıyla meydana gelebilir. Alkali metal klorürleri mikronaltı toz (0.1 - 1 µm) oluşturabilir ve yüksek özgül toz direncine ($10^{12} - 10^{13} \Omega/\text{cm}$ arasında) sahip olduğundan, elektrotlar üzerinde yalıtım tabakaları oluşturarak toz gidermede sorunlara yol açar.

Yüksek toz direnci sorunları buharlaşma soğutucularında su enjeksiyonu yoluyla kısmen çözülebilir. Sorunu çözenin başka bir yolu da torba filtreler kullanmaktır.

Ortamlar arası etkiler

Alkali metal klorürleri ve mikronaltı toz parçacıkları içeren sülfatlar oluşabilir.

Yüksek CO derişimi durumlarında (CO aşımaları) patlama riskleri ortaya çıkar (bkz. Bölüm 1.4.5.3).

Artan giderme verimi ile birlikte elektrik enerjisi tüketimi artar. Bakım

sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

Toz yeniden kullanılabilir.

İşletim verileri

Yeterli boyuta sahip ESP'ler, iyi iklimlendirme ve optimize ESP temizleme rejimiyle birlikte aylık ortalama cinsinden seviyeleri 5 – 15 mg/Nm³'e kadar düşürebilir (kuru gaz, 273 K, %10 O₂). Tasarlanmış partikül toplama verimliliği %99,99'dan daha fazladır ve bu sayede yalnızca birkaç mg/Nm³ büyüklüğünde emisyon değerleri elde edilebilir. Partiküllerin kümeleşme yeteneğine sahip olmaları kaydıyla ESP'ler çok ince partikülleri (<0,5 µm) toplamak için son derece etkili cihazlardır. ESP'ler ağır işe uygun tasarıma sahiptir, bu sayede uygulama alanları geniş olup prostedeki aksaklıklara nispeten duyarsızdırlar. Mevcut ESP kurulumları genelde tümünden değiştirilmeden yenilenebilir ve böylelikle maliyetler sınırlandırılabilir. Bu işlem eski kurulumlara daha modern elektrotlar takmak veya otomatik voltaj kontrolünün kurulması suretiyle yapılabilir. Ayrıca, ESP'den gaz geçişini iyileştirmek veya ilave kademeler eklemek mümkündür. 2006 yılında, iyi tasarlanmış ve iyi bakımlı olan birçok ESP için <10 mg/Nm³ (günlük ortalama değer) toz emisyon seviyeleri elde edilmiştir. 10 mg/Nm³'ten daha düşük emisyonu sahip bir ESP en modern proses kontrol uygulamasına, optimum yüksek gerilim malzemelerine, uygun boyutlandırmaya ve uygun sayıda elektrik alanına sahip olacak şekilde imal edilebilir.

ESP tozun yanı sıra varsa dioksinler ve metaller gibi toz partiküllerine adsorbe olan maddeleri de giderir.

ESP'lerin ebadı ve elektrik tüketimi, temiz gaz toz içeriğine ters orantılı olarak üssel değişim gösterir. ESP'nin optimum çalışması sıcaklık ve nem gibi tanımlanmış ham gaz koşullarına bağlıdır. ESP'nin ömrü, tavsiye edilen tüm bakımların düzgün şekilde yapılması kaydıyla onlarca yıl sürebilir. Rutin bakımın bir parçası olarak çekiçler ve yataklar gibi bazı parçaların birkaç yıl çalışmadan sonra düzenli olarak değiştirilmeleri gerekir.

Uygulanabilirlik

Yüksek verimlilikleri, düşük basınç düşüşleri, kolay bulunabilirlikleri ve enerji verimlilikleri sayesinde elektrostatik toz tutucular döner fırın ve klinker soğutucu dışa atım gazlarından toz toplamak amacıyla başarıyla uygulanmışlardır. ESP'ler, fırın dışa atım gazından, baypas gazından veya ızgaralı soğutucudan çıkan havadan tozun toplanması amacıyla, hemen hemen tüm çimento fırınlarında kullanılabilir.

ESP'lerin çimento endüstrisinde kullanılan değişik türdeki proseslere uygulanabilirliği konusunda herhangi bir kısıtlama olmadığı literatürde belirtilmiştir. Ancak ESP'ler yatırım maliyetleri ve devreye alma ve devreden çıkartma sırasındaki verimlilikleri (nispeten yüksek emisyonlar) nedeniyle çoğu zaman çimento değirmeni toz giderimi için tercih edilmezler.

ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve yüksek nem şartlarında çalışabilmeleridir. Bu tedbirin/teknikğin en büyük dezavantajı yüksek klor ve kükürt girişleri yüzünden oluşabilecek yalıtım tabakası ve materyal birikimi nedeniyle

verimliliklerinin düşmesidir. ESP'lerin genel performansı bakımından CO aşımlarından kaçınmak önemlidir (bkz. Bölüm 1.2.5.6.1, 1.4.5.3 ve 6.2.6).

Bazı durumlarda, baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin güvenlik nedenleriyle kapatılmasını gerektirecektir (CO aşımları) (ayrıca bkz. Bölüm 1.3.4.1.1, 1.4.3.1, 1.4.5.3 ve 6.2.6).

Ekonomik boyut

2000 yılında 3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, başlangıç emisyon seviyeleri 500 g/Nm³'e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği 10 – 50 mg/Nm³ olan bir fırın için yeni bir ESP'nin maliyeti yaklaşık 1,5 – 3,8 milyon avro iken isteğe bağlı olarak şartlandırma kulesi ve filtre fanı için ek 0,6 – 0,8 milyon avro gerekmektedir. Aynı fırın ESP'sinin işletme gideri ise ton klinker başına yaklaşık 0,1 –

0,2 avro idi. 3000 ton klinker/gün kapasiteye sahip, başlangıç emisyon seviyeleri 20 g/Nm³'e varan ve temiz gaz toz içeriği 10 – 50 mg/Nm³ olan bir fırının klinker soğutucusu için; saatte 160 ton çimento kapasitesi olan, ilk emisyon seviyeleri 300 g/Nm³'e varan ve temiz gaz toz içeriği 10 – 50 mg/Nm³ olan bir bilyalı çimento değirmeni için, ESP yatırım maliyeti 0,8 – 1,2 milyon avro, işletme maliyeti ton klinker başına 0,09 – 0,18 avro idi.

2006 yılında, fırın dışı atım gazını tozsuzlaştırma (fırın: 3000 t/gün) için gerekli yatırım maliyetinin 4,5 ila 6 milyon avro arasında olduğu rapor edilmiştir. Bu geniş aralık yerel imalat maliyetlerine, oldukça farklı olabilen kurulum maliyetlerine ve fırın ile ESP'nin, verimliliğin bir fonksiyonu olan ebadına bağlıdır. İşletme ve bakım maliyetleri normalde düşüktür. Aradaki fark büyük ölçüde enerji tüketiminin ve bakım giderlerine ilişkin yerel ölçekte yapılan değerlendirmeye bağlıdır (ayrıca bkz. Bölüm 1.3.4.1.1, Tablo 1.24) [76, Almanya, 2006].

Ayrıca Bölüm 1.4.8.1'e ve toz azaltma teknikleri için örnek maliyet verilerinin gösterildiği Tablo 1.39'a göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[3, Avusturya, 1997], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagström, 1994], [12, Hollanda, 1997], [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996], [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.4.3.2 Torba filtreler

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Torba filtreler verimli toz toplayıcılardır. Torbalı filtrelemenin temel prensibi, gazı geçirecek ancak tozu tutacak kumaş membranının kullanılmasıdır. Filtre ortamı geometrik olarak düzenlenir, ancak Şekil 1.60'da gösterildiği gibi silindirik filtre torbaları (dikey asılı) ile genellikle yatay olarak monte edilen filtre cepleri arasında bir ayırım yapılmıştır. Başlangıçta toz hem yüzeydeki lifler üzerinde hem de kumaşın derinlerinde birikir, ancak yüzey tabakası oluştuğunda tozun kendisi baskın filtre ortamı haline gelir. Çıkan gaz torbanın içinden dışarıya doğru veya dışından içeriye doğru akabilir. Toz keki kalınlaştıkça gaz akışına karşı direnç artar. Bu nedenle filtre boyunca gaz basıncı düşüşünü kontrol etmek için filtre ortamının periyodik olarak temizlenmesi gereklidir. Temizlik türüne bağlı olarak, en yaygın temizleme yöntemleri arasında ters hava akımı, mekanik sallama veya çalkalama, titreşim, basınçlı hava darbesi (atımlı püskürtme filtreleri) yer alır. Torba filtrede, herhangi bir torba arızası sırasında bireysel olarak izole edilebilen birden fazla bölme olmalı ve bunların sayısı herhangi bir bölme devre dışı bırakıldığında yeterli performansı sağlamaya yeterli

olmalıdır. Her bölmede, torbanın patlaması halinde bakıma ihtiyaç olduğunu belirten ‘patlak torba detektörleri’ bulunmalıdır.

Filtre torbaları, çeşitli dokuma ve dokuma olmayan kumaşlardan yapılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamaları 'normalde' tedarik edilenlerden daha egzotik kumaş türlerine ihtiyaç duyulmasına yol açacaktır. Ancak bunların da değişik çeşitleri mevcuttur. Modern sentetik kumaşlar 280 °C ‘ye varan oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Farklı torba filtrelerin temel özellikleri ve maliyet cetvelleri Tablo 1.32'de gösterilmiştir.



Kaynak: [82, CEMEX Rugby UK, 2006]

Şekil 1.60: İngiltere'de bir çimento tesisinde kullanılan torba filtre ve filtre malzemesi örneği

Ortamlar arası etkiler

Artan giderme verimi ile birlikte artan elektrik enerjisi tüketimi.
Temizleme döngüsü için artan basınçlı hava ihtiyacı.
Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir. Sinterlenmiş lamel filtreler kullanıldığında gürültü emisyonları meydana gelebilir.

İşletim verileri

Modern sentetik kumaşlar 280 °C ‘ye varan oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışabilen malzemeler içerir. Tipik filtre sınıflandırma değerleri 0,5 ila 2,0 m/dakika arasındadır. Süzme verimliliği % 99,9’un üstünde olabilir ve bu nedenle, iyi tasarlanmış ve iyi bakımlı torba filtrelerle 5 mg/Nm³’ün altında emisyonlar elde edilebilir (kuru gaz, 273 K, %10 O₂). Torba filtre tozun yanı sıra varsa dioksinler ve metaller gibi toz partiküllerine adsorbe olan maddeleri de giderir.

Farklı torba filtrelerin temel özellikleri ve maliyet cetvelleri Tablo 1.32'de gösterilmiştir:

Tablo 1.32: Farklı filtre ortamlarının temel özellikleri ve maliyet çizelgeleri

Liflerin çimento üretim proseslerinde ve çimento fabrikalarında teknik uygulaması											
Lif türleri (marka belirlenmemiştir)		Sıcaklık (°C)		Asitlere direnç	Alkalilere karşı direnç (en yüksek)	Hidrolyz/sıcak nem	Oksitleme/oksijen >% 13	Çimento tesisinde uygulama için aşınma direnci	Yüzey işleme <u>olmadan</u> filtreleme verimliliği	Filtreleme ve ekonomide iyileşme sağlamaya yönelik kimyasal veya mekanik yüzey işleme	Kurulu birim alan başına nispi maliyetler
		Nominal	Zirve								
Pamuk		80	80	Zayıf	İyi			İyi	Çok iyi		Düşük
Polipropilen	PP	90	100	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Uygulamalar için gerekli değil	Düşük
Yün				Yeterli	Zayıf				Çok iyi		Düşük
Poliester	PES	150	160	Düşük	Yeterli	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Proses için evet, difüz toz toplayıcı siloları için hayır	Düşük
Poliakrilonitril kopolimer	PAN	110	120	İyi	Yeterli	Mükemmel	Mükemmel	İyi	İyi		Düşük
Poliakrilonitril homopolimer >% 95		125	135						İyi		Düşük
Naylon			205	Zayıftan yeterliye	Mükemmel			Mükemmel	Mükemmel		
Aramid (meta)/aromatik poliamid	AR/PA	180	200	Yeterli	İyi	Yeterli	Mükemmel	İyi	İyi	Proses gazı arıtma uygulamaları için evet	Orta
Polivililensülfür	PPS	180	200	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Zayıf	İyi	İyi		Orta
Poliimid	PI	180	240	Yeterli	Yeterli	Yeterli	İyi	İyi	Mükemmel	Lif yapısı nedeniyle gerekli değildir	Yüksek
Dokuma cam elyaf	GF	280	280	HF hariç iyi	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	Yeterli	Düşük filtreleme hızı önerilir	Orta
ePTFE membranlı cam elyaf (geniştirilmiş)	GF+Mem.	260	280					Yeterli	Üstün	Membran nedeniyle dahil	Yüksek
Politetrafloroetilen	PTFE	250	260	Üstün	Üstün	Üstün	Üstün	Yeterli	Zayıf	Şiddetle tavsiye edilir	Çok yüksek
Tablo, çimento tesisleri için tipik olan orta ila büyük ölçekli satın alma için ortalama maliyetleri göstermektedir. Maliyetler, enerji ve filtre ortamına bağlı olarak değişecektir.											
Maliyet cetveli	Düşük	m² başına 10 avroya kadar filtre kumaşı, fabrika çıkışı, paketlenmiş, kurulu değil									
	Orta	m² başına 10 ila 20 avroya kadar filtre kumaşı, fabrika çıkışı, paketlenmiş, kurulu değil									
	Yüksek	m² başına 20 ila 40 avroya kadar filtre kumaşı, fabrika çıkışı, paketlenmiş, kurulu değil									
	Çok yüksek	m² başına 40 avronun üzerinde filtre kumaşı, fabrika çıkışı, paketlenmiş, kurulu değil									
Kaynak: [86, EURITS, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006] [134, CEMBUREAU/Federhen, 2007]											

Uygulanabilirlik

Bu tedbir/teknik, prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir ve fırın dışı atım gazından, baypas gazından veya ızgaralı soğutucudan çıkan havadan tozun toplanması amacıyla, hemen hemen tüm çimento fırınlarında kullanılabilir. Torba filtrelerin çimento endüstrisinde kullanılan değişik türdeki proseslere uygulanabilirliği konusunda herhangi bir kısıtlama olmadığı literatürde belirtilmiştir. Ancak, nem ve sıcaklık dikkate alınmalıdır.

Torba filtrelerin performansı, esas olarak filtre ortamının baca gazı ve tozunun özellikleri ile uyumluluğu, hidroliz, asit ve alkali gibi termal, fiziksel ve kimyasal direnç için uygun özellikler ile oksidasyon ve proses sıcaklığı gibi farklı parametrelerden etkilenir. Bir filtrenin önemli özellikleri filtreleme yüzeyinin boyutu, ayırma etkinliği ve “filtre fark basıncı” diye adlandırılan, filtrelemeye karşı dirençtir. Bu değer, filtre ortamının ve tozun özelliklerine bağlıdır. Bir filtre tasarımının temel parametresi hacimsel akıştır. Bu nedenle, filtrenin türüne, tozun ve gazın miktarı ve özelliklerine bağlı olan filtre sınıflandırılması belirlenmelidir.

Torba filtrelerin hizmet ömrü ile enerji ve bakım ihtiyaçları termal ve mekanik gerilimden etkilenmektedir. Gaz akış hızı, toz keki kalınlığı, gözeneklilik ve temizleme döngüsü giderme verimini etkileyebilir. Ortamdaki basınç düşüşünün azaltılması, sürekli izleme ve dedektörler sayesinde muhtemel sızıntıların hızlı tespiti ve temizleme sistemleri gibi iyileştirmeler filtre ömrünün daha uzun olmasını ve maliyetlerin daha düşük olmasını sağlar. Ayrıca, filtre malzemesinin temizleme döngüleri ve temizleme yöntemleri temizleme sisteminin verimliliğini etkileyebilir. Yapılan testler, örneğin alçak basınçlı atımlı püskürtmeli temizleme sistemi kullanmak suretiyle verimliliğin artırılabilirliğini ve aynı zamanda elektrik tüketiminin en aza indirileceğini, ayrıca gürültü emisyonu yönünden büyük avantajlar sağlanacağını göstermektedir. Bu sistem döner fırınların dışı atım gazını tozsuzlaştırmak için ve bunun yanı sıra alkali baypasını, klinker soğutucuyu, değirmenleri ve klasifikatörleri tozsuzlaştırmak için kullanılır.

Torba filtrelerle birlikte siklonlar, klinker soğutucu sistemlerine uygulanabilir. Siklon/santrifüjlü ayırıcıda, çıkış gazı akışından gelen toz partikülleri merkezkaç eylemiyle ünitenin dış duvarına itilir ve ünitenin dibindeki bir açıklıktan atılır. Merkezkaç kuvveti, gaz akışını aşağı doğru spiral bir hareketle silindirik şeklinde bir kaba yönlendirerek (siklonlu ayırıcılar) veya üniteye dönen bir pervane takılarak (mekanik santrifüjlü ayırıcılar) oluşturulabilir. Çimento endüstrisinde siklonlar sıcaklık düşürmeye yönelik bir hava ısı eşanjörü ve toz giderimi için (örneğin dışı atım gazı soğutmasından) torba filtre sistemiyle birlikte kullanılır. Bir siklon, toz derişimini %70 oranında azaltabilir. Bir hava ısı eşanjörü ve torba filtre ile birlikte, 5 - 7 mg/Nm³’lük düşük emisyon değerlerinin yanı sıra % 99,99’a varan yüksek temizlik verimliliği elde edilebilir. Ancak siklonun (örneğin 25 m uzunluk, 6.4 m yükseklik, 6.4 m çap) ve kombine ısı eşanjörünün büyük ebatları nedeniyle inşaat için yeterli alan gereklidir. Ayrıca, bir yandan ilave elektrik enerjisi kullanılırken diğer yandan da ayrılmış tozun toplanması ve geri kazanımı daha düşük hammadde tüketimine yol açabilir [148, Reitemeier, 2005].

Bazen filtre ortamı olarak sinterlenmiş lamel filtreler kullanılır ancak bunlar çimento fırını uygulamalarında kullanılmaz. Uygulamadan elde edilen deneyimler tamamıyla sinterlenmiş ve kompakt şekilleri ve özel PTFE kaplamaları nedeniyle sinterlenmiş lamellerin çok dayanıklı olduklarını ve az bakım gerektirdiklerini göstermiştir. Bu modern filtre ortamının temel avantajları, çıkış gazlarındaki tozların düşük basınç düşüşüyle çok verimli bir şekilde temizlemesi ve aşınmaya karşı yüksek direncidir. Filtre geometrisi kompakt bir yapı sağlar ve filtre yer çok sıkışık olduğunda bile kurulabilir. Kompakt gürültü engelleme muhafazası kullanmak suretiyle gürültü emisyonları en aza indirilebilir [144, Adlloch, 1996].

Ekonomik boyut

3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, başlangıç emisyon seviyeleri 500 g/Nm³’e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği 10 – 50 mg/Nm³ olan bir fırına yeni torba filtre takmanın yaklaşık 1,5 – 8 milyon avro iken isteğe bağlı olarak şartlandırma kulesi ve filtre fanı için ek 0,6 – 0,8 milyon avro gerekmektedir. Fırın dışı atım gazlarının toz gideriminde % 99,9’dan fazla ayırma verimliliği elde etmek için gerekli torba filtre tesislerinin (torba filtreler)

yatırım maliyeti kullanılacak filtre torbalarının türüne ve sayısına bağlı olarak 4 milyon ila 8 milyon avro arasında değişebilir. Tablo 1.32’de gösterildiği üzere bir filtre torbasında Nm^2 başına 10 avro maliyetle bakım masrafının düşük olduğu görülmektedir. Ancak fırın çıkış filtrelerinde binlerce torba bulunabilir, bu nedenle çok geniş bir filtre kumaşı alanı binlerce Nm^2 ile ifade edilir. İşletim ve bakım giderleri büyük ölçüde enerji tüketiminin ve bakım giderlerine ilişkin yerel ölçekte yapılan değerlendirmeye bağlıdır (ayrıca bkz. Bölüm 1.3.4.1.1 ve Tablo 1.24).

Şartlandırma kuleleri genelde torba filtre işletimi için uygulanabilir sıcaklıklar elde etme amacıyla uygulanır. Fırın torba filtresinin işletme gideri ise ton klinker başına yaklaşık 0,10–0,35 avrodur. 3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, başlangıç emisyon seviyesi 20 g/Nm^3 ’e varan ve temiz gaz toz içeriği $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ olan bir fırın söz konusu olduğunda havadan havaya ısı eşanjörü ile ızgaralı klinker soğutucu için filtre fanına sahip bir atımlı püskürtmeli torba filtrenin maliyeti yaklaşık 1,0–1,4 milyon avro ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 0,10–0,15 avro’dur. 160 ton çimento/gün kapasitesi olan, başlangıç emisyon seviyesi 300 g/Nm^3 ’e varan ve temiz gaz toz içeriği $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ olan bir bilyalı çimento değirmeni için atımlı püskürtme torba filtrenin yatırım maliyeti filtre fanı dahil yaklaşık 0,3–0,5 milyon avro ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 0,03–0,04 avro’dur [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

İşletme maliyetlerini optimize etmek üzere çeşitli çimento tesisleri, optimize edilmiş basınçlı atımlı püskürtme temizleme sistemleri kurmuştur. Torba filtrelerde maliyet tasarrufunu etkileyen üç faktör filtre alanı yüklemesi, filtre basınç farkı ve temizleme sistemidir. Bu parametrelerin karşılıklı etkileşimlerinden dolayı amaç mümkün olan en yüksek hava:kumaş alanı oranını, mümkün olan en düşük basınç farkını ve mümkün olan en düşük temizlik basıncını elde etmektir. Yüzde 12 ila 25 aralığında toplam maliyet tasarrufu (yatırım ve işletme maliyetleri) rapor edilmiştir.

Ayrıca farklı torba filtrelerin temel özellikleri ve maliyet cetvelleri için yukarıdaki Tablo 1.32’ye göz atın: Bunun yanı sıra Bölüm 1.4.8.1’de ve toz azaltma teknikleri için örnek maliyet verilerinin gösterildiği Tablo 1.39’a göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

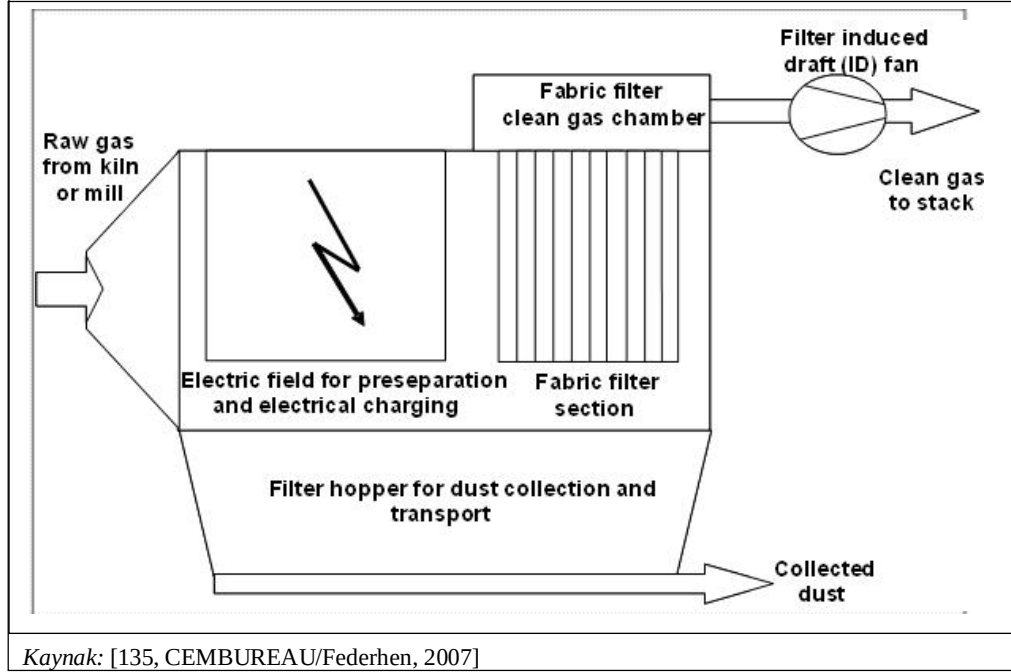
AB-27’de bulunan çimento tesisleri; Güney Afrika’da Dudfield çimento tesisi (hava-hava ısı eşanjörü ve torba filtre tesisleri (torba filtreler) ile birlikte siklon kullanımı), Almanya’da bulunan bir çimento tesisi (sinterlenmiş lamel filtre kullanımı).

[3, Avusturya, 1997], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement UK, 2006], [86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [134, CEMBUREAU/Federhen, 2007], [144, Adlhoch, 1996], [145, Leibinger/Köberl, 2001], [146, Leibinger/Neumann, 2003], [147, Marmor/Petzold, 2006], [148, Reitemeier, 2005], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.4.3.3 Hibrit filtreler

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Hibrit filtreler ESP'lerin ve torba filtrelerin aynı cihazda birleştirilmiş halidir. Bunlar genellikle mevcut ESP'lerin dönüştürülmesi yoluyla oluşturulurlar. Eski teçhizatın kısmen tekrar kullanımına olanak sağlarlar. Bir hibrit filtrenin çalışma prensibi Şekil 1.61'de gösterilmiştir.



Şekil 1.61: Toz toplamaya yönelik hibrit filtre

Ortamlar arası etkiler

Yüksek CO derişimi durumlarında (CO aşımaları) patlama riskleri ortaya çıkar. Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

ESP'lere kıyasla daha az su kullanımı.

Torba filtrelerle kıyasla daha az proses kaybı/atığı.

İşletim verileri

Fırınlara kurulan hibrit filtrelerden yayılan toz emisyonlarının günlük ortalama değeri olarak <10 ila 20 mg/Nm^3 arasında değiştiği rapor edilmiştir (bkz. Bölüm 1.3.4.1.1). Ancak bakımı iyi yapılan torba filtrelerden 10 mg/Nm^3 'ün altında toz emisyonları elde edilmiştir (bkz. Bölüm 1.4.4.3.2).

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Ayrıca Bölüm 1.4.8.1'e ve toz azaltma teknikleri için örnek maliyet verilerinin gösterildiği Tablo 1.39'a göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri, İspanya'daki Gador ve Sagunto tesisleri.

[86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [135, CEMBUREAU/Federhen, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5 Gaz halindeki bileşikler

1.4.5.1 NO_x emisyonlarının azaltılması

NO_x emisyonlarının azaltılması veya kontrol altına alınması için birincil ve/veya prosese entegre edilmiş teknikler ile ikincil tekniklerin, tek başlarına veya birlikte kullanılması uygun görülmektedir. Birincil teknikler aşağıda belirtilmiştir:

- ☐ alev soğutma, örn. yüksek su içeriği, sıvı/katı atıklar
- ☐ düşük NO_x brülörleri
- ☐ fırın ortasında pişirme
- ☐ farinin yanabilirliğini iyileştirmek için mineralleştiricilerin eklenmesi (mineralize klinker)
- ☐ kademeli yanma (genelleşmiş yakıt veya yakıt atıklar) aynı zamanda ön kalsinatör ile birlikte ve optimize edilmiş yakıt karışımı kullanarak
- ☐ proses optimizasyonu.

Ayrıca, NO_x azaltımı için aşağıdakiler gibi ikincil teknikler kullanılabilir:

- ☐ SNCR tekniği ve yüksek verimli SNCR tekniği
- ☐ SCR tekniği.

Çevre/güvenlik nedenleri ve ekonomik nedenlerle NO_x azaltma süreci, tercihen prosese entegre edilmiş teknikler ve kontrol teknikleri, kademeli yanma ve alev soğutma, geliştirilmiş pişirme tekniği, optimize edilmiş soğutucu bağlantıları ve yakıt seçimi gibi genel birincil teknikleri uygulamak suretiyle başlamalıdır. Bunlar NO_x emisyonlarını da azaltır (örn. seçilmiş atıkların kullanılması). Bazı iyi optimize edilmiş ön ısıtıcı fırın sistemleri ve ön ısıtıcı/ön kalsinatör fırın sistemleri, sadece birincil teknikler ile veya kademeli yanma ile kombinasyon halinde, bunun yanı sıra yakıt karışımı kullanımı ile prosese entegre tekniklerin kombinasyonu ile, 500 mg NO_x/Nm³'ün altında değerler elde etmektedir. Bu seviyeye ulaşamadığında, hammadde karışımının yanı sıra yakıt karışımının yanabilirliği ve fırın sistem tasarımları, bu durumun altında yatan nedenler arasındadır. Ancak, Tablo 1.33'te gösterildiği gibi AB-27'de bulunan birçok çimento tesisinde (2008 yılında %42) NO_x azaltımı için birincil teknikler ile birlikte SNCR tekniği kullanılmıştır [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006]. Ayrıca, iki çimento tesisi SCR tekniğini (yüksek toz) kullanmaktadır.

AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde (bkz.; Terimler Sözlüğü) NO_x emisyonlarını azaltmak için azaltım tekniklerini kullandığı bilinen büyük çaplı tesislerin sayısı Tablo 1.33'te verilmektedir.

Tablo 1.33: AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde çimento endüstrilerinde kullanılan NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik teknikler

NO _x emisyonlarını azaltmaya/kontrol etmeye yönelik teknikler						
Ülke		Alev soğutma	Mineralize klinker	Kademeli yakma	SNCR	SCR
Belçika	BE	2			2	
Bulgaristan	BG					
Çek Cumhuriyeti	CZ				2 ⁽¹⁾	
Danimarka	DK		2		1	
Almanya	DE			7	33	1 ⁽²⁾
Estonya	EE					
Yunanistan	EL			1		
İspanya	ES		4	2	3 + 5 (pilot aşamasında)	
Fransa	FR	2		7	14 + 4 ⁽³⁾	
İrlanda	IE			1	2 ⁽⁴⁾	
İtalya	IT	2		7	16 ⁽²⁾	1 ⁽⁵⁾
Kıbrıs	CY					
Letonya	LV					
Litvanya	LT					
Lüksemburg ⁽¹⁾	LU					
Macaristan	HU				3	
Malta	MT					
Hollanda	NL				1	
Avusturya	AT	3		2	8 ⁽¹⁾	
Polonya	PL			9		
Portekiz	PT	6			4	
Romanya	RO					
Slovenya	SI					
Slovakya	SK					
Finlandiya	FI				2	
İsveç	SE				3	
Birleşik Krallık	UK			1	9 ⁽⁶⁾	
İsviçre	CH	2	1	1	4	
Norveç	NO					
Türkiye	TR	1	1	2		
(1) 2008 yılı için planlanmıştır (2) Faaliyette olduğu bildirildi, ancak raporlama hala eksik (3) 2008 yılı için planlanmıştır (4) 2007'de devreye alınması planlanmıştır (5) 2006'nın ortasından beri bir tesis, 2007'den beri ikinci tesis faaliyette (6) 2007'de faaliyete girdi Kaynak: [85, CEMBUREAU, 2006]						

Çimento üretimi sırasında oluşan ve NO_x emisyonlarının azaltımı üzerinde olumlu etkileri olan (ancak kümülatif olmayabilir) tekniklerin genel açıklaması Tablo 1.34'te verilmiştir. Söz konusu tablo bu bölümün metni içinde verilmiş olan işletme verilerinin özetini içermekte olup ilerdeki bölümlerde yer alan ilgili paragraflarla birlikte okunmalıdır.

Tablo 1.34: Çimento üretim süreçlerinde meydana gelen NO_x emisyonlarını azaltma teknikleri

Tedbir/teknik	Fırın sistemlerine uygulanabilirlik	Azaltım verimliliği (%)	Emisyon verisi ⁽¹⁵⁾		Maliyet verisi ⁽³⁾	
			mg/Nm ³ ⁽¹⁾	kg/t ⁽²⁾	Yatırım (milyon EUR)	İşletme EUR/t klinker
Alev soğutma ⁽⁵⁾	Tümüne	0 – 35	Birincil <500 – 1 000 ⁽⁹⁾ aralığına düşürülür	1,15 – 2,3	0,2'ye kadar	0,5'e kadar
Düşük NO _x brülörü	Tümüne	0 – 35	500 – 1 000	1,15 – 2,3	0,45'e kadar	0,07
Birincil teknikler EGTEI 2003 ⁽⁴⁾	Tümüne	25	1 400'ten 1 050'ye düşürülür	2,4	0,25	0,056
Fırın ortasında pişirme	Uzun	20 – 40	Bilgi Verilmemiş	-	0,8 – 1,7	Bilgi verilmemiş
Mineralize klinker	Tümüne	10 – 15	Bilgi verilmemiş	-	Bilgi verilmemiş	Bilgi verilmemiş
Kademeli yakma	Ön kalsinatörlü	10 – 50	<450 – 1 000 ⁽⁹⁾	1,04 – 2,3	0,1 – 2	Bilgi verilmemiş
	Ön ısıtıcı				1 – 4	
SNCR ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾ ⁽¹²⁾	Ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü	30 ila 90 ⁽¹⁰⁾	<200 ^(10, 11) – 500 ⁽¹⁴⁾	0,4 – 1,15	0,5 – 1,2	0,1 – 1,7
	Izgara ön ısıtıcı	35	<500 ⁽¹⁶⁾ – 800 ^(5, 6)	1,15 – 1,84	0,5	0,84
SCR ⁽⁷⁾	Muhtemelen tümü, ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü	43 ⁽¹³⁾ – 95	<200 ⁽⁸⁾ – 500	0,23 – 1,15	2,2 – 4,5	0,33 – 3,0

(1) Normalde günlük ortalamalara işaret eder, kuru gaz, 273 K, 101,3 kPa ve % 10 O₂

(2) kg/ton klinker: 2 300 m³/ton klinkeri baz olarak

(3) Normalde günlük 3 000 ton klinker fırın kapasitesine ve 2 000 mg NO_x/Nm³'e varan başlangıç emisyonlarına işaret eder

(4) 2000 yılında 1 100 t/gün fırın kapasitesi için EGTEI maliyet tahmini

(5) 2000 yılında Fransa'da Çevre Bakanlığı, ADEME ve ATILH ile işbirliğiyle yapılan deney (2003 sayısı)

(6) NO_x azaltımına ilişkin CEMBUREAU katkısı 2006, yıllık ortalama değerler, bkz. Bölüm 1.3.4.2 ve Şekil 1.29

(7) Almanya ve İtalya, ayrıca bkz. Tablo 1.35 ve Tablo 6.26, maliyet verileri 1 500 m³/ton klinker fırın kapasitesini baz almaktadır

(8) Almanya, İtalya ve İsveç'ten pilot test sonuçları ve SCR kullanan bir İtalyan çimento tesisinden alınan 2007 (200 mg/Nm³) test sonuçları, 1997 yılında Avrupa'da iki tedarikçi, 100 – 200 mg/Nm³ performans seviyesi garantisıyla çimento endüstrisine büyük çaplı SCR sağlamaktaydı

(9) Fransız çimento tesisinden (proje 10), ön kalsinatör fırınından, başlangıç NO_x seviyesi 1 000 mg/Nm³'ün altında test sonuçları; 800 mg/Nm³'lük NO_x seviyesine ulaşılmıştır

(10) İsveç çimento tesisleri, yıllık ortalama değer, başlangıç NO_x seviyesi 800 – 1000 mg/Nm³, amonyak kayması 5 – 20 mg/Nm³ (bkz. Bölüm 6.2.4.1), yüksek verimli SNCR, amonyak kayması dikkate alınmalıdır

(11) Almanya: Günlük ortalama değer olarak 200 – 350 mg/Nm³, amonyak kayması dikkate alınmalıdır

(12) Daha düşük olan NO_x emisyon aralığı, ham gaz akışındaki NO_x seviyesine bağlı olarak daha yüksek NH₃ emisyonlarına (amonyak kayması) neden olabilir

(13) Gösterim tesisinin pilot testinden ve uzun süreli işletiminden elde edilen sonuçlar, bkz. Tablo 1.35

(14) Prosese entegre tekniklerle birlikte; başlangıç NO_x seviyesi 1 200 mg/Nm³; NO_x emisyonlarını azaltma tekniklerine ilişkin Fransız Çimento Endüstrisi Kılavuzu, Fransa/ADEME/MEDD

(15) Emisyon verileri bu kısmın ilgili paragrafında bulunabilir

(16) [92, Avusturya, 2006], [185, Hackl und Mauschwitz, 2003], ayrıca bkz. MET 19

Kaynak: [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [101,

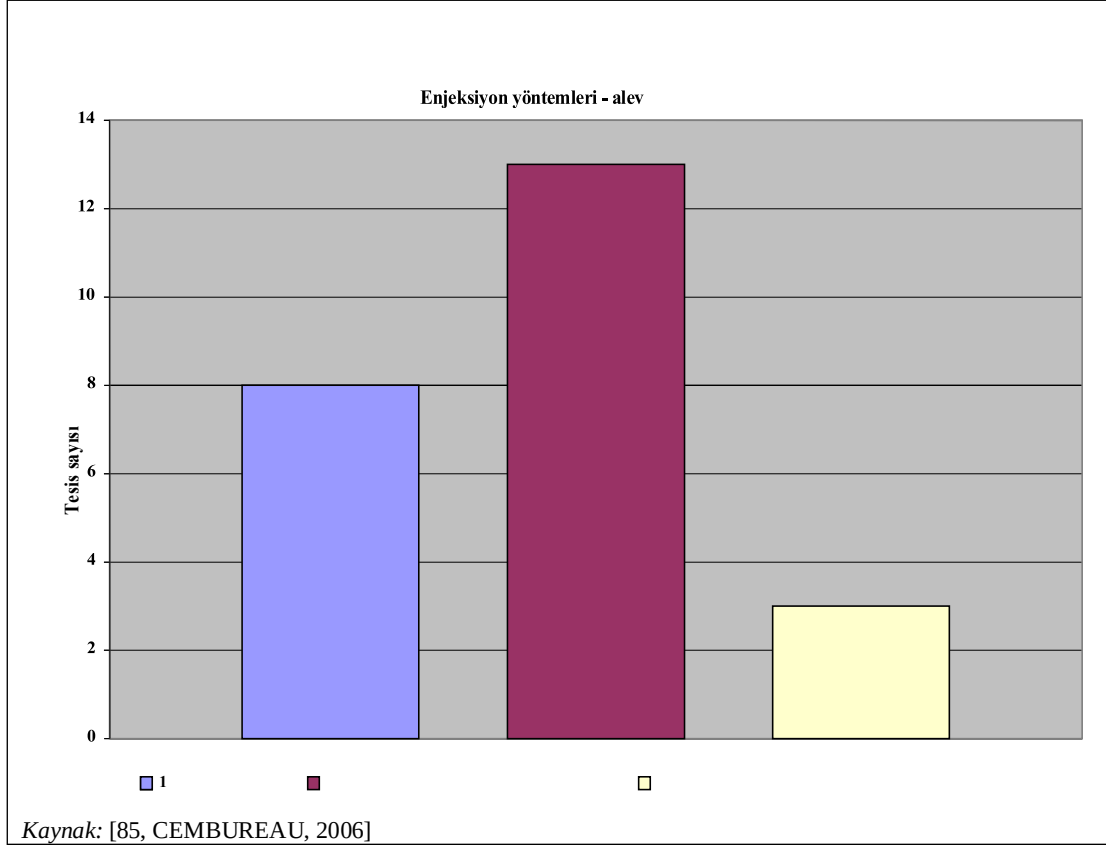
Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [114, İsveç, 2006], [140, İtalya, 2007], [141, Leibacher/Bellin/Linero, 2007],

[173, Almanya, 2007], [182, TÇG CLM, 2008], [185, Hackl und Mauschwitz, 2003]

1.4.5.1.1 Alev soğutma

Tanım

Bir akışkanın (sıvı) veya iki akışkanın (sıvı ve sıkıştırılmış hava veya katılar) enjeksiyonu gibi, Şekil 1.62'de gösterildiği üzere farklı enjeksiyon yöntemleri kullanılarak yakıta veya doğrudan aleve su eklenmesi ya da yüksek su içeriğine sahip katı/sıvı atıkların kullanılması, sıcaklığı düşürür ve hidroksil radikallerinin derişimini artırır. Bu, yanma bölgesindeki NO_x azaltımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir.



Şekil 1.62: AB-23+ ülkelerinde çimento üretiminde alevle soğutma için kullanılan enjeksiyon yöntemleri

Elde edilen çevresel faydalar

Yanma bölgesinde NO_x azaltımı.

NO_x emisyonlarının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Suyu buharlaştırmak için ek ısı gerekebilir, bu da fırının toplam CO₂ emisyonuna kıyasla biraz daha fazla CO₂ emisyonuna (yaklaşık %0,1 – 1,5) neden olur.

Fırında pişirme işleminin enerji verimliliği düşer.

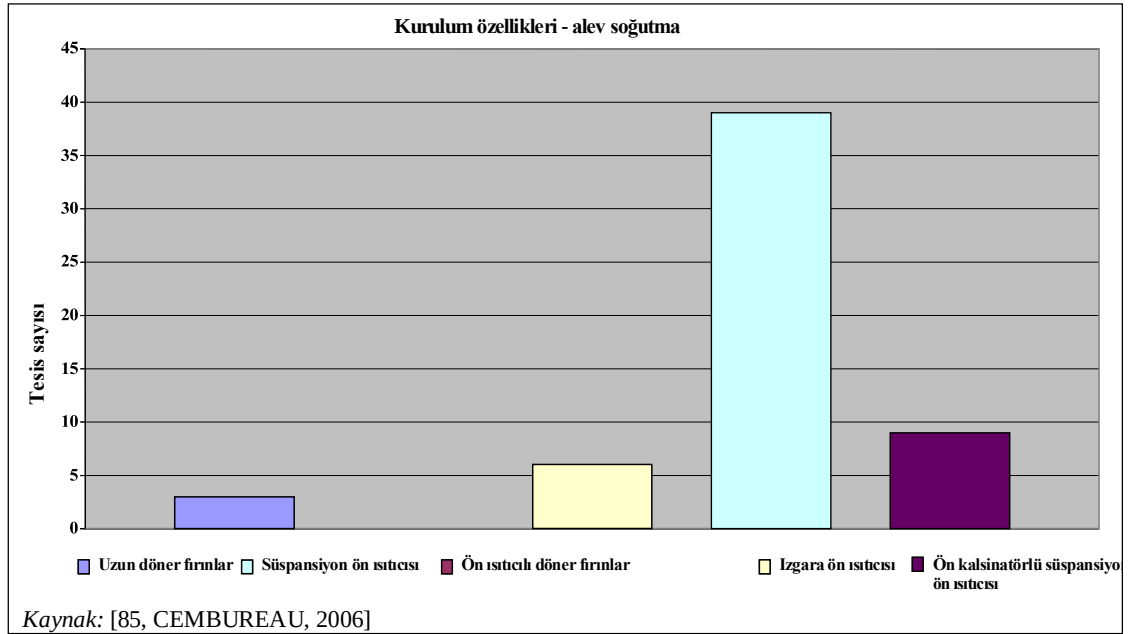
Su enjeksiyonu, düşük klinker çıkışı gibi fırın işletim sorunlarına neden olabilir ve klinker kalitesini etkileyebilir.

İşletim verileri

Azaltım oranları/verimlilikleri %10 - 35 aralığında rapor edilmiştir. Emisyonlar <500 – 1000 mg/Nm³ aralığında rapor edilmiştir (yıllık ortalama değerler) (bkz. Bölüm 1.3.4.2, Şekil 1.27 ve Şekil 1.28).

Uygulanabilirlik

Çimento imalatında kullanılan her türlü fırın için alev soğutma uygulanabilir. Şekil 1.63'te gösterildiği gibi, yaklaşık 40 süspansiyon ön ısıtıcılı fırını alev soğutma ile donatılmıştır.



Şekil 1.63: AB-23+ ülkelerinde alevle soğutma uygulamasının kurulum özellikleri

Ekonomik boyut

3000 t/gün kapasiteli bir fırının yatırım maliyetinin 0,2 milyon avroya varacağı ve işletme maliyetinin ton klinker başına 0,25 avroya varacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, Tablo 1.34'te gösterildiği gibi, NO_x emisyonlarını %35'e kadar düşürme verimliliğini elde etmek için 0,2 milyon avroya varan yatırım maliyetleri ve ton klinker başına 0.5 avroya varan işletme maliyetleri rapor edilmiştir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklilikler. Yerel
koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.1.2 Düşük NO_x brülörleri

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Düşük NO_x brülörlerinin (dolaylı pişirme) tasarımlarının detayları değişiklik gösterebilir, ancak temelde yakıt ve hava fırına konsentrik borular vasıtasıyla enjekte edilir. Birincil hava oranı stokiyometrik yanma için gerekli olan havanın % 6 – 10'una indirilir (geleneksel brülörlerde genellikle % 10 – 15). Eksenel hava dış kanala yüksek momentumla enjekte edilir. Kömür merkezi boru veya orta kanal vasıtasıyla üflenebilir. Üçüncü bir kanal hava girdabı için kullanılır, girdap, pişirme borusunun çıkışında veya arkasında bulunan kanatçıklar tarafından oluşturulur.

Bu brülör tasarımının net etkisi, özellikle yakıtın içinde bulunan uçucu bileşiklerin oksijen açısından yetersiz atmosferde çok erken ateşlenmelerini sağlamak olup, bu durum NO_x oluşumunun azaltılmasına yol açar.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Başarılı tesislerde %35'e varan NO_x azaltımları elde edilebilir, 500 – 1000 mg/Nm³ civarında (günlük ortalama değer) emisyon seviyeleri rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Düşük NO_x brülörleri tüm döner fırınlarda ana fırına ve ön kalsinatöre uygulanabilir. Ancak düşük NO_x brülörleri uygulandığında NO_x emisyonlarında her zaman azalma gerçekleşmez.

Brülörün kurulumu optimize edilmelidir. İlk brülör düşük birincil hava yüzdesi ile çalıştığı takdirde düşük NO_x brülörünün etkisi zayıf olacaktır.

Ekonomik boyut

3000 ton klinker/gün kapasiteli bir fırın için yeni bir düşük NO_x brülörünün yatırım maliyeti yaklaşık 150000 ila 450000 avro arasındadır. Ancak bir brülörün düşük NO_x brülörü ile değiştirilmesi halinde yatırım maliyeti 600000 avro'ya yükselebilir ve ince kömür depolama ve dozlamayı tadil etmek için ilave çalışma yapmak gerekebilir. Mevcut pişirme sisteminde doğrudan pişirme kullanıldığı takdirde, düşük birincil hava akışıyla yanmayı sağlamak üzere dolaylı pişirme sistemi ile değiştirilmelidir; bu durum 3 000 ton klinker/gün kapasiteli bir fırın için yaklaşık 600000 ila 800000 avro ilave yatırım maliyeti anlamına gelmektedir.

Ayrıca, örnek maliyetlerin gösterildiği Tablo 1.34 ve Tablo 1.40'a (Bölüm 1.4.8.2) göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklikler. Yerel
koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda, 1997], [20, Rother, 1996 Ocak,] [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.1.3 Kademeli yakma

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Özel olarak tasarlanmış ön kalsinatöre sahip çimento fırınlarında kademeli yakma uygulanmaktadır. Birinci yanma kademesi döner fırında klinker pişirme prosesi için optimum koşullar altında meydana gelir. İkinci yanma kademesi fırın girişinde yer alan bir brülördür ve sinterleme bölgesinde oluşan azot oksitlerin bir bölümünü ayrıştıran indirgeyici atmosferi oluşturur. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık özellikle NO_x unsurlarını yeniden element azota dönüştüren reaksiyon için çok uygundur. Üçüncü yanma kademesinde kalsinasyon yakıtı bir miktar üçüncül hava ile kalsinatöre beslenir ve orada da bir indirgeyici atmosfer oluşturur. Bu sistem yakıttan NO_x oluşumunu ve aynı zamanda fırından NO_x çıktısını da azaltır. Dördüncü ve son yanma kademesinde geriye kalan üçüncül hava artıkları, yakılmak üzere sisteme “üst hava” olarak beslenir.

Kalsinatörler temelde yakıt girişinin bulunduğu yer, yakıt fırın besleme malzemesi ve tersiyer havanın dağılım şekli ve geometrik konfigürasyon açısından birbirlerinden farklıdır.

Kademeli pişirme tekniği, genel olarak sadece ön kalsinatörle donatılmış fırınlarda kullanılabilir. Ön kalsinatörü olmayan siklon ön ısıtıcı sistemlerinde önemli tesis tadilatları gereklidir. Bunun sonucunda üretim kapasitesinde artış elde edilemediği takdirde,

imalatçıların önerdiği çözüm ‘küçük’ üçüncül hava kanalları sistemiyle beraber bir kalsinatördür. Böyle bir durumda, fırından ihtiyaç duyulan toplam ısıнын yalnızca yaklaşık %10 – 25 arasındaki küçük bir oranı kalsinatörden geçer, ancak bu azot oksitlerin ayrışması için indirgeyici bir bölge oluşturmaya yeterlidir. Öte yandan, fırın girişinde %10 pişirme olan bir fırından elde edilen deneyimler, bunun her zaman yeterli bir indirgen bölge yaratmak için yeterli olmadığını göstermektedir.

Parça yakıt atık yakıldığı zaman bir indirgen bölge oluştuğu için, parça yakıt atık (örneğin lastikler) yakımının kademeli yanma tekniğinin bir varyantı gibi davranması mümkündür. Ön ısıtıcı/ön kalsinatörlü fırınlarda parça yakıt atık fırın girişinde veya ön kalsinatörde eklenebilir. Parça yakıt atık yakmanın NO_x azaltımı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu rapor edilmiştir (%20 – 30’a varan azaltım) [76, Almanya, 2006]. Ancak parça yakıt atık yakıldığında kontrollü bir indirgeme ortamı yaratmak çok zordur [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

Ortamlar arası etkiler

Yanma işlemi ön kalsinatörde tamamlanamadığı takdirde CO ve SO₂ emisyonları artabilir ve yüksek verimliliğe ulaşmaya çalışıldığında CO ve tıkanma sorunları olduğu rapor edilmiştir.

İşletim verileri

İspanya’da elde edilen deneyimde görüldüğü üzere, çok kademeli yanma uygulanan bazı modern ve iyi optimize edilmiş tesislerde yüksek oranda reaktif yakıtlar gibi uygun yakıt karışımları kullanmak suretiyle 450 mg NO_x/Nm³’ün altında (günlük ortalama değer) emisyon seviyeleri elde edilmiş olup, reaktivitesi düşük yakıtlar ile 800 – 1000 mg/Nm³ (günlük ortalama değer) elde edilmiştir. İkincil yakıtların kullanıldığı durumlarda benzer NO_x azaltımı rapor edilmiştir.

2002 yılında Fransa’da yapılan testler sırasında (örneğin %100 kükürtlenmiş petrokokun yakıt olarak kullanıldığı kademeli yanma ile çalışan ön kalsinatör) 1000 mg/Nm³’lük başlangıç NO_x seviyeleri elde edilerek yaklaşık 200 mg/Nm³ NO_x azaltımı sağlanmıştır. Ancak, bu testlerde yalnızca kısa süreliğine ve optimum yanabilirliğe sahip farin kullanmak suretiyle elde edilmiştir. Daha uç çalışma koşullarında daha düşük NO_x emisyon seviyelerinin elde edilmesi mümkündür. Ancak, bu tür çalışma koşulları çoğu zaman, fırınlar ve kalsinatörlerde birikmeleri arttırmak gibi işletimsel sorunlara yol açmaktadır. CO emisyonlarında artış sadece nispeten kısa kalma süreleriyle tasarlanmış olan veya yanmanın düzgün bir biçimde optimize edilmediği çok az sayıdaki tesiste görülür.

Bazı durumlarda çeşitli kademelere sahip pişirme sistemleri tedarikçileri tarafından, %50’ye varan NO_x azaltımlarının mümkün olduğu belirtilmiştir. Ancak, bir yandan CO emisyonlarını sınırlandırıp diğer yandan da bu seviyede NO_x azaltımı için garanti edilen değerleri sağlamak zordur.

Uygulanabilirlik

Kademeli pişirme tekniği, genel olarak sadece ön kalsinatörle donatılmış fırınlarda kullanılabilir. Ön kalsinatörü olmayan siklon ön ısıtıcı sistemlerinde önemli tesis tadilatları gereklidir.

Ön kalsinatörlü fırınlar, çimento fırınında ve ön kalsinatör fırınında oksitleme/azaltım seviyelerinin bağımsız olarak ayarlanabilmelerini mümkün kılmaktadır. Yakıtın kısmi enjeksiyonları daha düşük NO_x emisyon değerlerine yol açabilir.

Lepol fırının ızgarasına yakıt ilave etmek önemli ölçüde NO_x azaltımı sağlayabilmekle beraber, diğer emisyonların meydana gelmesine/artmasına neden olabilir.

Ön kalsinatörsüz siklon ön ısıtıcı fırınlar NO_x emisyonlarının azaltılmasını mümkün kılar, ancak yerel indirgeyici bölge nedeniyle SO₂ ve UOB emisyonları artabilir. Bu emisyonlar sürekli olarak izlenmelidir.

Birleşik Krallık’ta, bir aşamalı fırın ortası yanmalı uzun fırın birkaç yıldır faaliyet göstermektedir.

Ekonomik boyut

Bir ön kalsinatörlü fırına kademeli yanma kurmak için gerekli olan yatırım maliyeti, mevcut kalsinatörün tasarımına bağlı olarak 0,1 milyon ila 2,0 milyon avro arasındadır. 3000 ton/gün kapasiteli bir ızgaralı soğutucusu olan bir ön ısıtıcı fırın için ön kalsinatör ve üçüncül kanal yatırım maliyeti yaklaşık 1 ila 4 milyon avrodur. 3000 ton/gün kapasiteli ve uydu soğutuculu bir ön ısıtıcı fırını, ızgara soğutuculu ön kalsinatörlü fırına dönüştürmek için gerekli yatırım maliyeti yaklaşık 15 ila 20 milyon avrodur.

Ayrıca, örnek maliyetlerin gösterildiği Tablo 1.34 ve Tablo 1.40'a (Bölüm 1.4.8.2) göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUROU, 1997 Kasım], [12, Hollanda 1997], [42, Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller, 1996 Ekim], [76, Almanya, 2006], [85, Almanya, 2006], [92, CEMBUROU, 2006], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008], [185, Hackl und Mauschitz, 2003].

1.4.5.1.4 Fırın ortasında pişirme

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda parça yakıt atıklarının yakılması nedeniyle oluşan indirgeyici bölge NO_x emisyonlarını azaltabilir. Uzun fırınların genelde 900-1000 °C sıcaklık aralığına erişememeleri nedeniyle ana brülörden geçemeyen (örn. lastikler) yakıt atıklarının kullanılmasını sağlamak için bazı tesislerde fırın ortası pişirme sistemleri kurulmuştur [9, CEMBUROU, 1997 Kasım].

Ortamlar arası etkiler

Yakıt atıklarının yanma oranı zincirlerin yanmasına neden olabilir veya ürün kalitesi üzerinde etkili olabilir.

İşletim verileri

Bu türde birkaç tesis vardır ve bazı durumlarda %20 – 40 NO_x azalımı rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Fırın ortasında pişirme, prensipte döner fırınlara uygulanabilir.

Yakıtların yanma hızı kritik öneme sahip olabilir. Çok yavaş olduğu takdirde yanma bölgesinde ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyebilecek indirgen koşullar oluşabilir. Çok hızlı olduğu takdirde fırının zincir bölümü aşırı derecede ısınabilir ve bunun sonucunda zincirler yanabilir.

Mekanik tasarıma ilişkin hususlar, yakıtın, sadece aralıklı olarak ve fırının her devrinde bir kez enjekte edilebileceği anlamına gelmektedir. Isı girdisinin devamlılığını sağlamak amacıyla araç lastikleri veya konteynerler içindeki diğer yakıt atıklar gibi katı ve yavaş yanan yakıtlar kullanılabilir.

1100 °C'nin altında sıcaklık aralığı, % 1'den fazla klor içeriği olan tehlikeli maddelerin kullanımı ihtimalini ortadan kaldırır.

Ekonomik boyut

Fırın dönüştürme ve yakıt elleçleme teçhizatının yatırım maliyeti 0,8 milyon – 1,7 milyon avro civarında olup, yıllık işçilik ve bakım giderleri de benzer miktarlarda olabilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.
Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [21, BCA, 1997 Ekim], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.1.5 Mineralize klinker**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Florin gibi mineralleştiricilerin hammaddeye eklenmesi klinker kalitesini ayarlamak ve sinterleme bölgesinin sıcaklığını azaltmak için uygulanan bir tekniktir. Pişirme sıcaklığını azaltmak/düşürmek suretiyle NO_x oluşumu da azaltılmış olur.

Ortamlar arası etkiler

Aşırı miktarda kalsiyum florür eklenmesi HF emisyonlarında artışa neden olabilir.
Enerji ihtiyacında azalma.
Katkılar son ürün kalitesini etkileyebilir.

İşletim verileri

NO_x azaltımı %10 ila 15 aralığında olabilir, ancak % 50'ye varan azaltımlar rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Bu tedbir/teknik prensipte döner fırınlara uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Mineralleştiricilerin fiyatına bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.
Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[10, Cementa AB/Hagström, 1994], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.5.1.6 Proses optimizasyonu (NO_x)**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Fırın işletme ve pişirme koşullarının düzeltilmesi ve optimize edilmesi, fırın işletim kontrolünün ve/veya yakıt besleme homojenizasyonunun optimize edilmesi gibi proses optimizasyonu süreçleri, NO_x emisyonlarının azaltılmasında uygulanabilir. İyileştirilmiş dolaylı pişirme tekniği, optimize edilmiş soğutucu bağlantıları ve yakıt seçimi ve optimize edilmiş oksijen seviyeleri, proses kontrol teknikleri gibi genel birincil optimizasyon teknikleri uygulanmıştır. 2007 yılına kadar, prosese entegre tekniklerin kullanımıyla NO_x emisyon azaltımında ilerleme kaydedildiği gözlenmiştir.

Ortamlar arası etkiler

Enerji ihtiyacında azalma.

İşletim verileri

Proses kontrol optimizasyonu tekniklerinin uygulanmasıyla NO_x emisyonları 500 ila 1000 mg/Nm³ arasında seyretmiştir. Bazı modern ve iyi optimize edilmiş ön ısıtıcı fırın sistemleri ve ön ısıtıcı/ön

kalsinatörlü fırın sistemlerinde tüm prosese entegre tekniklerin uygulanmasıyla 500 mg/Nm³’ün altında NO_x emisyon seviyeleri elde edilebilir.

Uygulanabilirlik

Hammaddelerin kalitesi (ham karışımın yanma özellikleri), uçuculuğu yüksek yakıtların mevcudiyeti ve fırın sisteminin tasarımı, yukarıda belirtilen seviyenin elde edilebilmesinde rol oynayan faktörler arasındadır.

Ekonomik boyut

Proses optimizasyonunun amacı maliyetleri azaltmaktır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27’deki çimento tesisleri.

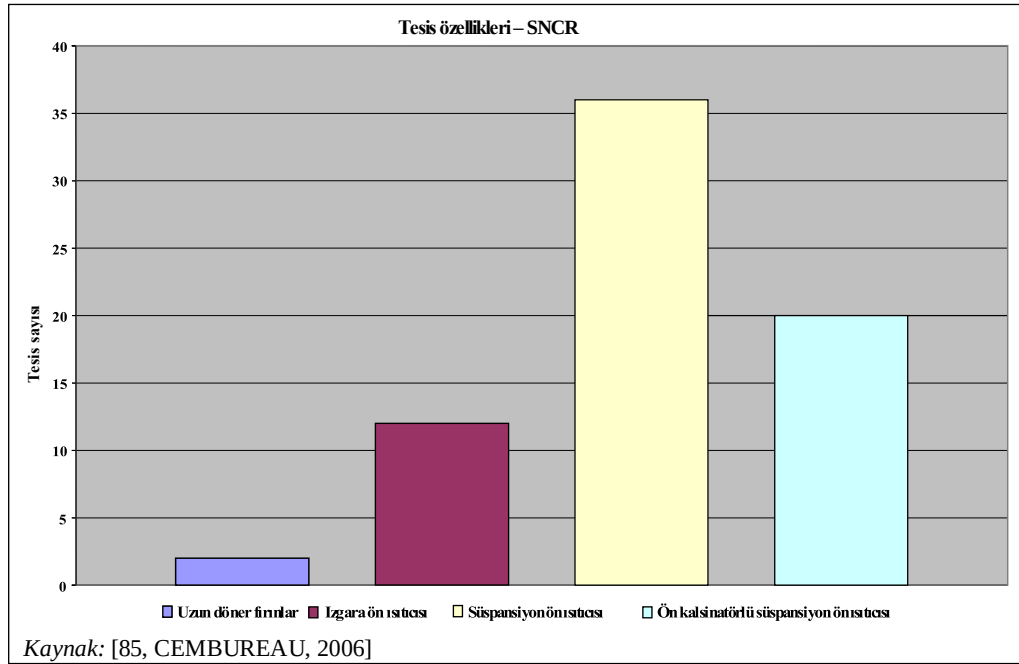
[76, Almanya, 2006], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.1.7 Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

2008 yılında AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde (bkz. Terimler Sözlüğü) faaliyet gösteren yaklaşık 100 adet büyük çaplı SNCR tesisi bulunmaktaydı. Seçici katalik olmayan indirgemedede (SNCR) N₂ oluşturmak üzere NO indirgemek için yanma gazına amonyak suyu (% 25’e kadar NH₃), amonyak öncül bileşikler veya üre çözeltisi enjekte edilir. Reaksiyon yaklaşık 830 ila 1050 °C sıcaklık penceresinde optimum etkiye sahiptir ve enjekte edilen maddelerin NO ile reaksiyona girebilmeleri için yeterli tutma süresi sağlanmalıdır.

Üre veya amonyak suyunun optimum sıcaklık penceresini belirlemek için laboratuvar deneyleri ile tam ölçekli denemelerin yapılması gereklidir. Doğru sıcaklık penceresi genelde süspansiyonlu ön ısıtıcı fırınlarda, ön kalsinatörlü fırınlarda ve Lepol fırınlarda elde edilebilir. Ancak uzun döner fırın kullanan tesisler de NO_x emisyonlarını azaltmak amacıyla SNCR ile donatılmışlardır. SNCR uygulayan çimento fabrikalarının özelliklerinin genel görünümü Şekil 1.64’te verilmiştir.



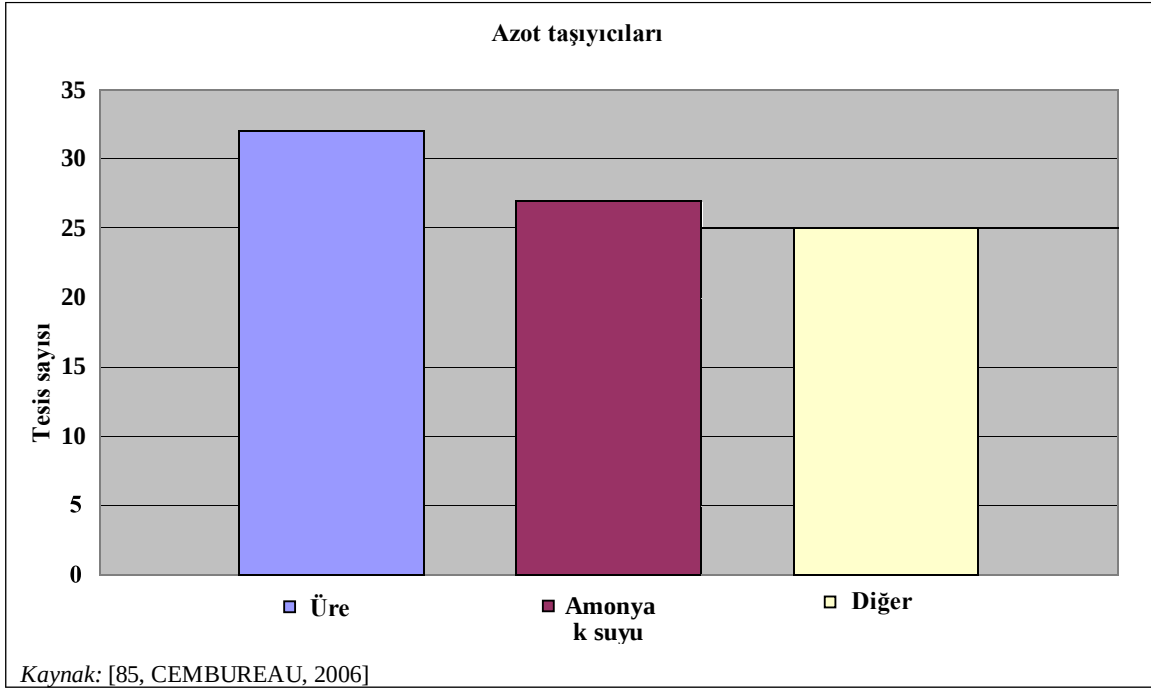
Şekil 1.64: AB-23+ ülkelerinde SNCR uygulamasının olduğu çimento tesisi özellikleri

Şekil 1.65'te gösterildiği üzere en yaygın $\text{NH}_2\text{-X}$ ajanı %32'ye varan üre olup %27'ye varan amonyak suyu ardından gelmektedir [85, CEMBUREAU, 2006]. Diğer üretim proseslerinden elde edilen atık çözeltiler de amonyak taşıyıcıları olarak kullanılabilir [76, Almanya, 2006]. Endüstriyel ölçekte kullanılabilecek olan diğer indirgeyici maddeler ise amonyak gazı, amonyum tuzu çözeltileri, kurutulmuş üre (üre hapları), üre çözeltileri, nitrolim veya siyanamid ve diğer benzeri maddelerdir [20, Rother, 1996 Ocak]. Depolama ve nakliye tesisleri, ilgili ajanın fiziko-kimyasal özellikleri uyarınca tasarlanmalıdır ve ek güvenlik teknikleri gerekebilir. Çoğu uygulamada ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırın sistemlerinde SNCR için amonyak suyunun en iyi ajan olduğunu deneyimler göstermiştir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım]. En yüksek NO_x indirgeme verimini elde etmek ve amonyak kaymasını azaltmak için iyi bir amonyak stokiyometrik dağılımının olması önemlidir. Enjekte edilen indirgeme reaktifinin (amonyak suyu veya üre solüsyonu) optimum kullanımını sağlamak ve yüksek NO_x indirgeme verimine zemin hazırlamak için SNCR tasarımı ve işletimi konusunda aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmalıdır. Göz önüne alınması gereken bu hususlar SNCR sisteminin optimum teknik ve ekonomik çalışmasını sağlayacaktır:

- ajanı 830 ila 1 050 °C'lık uygun sıcaklık penceresinde enjekte edin; amonyak kaymasını veya amonyak yanmasını önlemeye çalışın. Amonyak yanması potansiyel bir ikincil NO_x kaynağıdır
- sıcaklık penceresi değişirse, enjeksiyon memelerinin konumunu ayarlayın; bu amacın yerine getirilmesi doğrultusunda muhtemelen birden fazla meme katmanının olması uygundur; enjeksiyonun sıcaklık profilini çıkarmak ve bu tür bir talebi karşılamak üzere sürekli izleme yapmak faydalı olabilir.
- aşağıdakileri değiştirerek enjekte edilen sulu çözeltinin püskürtme açısını ve penetrasyon derinliğini ayarlayın:
 - çözeltinin su içeriği
 - püskürtme havasının basınç düzeyi
 - memenin yeri ve
 - enjekte edilen amonyağın yönü
- ▮ geçici olarak kullanılmayan katmanlardaki memeler – ısı kaynaklı aşınmayı önlemek için ideal olarak hava ile soğutun; sadece ara sıra kullanılan memeler, gereksiz hava tüketimini önlemek için çıkarılır
- fazla veya eksik stokiyometrik enjeksiyondan kaçınmak için enjeksiyon alanının doğru miktarda amonyak çözeltisi ile düzgün bir şekilde kaplandığından emin olun. Böylelikle, gereksiz amonyak kayması veya SNCR'den arıtılmamış NO kaçıışı önlenir.
- gerekirse, uygulanabilir olduğunda (yani çift yükseltici kanallar) her bir siklon dizisindeki NO_x seviyesini ölçün ve enjeksiyonu buna göre düzeltin

- enjekte edilen amonyağa karşı azaltılmış NO_x kütle denkliliğini kullanarak, fazla amonyak enjeksiyonundan kaçınmak üzere stokiyometriyi kontrol edin. Bu şekilde amonyak kayması en aza indirilebilir. Ayrıca, stokiyometri bire ne kadar yakınsa, ekonomik boyut o kadar iyi olacaktır.

AB-23+ ülkelerinde bulunan çeşitli çimento tesislerinde SNCR tarafından NO_x azaltımı için kullanılan çeşitli azot taşıyıcıları/ $\text{NH}_2\text{-X}$ ajanları Şekil 1.65'te gösterilmiştir.



Şekil 1.65: AB-23+ ülkelerinde SNCR tarafından kullanılan azot taşıyıcıları/ $\text{NH}_2\text{-X}$ maddeleri

Tesisin halihazırda bir kademeli yakma sistemi ile donatılmış olması halinde, SNCR tekniğinin kullanımının daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tekniklerin eşzamanlı kullanımı, sıcaklıkların, tutma sürelerinin ve reaksiyon bölümündeki gaz ortamının birbirlerine uyacak şekilde ayarlanmalarını gerektirir. Bu iki azaltım tekniğinin eşzamanlı uygulanması konusunda deneyim kazanmak amacıyla ön kalsinatör ile teçhiz edilmiş çeşitli fırın tesislerinde işletme denemeleri yapılmıştır. Denemeler, bu iki tekniğin bir arada kullanımının prensipte mümkün olduğunu göstermiştir. Kademeli kalsinatörün oksitleyici bölgesi ile indirgen bölgesine azaltım ajanı enjekte etmek suretiyle NO_x emisyonlarının azalması sağlanabilir. İndirgen bölgeye yapılacak enjeksiyona kıyasla CO emisyonlarının artma olasılığı daha düşük olduğu için oksitleyici bölgeye enjeksiyon yapmak daha uygundur. Kalsinatör tekniklerinin çeşitli olması nedeniyle, SNCR tesisatının tasarımı ve kontrolü ilgili tekniğe göre uyarlanmalı ve optimize edilmelidir. İndirgeyici madde alt siklon kademesinden hemen önce eklendiği takdirde, reaksiyona giren maddelerin doğru sıcaklık penceresinde kalma süreleri önemli miktarda NO_x azalması sağlamaya yeterli olmayacaktır. Sonuç olarak, amonyak kaymasında artış muhtemeldir. Öte yandan, çeşitli denemeler indirgeyici maddenin kalsinatörün karıştırma odasından önce kalsinatör yakıtının halen yanmaya devam ettiği alanda enjekte edilmesi halinde, CO emisyonlarında artış olabileceğini göstermiştir.

Yüksek verimli SNCR

Yüksek verimli SNCR tekniği çimento tesislerinde kullanılan SNCR tekniğinin geliştirilmiş halidir. Amonyak suyu (%25 amonyak solüsyonu) kademeli püskürtme memeleri (üfleme boruları) vasıtasıyla kontrollü şartlar altında ön ısıtıcının içine enjekte edilir. Boruların dizilimi besleme kanalındaki sıcaklık profili tarafından belirlenir. Amonyak suyu enjeksiyonu, ön ısıtıcının boruların yakınında ölçülen sıcaklık profiline göre, prosese bağlı olarak kontrol edilir. İyi amonyak dağılımı sayesinde NH_3 kayması ve amonyak suyu tüketimi

azaltılabilir. Bu SNCR tekniği 1996/1997 yıllarında iki İsveç ve en az bir Alman tesisine kurulmuştur.

Amonyak kayması

Amonyak fırın sistemine sıcaklık aralığının 830 – 1 050 °C olduğu yerde enjekte edilmesi önemlidir. Sıcaklık bu seviyenin altına düştüğü takdirde dönüştürülmemiş amonyak salınır (NH₃ kayması olarak adlandırılır) ve amonyak çok daha yüksek sıcaklıklarda oksitlenerek NO_x oluşturur. Tepkiye uğramamış NH₃ daha yüksek NH₃:NO₂ molar oranlarında, yaklaşık 1,0 – 1,2 molar orantısında oluşabilir. Diğer endüstri sektörlerinde NH₃ kayması, bazen filtreden geçen dışa atım gazı bacasının üzerinde beyaz pus görünümü veren amonyak tuzları aerosollerinin oluşumuna yol açabilir. Araştırmalar çimento tesisleri tarafından önemli ölçüde daha düşük düzeylerde aerosol oluşturulduğunu göstermiştir. Kullanılmayan amonyak oksitlenebilir ve atmosferde NO_x ve suya dönüşebilir, NH₃ kayması ayrıca çimento değirmenine geri döndürülemeyen amonyak bakımından zengin tozu doğurabilir. SNCR kurulumlarının tasarımında olası NH₃ kayması dikkate alınmalıdır. NO_x azaltma oranı isteğe bağlı olarak basitçe arttırılmaz, çünkü daha yüksek dozaj NH₃ kaymasına neden olabilir (ayrıca bkz. kireç bölümündeki Şekil 2.50). SNCR sisteminin doğru işletimi (uygun kontrol sistemi, optimize edilmiş NH₃ suyu enjeksiyonu) normalin üstünde amonyak emisyonu gerektirmez.

Ortamlar arası etkiler

İndirgeyici madde olarak amonyaklı su çözeltisi kullanıldığında, yukarıda açıklandığı gibi amonyak kayması meydana gelebilir ve dönüştürülmemiş amonyak salınır. Nitroz oksit (N₂O) emisyonları da meydana gelebilir; bununla birlikte, spot testlerde algılama sınırına yakın 1 ila 5 mg/Nm³ arasındaki derişimler gözlemlendiğinden, bunlar yalnızca küçük bir rol oynarlar. Dahası, indirgeyici maddenin kalsinatörün karıştırma odasından önce kalsinatör yakıtının halen yanmaya devam ettiği alanda enjekte edilmesi halinde, karbon monoksit (CO) emisyonlarında artış meydana gelebilir.

Suyun buharlaşması için gereken ek ısı, CO₂ emisyonlarında küçük bir artışa neden olan ekzotermik DeNO_x reaksiyonunda salınan ısı ile dengelenir. Sulu amonyakın taşınması ve depolanması çevre için potansiyel tehlike teşkil eder ve bir takım ek güvenlik teknikleri gerektirir. Amonyak üretimi ve çözeltinin seyreltilmesinde kullanılan suyun taşınmasına ilişkin etkiler de dikkate alınmalıdır.

İndirgeyici madde olarak üre kullanıldığında, ana son ürünler amonyak ve karbondioksittir. Üre ayrışmasından azot oksit (N₂O) emisyonları ve çeşitli izosiyanik asit (HNCO) ve nitrik oksit (NO) derişimlerinin meydana geldiği rapor edilmektedir. Üreden gelen N₂O seviyesi sulu amonyaktan daima önemli ölçüde yüksektir. Üreden azot oksit üretimi sıcaklığa göre değişir. Çalışmalar, yüksek NO_x azaltımının ve azami N₂O üretiminin aynı sıcaklık penceresine sahip olduğunu göstermektedir. İzosiyanik asidin çoğu, amonyak ve karbon dioksit hidrolizlenecektir; bununla birlikte, SNCR kurulumlarından izosiyanik asit kayması bildirilmiştir. Ayrıca bir çalışma, nitroz oksit (N₂O) ve izosiyanik aside (HNCO) ek olarak enjekte edilen ürenin de siyanik iyonlar (NCO) üreteceğini göstermektedir. Bu ürün, amonyak SNCR koşulları altında kullanıldığında oluşmaz. Üre kullanımının amonyak kullanımına göre daha fazla karbon monoksit (CO) emisyonu üreteceği de unutulmamalıdır.

İşletim verileri

2006 yılında faal olan SNCR kurulumlarının çoğu başlangıç NO_x seviyesine bağlı olarak, % 30 - > 50 NO_x azaltım oranlarına (NH₃:NO₂ molar orantısı 0,5 – 0,9) ve <350 – 800 mg/Nm³ aralığında emisyon seviyelerine (günlük ortalama değerler) göre tasarlanmış ve/veya işletilmiştir.

Daha yüksek azaltma oranları için tasarlanan ve/veya işletilen kurulumlar, aşağıda açıklandığı gibi daha iyi sonuç verecektir (yüksek verimli SNCR). Her ikisi de %80 azalma garanti eden iki farklı tedarikçi tarafından teslim edilen SNCR kurulumlarına sahip iki tesis, %80 – 90 (başlangıç NO_x seviyesi 800 – 1100 mg/Nm³ arasında olan) azalma oranlarına ulaşmaktadır, bu da yıllık ortalama değer olarak ölçülen 200 mg/Nm³ değerinin altında emisyonlara karşılık gelmektedir (bkz. Bölüm 6.2.4).

Ayrıca, 2006 yılında bir İsveç tesisinden 190 mg/Nm^3 NO_x emisyonu (yıllık ortalama değer) bildirilmiştir.

Prosesle entegre teknikler ve %80 – 90 azaltma oranlarında çalışan yüksek verimli SNCR kurulumları ile birlikte, başlangıç seviyeleri 2000 mg/Nm^3 'ün üzerinde olduğunda bile 500 mg/Nm^3 'ün altındaki günlük ortalama derişimlere ulaşılabilir [43, Wulf -Schnabel/Lohse, 1998].

Yüksek verimli SNCR ve amonyak kayması

Yüksek verimli SNCR 1996/1997 yıllarında iki İsveç ve en az bir Alman tesisine kurulmuştur. Bu İsveç tesisleri (toplam üç fırın) kuru proses siklonlu ön ısıtıcı/ön kalsinatörlü fırınlar kullanır. 1,0 – 1,2'lik $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranı uygulandığında > %80'lik bir azalma elde edilmiştir ve şimdiye kadar günlük ortalama NH_3 olarak 20 mg/Nm^3 'e varan artış ölçülmüştür. N_2O ve CO emisyonlarında önemli bir artış ölçülmemiştir ve çimentoda herhangi bir NH_3 izine rastlanmamıştır. 2001 yılında bir tesiste, başlangıç molar oranının 1,0 – 1,2 (mol NH_3 /mevcut NO_x molü) olduğu tespit edildi ve bu oran, ortalama %80 giderme verimliliği ile giderilen NO_x için 1,2 ila 1,4 olarak hesaplandı; ikinci tesiste ise amonyak oranı 1,2 – 1,4 mol/mol (mevcut NO_x /enjekte edilen NH_3) veya 1,5 – 1,8 (indirgenmiş NO_x /enjekte edilen NH_3) aralığındadır. 200 mg/Nm^3 NO_x emisyon seviyesi bildirildi (yıllık ortalama değer). 200 mg/Nm^3 'lük bu NO_x emisyon düzeyinin, 1998'den beri her iki İsveç tesisinden, $800 - 1000 \text{ mg/Nm}^3$ başlangıç NO_x düzeyi, %80'lik indirgeme oranı ve istikrarlı bir çalışma süreci ile elde edildiğine değinmek gerekir.

Almanya'da, yaklaşık 3000 t klinker/gün üretim kapasiteli dört aşamalı bir siklon ön ısıtmalı fırına SNCR (indirgeyici madde olarak %25'lik amonyak suyu kullanımıyla) kuruldu. $500 - 1200 \text{ mg/Nm}^3$ aralığında (günlük olarak) başlangıç NO_x seviyeleri rapor edilmiştir. Birkaç yıllık bir süre boyunca elde edilen uzun vadeli deneyimler, $500 \text{ mg NO}_2/\text{Nm}^3$ ve daha düşük (günlük ortalama değer) emisyon seviyelerinin, kayda değer bir amonyak kayması olmaksızın sürekli olarak elde edilebileceğini göstermiştir.

2007'de, uzun vadeli bir testten (altı aylık performans testi) elde edilen sonuçlar, 350 mg/Nm^3 ve 200 mg/Nm^3 (günlük ortalama değerler) NO_x emisyon değerlerinin sırasıyla 0,7 – 0,8 ve 1,4 – 1,5 $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranları uygulanarak elde edildiğini göstermiştir. Bu performans testleri sırasında NH_3 emisyonları sürekli olarak ölçülmüştür. Ancak yapılan NH_3 ölçümleri, özellikle çalışma esnasında değirmen devre dışı iken 200 mg/Nm^3 aralığının sürmesiyle önemli düzeyde amonyak kayması ile sonuçlanmıştır (azami $50 - 200 \text{ mg/Nm}^3$). Genel olarak bakıldığında, 200 mg/Nm^3 (NH_3 : üç aylık ortalama değer 11 mg/Nm^3) emisyon seviyesine ulaşmak için amonyak kayması, 350 mg/Nm^3 (NH_3 : üç aylık ortalama değer olan 21 mg/Nm^3) düzeyine kıyasla iki kat daha yüksekti. Bu durumda değirmen işletim oranı yaklaşık %10 – 20 idi. Performans testi sırasında farin ve ESP tozunda önem taşıyan bir amonyak zenginleşmesi gözlemlenmemiştir. Testler, amonyak emisyonlarının dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir (ayrıca bkz. Bölüm 6.2.4.2). Yukarıdaki işlem nedeniyle meydana gelen amonyak kayması, indirgeyici maddelerin aşırı stokiyometrik ilavesinin sınırlarını belirler [160, Almanya, 2007], [173, Almanya, 2007].

2004'te İrlanda'da kısa süreli SNCR denemeleri üzerinde yürütülen araştırmalar, fırının ön ısıtıcısından sonra ham gazda $4 \text{ ila } 26 \text{ mg/Nm}^3$ (10 % O_2) aralığında düşük NH_3 derişimleri göstermiştir. Bu, yüksek verimli bir indirgeme reaksiyonu ve sadece küçük miktarlarda reaksiyona girmemiş amonyak ile sonuçlanan, optimize edilmiş bir enjeksiyon konfigürasyonunun sonucuydu. Bu derişimler, iki enjeksiyon konfigürasyonu test edilerek ölçülmüştür (standart koşullar; bire bir $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranı (1) ve %50 NO_x azaltma oranı). NH_3 kayması, bir indirgeyici maddenin aşırı stokiyometrik ilavesine sınırlar getirir [123, İrlanda, 2005].

AB'de kullanılan bir yüksek verimli SNCR tekniğinin ayrıntılı açıklamaları Bölüm 6.2.4'te bulunabilir. Çimento imalatından kaynaklanan amonyak emisyonları Bölüm 1.3.4.9'da açıklanmıştır.

Uygulanabilirlik

SNCR ve yüksek verimli SNCR prensipte döner çimento fırınlarında uygulanabilir. Enjeksiyon bölgeleri, fırın prosesinin türüne göre değişir.

Uzun yaş ve kuru proses fırınlarında, gereken doğru sıcaklık ve kalma süresini elde etmek çok zordur. Sadece uzun kuru fırına sahip bir tesis ve uzun yaş fırına sahip bir tesis (Danimarka) SNCR azaltmayı başarıyla uygulamış ve %40 ile %50 arasında verimlilik elde etmiştir.

Amonyak ile ilgili depolama riskleri, amonyak su çözeltisinin %25 derişimde depolanmasıyla azaltılır.

Ekonomik boyut

Başlangıç NO_x emisyonları 2000 mg/Nm³'e kadar ve NO_x azaltımı %85'e kadar (yani 300 mg NO_x/Nm^3 'e kadar) olan 3000 ton/gün kapasiteli ön ısıtıcı fırın söz konusu olduğunda, indirgeyici madde olarak amonyaklı su kullanan bir SNCR için yatırım maliyeti 0,5 – 1,2 milyon avro aralığında olup, maliyet büyük ölçüde amonyaklı suyun depolanmasına ilişkin yerel mevzuattan etkilenmektedir. Aynı fırın için işletme maliyeti ton klinker başına 0,3 – 0,5 avrodur, maliyet esas olarak enjekte edilen amonyağın maliyetine göre belirlenir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [85, CEMBUREAU, 2006].

SNCR, 1996/97'de iki İsveç tesisine kuruldu. Bir fırın için yatırım maliyetleri yaklaşık 1,2 milyon avro (SNCR kurulumu için 0,65 milyon avro ve amonyak suyu depolama için 0,55 milyon avro) ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 0,55 avro idi. Toplam maliyet (yatırım + işletme maliyetleri) ton klinker başına 0,6 avro'dan azdı. Diğer fırın için yatırım maliyetleri yaklaşık 0,55 milyon avro ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 0,3 avro idi. Bu tesislerin yüksek performanslı SNCR kurulumlarına yatırım yapmasının itici gücü, İsveç'in NO_x emisyonlarına ilişkin politikasıydı. Bu politikaya göre, azaltılmış kilo NO_x (NO_2 olarak) başına toplam maliyeti (yatırım + işletme) 4,5 avrodan (40 SEK) az olan herhangi bir azaltma yatırımı kabul edilebilirdir.

Alman çimento endüstrisi tarafından 2004 yılında SNCR tekniğinin kullanıldığı 26 çimento tesisleriyle gerçekleştirilen araştırma, ortalama yatırım maliyetinin 0,5 ile 0,75 milyon EUR arasında olduğunu ortaya koydu. Ancak Fransa, 1 milyon avroya varan maliyetler bildirmiştir. İndirgeyici madde için deponun inşası, yatırım maliyetlerinin yaklaşık %50'sini oluşturmuştur. Amonyak çözeltisinin kullanımı ve orta ila yüksek NO_x azaltma oranları için ton klinker başına 0,5 ila 0,7 EUR arasında toplam maliyet bildirilmiştir. 1500 t/gün klinker kapasiteli bir döner fırın için ayrıntılı maliyet hesaplamaları, NO_x azaltma oranına bağlı olarak, ton klinker başına 0,4 ila 1,2 avro arasında özgül maliyetler ortaya koymuştur. 3 500 t/gün fırın için ek hesaplamalar ve 850'den 250 mg/Nm³'e NO_x azaltımı, 0,88 milyon Euro'luk yatırım maliyetleri ve ton klinker başına 0,40 Euro'luk işletme maliyetleriyle sonuçlanmıştır.

Ayrıca Tablo 1.34'e ve SNCR tekniği için örnek maliyet verilerinin gösterildiği Tablo 1.40'a (Bölüm 1.4.8.2) göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki tesisler, İsveç ve Almanya'daki yüksek verimli SNCR tesisleri (Maerker).

İsveç ve Almanya'daki örnek tesislerin açıklamaları sırasıyla Bölüm 6.2.4.1 ve 6.2.4.2'de verilmiştir.

[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagström, 1994], [20, Rother, 1996 Ocak], [24, Junker, 2001], [41, Kupper/Brentrup, 1992], [42, Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller, 1996 Ekim], [43, Wulf-Schnabel/Lohse, Almanya, 1998], [76, CEMBUREAU, 2006], [85, Fransa/ADEME/MEDD, 2006], [101, TÇG 2002], [105, YARA, 2006], [114, İsveç, 2006], [123, İrlanda, 2005], [131, YARA, 2007],

[160, Almanya, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [173, Almanya, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.1.8 Seçici katalitik indirgeme (SCR)

Tanım

SCR, yaklaşık 300 – 400 °C sıcaklık aralığında NH_3 ve bir katalizör yardımıyla N_2 oluşturmak üzere NO ve NO_2 indirger. Bu teknik, diğer endüstrilerde (kömürle çalışan elektrik santralleri, atık yakma fırınları) NO_x azaltımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimento endüstrisinde temel olarak iki sistem göz önünde bulundurulur: toz giderme ünitesi ile baca arasında düşük toz konfigürasyonu ve ön ısıtıcı ile toz giderme ünitesi arasında yüksek toz konfigürasyonu. Düşük tozlu dışa atım gazı sistemleri, toz gidermeden sonra dışa atım gazlarının yeniden ısıtılmasını gerektirir, bu da ek enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir. Teknik ve ekonomik nedenlerle yüksek tozlu sistemler tercih edilir görülmektedir. Bu sistemler yeniden ısıtma gerektirmez, çünkü ön ısıtma sisteminin çıkışındaki atık gaz sıcaklığı genellikle SCR çalışması için doğru sıcaklık aralığındadır.

%85 – 95'lik önemli NO_x emisyon azaltımları, 2008 yılına kadar yüksek toz SCR sistemleriyle potansiyel olarak elde edilebilmekteydi. Çimento endüstrisinde yalnızca yüksek tozlu sistemler test edilmiştir.

2008 yılında AB-27'de, SCR tekniğinin yükseltilmesiyle ilgili teknik ve ekonomik belirsizlikleri ortadan kaldırmak için iki adet geniş çaplı üretim çalışması gerçekleştirilmiş ve deneyim kazanılmıştır. Başlıca belirsizlikler, gazlardaki 100 g/ Nm^3 'e varan yüksek toz derişimi, toz giderme teknikleri, katalizörlerin tipi ve ömrü, toplam yatırım ve işletme maliyetleri ile ilişkilidir. Deneyimler ayrıca uygun katalizör tasarımının ve kimyasal bileşiminin çok önemli olduğunu göstermektedir.

Yüksek azaltma potansiyeli, başarılı pilot testler, iki geniş çaplı SCR kurulumu ve SCR'nin diğer sektörlerdeki karşılaştırılabilir tesisler için en son teknoloji olduğu gerçeği göz önüne alındığında, SCR çimento endüstrisi için dikkat çeken bir tekniktir. Avrupa'da, 100 – 200 mg/ Nm^3 garantili performans seviyeleri ile çimento endüstrisine geniş çaplı SCR sunan en az iki tedarikçi bulunmaktadır. Ancak, SCR sermaye harcaması yine de SNCR'den daha yüksektir [12, Hollanda, 1997].

Elde edilen çevresel faydalar

NO_x emisyonlarının azaltılması.

Katalizörler hidrokarbonları da giderdiğinden SCR bu amaca yönelik tasarlandığı takdirde genel olarak UOB ve PCDD/F emisyonlarını da azaltacaktır.

Ortamlar arası etkiler

SCR reaktörünün dahili tozsuzlaştırma sistemi ve ek basınç kayıpları nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyacı artabilir.

Düşük tozlu dışa atım gazı sistemleri, tozsuzlaştırmadan sonra dışa atım gazlarının yeniden ısıtılmasını gerektirir, bu da ek enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir.

Katalizörlerin geri dönüştürülmesi veya bertaraf edilmesi gerekir.

İşletim verileri

1990'larda Almanya, İtalya ve İsveç'teki erken pilot tesis denemeleri umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. NO_x emisyon seviyeleri, katalizör aktivitesinde herhangi bir kayıp olmaksızın yaklaşık 100 – 200 mg/ Nm^3 olmuştur. 1996 ve 2000 yılları arasında Avusturya çimento tesislerinde, küçük kısımlar üzerinde (dışa atım gazının %3'ü) ve yüksek toz konfigürasyonlu üç pilot test yapıldı. Bunlardan biri NO_x indirgeme verimliliğinde başarılı olmuş ancak bu sürekli olmamıştır. Katalizörlerin işletimsel açıdan erişilebilirliği, dile getirilen bir endişe kaynağıydı. Ağır metallerin ve alkali metal bileşiklerinin varlığından dolayı katalizörlerin birkaç hafta sonunda etkisizleşmesi nedeniyle iki pilot deneme

başarılı olmadı. Bir tesiste, katalizörler 5000 saatlik çalışma süresinin ardından kayda değer düzeyde aşınmaya uğramıştır [18, Göller, 2001], [92, Avusturya, 2006].

2000 yılında, yüksek tozlu SCR sistemi kullanan ilk geniş çaplı SCR gösterim tesisi, Almanya'da devlet finansmanı ile inşa edildi ve 2001'den 2006'ya kadar faaliyet gösterdi. Ancak 2008 yılında tesis, geliştirilmiş katalizör çeşitlerini bekliyordu. SNCR ile karşılaştırıldığında, bu sistemin daha düşük olan NH_3 tüketimi, amonyakla ilgili olarak daha düşük işletme maliyetleri sağlar. Dört kademeli ön ısıtıcının üst kısmında, atık gazın sıcaklığı $320 - 350^\circ\text{C}$ arasında olup SCR'ye uygundur ve torba filtre ile baca arasındaki konfigürasyonun durumunda olduğu gibi yeniden ısıtma gerektirmez, böylelikle enerji maliyetleri azalır. NO_x azaltma verimliliği genellikle % 59 ila % 67 aralığındadır. Bununla birlikte, 3000 mg/Nm^3 ve daha yüksek ham gaz derişimlerinin gözlemlendiği olağan koşullar dışında, %80'in üstünde NO_x azaltma verimleri gözlemlenmiştir. Normal işletimde SCR, 1000 ila 1600 mg/Nm^3 lük başlangıç ham gaz NO_x emisyonu derişimlerini yaklaşık 400 ila 550 mg/Nm^3 'e indirir. $0,8$ ila $0,9$ molar oran ile NH_3 tüketimi, SNCR uygulamasından önemli ölçüde daha düşüktür. Hammaddeden gelen NH_3 içeriğinin reaktörde indirgeme maddesi olarak da görev gördüğü, dolayısıyla artık NH_3 emisyon seviyesinin çok düşük olduğu belirtilmelidir. Bu Alman tesisinde, SCR, 300 mg/Nm^3 lük bir NO_x emisyon düzeyi sağlayarak genellikle 1 mg/Nm^3 'ün altında NH_3 emisyonlarına yol açmıştır. Özellikle bu sonuçların sadece üç katalitik katmanla elde edilmiş olması ve kalıntı NH_3 emisyon seviyesinin 1 mg/Nm^3 civarında kalması, tekniğin potansiyeline işaret etmektedir. Bu tesisin daha ayrıntılı bir açıklaması, elde edilen emisyon aralıkları ve maliyetler Bölüm 6.2.5'te gösterilmektedir.

İtalya'da NO_x azaltımı için işletilen bir adet SCR tesisi vardır. 2006 yılından bu yana, $1\,720 \text{ t/gün}$ (izin verilen kapasite $2\,400 \text{ t/gün}$) kapasitesi olan bir fırın hattında NO_x azaltımı için geniş çaplı bir yüksek toz SCR sistemi işletilmektedir. Yedi kat katalizör için öngörülen modülleri tutan haznenin, Şekil 1.66'da gösterildiği gibi genişliği 4 m , uzunluğu 6 m ve yüksekliği 27 m 'dir.

Kurulan katalizörlerin hacmi her bir katman için 21 m^3 'tür. İzin verilen $2\,400 \text{ t/gün}$ kapasitesine ulaşmak için kurulu olmayan iki katmanlık 42 m^3 yedek kapasiteye ek olarak üç katman için toplam hacim 63 m^3 'tür. Katalizörler, kompresör hattı için $2,5 \text{ kW/t}$ klinker tüketimi ile, 5 veya 6 bar 'da basınçlı hava ile otomatik olarak temizlenir. 7000 saatlik işletimin ardından, katalizörlerde herhangi bir indirgeme inaktivitesiyle karşılaşılması.



**Şekil 1.66: SCR tesisi
örneği**

Kaynak: [140, İtalya 2007]



**Şekil 1.67: SCR tekniğinde
kullanılan katalizör örneği**

Kaynak: [140, İtalya 2007]



**Şekil 1.68: SCR tekniğinde
kullanılan modül konumu örneği**

Kaynak: [140, İtalya 2007]

İndirgeyici madde olarak %25 derişimde amonyak çözeltisi kullanılır. Gaz akış hızı $110\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ iken, fırın koşullarına ve kullanılan yakıtların türüne bağlı olarak akış hacmi saatte 30 ila 300 litre arasında değişir. Amonyak çözeltisi, $320 - 350^\circ\text{C}$ 'lik uygun sıcaklık rejiminin mevcut

olduğu en üst siklonun altındaki gaz akımına enjekte edilir. İşletimin ilk 10 ayında, ortalama amonyak çözeltisi tüketimi 0,7 – 1 kg/t klinkerdi ve NO_x emisyonlarının 450 mg/Nm³'ün (%10 O₂) altına düşmesi sağlandı. Bununla birlikte, bu İtalyan tesisinden alınan raporlar ve test sonuçları, bu SCR tekniğinin tasarımının bacadaki NO_x emisyonlarını < 200 mg/Nm³'e (gerçek % O₂) indirebileceğini göstermektedir. Giriş NO_x seviyesine ve NH₃ enjeksiyon hızına bağlı olarak, NO_x azaltma verimliliği %43 – 95 arasında değişir. Yüzde 10 O₂ referansına yapılan düzeltmeler daha da düşük NO_x derişimleriyle sonuçlanacaktır. SCR tekniğinin kurulumundan önce baca gazındaki amonyak 50 – 150 mg/Nm³ olarak ölçülmüş olup, kaynağı hammaddedir. Bu amonyak miktarı daha sonra SCR prosesi tarafından kullanılmaya başlamış ve 1 mg/Nm³'ün altında NH₃ emisyonları ve birden daha düşük molar oran (enjekte edilen NH₃:NO_x) elde edilmiştir. Alman çimento tesisinden ve bu NO_x indirgeme tekniğini kullanan İtalyan çimento tesisinden bildirilen SCR tekniği parametreleri, emisyonları ve maliyetleri Tablo 1.35'te gösterilmektedir.

Tablo 1.35: SCR parametreleri, emisyonları ve raporlanan maliyetleri

Teknik	Fırın sistemlerine uygulanabilirlik	Azaltım verimliliği (%)	Bildirilen emisyonlar		Bildirilen veriler	
			mg/Nm ³ (günlük ortalama değer)	kg NO _x /t klinker	Yatırım (EUR/ton klinker)	İşletim (EUR/ton klinker)
SCR	Muhtemelen tümüne	43 – 97	300 – 500 ⁽¹⁾	0,15 – 1,0	2,5 ⁽²⁾ 3,2 – 4,5 ⁽³⁾ (⁴)	1,75 – 2 ⁽³⁾

(1) Gösterim tesisinin pilot testinden ve uzun süreli işletiminden elde edilen sonuçlar
 (2) Almanya UBA tarafından geniş çaplı kurulum için tahmin edilen maliyetler (fırın kapasitesi 1 500 t klinker/gün, 1 200 mg/Nm³ başlangıç emisyonları ve 200, 500 ve 800 mg/Nm³ olan nihai seviyeler (günlük ortalama değer))
 (3) Alman Çimento Endüstrisi Birliği (VDZ) tarafından hesaplanan, geniş çaplı bir kurulumun işletme maliyetlerini artı yatırım amortismanını kapsayan maliyetleri (fırın kapasitesi 1 500 t klinker/gün, başlangıç emisyonları 1 200 mg/Nm³ ve 200, 500 ve 800 mg/Nm³ olan nihai seviyeler)
 (4) En yüksek değer, katalizör elemanları için 0,9 milyon avronun hesaplamaya dahil olduğu İtalyan çimento tesisinin SCR sistemine aittir (kurulu üç katman modül artı depoda iki katman)
 Kaynak: [85, CEMBUREAU, 2006]

Uygulanabilirlik

SCR yalnızca ön ısıtıcılarda ve pilot düzeyde yarı kuru (Lepol) fırın sistemlerinde test edilmiştir, ancak prensipte sıcaklık penceresine bağlı olarak diğer fırın sistemlerine de uygulanabilir.

Yüksek toz seviyeleri, katalizörlerin dayanıklılığı ve çalışmasına ilişkin yüksek gereksinimler getirir, katalizörlerin tasarımı ve kimyasal bileşimi çok önemlidir. Diğer endüstrilerde düşük tozlu çalışma için tasarlanmış katalizörler, bir çimento tesisinde yüksek tozlu çalışma için uygun olmayabilir. Bir SCR reaktörünün yüksek tozlu çalışması, tıkanmayı ve aktivite kayıplarını önlemek için yüksek mekanik dayanıklılığa sahip katalizör, düşük tozlu çalışma için tipik olandan daha geniş bir açıklık ve entegre toz giderme sistemini gerektirir. Katalizörün uygun kimyasal bileşimi, çimento fırınlarının yüksek toz çıkış gazları ile yapılan denemelerle değerlendirilmelidir. Ayrıca, modülleri tutan haznenin boyutları ve kullanılan katmanların miktarı nedeniyle, SCR tekniğini kurmak için yeterli alan mevcut olmalıdır.

Çimento endüstrisi için yeterli olan standart katalizörler henüz mevcut değildir. Kullanılan çeşitli katalizör türleri hala deneme aşamasındadır.

Ekonomik boyut

SCR tekniğinin kullanımından elde edilen sonuçlar, tesis boyutuna ve gereken NO_x giderme verimliliğine bağlı olarak ton başına 1,25 ila 2,00 avro arasında değişen bir maliyet seviyesi göstermiştir. SCR tekniğinin maliyetleri, SNCR tekniğinin aksine büyük ölçüde yatırımdan kaynaklanmakta olup, bu maliyetler SNCR sistemine göre 4 ila 9 kat daha yüksektir. Katalizör kullanımı işletme maliyetlerini artırır. Ayrıca, enerji tüketimi temelde basınç düşüşü ve katalizör için temizleme havasından kaynaklanmaktadır. SCR'nin özgül maliyetleri ton başına yaklaşık 1,75 EUR'ya düşmüştür.

İsveç, Slite'de bulunan Cementa AB, 5800 ton klinker/gün kuru proses süspansiyon ön ısıtıcılı/ön kalsinatörlü fırına sahiptir. 1993 yılında, yaklaşık bir yıl süreyle SNCR'yi takip eden bir pilot yüksek tozlu SCR işlettiler ve SNCR'nin akış aşağısına kurulan geniş çaplı bir SCR'nin ne kadara mal olacağını araştırdılar. Bu durumda, SCR için başlangıç NO_x seviyeleri 200 mg/Nm^3 'ün altında olacaktır. Diğer fırın için tahmin edilen yatırım maliyetleri yaklaşık 11,2 milyon avro ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 1,3 avro idi, yani toplam maliyet ton klinker başına 3,2 avroya karşılık geliyordu. Fazladan azaltılan her bir kilo NO_x başına maliyetler SCR için 5,5 – 7,3 avrodur. Şirket bu maliyetlerin çok yüksek olduğu ve makul olmadığı sonucuna varmıştır.

3000 ton klinker/gün ön ısıtıcılı fırın için yatırım maliyetlerinin 3,5 milyon – 4,5 milyon Euro olduğu tahmin edilmiştir. Yatırım maliyeti göstergelerinin sadece tedarikçiden alındığına, ancak tesis tadilatlarını içermediğine dikkat çekildi.

Avusturya, Almanya, Hollanda ve İsveç'te fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Çimento endüstrisinde SCR tekniğinin tahmini maliyetleri büyük ölçüde değişiklik göstermekte olup, üretim maliyetleri ve katalizörlerin ömrü ana değişkenlerdir.

Ayrıca, Bölüm 1.4.5.1'de örnek maliyetlerin gösterildiği Tablo 1.34 ve Tablo 1.35'in yanı sıra Bölüm 1.4.8.2'de örnek maliyet verilerinin gösterildiği Tablo 1.40'a göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler. SCR uygulanması, daha yüksek bir NO_x azaltma verimliliği elde etmek veya NO_x ve diğer kirleticilerin, örneğin hammaddelerden amonyağın eşzamanlı giderimini sağlamak için uygun olabilir.

Örnek tesisler

Solnhofer Portland-Zementwerke (Almanya), Monselice çimento tesisi (İtalya).

Referans literatür

[4, Avusturya, 1998] [8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda, 1997], [18, Göller, 2001], [23, de Jonge, 2001] [24, Junker, 2001], [43, Wulf-Schnabel/Lohse, 1998], [57, Avrupa Komisyonu, 2005], [76, Almanya, 2006], [80, Alvaro A. Linero, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [140, İtalya, 2007], [141, Leibacher/Bellin/Linero, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.2 SO₂ emisyonlarının azaltılması

SO₂'nin kontrol altına alınması için atılacak ilk adım fırının çalışmasını düzgün hale getirmek de dahil olmak üzere klinker pişirme prosesini optimize etme, fırın besleyicisi içindeki sıcak farını eşit olarak dağıtma, pişirme prosesi içinde indirgen koşulların oluşmasını önleme ve hammadde ve yakıtların seçimi gibi birincil proses optimizasyon tekniklerini dikkate almaktır. Ayrıca, fırın giriş alanındaki oksijen derişimi, fırın şarjında SO₂ tutulması için çok önemlidir. Uzun fırınlarda oksijen içeriğinin artırılması SO₂ seviyesini düşürür ve NO_x seviyesini yükseltir. Ancak, belirtilen ürün kalitesinin elde edilmesinde klinker yakma işlemi fazlalık oksijen gerektirir. Bu durum uyarınca siklon ön ısıtıcının alt bölümünde veya ızgaralı ön ısıtıcının sıcak gaz odasında, fırın sisteminden klinker vasıtasıyla boşaltılan sülfatların oluşumunu sağlamak için oksijen tedariki her zaman yeterli tutulur. Fırın arka ucundaki oksijen içeriğini ayarlayarak NO_x /SO₂/CO arasında optimizasyonun yapılmasıyla, çevreyi koruyan bir denge amaçlanmalıdır. Bu tekniklerin yeterli olmadığı durumlarda ek boru çıkışı teknikleri uygulanabilir. Tablo 1.36 ve Tablo 1.37, esas olarak ön ısıtıcıdan ve baypas işleminden olmak üzere çimento üretiminden kaynaklanan SO₂ emisyonlarını olumlu yönde etkileyen, yani azaltan tekniklere genel bir bakış sunmaktadır. Tablo 1.36 bu bölümün metni içinde verilmiş olan işletme verilerinin özetini içermekte olup ilerdeki bölümlerde yer alan ilgili paragraflarla birlikte okunmalıdır (bkz. Bölüm 1.4.5.2.1 – 1.4.5.2.3). Bu bağlamda, atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Tablo 1.36: SO₂ kontrol ve azaltma tekniklerine genel bakış

Tebdir/tek nikler	Fırın sistemlerine uygulanabilirlik	Azaltım verimliliği	Emisyon verisi		Mali yet	
			mg/Nm ³ (1)	kg/ton (2)	Yatırım (milyon EUR)	İşletme (EUR/t)
Soğurucu ilavesi	Tümüne	% 60 – 80	< 200 – 400(5)	0,23 – 0,92	0,2 – 0,3	0,1 – 0,4
Yaş gaz yıkayıcı	Tümüne	> % 90	< 10 – 300(4)	0,02 – 0,69	5,8 – 23(6)	0,5 – 2(6)
Aktif karbon	Kuru	% 95'e kadar	□ 50	□ 0,11	15(3)	Bilgi yok.

(1)Normalde günlük ortalamalara işaret eder, kuru gaz, 273 K, 101,3 kPa ve % 10 O₂
(2)kg/ton klinker: 2 300 m³/ton klinkeri baz alarak
(3)Maliyete bir SNCR prosesi de dahildir, günlük 2 000 ton klinker fırın kapasitesine
ve 50 – 600 mg SO₂/Nm³'e varan başlangıç emisyonlarına işaret eder, 1997 maliyet verisi
(4)Ulaşılabilir nihai emisyon seviyesi, yaş gaz yıkayıcının kurulumundan önceki başlangıç SO₂ değerine bağlıdır
ve daha yüksek olabilir
(5)1 200 mg/Nm³'lük başlangıç SO_x seviyesi için (bkz. Bölüm 1.4.5.2.1)
(6) 2008

AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde 2008 yılında SO₂ emisyonlarını azaltmak için azaltım tekniklerini kullandığı bilinen büyük çaplı tesislerin sayısı Tablo 1.37'de verilmektedir.

Tablo 1.37: 2008'de AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde kullanılan SO₂ azaltımına yönelik teknikler

SO ₂ emisyonlarını azaltmaya/kontrol etmeye yönelik teknikler				
Ülke		Soğurucu ilavesi	Yaş gaz yıkayıcı	Aktif karbon
Belçika	BE	2		
Bulgaristan	BG			
Çek Cumhuriyeti	CZ	1		
Danimarka	DK		2	
Almanya	DE	11		
Estonya	EE			
Yunanistan	EL			
İspanya	ES			
Fransa	FR	3		
İrlanda	IE			
İtalya	IT	1		
Kıbrıs	CY			
Letonya	LV			
Litvanya	LT			
Lüksemburg	LU			
Macaristan	HU			
Malta	MT			
Hollanda	NL			
Avusturya	AT	1	1	
Polonya	PL			
Portekiz	PT	3		
Romanya	RO			
Slovenya	SI		1	
Slovakya	SK			
Finlandiya	FI			
İsveç	SE		1	
Birleşik Krallık	UK		2	
Norveç	NO			
İsviçre	CH	1	1	1
Türkiye	TR			
TOPLAM		23	8	1

Kaynak: [73, CEMBUREAU, 2006], [182, TÇG CLM, 2008]

Avrupa çimento endüstrisinde yarı yaş ve kuru yıkayıcılar kullanılmamaktadır. Bu tekniklerin prensibi, kimyasal veya fiziksel emici maddelerin enjeksiyonu ile dışa atım gazından SO₂ nötralizasyonudur. Reaksiyon ürünleri, tekniklerin uygulanmasıyla çözünmüş veya kurutulmuş tuzlardır. 2003 yılında İsviçre’de Untervaz sınırları içinde, Avrupa’da dolaşımli akışkan yataklı kuru yıkayıcının kurulu olduğu tek tesis ekonomik ve bir düzeye kadar teknik nedenlerden ötürü hizmet dışı bırakılmıştır.

1.4.5.2.1 Soğurucu ilavesi

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Çimento endüstrisinde kullanılan ikincil emisyon kontrol teknikleri, ‘kuru katkılı proses’ (hammaddeye emici ilavesi) veya ‘kuru emme prosesi’ (gaz akımına emici enjeksiyonu) kullanmak suretiyle sönmüş kireç ilavesidir. Sönmüş kireç ilavesinin bir başka avantajı ise kalsiyum içeren katkı maddesinin doğrudan klinker yakma prosesine katılabilen reaksiyon ürünlerini oluşturmastır.

Sönmüş kireç ilave etmek için optimum sıcaklık 350 ile 400 °C arasında olup, gazın su ile zenginleştirilmesi halinde 150°C’nin altına iner. Çimento döner fırın sistemlerinde sönmüş kireç ilave etmek için uygun olan yerler üst siklon kademeleri veya ham gaz kanalıdır.

Alternatif olarak sönmüş kireç farin değirmenine hammadde bileşenleri ile birlikte verilebilir veya doğrudan fırın beslemesine ilave edilebilir. Sönmüş kireç (Ca(OH)₂), sönmemiş kireç (CaO) veya yüksek CaO içerikli aktif duman külü, suyun çiğlenme noktasına yakın sıcaklıklarda, dışa atım gazının geçiş yoluna enjekte edilir ve böylelikle SO₂ tutulması için daha uygun koşullar oluşur. Çimento fırın sistemlerinde bu sıcaklık aralığı farin değirmeni ile toz toplayıcının arasındaki alanda meydana gelmektedir. Sönmüş kireç üst siklon kademelerinde SO₂ ile reaksiyona girerek ham gaz tozu (toz toplayıcı) olarak sistemden dışarı taşınır ve ham gaz vasıtasıyla aşağı akış yönündeki öğütme-kurutma ünitesine geri taşınır. Bu süreçte azaltım verimliliğini etkileyen faktörler üst siklon kademelerindeki kısa alıkoyma süreleri (en az iki saniye) ile dışa atım gazının içerisinde %30’un üstünde olan yüksek CO₂ seviyeleridir.

Ortamlar arası etkiler

Yoğun kireç enjeksiyonu farin kalitesini etkiler.

İşletim verileri

Kireç hidrat ilavesinin SO₂ azaltma potansiyeli, ilgili tesiste oluşan kükürt döngülerinin derişim seviyesine karşılık başlangıç SO₂ seviyesi ve dışa atım gazı koşulları tarafından belirlenir. Süspansiyon ön ısıtıcılı fırın sistemlerinde soğurucu enjeksiyonu yoluyla %60 ila %80 arasında SO₂ azaltımları elde edilebilir. Başlangıç seviyeleri 400 mg/Nm³’ten yüksek olmadığı takdirde yaklaşık 100 mg/Nm³ elde etmek teorik olarak mümkündür. 1200 mg/Nm³’e varan başlangıç SO₂ seviyeleri söz konusu olduğunda 400 mg/Nm³’lük bir azalma elde etmek mümkündür. 1200 mg/Nm³’ten daha yüksek olan başlangıç SO₂ seviyeleri önemli soğurucu miktarlarının kullanımını gerektirir ve bu durum maliyet açısından uygun olmayabilir. Ayrıca, daha yüksek kükürt döngüsü başlangıç derişimleri, kalsine etme alanında tortu oluşumu nedeniyle proses bozulmalarına yol açar. Bu nedenle, bu teknik uygulandığında daha yüksek seviyelerde kükürt fırına geri döndüğü için artan kükürt devridaimi ve fırın kararsızlığı riski söz konusu olabilir.

Uygulanabilirlik

Soğurucu ilavesi prensipte tüm fırın sistemlerine uygulanabilir, ancak en çok süspansiyon ön ısıtıcılarda kullanılmaktadır. SO₂ emisyon piklerini azaltmak için ESP kullanımından önce dışa atım gazına kuru NaHCO₃ enjekte eden en az bir uzun yaş çimento fırını vardır. Fırın besleme malzemesine kireç ilave edilmesi granüllerin/nodüllerin kalitesini düşürür ve Lepol fırınlarda akış sorunları yaratır.

Kuru emme prosesi (gaz akımına soğurucu enjekte etme) kuru veya yaş olarak uygulanabilir. Ön ısıtıcılı fırınlarda sönmüş kirecin doğrudan dışa atım gazına enjekte edilmesinin sönmüş kirecin fırın besleme malzemesine ilave edilmesinden daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. SO₂ ile kirecin reaksiyona

girmesi sonucunda oluşan CaSO_3 ve CaSO_4 daha sonra hammaddeyle beraber fırına girer ve klinkerin içine yerleşir. Bu teknik, orta düzeyde SO_2 derişimine sahip gaz akımlarının temizlenmesi için uygundur ve $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki hava sıcaklığında uygulanabilir. En yüksek azaltım oranları $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'yi aşan sıcaklıklarda elde edilebilir. Yüksek özgül yüzey alanı ve yüksek gözenekliliğe sahip $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bazlı bir soğurucunun kullanılması tavsiye edilir. Sönmüş kirecin reaktivitesi yüksek değildir ve bu nedenle uygulanan $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SO}_2$ molar oranları 3 ila 6 arasında olmalıdır. Yüksek SO_2 derişimli gaz akımları, stokiyometrik miktardan 6 – 7 kat daha fazla soğurucu gerektirir ve bu da yüksek işletme maliyetleri anlamına gelir.

Ekonomik boyut

Pik durumlarında sınırların aşılmasını sağlamak için birçok tesiste soğurucu ilavesi kullanılmaktadır. Bu, genel olarak soğurucu ilavesinin devamlı bir işlem olmadığı, ancak özel koşullar gerektirdiği takdirde yapıldığı anlamına gelmektedir. 3000 mg/Nm^3 'e kadar başlangıç SO_2 derişimi, %65'e varan azalma ve ton başına 85 avro sönmüş kireç maliyeti söz konusu olduğunda, 3000 ton klinker/gün kapasiteye sahip bir ön ısıtıcı fırın için yatırım maliyetleri yaklaşık 0,2 – 0,3 milyon avro olup işletme maliyetleri ton klinker başına yaklaşık 0,1 – 0,4 Euro'dur.

Ayrıca, örnek maliyetlerin gösterildiği Tablo 1.36 ve Bölüm 1.4.8.3'e göz atın.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

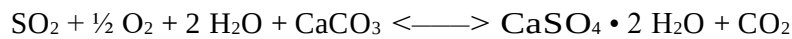
Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri. [8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda, 1997], [30, Marchal, 2001], [76, Almanya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [168, TÇG CLM, 2007].

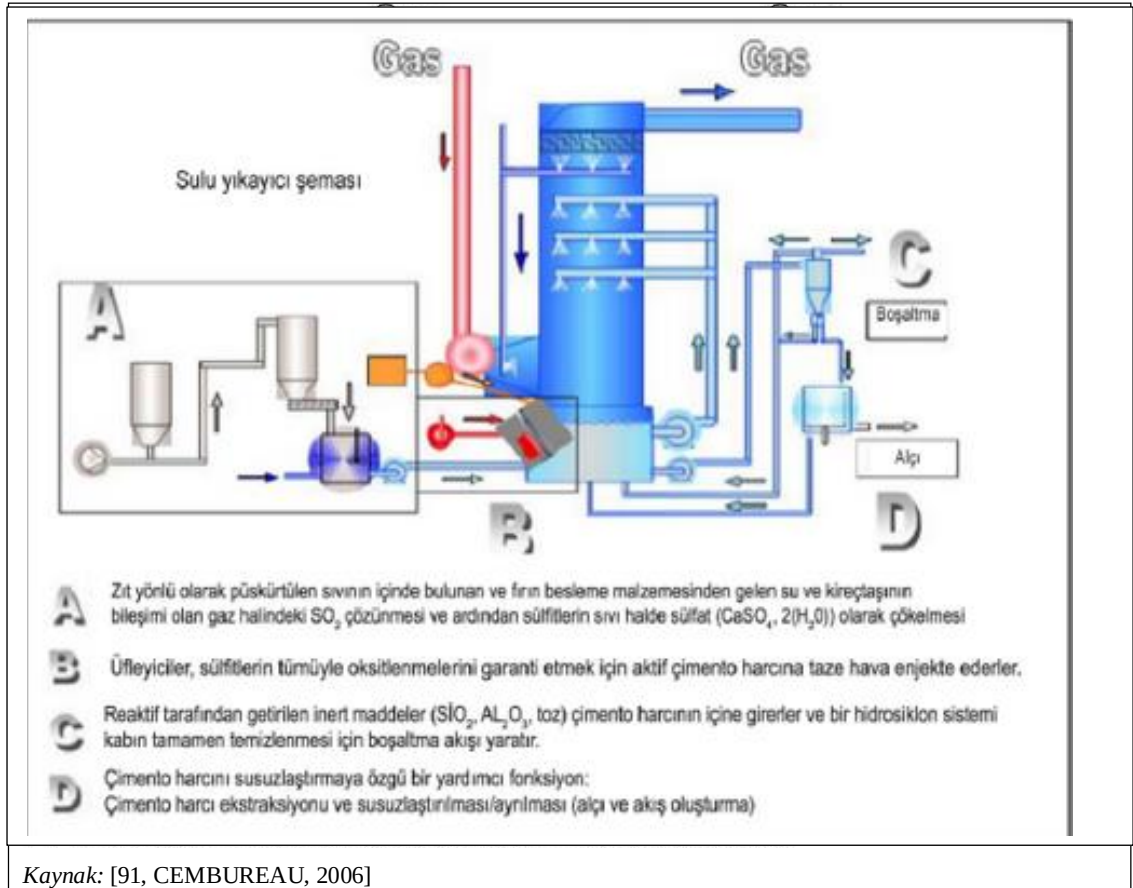
1.4.5.2.2 Yaş gaz yıkayıcı

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Yaş gaz yıkayıcı, kömürle çalışan enerji santrallerinde baca gazı kükürt giderimi için en yaygın kullanılan tekniktir. Çimento üretim prosesleri için, SO_2 emisyonlarını azaltmaya yönelik yaş proses alışıldık bir tekniktir. Yaş yıkama aşağıdaki kimyasal reaksiyona dayanmaktadır:



SO_x , bir püskürtme kulesine püskürtülen bir sıvı/bulamaç tarafından emilir. Soğurucu kalsiyum karbonattır. Yaş yıkama sistemleri, tüm baca gazı kükürt giderme (FGD) yöntemleri arasında çözünür asit gazlarının giderilmesinde en yüksek verimliliği, stokiyometrik faktör aşımaları ve katı atık üretim oranı en düşük olacak şekilde sağlar. Bununla birlikte yaş gaz yıkayıcılar HCl, kalan toz ve bir düzeye kadar metal ve NH_3 emisyonlarını da önemli ölçüde azaltır. Yaş gaz yıkayıcının çalışma sisteminin temel prensibi Şekil 1.69'da gösterilmektedir.



Şekil 1.69: Yaş gaz yıkayıcının temel işletimsel özellikleri

2008 yılında Avrupa çimento endüstrisinde yedi adet halihazırda kullanımda olan ve bir adet kullanımı planlanan yaş gaz yıkayıcı vardır ve bunların tamamı püskürtme kulesidir. Dışa atım gazına karşı akışimli olarak püskürtülen bulamaç yıkayıcının alt bölümünde bulunan bir geri dönüşüm tankının içinde toplanır ve oluşan sülfat bu tankın içinde hava ile oksitlenerek kalsiyum sülfat dihidratı oluşturur. Dihidrat ayrıştırılır ve bu malzeme alçıtaşının fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak çimento öğütmede kullanılabilir, su ise yıkayıcıya geri gönderilir.

Kuru yıkayıcı ile karşılaştırıldığında, yaş proseste çimento fırını tozu (CKD) üretme potansiyeli çok daha düşüktür ve doğal alçı kaynaklarından tasarruf edilir. 2003 yılında İsviçre’de Untervaz sınırları içinde, Avrupa’daki tek kurulu dolaşimli akışkan yataklı kuru yıkayıcı, ekonomik ve bir düzeye kadar teknik nedenlerden ötürü hizmet dışı bırakılmıştır. Normalde çimento üretim prosesi esnasında veya gaz yıkama uygulamaları sırasında atık toz oluşturmamak amaçlanır. Yaş kükürt giderme proseslerinde $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ oluşur, bu, doğal alçı yerine ve ardından çimento içinde bir modülasyon ajanı olarak entegre olmuş şekilde kullanılır. Kuru/yarı kuru kükürt giderme proseslerinde büyük miktarda $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ürünü oluşur. H_2O çimento kalitesi için zararlıdır ve çimentonun içine entegre olma ihtimali kısıtlıdır. Bu nedenle kuru yıkama ürününün büyük kısmının ya fırına geri alınması ya da atılması gerekecektir.

Ortamlar arası etkiler

Artan enerji tüketimi.

Baca gazı desülfürizasyonundan (FGD) kaynaklanan atık üretimi artışı, bakım yapıldığında da ek atık oluşabilir.

Artan CO_2 emisyonları (yaş yıkama prosesinde CO_2 oluşumunu gösteren yukarıdaki kimyasal reaksiyona göz atın).

Artan su tüketimi.

Suya emisyonlar ve artan su kirliliği riski.

Artan işletim giderleri.
Doğal alçıtaşının yapay alçıtaşı ile değiştirilmesi.

İşletim verileri

Elde edilen SO₂ azaltımı %95'ten fazla olabilir. İsveç'teki Cementa AB'nin işlettiği 5800 ton klinker/gün kapasiteye sahip bir ön ısıtıcı fırın, baca gazında 800 – 1000 mg/Nm³'lük bir başlangıç SO₂ derişimi göstermekte, bu da 10 mg/Nm³'ün altında seviyelerle sonuçlanmaktadır. Birleşik Krallık'taki Castle Cement, 2500 ton klinker/gün kapasiteye sahip bir ön ısıtıcı fırın işletmekte, baca gazındaki başlangıç SO₂ derişimi günlük ortalama olarak yaklaşık 800 – 1400 mg/Nm³ ve zaman zaman 2000 mg/Nm³'ün üzerinde pik değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca, 2002 ila 2006 yılları arasındaki yıllık ortalama SO₂ emisyonları 207 mg/Nm³ olarak rapor edilmiş ve hammaddenin yüksek kükürt içeriği nedeniyle azami günlük ortalamalar 248 ila 296 mg/Nm³ arasında değişiklik göstermiştir.

Uygulanabilirlik

Yaş gaz yıkayıcı, alçıtaşı üretmek için uygun (yeterli) SO₂ seviyelerine sahip her türlü çimento fırınına kurulabilir.

Ekonomik boyut

2008 yılında İngiltere'de bulunan Castle Cement'te Ribblesdale fabrikasına takılan yaş gaz yıkayıcının yatırım maliyeti tedarikçi tarafından enflasyonu da göz önüne almak suretiyle 23 milyon avro olarak tahmin edilmiştir. 2000 yılında Castle Cement yıkama ünitesinin yatırım maliyetinin (fabrikada yapılan tadilatlar dahil) 7 milyon avro olduğu ve işletme maliyetinin ton klinker başına yaklaşık 0,9 avro olduğu rapor edilmiştir. 1998 yılında İsveç'te Cementa AB için yatırım maliyetleri yaklaşık 10 milyon avro ve işletme maliyeti ton klinker başına yaklaşık 0,5 avro idi. 3000 mg/Nm³'e kadar başlangıç SO₂ derişimi ve 3000 ton klinker/gün fırın kapasitesi söz konusu olduğunda, 1990'ların sonunda yatırım maliyetleri 6 – 10 milyon avro ve işletme maliyetleri ton klinker başına 0,5 – 1 avro aralığında idi. Ayrıca, 1998'de Avusturya'daki bir çimento tesisinde, bir yaş gaz yıkayıcı için yatırım maliyetleri (SO₂ emisyonlarının 200 mg/Nm³'ün altına indirilmesi) 5,8 milyon avro, 2008 yılına kadar yıllık işletme maliyetleri ise 140000 avro idi. 2008 yılında Avrupa çimento sanayi tarafından, yatırım maliyetlerinin 6 milyon avro ile 30 milyon avro arasında olduğu ve işletme maliyetlerinin ton klinker başına 1 – 2 avro olduğu bildirilmiştir.

1100 t/gün kapasiteli bir referans tesis için hesaplanan örnek maliyet verileri ile farklı verilerin kümesi Bölüm 1.4.8.3'de bulunan Tablo 1.41'de görülebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.
Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Cementa AB (İsveç), Castle Cement (Birleşik Krallık), Retznei tesisi (Lafarge, Avusturya), Dunbar (İngiltere), Trebovlje (Slovenya), Untervaz (İsviçre).
[8, CEMBUROU, 2001], [9, CEMBUROU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagström, 1994], [11, Coulburn, 2001], [24, Junker, 2001], [81, Castle Cement UK, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Avusturya, 2006], [103, CEMBUROU, 2006], [114, İsveç, 2006], [132, CEMBUROU/Federhen, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [175, Lafarge, 2007], [182, TÇG CLM, 2008], [183, Szednyj/Schindler, 2005].

1.4.5.2.3 Aktif karbon

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

SO₂, organik bileşikler, metaller, NH₃, NH₄ bileşikleri, HCl, HF ve artık toz gibi kirleticiler (bir ESP veya torba filtrenin ardından) aktif karbon üzerine adsorpsiyon yoluyla dışa atım gazından uzaklaştırılabilir. Aktif karbon filtresi enjeksiyon tekniği için kullanılır veya modüler bölme duvarları olan bir dolgulu yatak olarak inşa edilir. Modüler tasarım, filtre ebatlarının farklı gaz çıkışına ve fırın kapasitesine göre uyarlanmasını mümkün kılar. Kullanılmış aktif kok

periyodik olarak çıkartılarak ayrı bir siloya alınır ve yeni yüzetutan ile değiştirilir. Doymuş olan koku fırında yakıt olarak kullanmak suretiyle, yakalanan maddeler sisteme geri döndürülür ve büyük oranda çimento klinkeri içine dahil edilir.

Ortamlar arası etkiler

Aktif karbondan kaynaklanan atıklar tehlikeli atık olarak yönetilmelidir.

İşletim verileri

Avrupa çimento sanayinde halen mevcut olan tek aktif karbon filtresi Siggenthal, İsviçre’de bulunan çimento tesisine kurulmuştur. Siggenthal firması 2000 ton klinker/gün kapasiteli dört kademeli siklon ön ısıtıcı fırındır. Ölçümler, SO₂, metaller ve PCDD/F için yüksek giderim verimliliği göstermiştir. 100 günlük bir deneme sırasında, filtre girişinde gözlenen SO₂ derişimleri 50 ila 600 mg/Nm³ arasında değişirken, çıkış derişimleri 50 mg/Nm³’ün her zaman önemli ölçüde altındaydı. Toz derişimleri 30 mg/Nm³’ten 10 mg/Nm³’ün önemli ölçüde altına düşmüştür.

Uygulanabilirlik

Tüm kuru fırın sistemlerine aktif karbon filtre takılabilir. Kullanılmış aktif karbon ve PCDD/F’ler gibi atıklar ve cıva gibi diğer kirleticiler tehlikeli atıklar olarak yönetilmelidir. Kok filtresinde yangınları önlemek için sıcaklık ve CO izlemesi ve kontrolü, bu proses açısından özellikle önemlidir.

Ekonomik boyut

Siggenthal’deki sistemde SNCR prosesi de vardır ve 1999 yılında Zürih şehri yaklaşık 15 milyon avro olan toplam yatırım maliyetinin yaklaşık %30’unu finanse etmiştir. Bu azaltma sistemine yapılan yatırım, çürütülmüş kanalizasyon çamurunun çimento tesisinde yakıt olarak kullanılmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır.

İşletme maliyetleri artabilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklilikler. Yerel
koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Siggenthal, İsviçre
[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagström, 1994], [12, Hollanda, 1997], [86, EURITS, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.3

Karbon monoksit (CO) emisyonlarının ve CO aşımalarının azaltılması

Tanım

Fırının/farin değirmeninin dışa atım gazı CO₂, N₂, su buharı ve oksijen gibi diğer farklı bileşenlerin yanı sıra bir düzeye kadar NO ve SO_x ve ayrıca CO içerir.

Mümkün olduğunda organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin seçimi de CO emisyonlarını azaltır. Eksik yanmadan kaynaklanan karbon monoksit (CO) emisyonları genelde verim kaybına işaret eder. Bu nedenle işletmeciler fırınların CO emisyonlarını kısıtlamaya çalışma eğilimindedir. Yanma ile ilgili olarak optimizasyon ve beslenen yakıtın kalitesi, brülör özellikleri ve konfigürasyonu, fırın hava çekişi, yanma sıcaklığı ve kalma süresinde yapılacak iyileştirmeler CO emisyonlarını azaltabilir.

Ayrıca, yakıt enerjisi kullanımını azaltan tüm teknikler CO₂ emisyonlarını da azaltır. Mümkün olduğunda organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin ve karbon içeriğinin ısıl değere oranının düşük olduğu yakıtların seçimi CO₂ emisyonlarını azaltır.

CO aşımları

ESP'lerde ve bir dereceye kadar hibrit filtrelerde CO aşımaları nedeniyle toz emisyonları meydana gelebilir. Baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin güvenlik nedenleriyle kapatılmasını gerektirecektir.

ESP aksaklık süresini azaltmak için sistematik bir kademeli yaklaşım gereklidir:

- ☐ hedefler belirlenir ve aşağıdakilerden kaynaklanan CO aşımı nedenleri gibi CO aşımalarını etkileyen ana faktörler açısından durum değerlendirilir:
 - proses arızası
 - hammaddedeki yüksek organik içeriği nedeniyle yüksek geri plan CO seviyesi
 - yakıt besleme sisteminde aksaklık
 - yakma prosesi arızası
- ☐ mevcut ve optimum durumların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi, optimizasyon potansiyelinin belirlenmesi ve önceliklerin belirlenmesi – boşluk analizi
- ☐ proses ve analiz sistemi optimizasyonu, istikrar, güvenilirlik ve hızın sağlanması, reaksiyon tekniklerinin optimizasyonu.

Ayrıca, herhangi bir nedenin tespiti ve karşı tekniklerin ele alınması için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır:

- ☐ analiz ekipmanının güvenilirliği, kullanılabilirliği ve dinamik davranışı hakkında bilgi
- ☐ CO gelişimi istatistikleri hakkında bilgi
- ☐ kullanılan yakıtlar, yakıt besleme sistemi ve proses hakkında bilgi.

Yakma sisteminin istikrarlı çalışmasını sağlamak için fırın sistemine yakıt sıçramasını önlemek üzere tasarlanmış yakıt besleme sistemleri, CO aşımalarını en aza indirebilir.

Bir çimento fırındaki CO seviyesini kontrol etmek amacıyla sürekli olarak baca gazı CO içeriğini izlemeye yönelik bir otomatik CO ölçüm cihazı kullanılır. Bu tedbirin/teknikğin reaksiyon süresi ve çalışmayı durdurma prosedürü açısından optimize edilmesi ve bakımının uygun bir şekilde yapılması gerekir. İdeal CO izleme sistemi kısa tepki süresine sahip olmalı ve ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaş fırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi CO kaynağına yakın bir yerde bulunmalıdır. Yine de, kanal hacminden kaynaklanan bekleme süresi de dahil olmak üzere tüm sistemin ölü zaman analizinin yapılması gerekir. İdeal olarak CO gazı örneğinin emme noktasından analiz cihazına gidişi boyunca geçen ölü zaman 20 – 30 saniye civarında olacaktır (analiz gecikme süresi). Buna, analiz tepki süresi olarak 10 – 30 saniye ek gecikme süresi eklenerek, azami değerin yaklaşık %85'ine ulaşılmadan önceki toplam azami ölü zaman hesaplanabilir. Toplam ölü zaman, çok erken veya çok geç olmadan ne zaman tedbir alınacağını belirler. CO aşımı eğiminin daha ayrıntılı bir analizi yapılırsa, ESP yüksek gerilim sisteminin ne zaman kapatılması gerektiği ve ne zaman tekrar tam işleme dönebileceğine ilişkin daha kesin bir tahminde bulunabilir, yani CO aşımının kritik alanı ne zaman terk ettiği de hesaba katılır.

CO izleme gecikme süresi, örnek akışını artırarak, örnekleme noktası ile analiz cihazı arasındaki mesafeyi kısaltarak, analiz sistemindeki hacim azaltarak ve hızlı elektronik raporlama sinyali ile azaltılabilir. Hızlı *in situ* sistemlerin <3 saniye tepki süreleri vardır ancak bunlar yüksek toz yüklü gazlar söz konusu olduğunda sınırlamalara tabidirler. Genel olarak, sıkı bir bakım ve kalibrasyon rejimi esas önem taşır. Ancak analiz cihazı aralıkları ve bileşenleri CO için %5 ve CH₄ için %3 olan kritik sınırlara uygun olmalıdır.

CO aşımı bastırılmadığında, herhangi bir ateşleme kaynağı, özellikle de ESP'lerin yüksek gerilim teçhizatı özel dikkat gerektirir. Yüksek gerilim teçhizatında meydana gelecek bir kesinti son çare olarak görülmeli, istenmeyen bir durum olarak kabul edilmelidir. Diğer potansiyel tutuşma kaynakları ise katı maddelerin birbirlerine sürtünmesi sonucunda oluşan statik yükler veya herhangi bir toz toplama sisteminin fanları olabilir. Genel olarak > % 6 O₂ varlığında > % 8 CO (veya CH₄) kritik sınırdır. Uygulamada ise, CO aşımı gaz serisinde hızla ilerleyecek ve analiz sistemi alarm vermeden önce bir ateşleme kaynağı için kritik alana ulaşacaktır. Bu nedenle, eyleme geçme seviyesinin teorik seviyeden önemli ölçüde düşük olması beklenen durumdur ve özellikle yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında CH₄ ve H₂ derişimleri daha da etkili bir rol oynar.

Kesintiler ağırlıklı olarak çalıştırma işlemi aşamasında meydana gelir. Güvenli çalışma için ESP korumasına yönelik gaz analizörlerinin, tüm çalışma aşamalarında devrede olması gerekir. İşletmede olan bir yedekleme sistemi kullanılarak tesisin aksaklık süresi kısaltılabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Patlama risklerinin, CO aşımalarının, CO ve toz (partikül madde) emisyonlarının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

CO aşımları nedeniyle toz (partikül madde) emisyonları meydana gelebilir.

İşletim verileri

Baca gazında, hammaddelerdeki karbondan kaynaklanan ek CO ile beraber % 0,1'e varan derişimlerde CO bulunabilir.

Sürekli ölçümler sonucunda 200 ila 2200 mg/Nm³ aralığında (yıllık ortalama değer) CO emisyonları bildirilmiştir (bkz. Bölüm 1.3.4.4.2 Şekil 1.34).

CO aşımları birkaç dakika, hatta saniyeler içinde gerçekleşebilir ve hızla işletim durdurma sınırına ulaşabilir (bkz. Bölüm 1.3.4.1.1 ve 1.4.4.3.1). CO aşımları en aza indirilebilir, toplam süre aralıklarına ilişkin olarak yılda 1 ila 29 dakika arasında değişen, toplam fırın işletim süresinin <% 0,001 ila 0,009'una karşılık gelen örnekler bildirilmiştir (bkz. Tablo 1.3.4.1.1) [158, Almanya, 2007].

ESP'lerde CO aşımlarını önlemek için kullanılabilecek birincil tekniklerin bir örneği Tablo 1.38'de açıklanmaktadır. Standart kademeli işlemlerde öncelikli olarak yakıt beslemesi ve yüksek gerilim seviyesi azaltılabilir. Ardından yakıt beslemesinin tümünden kesimi ve yüksek gerilim dönüştürücülerinin otomatik olarak devreden çıkması gelir. Daha sonra fanlar çalışır durumda tutularak sistemin temizlenmesi gerekir. Gerekli temizleme süresi, gecikme süresiyle aynı şekilde belirlenebilir.

Tablo 1.38: ESP'lerden CO aşımlarını önlemeye yönelik birincil teknik örnekleri

CO aşımlarını önlemeye yönelik birincil teknikler		
Ölçüm noktası	CO seviyesi (%)	Ölçüm
Bir ön ısıtıcı kulesinde	0,5	Alarm, ön kalsinatör/fırın giriş pişirme sisteminin kapatılması
	1,2	Ana pişirme sisteminin kapatılması
	2,5	Yüksek gerilim elektrikli toz tutucunun kapatılması
Bir ön ısıtıcı kulesinin sonrası	0,5	Alarm, ön kalsinatör/fırın giriş pişirme sisteminin kapatılması
	0,8	Ana pişirme sisteminin kapatılması
	1,5	Yüksek gerilim elektrikli toz tutucunun kapatılması
	0,5	ESP yüksek gerilim teçhizatının yeniden çalıştırılması
Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [83, CEMBUREAU, 2006]		

Uygulanabilirlik

CO aşımlarını azaltmaya yönelik teknikler tüm fırın tiplerine uygulanabilir.

İkincil pişirmeli fırınlarda baca gazlarını sürekli olarak izleyen otomatik bir CO izleme cihazı uygulanarak, CO aşımı sırasında pişirme sisteminin kademeli olarak kapatılmasıyla filtrelerin daha güvenilir işletimi sağlanabilir.

Farklı yakıtların, özellikle katı yakıtların kullanılması, yanma sisteminin dengesiz çalışmasına ve CO aşımalarına neden olabilir. Yakıt besleme sistemleri, herhangi bir anda fırın sistemine yakıt sıçramasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Katı yakıtların taşınma özellikleri özellikle bu açıdan çok önemli bir faktördür ve yakıt hazırlama ve besleme sistemlerinde takılma ve tıkanmaları engellemek için dikkatli bir biçimde kontrol edilmelidir.

Torba filtreler

Aşırı kritik atmosferlerde çalıştırılan torba filtreler de sorunlarla karşılaşabilir. Bu nedenle işletimsel CO seviyesi de mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. ESP'lerde olduğu gibi, CH₄ ve H₂ gibi ek yanıcı gaz bileşenleri kritik seviyeyi düşürür, yani yaklaşık %2 hidrojen varsa, kritik seviye yaklaşık % 5'e düşer.

Torba filtreler için özel potansiyel tutuşma kaynakları, suni liflerin sürtüşmesi nedeniyle oluşan statik yükler veya hibrit filtrelerde (ESP ile torba filtrenin bileşimi) torbalar üzerinde biriken statik yüklerdir. Özellikle kömür değirmenlerinde kesintileri önlemek için torbalara paslanmaz çelik fiber ağ veya iletken bir yüzey takılır ve torba filtre hücre plakasına bağlanarak topraklanır. Aynı şekilde hibrit toz toplayıcılar için torba destek kafesinin hücre plakasına bağlanarak topraklanması tavsiye edilmektedir. ESP sisteminde olduğu gibi, CO unsurunun dışarı atılması gerekir. Kömür değirmenlerinin temizlenmesi tercihen fırın gazı, CO₂ veya N₂ gibi bir atıl gaz vasıtasıyla yapılmalıdır.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

CO aşımalarının kontrolüne ilişkin kılavuz (bkz. Bölüm 6.2.6) [83, CEMBUREAU, 2006] [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [158, Almanya, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.4 Toplam organik karbon emisyonlarının (TOK) azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Normal şartlar altında uçucu organik bileşik (UOB) emisyonları genelde düşüktür, ancak, tesiste kullanılan hammadde organik uçucu içeriği bunu değiştirebilir. İmkan olduğu takdirde uçucu organik bileşik içeriği yüksek olan doğal veya atık hammaddeler, hammadde besleme güzergahı yoluyla fırın sistemine beslenmemeli, halojen içeriği yüksek olan yakıtlar ikincil pişirmede kullanılmamalıdır.

Yüksek UOB derişimleri meydana gelirse, diğer sektörlerde olduğu gibi aktif karbon üzerinde adsorpsiyon düşünülebilir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Avrupa çimento fırınlarından bildirilen TOK emisyonları 1 ila 40 mg/Nm³ arasındadır (yıllık ortalama değerler) ve hammadde özelliklerine bağlı olarak daha yüksek olabilir (bkz. Bölüm 1.3.4.5).

Atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gereklidir.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento fırınlarında uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [59, Avrupa Birliği, 2000], [76, Almanya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.5.5 Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Düşük seviyede klor ve düşük seviyede flor içeren hammaddelerin kullanımı klor ve flor emisyonlarını azaltabilir (ayrıca bkz. Bölüm 1.4.3.2 ve 1.4.3.3). Ayrıca, soğurucu enjeksiyonu veya yakayıcı tekniklerinin kullanılmasının da HCl ve HF emisyonları üzerinde etkisi olabilir.

Klor bileşikleri 700 ila 900 °C arasında fırın besleme malzemesi veya fırın tozu üzerinde yoğunlaşır. Bunlar döngüsel davranış gösterir ve döner fırın ile ön ısıtıcı arasındaki alanda zenginleştirilebilirler. Fırın girişindeki baypas kullanımı alkali klorür döngülerinin etkili azaltımını sağlar. Dahası, düşük seviyede klor içeren hammadde ve yakıtlar, düşük klor dolaşımıyla sonuçlanır ve fırın ile ön ısıtıcı arasındaki iç dolaşımdan kaynaklanan zenginleştirme döngüsünü en aza indirebilir.

Döner fırınlarda mevcut olan florun % 90 ila 95'i klinker içinde hapsolmuştur ve geri kalan kısmı yanma prosesi şartlarında kararlı olan kalsiyum florür (CaF₂) şeklinde toz ile bağlıdır.

Ortamlar arası etkiler

Baypas sisteminin kullanılması (sıcak ham malzemenin ve ham gazın giderilmesi) daha yüksek özgül enerji tüketimine (bkz. Bölüm 1.4.2.1.4) ve bertaraf edilecek daha fazla atık oluşmasına yol açar.

İşletim verileri

HCl emisyonları için en iyi performans verilerinin 0 ila 8 mg/Nm³ arasında olduğu (yıllık ortalama değer) ancak bunun hammadde ve yakıtların klor içeriğine bağlı olduğu bildirilmiştir (bkz. Bölüm 1.3.4.8.1).

Çimento fırınlarındaki HF emisyonları için HF olarak ifade edilen en iyi performans verileri 0,6 mg/Nm³'ün altındadır (yıllık ortalama değer) (ayrıca bkz. Bölüm 1.3.4.8.2).

Atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gereklidir.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[59, Avrupa Birliği, 2000], [76, Almanya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.6 Poliklorlu dibenzo-p-dioksin (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuran (PCDF) emisyonlarının azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Çimento fırınlarından salınan PCDD/F emisyonları genelde çok düşük seviyededir; ancak bunları en aza indirmek için aşağıda belirtilen genel teknikler uygulanabilir:

- proses parametresi ayar noktalarına yakın çalışan, sorunsuz ve istikrarlı bir fırın prosesi tüm fırın emisyonları ve enerji kullanımı açısından yararlıdır. Bu, aşağıdakilerin uygulanmasıyla mümkündür:
 - bilgisayar bazlı otomatik kontrol sistemi dahil olmak üzere proses kontrol optimizasyonu
 - modern yakıt besleme sistemlerinin kullanımı
- aşağıdaki yollarla yakıt enerjisi kullanımını en aza indirmek:
 - mevcut fırın sistemi konfigürasyonunu göz önüne alarak ön ısıtma ve ön kalsinasyon
- fırına giren maddelerin dikkatli seçimi ve kontrolü
 - mümkün olduğunda, kükürt, azot, klor, metal ve uçucu organik bileşik içeriği düşük olan homojen hammadde ve yakıtların seçilmesi ve kullanılması.

PCDD/F'nin yeniden oluşum ihtimalini en aza indirmek için kullanılması gereken en önemli birincil tekniklerin aşağıda belirtilenler olduğu düşünülmektedir:

- fırın dışı atım gazlarının ön ısıtma olmaksızın uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda 200 °C'nin altına hızla soğutulması. Modern ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırınlar halihazırda bu özelliğe sahip olarak tasarlanmaktadır
- organik klorlu malzemeler içerdiğinde, hammadde karışımının bir parçası olarak hammadde beslemesi olarak kullanılan atıkların sınırlandırılması veya bunlardan kaçınılması
- çalıştırma ve kapatmalar sırasında yakıt atık beslemesinin kullanılmaması
- kritik proses parametrelerinin izlenmesi ve stabilizasyonu, yani homojen hammadde karışımı ve yakıt beslemesi, düzenli dozlama ve fazla oksijen [86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006]
- halojen içeriği yüksek yakıtlar ikincil ateşlemede kullanılmamalıdır.

Ancak, yüksek PCDD/PCDF derişimleri meydana gelirse, diğer sektörlerde olduğu gibi aktif karbon üzerinde adsorpsiyon düşünülebilir.

Ortamlar arası etkiler

Baca kanalı içinde su püskürtme sisteminden oluşan dışa atım gazı söndürme sistemlerinin kullanılması enerji verimliliği üzerinde etkili olabilir.

İşletim verileri

Birincil teknikler uygulandığı takdirde çimento fırınlarının çoğu 0,1 ng I-TEQ/Nm³ emisyon seviyesini karşılayabilir [88, SINTEF, 2006]. 2004 yılında yapılan spot ölçümler, AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde bulunan fırınların çoğunun birincil teknikleri uygulamak suretiyle <0,03 ve 0,05ng I-TEQ/Nm³ arasında emisyon seviyeleri elde ettiklerini göstermiştir (bkz. Bölüm 1.3.4.6 Şekil 1.39). Ayrıca, birçok çimento tesisi tarafından yıllık ortalama değer olarak <0,03 ng I-TEQ/Nm³ emisyon seviyeleri elde edilmiştir (bkz. Bölüm 1.3.4.6 Şekil 1.38).

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte çimento fırınlarında uygulanabilir. Yaş fırınlarda fırın sonrası işletme koşullarının kontrol edilmesi PCDD/F emisyonlarını düşürebilir.

Ekonomik boyut

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.7 Metal emisyonlarının azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Fırın sistemi içine uçucu metal içeriği yüksek olan malzemeleri beslemekten kaçınılmalıdır. Klinker ve tozun içinde bulunan diğer metallerle birlikte yüksek emisyonlara yol açacağı için Hg ve Tl gibi uçucu metal içeriği yüksek olan malzemelerin kullanımı özellikle kontrol edilmelidir. Fırına giren malzemelerin dikkatli seçimiyle ve örneğin kalite güvence sisteminin uygulanmasıyla, kullanılan atık malzemelerin güvence altına alınan özellikleri, emisyonları azaltabilir (bkz. Bölüm 1.4.3.2 ve 1.4.3.3).

Metallerin ve özellikle talyumun çimento fırın sisteminin iç ve dış döngülerinde birikmesi fırının çalışma süresinin ve bununla birlikte emisyonların artmasına yol açar. Bu, söz konusu döngüleri engellemek suretiyle kısmen veya tamamen azaltılabilir. Ancak iç ve dış döngüler arasındaki yakın ilişki sayesinde, yalnızca dış döngünün durdurulması yeterlidir. Bu durdurma, toz toplayıcının içinde birikmiş olan tozu farine döndürmek yerine bertaraf etmek suretiyle gerçekleştirilebilir. Kimyasal bileşimi uygun olduğu takdirde atılmış olan bu çimento fırını tozu çimento öğütme aşamasında doğrudan ilave edilebilir [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996].

Salınan metaller (cıvanın bir bölümü hariç) büyük ölçüde toza bağlı oldukları için metal azaltma stratejileri toz azaltma stratejileri kapsamında yer almaktadır. Etkili toz giderme metal emisyonlarını azaltır. Cıva emisyonlarını en aza indirmenin bir yolu dışa atım sıcaklığını azaltmaktır. Uçucu olmayan elementler prosesin içinde kalır ve çimento klinker bileşiminin bir parçası olarak fırından çıkar. Yüksek uçucu metal (özellikle cıva) derişimleri oluştuğunda, malzemelerdeki uçucu metal içeriği (özellikle cıva) en aza indirilmelidir ve bu maddelerin fırın sistemine girişinin sınırlandırılması gerekebilir (bkz. Bölüm 1.3.4.13, 1.4.3.2 ve 1.4.3.3).

Ayrıca, aktif karbon üzerinde soğurma da bir seçenektir. Yarı uçucu metaller ince duman şeklinde yoğunlaşır ve uçucu olmayan metaller nazaran daha düşük bir giderme verimi ile tutulurlar. Uçucu olmayan metaller fırın sistemine girdiklerinde büyük ölçüde klinkerin içine hapsolür (bkz. Bölüm 1.3.4.7).

Ortamlar arası etkiler

Etkili toz giderme metal emisyonlarını da azaltır.

İşletim verileri ve uygulanabilirlik

Toz haline getirilmiş aktif karbon enjekte edildiğinde cıva aktif karbon tarafından adsorbe edilir. Bu tedbirin/teknik cıva (metalik veya iyonik) giderme etkinliğinin yaklaşık % 85 ila % 95 olduğu rapor edilmiştir. Bu, 0,01– 0,03 mg/Nm³ Hg emisyonlarıyla sonuçlanır. Ancak bu tedbir/teknik için herhangi bir endüstriyel referans yöntem bulunmamaktadır.

Statik aktif karbon veya kok filtresi, cıva ile PCDD/F'lerin modüler bölme duvarlı dolgulu yatak haline getirilmiş aktif karbon filtre tarafından adsorbe edilmelerini içerir. Bu tedbirin/teknik kullanımı 0,03 mg/Nm³'ün altında Hg emisyonları sağlar. Filtre doyduğunda periyodik olarak değiştirilmelidir. Kullanılmış aktif karbon ve PCDD/F'ler gibi atıklar ve cıva gibi diğer kirleticiler tehlikeli atıklar olup bunun gerektirdiği şekilde yönetilmelidir [86, EURITS, 2006].

Ancak, AB-23+ ülkelerinde kullanılmakta olan sadece bir adet aktif karbon filtre vardır ve bu da İsviçre'de Siggenthal'de yer almaktadır (bkz. Bölüm 1.4.5.2.3).

Ayrıca, Şekil 1.46 (spot ölçümler) ve Şekil 1.47’de (yıllık ortalama değerler, bkz. Bölüm 1.3.4.7.1) gösterildiği gibi aktif karbon enjekte edilmeden de $<0,01 - 0,05 \text{ mg/Nm}^3$ aralığında cıva emisyonları elde edilmiştir.

Atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI’ında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gereklidir.

Ekonomik boyut

Fırına beslenen malzemelerin özelliklerini garanti etmek için gerekli olan kalite güvence sistemi, ek masraflara yol açabilir.

Etkin toz giderme sayesinde aktif karbon filtreler için yapılan yüksek harcamaların önüne geçilebilir.

İsviçre’deki Siggenthal tesisi için, Zürih şehri yaklaşık 15 milyon avro olan toplam yatırım maliyetinin yaklaşık %30’unu finanse etmiştir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek tesisler

Siggenthal, İsviçre

Referans literatür

[27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996], [59, Avrupa Birliği, 2000], [86, EURITS, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

1.4.8 Farklı baca gazı azaltma teknikleri ve emisyonların azaltılmasında kullanılabilecek birincil teknikler için maliyet verilerine örnekler

1.4.8.1 Toz azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri

Toz azaltma teknikleri için maliyet hesaplamalarına örnekler Tablo 1.39’da verilmiştir. ESP’ler ve torba filtreler gibi farklı toz azaltma teknikleri değerlendirilmiştir. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, toz bertaraf etme masrafları bu tabloda ayrıca belirtilmiştir. Ayrıca, farklı torba filtrelerin temel özellikleri ile maliyet cetvelleri, liflerin teknik uygulamalarının gösterildiği Tablo 1.32’nin de yer aldığı Bölüm 1.4.4.3.2’de bulunabilir. Tablo 1.32’de yer alan bilgiler 2003 yılından itibaren olmak üzere derlenmiş olup, sabit yerel işgücü ve enerji maliyetlerine tabidir. Tablo 1.32’de torba filtreler için filtre ortamı değiştirme masrafının hesaba katılmadığı unutulmamalıdır.

Tablo 1.39: Toz azaltma teknikleri için maliyet verilerine örnekler

Toz azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri					
Parametre	Birim	Azaltma tedbiri/teknik			
		ESP		Torba filtre	
Referans kurulumun açıklaması		I ⁽⁰⁾	II	I ⁽⁰⁾	II
Kapasite	ton klinker/gün	1 100	3 000	1 100	3 000
Kullanım ömrü	yıl	35		35	
Tesis faktörü	s/yıl	7 680		7 680	
Yatırım maliyetleri	k EUR	1 500	2 100 – 4 600 ⁽⁸⁾ 4 500 – 6 000 ⁽⁹⁾	1 750	2 100 – 6 800 ⁽¹⁰⁾ 4 000 – 8 000 ⁽¹¹⁾
Yıla yayılan sermaye maliyetleri	k EUR				
Faiz oranı	%/100/yıl	4		4	
Kontrol teçhizatının ömrü	yıl	10		10	
Toplam	k EUR	184,94		215,76	
Toplam	k EUR/ton klinker	5.25E-04		6.13E-04	
Sabit işletme giderleri	%/yıl ⁽²⁾	4		4	
Toplam	k EUR	60		70	
Toplam	k EUR/ton klinker	1.70E-04		1.99E-04	
Değişken işletme giderleri	k EUR/ton klinker	3.15E-04		3.77E-04	
Ton klinker başına maliyet	k EUR/ton klinker	1.01E-03		1.19E-03	
Ton azaltılan PM ⁽³⁾ başına maliyetler	k EUR/t azaltılan PM				
Azaltılmamış emisyon faktörü ⁽¹⁾	t PM/t klinker	0,13		0,13	
	mg/Nm ³	56.520		56.520	
Azaltılan emisyon faktörü ⁽¹⁾	t PM/t klinker	0,000046		0,000046	
	mg/Nm ³	20		20	
Toplam	k EUR/t azaltılan PM	0,008		0,009	
Toplam işletme maliyeti	EUR/t klinker		0,1 – 0,3		0,1 – 0,35
Değişken işletim maliyetinin belirlenmesi					
Elektrik maliyetleri ⁽⁴⁾					
Ek elektrik ihtiyacı (e ^e) ⁽⁵⁾	kWs/t klinker	4,15		5,24	
	kW	190		240	
Elektrik fiyatı (e ^e)	EUR/kWs	0,0569		0,0569	
Toplam	k EUR/ton klinker	2.36E-04		2.98E-04	

Toz azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri					
Parametre	Birim	Azaltma tedbiri/teknik			
		ESP		Torba filtre	
İşgücü maliyetleri⁽⁶⁾					
İşgücü ihtiyacı (e ¹)	insan yılı/t klinker	2.13E-06		2.13E-06	
Maaşlar (c ¹)	k EUR/insan yılı	37.234		37.234	
Toplam	k EUR/ton klinker	7.93E-05		7.93E-05	
Toz bertaraf maliyetleri⁽⁷⁾					
Toplam	k EUR/ton klinker	0		0	
Toplam değişken işletme giderleri	k EUR/ton klinker	3.15E-04		3.66E-04	

k EUR = bin EUR
 (0) 2000 verisi, 1995 yılında AB-15 ortalamasını temsil eden günlük 1 100 ton kapasiteli referans çimento tesisi
 (1) % 10 O₂ ve kuru gaz
 (2) Yatırımın
 (3) % 50 ESP ve % 50 torba filtre olmak üzere yeniden bölümlenme; ESP ve torba filtre ortalaması kullanılır
 (4) Elektrik maliyetleri = e^e • c^e/10³ (k EUR/t)
 (5) Ek elektrik talebi = yeni toplam tüketim - eski toplam tüketim
 (6) İşçilik maliyetleri = e¹ • c¹ (k EUR/t)
 (7) Toz bertaraf maliyeti = e^d • c^d • ef_{azaltılmamış} • f/10³ (k EUR/t) Ef_{azaltılmamış}: kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (t kirleticisi/t) e^d: toz bertaraf ihtiyacı (t/t giderilen kirleticisi)
 c^d: özgül toz bertaraf maliyeti (EUR/t)
 f: giderme verimi (=1-ef_{azaltılmamış}/ef_{azaltılmamış})
 (8) 2000 verileri, şartlandırma kulesi ve filtre fanı yatırım maliyetlerini içerir (0,6 milyon – 0,8 milyon EUR)
 (9) 2006 verileri
 (10) Şartlandırma kulesi ve filtre fanı yatırım maliyetlerini içerir (0,6 milyon – 0,8 milyon EUR)
 (11) Kullanılan filtre torbalarının tipine ve sayısına bağlı olarak >% 99,9 ayırma verimliliği için
 Kaynak: [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [100, Fransa, 2006], [102, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2003], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008]

1.4.8.2 NO_x azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri

Tablo 1.40, 1995 yılında AB-15 ortalamasını (1100 t/gün) temsil eden kapasiteye sahip bir referans çimento tesisi için NO_x azaltma tekniklerine ait maliyet hesaplama örneklerini ve farklı kapasitelere sahip örnek tesisleri göstermektedir. Araştırılan NO_x azaltma teknikleri SNCR, SCR ve NO_x birincil teknikleridir. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, SNCR’de kullanılan amonyakın maliyetleri bu tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Ayrıca, bir Alman tesisi için Almanya UBA’dan alınan, NO_x azaltma teknikleri SCR ve SNCR’nin maliyet karşılaştırması Bölüm 6.2.4.2, Tablo 6.26’da bulunabilir. Elde edilen farklı NO_x seviyeleri, yani 200 ve 500 mg/Nm³ için hem yatırım hem de işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Tablo 6.26’da gösterildiği gibi, SNCR ve SCR için işletme maliyetleri, katalizörün değiştirme maliyetleri de dahil olmak üzere, 500 mg/Nm³ hedef NO_x seviyesi için kabaca aynı olup; SCR için toplam özgül maliyetler, SNCR için olandan yaklaşık % 50 daha yüksektir. 200 mg/Nm³ hedef NO_x seviyesinde, SCR işletme maliyetleri açısından daha verimli görünmektedir, ancak toplam özgül maliyetler SNCR ile aynı düzeyde kalmaktadır [76, Almanya, 2006].

Tablo 1.40: NO_x azaltma teknikleri için maliyet verilerine örnekler

NO _x azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri						
Parametre	Birim	Azaltma tedbiri/teknigi ⁽¹⁾				
		NO _x birincil tedbirleri/ teknikleri ⁽⁰⁾	Alev soğutma ⁽⁸⁾	Kademeli ⁽⁷⁾ yakma	SNCR ⁽⁰⁾	SCR
Referans kurulumun açıklaması						
Kapasite	ton klinker/gün	1 100	3 000	3 000	1 100	1 500 ⁽⁷⁾
Kapasite	ton klinker/yıl	352 000				
Kullanım ömrü	yıl	35			35	
Tesis faktörü	s/yıl	7 680			7 680	
Yatırım maliyetleri	EUR milyon	0,25	% 0,2'ye kadar	0,1 – 2 ⁽⁸⁾ 1 – 4 ⁽⁹⁾ 15 – 20 ⁽¹⁰⁾	0,6	
Özgül Yatırım maliyetleri	EUR/t klinker				0,08 – 0,14 ⁽⁷⁾	0,83 – 0,87 ⁽⁷⁾
Yıla yayılan sermaye maliyetleri	k EUR					
Faiz oranı	%/100/yıl	4			4	
Kontrol teçhizatının ömrü	yıl	8			10	
Toplam	k EUR	37,13			166,97	
Toplam	k EUR/ t klinker	1.05 E-04	2.5E-04'e kadar		4.74E-04	
Sabit işletme giderleri	%/yıl ⁽²⁾	4			4	
Toplam	k EUR	10			24	
Toplam	k EUR/ t klinker	2.84E-05			6.82 E-05	
Değişken işletme giderleri	k EUR/ t klinker	2.64 E-05			5.69 E-04	
Ton klinker başına maliyet	k EUR/t klinker	1.60 E-04			1.11 E-03	
Ton azaltılan NO_x ⁽³⁾ başına maliyetler	k EUR/t azaltılan NO _x				330 – 450 ⁽⁷⁾	470 – 540 ⁽⁷⁾
Azaltılmamış emisyon faktörü ⁽¹⁾	t NO _x /t klinker	0.00322			0.002415	
	mg/Nm ³	1 400			1 050	
Azaltma verimliliği ⁽¹⁾	%	25			62	
Toplam	k EUR/t azaltılan NO _x	0,2			0,74	
Katalizörler						
Değiştirme maliyetleri	EUR/t klinker					0,10 – 0,13 ⁽⁷⁾
Değişken işletim maliyetinin belirlenmesi						
Elektrik maliyetleri ⁽³⁾						
Ek elektrik ihtiyacı ^(e) ⁽⁴⁾	kWs/t klinker	0,44			0,13	
	kW	20			5,96	
Elektrik fiyatı ^(c)	EUR/kWs	0,0569			0,0569	
Toplam	k EUR/ t klinker	2.48 E-05			7.40 E-06 0,03 – 0,06 ⁽⁷⁾	0,10 – 0,11 ⁽⁷⁾
Amonyak maliyeti ⁽⁶⁾						
NH ₃ suyu depolama	EUR milyon					
efazaltılmamış	t klinker	-			0.002415	

NO _x azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri						
Parametre	Birim	Azaltma tedbiri/teknik (1)				
		NO _x birincil tedbirleri/teknikler (0)	Alev soğutma (8)	Kademeli (7) yakma	SNCR (9)	SCR
Salınan NO _x için NH ₃ /NO _x (mol/mol) oranı		-			1,5	
Özgül NH ₃ ihtiyacı (e ⁵)	t/t giderilen kirlenici	-			0,89	
NH ₃ fiyatı (c ⁵)	EUR/t	-			0,26 – 0,64 (7) 400	0,13 – 0,26 (7)
Giderme verimliliği (f)	%	-			62	
Toplam	k EUR/ t klinker	-			5.36 E-04	
İşgücü maliyetleri (6)						
İşgücü ihtiyacı (e ¹)	insan yılı/ t klinker	7.10 E-07			7.10 E-07	
Maaşlar (c ¹)	k EUR/ insan yılı	37.234			37.234	
Toplam	k EUR/ t klinker	2.64 E-05			2.64 E-05	
Toplam değişken işletme giderleri	k EUR/t	2.48 E-05			5.69 E-04 0,30 – 0,70 (7)	0,33 – 0,70 (7)
Toplam maliyetler (yatırım ve işletme)	EUR/ t klinker				0,38 – 0,62 (7) 0,85 (11)	0,83 – 0,87 (7) 2,3 (11)
k EUR = bin EUR (0) 2000 verisi, 1995 yılında AB-15 ortalamasını temsil eden günlük 1 100 ton kapasiteli referans çimento tesisi (1) % 10 O ₂ ve kuru gaz (2) Yatırımın (3) Elektrik maliyetleri = e ^e • c ^e /10 ³ (k EUR/t) (4) Ek elektrik talebi = yeni toplam tüketim - eski toplam tüketim (5) İşçilik maliyetleri = e ¹ • c ¹ (k EUR/t) (6) Amonyak maliyetleri = e ^d • c ^d • ef _{azaltılmamış} • f/10 ³ (k EUR/t) ef _{azaltılmamış} : kirlenicinin azaltılmamış emisyon faktörü (t kirlenici/t) e ^d : özgül NH ₃ ihtiyacı (t/t giderilen kirlenici) c ^d : özgül toz bertaraf maliyeti (EUR/t) f: giderme verimliliği (=1-ef _{azaltılmamış} /ef _{azaltılmamış}) (7) Almanya, 500 veya 200 mg/Nm ³ olan NO _x azaltım düzeyine bağlıdır (8) Ön kalsinatörlü fırın (9) 3 000 t/gün kapasiteli bir ızgaralı soğutucusu olan bir ön ısıtıcı fırın için ön kalsinatör ve üçüncül kanal (10) 3 000 t/gün kapasiteli ve uydu soğutuculu bir ön ısıtıcı fırının ızgara soğutuculu ön kalsinatörlü fırına dönüşümü (11) Avusturya Kaynak: [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [100, Fransa, 2006], [102, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2003], [105, YARA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008]						

1.4.8.3 SO_x azaltma teknikleri için örnek maliyet verileri

Tablo 1.41, 1100 t/gün kapasiteli bir referans çimento fabrikası için SO_x azaltma tekniklerine ait maliyet hesaplama örneklerini göstermektedir. Araştırılan SO_x azaltma teknikleri, emici ve/veya yaş gaz yıkayıcı enjeksiyonudur. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, atık bertaraf ve kireç maliyetleri bu tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Tablo 1.41: SO_x azaltma teknikleri için maliyet örnekleri

SO _x azaltma tekniklerinin yatırım ve işletim maliyetleri			
	Birim	Azaltma tedbiri/teknigi	
		Soğurucu enjeksiyonu (°)	Yaş gaz yıkayıcı % 75 (°)
Referans kurulumun açıklaması			
Kapasite	ton klinker/gün	1 100	1 100
Kapasite	ton klinker/yıl	352 000	352 000
Dışa atım gaz akışı (1)	Nm³/s		105 417
Kullanım ömrü	yıl	35	35
Tesis faktörü	s/yıl	7 680	7 680
Yatırım maliyetleri	k EUR	200	5 500
Yıla yayılan sermaye maliyetleri	k EUR		
Faiz oranı	%/100/yıl	4	4
Kontrol teçhizatının ömrü	yıl	10	10
Toplam	k EUR	24,66	678,10
Toplam	k EUR/t klinker	7.01E-05	1.93E-03
Sabit işletme giderleri	%/yıl (2)	4	4
Toplam	k EUR	8	220
Toplam	k EUR/t klinker	2.27E-05	6.25E-04
Değişken işletme giderleri	k EUR/t klinker	6.98E-04	6.06E-04
Ton klinker başına maliyet	k EUR/t klinker	7.91E-04	3.16E-03
Ton azaltılan SO _x başına maliyet	k EUR/t azaltılan SO _x		
Azaltılmamış emisyon faktörü	t SO _x /t klinker	0,0023	0,00368
	mg/Nm³	1 000	1 600
Azaltma verimliliği	%	60	75
Toplam	k EUR/t azaltılan SO _x	0,573	1,144
Değişken işletim maliyetinin belirlenmesi			
Elektrik maliyetleri (3)			
Ek elektrik ihtiyacı (e°) (4)	kWs/t klinker	1,53	8,18
	kW	70	375
Elektrik fiyatı (c°)	EUR/kWs	0,0569	0,0569
Toplam	k EUR/t klinker	8.69E-05	4.66E-04
Atık bertaraf maliyetleri			
Kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (ef _{azaltılmamış} (6))	t kirletici/t klinker	0,0023	-
Atık bertaraf ihtiyacı (e°)	t/t giderilen kirletici	0	-
Özgül atık bertaraf maliyetleri (c°)	EUR/t		-
Giderme verimliliği (f)	%	60	-
Toplam	k EUR/t klinker	0	0
Kireç maliyetleri/kireçtaşı maliyetleri			
Kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (ef _{azaltılmamış} (6))	t kirletici/t klinker	0,0023	0,00368
	Salınan SO _x için Ca/S (mol/mol) oranı	2,2	
	Giderilen SO _x için Ca/S (mol/mol) oranı		1,02

SO _x azaltma tekniklerinin yatırım ve işletim maliyetleri			
	Birim	Azaltma tedbiri/teknik	
		Soğurucu enjeksiyonu (°)	Yaş gaz yıkayıcı % 75 (°)
Özgül emici ihtiyacı (e ^s)	t kireç/t giderilen kiretici	4,24	-
Özgül kireçtaşı ihtiyacı (e ^s)	t kireç/t giderilen kiretici		1,59
Emici fiyatı (c ^s)	EUR/t	100	20
Giderme verimliliği (f)	%	60	75
Toplam	k EUR/t klinker	5.85E-05	8.80E-05
İşgücü maliyetleri⁽⁵⁾			
İşgücü ihtiyacı (e ¹)	insan yılı/t klinker	7.10E-07	1.42E-06
Maaşlar (c ¹)	k EUR/insan yılı	37.234	37.234
Toplam	k EUR/t klinker	2.64E-05	5.29E-05
Toplam değişken işletme maliyetleri	k EUR/t klinker	6.98E-04	6.06E-04
k EUR = bin EUR (0) 2000 verisi, 1995 yılında AB-15 ortalamasını temsil eden günlük 1 100 ton kapasiteli referans çimento tesisi (1) % 10 O ₂ ve kuru gaz (2) Yatırımın (3) Elektrik maliyetleri = $e^e \cdot c^e / 10^3$ (k EUR/t) (4) Ek elektrik talebi = yeni toplam tüketim - eski toplam tüketim (5) İşçilik maliyetleri = $e^1 \cdot c^1$ (k EUR/t) (6) Kireç maliyetleri = $e^s \cdot c^s \cdot e_{f_{azaltılmamış}} \cdot f / 10^3$ (k EUR/t) $e_{f_{azaltılmamış}}$: kiretıcının azaltılmamış emisyon faktörü (t kiretici/t) e^s : özgül kireç talebi (t/t giderilen kiretici) c^s : kireç fiyatı (EUR/t) f : giderme verimliliği ($= 1 - e_{f_{azaltılmış}} / e_{f_{azaltılmamış}}$) Kaynak: [100, Fransa, 2006], [102, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2003], [168, TÇG CLM, 2007]			

1.4.9 Proses kayıpları/atıklar

Tanım

Toplanan toz, uygulanabilir olduğunda üretim süreçlerine geri döndürülebilir. Bu geri dönüşüm doğrudan fırının veya fırın besleme malzemesinin içinde (alkali metal içeriği kısıtlayıcı faktördür) ya da mamul çimento ürünleri ile karıştırılmak suretiyle gerçekleşir. Geri dönüştürülemeyen malzemeler için alternatif kullanımlar bulunabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Hammadde tasarrufunun yanı sıra prosesten kaynaklanan atık materyalin azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Toplanan tozdaki metal içeriği, toplanan tozun hammadde olarak kullanılması bakımından sınırlayıcı faktördür ve metal emisyonları üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

Ayrıca, toplanan tozdaki klor içeriği, toplanan tozun kullanımını sınırlayıcı bir faktördür ve geri dönüşümün, ürün kalitesi gereksinimlerine uyum sağlamak üzere adapte edilmesi gerekir (fırın beslemesi veya bitmiş çimento ürünleri ile harmanlama).

İşletim verileri

Veri sağlanmamıştır.

Uygulanabilirlik

Proses kayıplarının/atıklarının yeniden kullanımı çimento endüstrisinde prensipte uygulanabilir (bkz. Bölüm 1.3.5).

Ekonomik boyut

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [75, Estonya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.10 Gürültü**Tanım**

Bu kısımda, çimento üretim proseslerinin bazı aşamalarında meydana gelen gürültünün azaltılmasına dair imkanlardan bahsedilmektedir.

Tekniklerin doğrudan gürültünün kaynağında uygulanmasıyla gürültü emisyonlarının azalması sağlanabilir. Gürültü kaynakları örneğin hammaddelerin çıkartılması ve işlenmesi ile çimento/klinker üretimi, kırma üniteleri, öğütme ve hazırlama üniteleri, ve örneğin çimento bitirme haddeleri, bantlı konveyörler, filtre üniteleri ile uydu soğutucular vb. soğutma sistemlerinden kaynaklı olarak çimento fırınlarının kendisidir. Taş ocağında üflemeden son ürünlerin nakliyesine kadar tüm proses zinciri boyunca gürültü emisyonları meydana gelir.

Mahalle koruması için gürültü seviyelerini azaltmaya yönelik olarak çeşitli gürültü azaltma teknikleri çimento tesislerinde uygulanabilir, örneğin:

- ☐ gürültülü ünitenin muhafazası
- ☐ birimlerin titreşim yalıtımının sağlanması
- ☐ oluklarda dayanıklı malzemeden yapılmış iç ve dış astar kullanımı
- ☐ malzeme dönüştürme teçhizatını ilgilendiren işlemlerin ses geçirmez binalarda barındırılması
- ☐ gürültüden koruma duvarları inşa etmek
- ☐ dışa atım bacaları için çıkış susturucuları
- ☐ ses yalıtımlı binalarda yer alan kanalların ve son olarak fanların yalıtımı

Yukarıda belirtilen gürültüden koruma teknikleri uygulanamıyorsa ve gürültülü ünitelerin bir bina içerisine taşınması mümkün değilse (örn. fırınların boyutları ve kurulumları nedeniyle), örneğin korunan alan ile gürültülü faaliyet arasında (örn. fırın veya depolama alanı) büyüyen ağaçlar ve çalılar gibi, doğal bariyerler veya binaların inşası olabilen ikincil koruma tekniklerinin uygulanması gerekir. Gürültülü işlemler sırasında kapalı alanların kapı ve pencereleri kapalı tutulmalıdır.

Elde edilen çevresel faydalar

Gürültü emisyonlarının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Veri bulunamamıştır.

Uygulanabilirlik

Gürültü azaltma teknikleri prensipte çimento endüstrisine uygulanabilir (bkz. Bölüm 1.3.7).

Ekonomik boyut

Gürültüden koruma teknikleri nedeniyle ek yatırım ve bakım maliyetleri meydana gelebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri.

Gürültü azaltma ve gürültü azaltma planı hakkında daha fazla bilgi kireç bölümünde Bölüm 2.4.10'da bulunabilir. [45, Schorcht, 2006] [81, Castle Cement UK, 2006] [168, TÇG CLM, 2007].

1.4.11 Kokulara ilişkin genel hususlar

Hidrokarbon emisyonlarının neden olduğu kokular, termal son yakma, aktif karbon filtre kullanımı veya sebep olan hammaddenin fırının sıcak bölgesine beslenmesi ile önlenabilir.

Kokulara kükürt bileşikler neden oluyorsa, yakıt ve/veya hammadde değişikliği çözüm olabilir, ayrıca Bölüm 1.4.5.2'ye göz atın.

Kokular, hammadde veya yakıt olarak kullanılan atıkların depolanmasından da kaynaklanabilir. Atık malzemelerin depolanma yerleri kapatılabilir veya atık depolama sistemleri kullanılabilir.

1.4.12 Çevre yönetimi araçları

Tanım

Çevresel hedeflere uygunluğu gösteren resmi bir sistem.

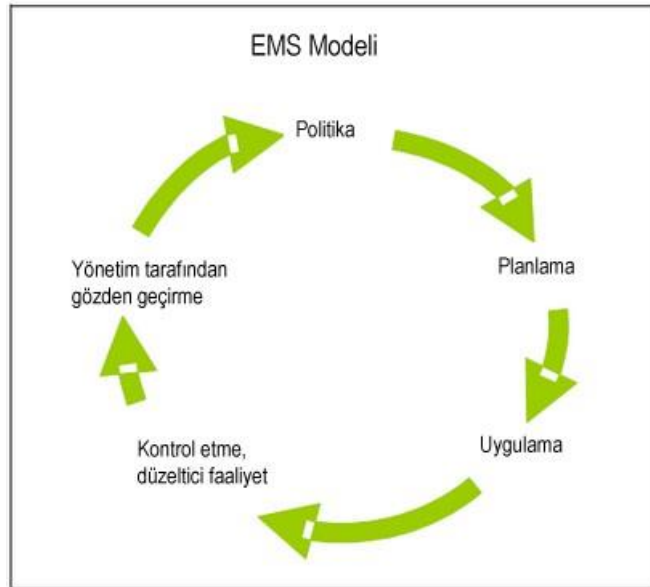
Teknik açıklama

Direktifte 'tekniklere' ilişkin olarak verilen tanım ('mevcut en iyi tekniklerin' tanımında), 'hem kullanılan teknolojiyi hem de tesisin tasarımının, inşasının, bakımının, işletiminin ve hizmet dışı bırakılmasının nasıl gerçekleştirildiği' içerir.

Bu bağlamda, bir çevre yönetim sistemi (ÇYS), tesis işletmecilerinin çevresel konuları sistematik ve gözlemlenebilir bir şekilde ele almasına olanak tanıyan bir tekniktir. ÇYS'ler, tesisin genel yönetimi ve işletiminin bir parçası oldukları durumlarda en yüksek verim ve etkinliğe ulaşırlar.

Bir ÇYS, normal ve normal dışı işletim koşullarında açık ve net işletme prosedürlerinin uygulanması, ilgili sorumlulukların belirlenmesi başta olmak üzere, işletmecinin dikkatini tesisin çevresel performansına yönlendirir.

Sürekli iyileştirme kavramı etkili bir ÇYS için olmazsa olmazdır; yani çevre yönetimi, nihayetinde sona eren bir proje değil, devam eden bir süreçtir. Çeşitli süreç tasarımları olmakla birlikte ÇYS'lerin çoğu planla-uygula-kontrol et-eyleme geç döngüsüne dayanmaktadır (bu, diğer şirket yönetimi bağlamlarında da yaygın olarak kullanılır). Döngü, bir döngünün tamamlanmasıyla bir sonrakinin başladığı yinelenmeli ve dinamik bir modeldir (bkz. Şekil 1.70).



Şekil 1.70: Bir ÇYS modelinde sürekli iyileştirme

ÇYS, standartlaştırılmış veya standart dışı ('özelleştirilmiş') olabilir. EN ISO 14001:2004 gibi uluslararası alanda kabul gören standartlaştırılmış bir sistemin uygulamaya koyulması ve buna bağlı kalınması, özellikle olması gerektiği gibi yürütülen harici doğrulamaya tabi tutulduğunda, ÇYS'nin güvenilirliğini artırabilir. EMAS, çevre raporları yoluyla sağladığı kamu etkileşimi ve mevcut çevresel mevzuata uyum sağlamayı temin eden mekanizması sayesinde tesisin güvenilirliğini artırır. Ancak, prensipte standart dışı sistemler de, doğru şekilde tasarlandıkları ve uygulamaya koyuldukları sürece eşit derecede etkili olabilirler.

Hem standartlaştırılmış (EN ISO 14001:2004 veya EMAS) hem de standart dışı sistemler prensipte **kuruluşlar** için geçerlidir. Bununla birlikte, Direktifte sadece **kurulumlar/tesisler** düzenlemeye tabi tutulduğundan, bu belgede bir kuruluşun faaliyetlerinin bütünü (örn. ürün ve hizmetler) dikkate alınmamakta, daha dar bir yaklaşım benimsenmektedir.

Bir ÇYS aşağıdaki özellikleri içerebilir:

1. üst yönetim de dahil olmak üzere, yönetimin bağlılığı;
2. tesisin sürekli iyileştirilmesini içeren bir çevre politikasının yönetim tarafından tanımlanması;
3. finansal planlama ve yatırım ile bağlantılı olarak gerekli prosedürlerin, amaçların ve hedeflerin planlanması ve oluşturulması;
4. prosedürlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) yapı ve sorumluluk
 - (b) eğitim, farkındalık ve yetkinlik
 - (c) iletişim
 - (d) çalışan katılımı
 - (e) belgeleme
 - (f) verimli proses kontrolü
 - (g) bakım programları
 - (h) acil duruma hazırlık ve müdahale
 - (i) çevre mevzuatına uyumun gözetilmesi;
5. performansın kontrolü ve düzeltici eylemlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) izleme ve ölçme (ayrıca bkz. İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belge) [151, Avrupa Komisyonu 2003].

- (b) düzeltici ve önleyici eylemler
 - (c) kayıtların tutulması
 - (d) ÇYS'nin planlanan düzenlemelerle uyumlu olup olmadığını belirlemek ve doğru şekilde uygulandığından ve sürdürüldüğünden emin olmak üzere, iç ve dış denetimlerin, mümkün olduğu ölçüde bağımsız olarak gerçekleştirilmesi;
6. ÇYS'nin ve uygunluğunun, yeterliliğinin ve etkililiğinin, süreklilik açısından üst yönetim tarafından gözden geçirilmesi;
 7. çevre raporunun düzenli aralıklarla hazırlanması;
 8. sertifikalandırma kurumu veya harici bir ÇYS doğrulayıcısının onayı;
 9. daha temiz teknolojilerin gelişiminin takip edilmesi;
 10. yeni bir tesisin tasarlanma aşamasında ve işletme ömrü boyunca, tesisin nihayetinde hizmetten çıkarılmasıyla meydana gelecek çevresel etkilerin dikkate alınması;
 11. düzenli olarak sektörel kıyaslama çalışmalarının uygulaması.

Elde edilen çevresel faydalar

Bir ÇYS, tesisin çevresel performansının sürekli iyileştirilmesini teşvik eder ve destekler. Tesisin genel çevresel performansı zaten iyiye, ÇYS işletmecinin yüksek performans düzeyini korumasına yardımcı olur.

Çevresel performans ve işletme verileri

Önemli seviyelerdeki tüm tüketimler (enerji dahil) ve emisyonlar, işletmeci tarafından finansal planlama ve yatırım döngüleriyle bağlantılı olarak kısa, orta ve uzun vadeli olmak üzere, koordineli bir şekilde yönetilir. Bu, örneğin kısa vadeli boru çıkışı çözümlerini emisyonlara uyarlamamanın, işletmeciyi uzun vadede daha yüksek enerji tüketimine mecbur bırakabileceği ve genel anlamda çevre açısından potansiyel olarak daha faydalı çözümlere yatırım yapılmasının ertelenebileceği anlamına gelir. Burada, ortamlar arası hususların dikkate alınması gerekir ve bu hususlara ve fayda-maliyet konularına ilişkin yönergeler, Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler Referans Belgesinde [179, Avrupa Komisyonu 2006] ve Enerji Verimliliği İçin Mevcut En İyi Teknikler Referans Belgesi'nde [181, Avrupa Komisyonu, 2008] verilmiştir.

Ortamlar arası etkiler

Hiçbir etki bildirilmemiştir. ÇYS bağlamında ilk çevresel etkilerin ve iyileştirme kapsamının sistematik analizi, tüm çevresel ortamlara ilişkin en iyi çözümlerin değerlendirilmesi için temel oluşturur.

Uygulanabilirlik ile ilgili teknik hususlar

Yukarıda açıklanan bileşenler genel olarak bu belge kapsamındaki tüm tesislere uygulanabilir. ÇYS'nin kapsamı (örn. detaylılık düzeyi) ve niteliği (örn. standartlaştırılmış veya değil), tesisin özellikleri, ölçeği ve karmaşıklığının yanı sıra muhtemel çevresel etki yelpazesi ile ilişkilendirilebilir.

Ekonomik boyut

İyi bir ÇYS'nin uygulamaya koyulması ve sürdürülmesine ilişkin masrafların ve ekonomik getirilerin tam olarak belirlenmesi zordur. ÇYS kullanımının sonucunda ekonomik faydalar da elde edilebilir ve bunlar sektörden sektöre büyük ölçüde değişiklik gösterir.

Sistemin doğrulamasına ilişkin harici masraflar, Uluslararası Akreditasyon Forumu tarafından yayımlanan kılavuz yardımıyla hesaplanabilir [186, IAF 2010].

Uygulamanın itici güçleri

ÇYS uygulamasının itici güçleri şunları içerir:

- ☐ çevre performansının iyileştirilmesi
- ☐ müşterilerin, düzenleyici kurumların, bankaların, sigorta şirketlerinin veya diğer paydaşların (örn. tesisin yakınında yaşayan veya çalışan kişiler) çevresel

gereksinimlerini karşılamada faydalı olabilecek, şirketin çevresel konularına ilişkin içgörünün iyileştirilmesi;

- ☐ karar verme mekanizmasının dayanaklarının iyileştirilmesi
- ☐ artan personel motivasyonu (örn. yöneticiler çevresel etkilerin kontrol edildiğine güvenebilir ve çalışanlar çevreye duyarlı bir şirkette çalıştıkları bilincini kazanabilirler);
- ☐ işletim masraflarının azaltılması ve ürün kalitesinin arttırılmasına ilişkin yeni fırsatlar
- ☐ şirket imajının iyileştirilmesi
- ☐ sorumluluk, sigorta ve uygunsuzluk maliyetlerinin azaltılması.

Örnek tesisler

ÇYS'ler, AB genelinde çeşitli tesislerde uygulanmaktadır.

Referans literatür

EMAS Yönetmeliği (AK) No 1221/2009. [189, Avrupa Birliği, 2009].

Çevre Genel Müdürlüğü EMAS web sitesi. [188, Çevre Genel Müdürlüğü 2010]

EN ISO 14001: 2004

ISO 14000 standartlar ailesi web sitesi. [187, ISO, 2004]

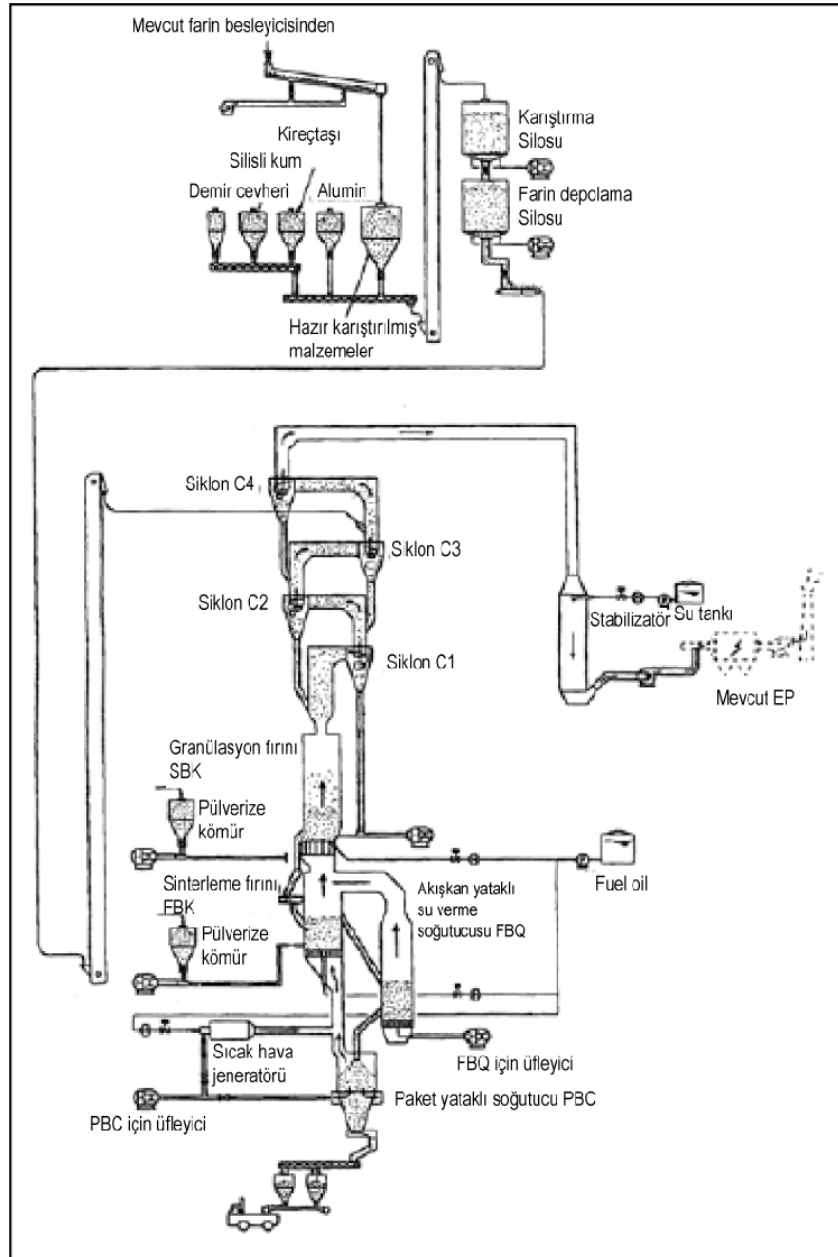
ISO 14000 teknik komite. [190, ISO, 2010]

1.5 Çimento endüstrisinde geliştirilmekte olan teknikler

1.5.1 Akışkan yataklı çimento üretim tekniği

Akışkan yataklı çimento fırın sistemi ile çimento sinterleme tekniği, 1986 yılından bu yana Japonya'da Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı tarafından desteklenen bir projedir. Sumitomo Osaka Cement Co. Ltd. tarafından Japonya'daki Toshigi Fabrikasında, 1989 ile 1995 yılları arasında, 20 ton klinker/gün kapasiteli bir pilot tesis altı yıl boyunca faaliyet gösterdi. 1995'in sonunda 200 ton klinker/gün kapasiteli büyük ölçekli bir pilot tesis inşa edildi.

20 ton klinker/gün akışkan yataklı çimento fırın sisteminin konfigürasyonu Şekil 1.71'de gösterilmektedir. Sistem, bir süspansiyon ön ısıtıcısı (SP), bir ağızlı yataklı granülasyon fırını (SBK), bir akışkan yataklı sinterleme fırını (FBK), bir akışkan yataklı söndürme soğutucusu (FBK) ve bir dolgulu yataklı soğutucudan oluşur.



Kaynak: [22, Japonya, 1996]

Şekil 1.71: Akışkan yataklı çimento fırını

Süspansiyon ön ısıtıcı, farinin ön ısıtımını ve kalsinasyonunu gerçekleştiren bir genelleşmiş dört aşamalı siklon ön ısıtıcıdır. Granülleme fırını, farini 1 300 °C sıcaklıkta yaklaşık 1,5 – 2,5 mm çapında granüller haline getirir. Sinterleme fırınında granüllerin sinterlenmesi 1 400 °C sıcaklıkta tamamlanır. Akışkan yataklı söndürme soğutucusu, çimento klinkerini hızla 1 400'den 1 000 °C'ye soğutur. Son olarak çimento klinkeri, dolgulu yataklı soğutucuda yaklaşık 100 °C'ye soğutulur.

Akışkan yataklı fırında üretilen çimento klinkeri, ticari tesisten elde edilen klinker ile aynı veya daha iyi kalitededir. NO_x emisyonları, yakıt olarak ağır petrol kullanıldığında 115 – 190 mg/Nm³, pulverize kömür kullanıldığında ise 440 – 515 mg/Nm³tür (%10 O₂ içeriğine dönüşür). 3000 ton klinker/gün kapasiteli bir fırın üzerinde yapılan fizibilite çalışması, ızgara soğutuculu bir süspansiyon ön ısıtıcılı döner fırına kıyasla ısı kullanımının %10 – 12 oranında azaltılabileceğini, yani CO₂ emisyonlarının da aynı oranda azaltılmasının mümkün olduğuna işaret etmektedir.

Akışkan yataklı çimento fırın sisteminin teknik gelişiminin nihai hedefleri (3000 ton klinker/gün kapasiteli tesisteki fizibilite çalışmasına göre ve 20 ton/gün kapasiteli pilot tesisten elde edilen sonuçlara dayalı olarak):

- ☐ Isı kullanımının %10 – 12 oranında azaltılması
- ☐ CO₂ emisyonlarının %10 – 12 oranında azaltılması
- ☐ 380 mg/Nm³ veya altında NO_x emisyon seviyesi (%10 O₂ içeriğine dönüşür)
- ☐ Mevcut SO_x emisyon seviyesini korumak
- ☐ İnşaat maliyetlerinin %30 oranında azaltılması
- ☐ Kurulum alanının %30 oranında azaltılması

1.5.2 SNCR ile birlikte kademeli yanma

Teoride, bir aşamalı yanma ve SNCR kombinasyonu, SCR ile karşılaştırılabilir niteliktedir. Tedarikçiler bu kombinasyonun büyük umut vadettiğini öne sürmektedir. SCR kullanımına ilişkin bazı sonuçlar Bölüm 1.4.5.1.8'de açıklanmıştır.

1.5.3 Kuru sodyum bikarbonat ile baca gazlarının arıtılması ve kimyasal yeniden kullanım

Tanım

Bu tedbir/teknik, tipik olarak atık malzemelerin yakıt olarak kullanıldığı durumlarda, çimento fırınlarından çıkan baca gazlarının kükürten arındırılması için düşünülür. Yüksek SO₂ azaltma oranı ve yüksek azaltma verimliliği elde etmek için kuru sodyum bikarbonat kullanılır, özelliklere ve bileşime bağlı olarak sodyum bazlı atıklar genellikle çimento üretim sürecinde yeniden kullanılabilir. Ancak bazı durumlarda bu atıklar çimento bileşiminde çok yüksek sodyum içeriğine yol açabileceğinden kullanılamaz.

Düşük miktarda reaktif ile yüksek SO₂ azaltımına olanak sağlamak ve aynı zamanda baca gazı arıtımından kaynaklanan atık malzemelerin yeniden kullanımını mümkün kılmak için, baca gazının çift aşamalı filtrelemesine ilişkin geliştirilmekte olan teknikler kullanılabilir.

Çift aşamalı filtreleme

Bir ilk toz filtresi, sodyum ile yüklü olmayan, bu nedenle proseste yeniden kullanılabilen proses tozunu toplar. Kuru sodyum bikarbonat enjeksiyonu, bu ilk filtrenin akış aşamasında gerçekleşir. Kuru öğütülmüş sodyum bikarbonat enjekte edilir ve başta sodyum sülfat (Na₂SO₄) olmak üzere sodyum tuzları oluşturmak üzere SO_x ile reaksiyona girer. Baca gazı arıtımından kaynaklanan bu atıklar, tipik olarak torba filtre olan ikinci bir filtre ile toplanır.

Elde edilen çevresel faydalar

Bu tedbir/teknik, aşağıdakiler sayesinde baca gazı arıtımından kaynaklanan atıkların sürece dahil yeniden kullanımından ödün vermeden, baca gazlarında yüksek ve verimli SO_x azaltımının elde edilmesini sağlar:

- ☐ çimentoda fazlalık sodyum olmaz
- ☐ baca gazına SO_x girişi olmaz.

Ayrıca daha fazla atık üretilmez veya daha fazla doğal kaynak kullanılmaz.

Ortamlar arası etkiler

Sodyum bazlı atıklar ancak sınırlı ölçüde yeniden kullanılabilir. 2008 yılına kadar, sodyum bazlı atıkların yeniden kullanımı çimento ve klinker kalitesini etkilediği için bu yapılmamıştı.

Bir düzeye kadar, geri dönüştürülmüş kalsiyum veya sodyum sülfatlar nedeniyle ek SO_x emisyonları meydana gelebilir.

CaCl₂ reaktifi soda külü tesisinde mevcut olduğundan ek doğal kaynak kullanımı gerçekleşmez.

Baca gazı arıtma sürecinden kaynaklanan atıkların çimento fabrikasından arıtma tesisine taşınması gerektiğinden ek nakliye maliyetleri ortaya çıkabilir. Ancak söz konusu atık miktarı, toplam toz miktarına ve çimento tesisinde doğrudan yeniden kullanılan, sülfat içermeyen toza kıyasla nispeten küçüktür.

İşletim verileri

Bu teknik, endüstri öncesi düzeyde testlerden geçmektedir. 2008 itibarıyla mevcut işletimsel veri yoktur.

Uygulanabilirlik

Bu teknik kullanılarak yaş proses üzerinde sadece birkaç deneme yapılmıştır. Çift aşamalı filtreleme tekniği, özellikle ESP'lerin toz emisyonlarını azaltmak için kullanıldığı tesislere uygundur. Bu durumlarda ikinci bir filtrenin (torba filtre) eklenmesi, mevcut filtrenin değiştirilmesinden daha ucuz olabilir. Ancak, sodyum bikarbonat ile kombinasyon halinde endüstride geniş çaplı bir uygulama bulunmamaktadır.

Çift filtreleme ile ilgili olarak, sodyum bikarbonat ile kombinasyon halinde (2008) henüz faaliyette olan bir çimento tesisi yoktur, ancak denemeler yapılmaktadır.

Baca gazı arıtımından kaynaklanan atıkların arıtılmasıyla ilgili olarak, bu teknik, Fransa'da endüstri öncesi ölçeklerde sülfat bazlı atıklar üzerinde test edilmekte ve bir takım diğer arıtma tesisleri üzerinde çalışılmakta/planlanmaktadır. Bu teknik endüstriyel olarak işlevsel olup Fransa ve İtalya'da baca gazı atıklarını arıtan belediye atık yakma tesislerinde uygulanmaktadır. Atık yakmaya ilişkin bilgi Atık Yakma için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında da bulunabilir [87, Avrupa Komisyonu, 2001].

Ekonomik boyut

Sodyum atıklarının, kimya endüstrisi tarafından kullanılmak üzere ve halihazırda belediye atık yakma endüstrisi tarafından uygulandığı şekilde arıtılmasının, kullanılan atık materyalde mevcut olan yüksek toz içeriği nedeniyle, ekonomik açıdan gerekçelendirilmesi zordur.

Uygulamanın itici gücü

Fırın baca gazındaki SO_x için yüksek azaltma oranı veya yüksek azaltma verimliliği gereksinimi.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Fransa'daki test tesisleri. [168, TÇG CLM, 2007], [176, Fransa, 2008], [182, TÇG CLM, 2008].

2 KİREÇ ENDÜSTRİSİ

2.1 Kireç endüstrisi ile ilgili genel bilgiler

2.1.1 Kireç ve uygulaması

Kirecin kullanımı adeta ‘zamanın başlangıcına’ dayanmaktadır, örneğin Yakın Doğu’da 8000 yıl geriye gitmektedir. Ayrıca, Yunanlılar, Mısırlılar, Romalılar, İnkalar, Mayalar, Çinliler ve Babürlüler de dahil olmak üzere birçok medeniyette, inşaat amacıyla sönmemiş kireç (CaO) ve hidratlı kireç (Ca(OH)₂) kullanımının MÖ 1000 kadar erken bir tarihte yaygın olduğuna dair bulgular mevcuttur. Hatta Romalılar kirecin kimyasal özelliklerinin farkında olup, örneğin keten beyazlatma ve tıbbi kullanıma yönelik kireç suyu şeklinde bu özelliklerden faydalanıyorlardı.

2008 itibarıyla kireç, her biri belli pazar gereksinimlerine yönelik çok çeşitli ürün ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin, kireç ve türevleri çelik rafinasyonunda eritkenleme maddesi olarak, bina ve inşaatla bağlayıcı olarak ve safsızlıkları çöktürmek için su arıtımında kullanılır. Kireç ayrıca endüstriyel atık suların ve baca gazlarının asidik bileşenlerinin nötralizasyonu için yaygın olarak kullanılır.

Farklı endüstrilerin ve tarımın birçok sektöründe uygulanabilen ve kullanılan kireç, Tablo 2.1’de gösterildiği üzere günlük hayatta birçok uygulamada kendine yer bulmaktadır.

Tablo 2.1: Çok yönlü bir malzeme olarak kireç – bazı endüstriyel uygulamalar

Uygulandığı sektörler	Uygulama detayları
Çevre – gaz	- kükürt ve klor gibi baca gazı kirleticilerinin nötralizasyonu için kullanılır - katkı maddeleri ile harmanlanmıştır, ağır metalleri yakalar
Çevre – su	- atık su arıtma – endüstri ve madencilik atık sularının arıtılması (pH ayarlaması, fosfor ve azot giderimi ve su arıtma) içme suyunun yumuşatılması ve içme suyundan safsızlıkların giderilmesi - atık su arıtma
Çevre – atık	- tehlikeli atıkların ve tıbbi atıkların arıtılması - organik ve inorganik çamurların arıtılması
Çevre – kirlenmiş arazi	pH düzeltilmesi ve sülfatların, fosfatların ve ağır metallerin immobilizasyonu
İnşaat işleri	- bina cepheleri için tuğla ve strüktür blok duvarcılığı ve sıva - karışımlarının üretiminde kullanılır - toprak stabilizasyonu ve kireçli yol bağlayıcıları
Tarım	toprak işleme – optimum büyüme koşulları sağlamak ve dolayısıyla mahsul verimini artırmak için toprak pH değerlerini ayarlamak
Çelik ve demir içermeyen metaller	- çelik üretim süreçlerinde kükürt ve fosforu azaltmak, cüruf viskozitesini değiştirmek, refrakterleri korumak ve cürufu oluşturmak için kullanılır - bakır, kurşun, çinko ve diğer metallerin cevherlerinden özütlenmesinde eritkenleştirme maddesi olarak kullanılır - asitle temizlendikten sonra teli nötralize etmek ve kaplamak için kullanılır
Kimyasal ve kağıt endüstrisi	- kağıt – üretim süreci; çöktürülmüş kalsiyum karbonat (PCC) hamur ve hammaddesi yağlayıcılar için yağ katkı maddesi (sülfonatlar, fenatlar ve salisilatlar gibi) - plastikler - petrokimyasal bazlı ürünlerin imalatında kurutucu olarak kullanılır - deri tabaklamada kullanılır - cam ve soda endüstrileri için asit - nötralizasyonunda kullanılır
İlaç, kişisel bakım ve gıda	- ilaçların matris bileşiminde kullanım - kalsiyum fosfat imalatında kullanılır, yiyecek ve içecek katkı maddelerinin imalatında diş macunu katkı maddesi olarak kullanılır - şeker endüstrisinde pancar ve kamış özütlerindeki safsızlıkları çöktürmek ve ayrıca pancar yıkama ve taşımadan kaynaklanan kokuların bertaraf edilmesi için kullanılır
Kaynak: [44, EuLA, 2006]	

2.1.2 Dünya kireç üretimi

2006 yılında, Tablo 2.2'de gösterildiği gibi, yerinde kireç üretimi dahil toplam dünya kireç üretiminin 172 Mt/yıl olduğu tahmin edilmiştir.

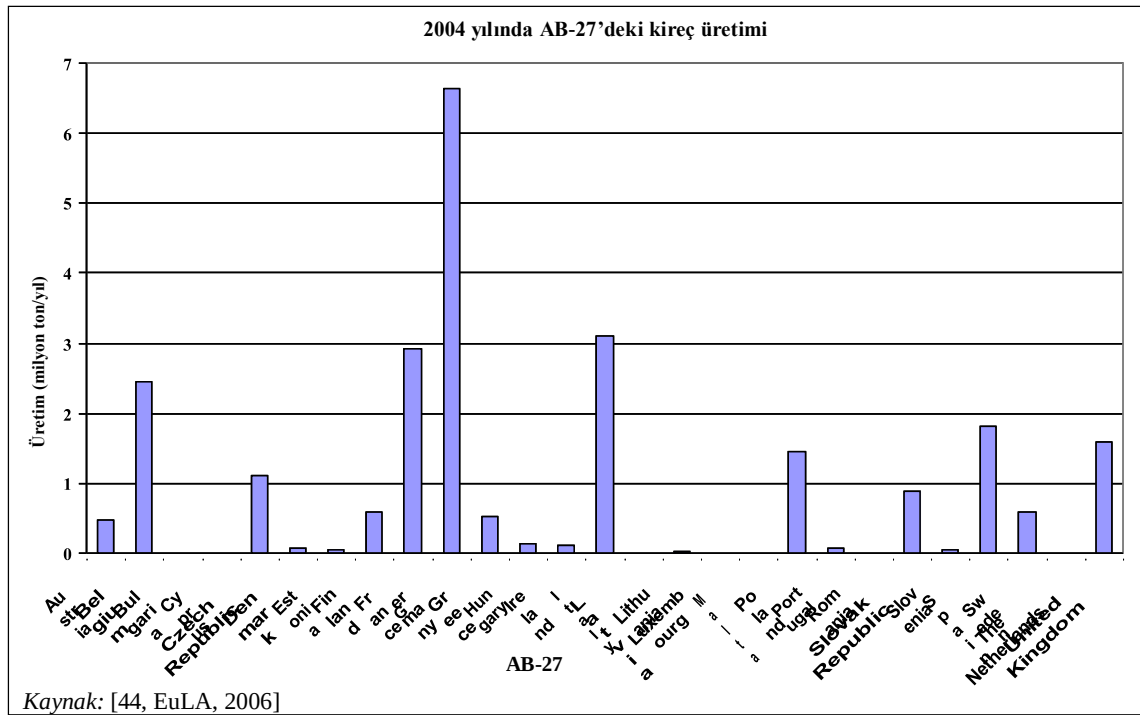
Tablo 2.2: Yerinde kireç üretimi de dahil olmak üzere 2006 yılında dünya genelinde sönmemiş kireç ve dolomit üretimine dair en iyi tahmin

Ülke	Yıllık üretim	
	Mt/yıl	%
Brezilya	6	3,5
Çin	75	43,6
AB-25	28	16,3
Diğer Avrupa ülkeleri	2	1,2
Hindistan	4	2,3
Japonya	10	5,8
Meksika	4	2,3
Rusya	8	4,7
ABD	20	11,6
Diğer ülkeler	15	8,7
Toplam	172	100
Kaynak: [44, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]		

2.1.3 Coğrafi dağılım ve Avrupa'da genel ekonomik hususlar – başlıca göstergeler

2.1.3.1 Yıllık üretim

Almanya, Fransa, Polonya, Belçika, İspanya ve İtalya, toplam dünya kireç üretiminin yaklaşık %20'sini oluşturan, AB-27'deki en büyük kireç üreticileridir. Kıbrıs, Malta, Lüksemburg ve Hollanda olmak üzere kireç üretilmeyen dört AB Üye Devleti vardır. Kireç endüstrisinin yapısı bir Üye Devletten diğerine farklılık gösterir. Bununla birlikte, çoğu AB ülkesinin kireç endüstrisinde, küçük ve orta ölçekli şirketler karakteristiktir. Avrupa Birliği'nde faaliyet gösteren 100'den fazla şirket mevcuttur. Çoğu, genellikle tek bir tesise sahip küçük üreticilerdir. Bununla birlikte, az sayıda büyük uluslararası şirketin önemli pazar payı elde etmesiyle birlikte, son yıllarda merkezileşme yönünde artan bir eğilim olmuştur. Şekil 2.1, 2004 itibariyle 25 milyon ton kirece karşılık gelen AB-27 üretim piyasasını göstermektedir. Toplam Avrupa üretimi, ticari ve yerinde kireç üretimi dahil olmak üzere 28 milyon tona denk gelmektedir.



Şekil 2.1: 2004 yılında AB-27'de kireç ve dolomit üretimi

AB ülkelerinde kireç üretimi 1980'lerin sonlarında düşüş gösterdi, ancak 1994'ün başında yeniden artışa geçti. Bu, tüketim alışkanlıklarındaki değişikliklerin bir sonucuydu. Kirecin ana kullanıcılarından biri olan demir çelik sektörü, ton çelik başına özgül kireç tüketimini 100'den 40 kg'a indirdi. Ancak, 1990'ların ortalarında çevre koruma sebeplerinden dolayı artan kireç kullanımı, satış rakamlarını yeniden canlandırdı.

AB'deki toplam kireç tüketimi, su arıtma ve baca gazı kükürt giderimi gibi talebi arttırıcı unsurlar, geleneksel çelik ve metalurji sektörlerinin talebinde meydana gelen düşüşü yalnızca kısmen telafi edebildiğinden durgunluk dönemine girmiştir.

Kireç, düşük maliyetli ancak hacimli bir malzemedir, bu nedenle yalnızca nispeten kısa mesafelerde taşınma eğilimindedir. AB'den yapılan kireç ihracatı, üretimin yalnızca yüzde birkaçını oluşturmaktadır. AB-27 ülkelerinde ticari kirecin 2004 yılı tahmini pazar payları farklı sektörlerle göre Tablo 2.3'te gösterilmektedir.

Tablo 2.3: 2004 yılında AB-27'de sektöre göre ticari kireç dağılımı

Sektörler	Katkı (%)
Çelik yapımı ve demir içermeyen metal işleme	30 – 40
Çevre koruma, tarım ve ormancılık	30
İnşaat ve killi zemin stabilizasyonu	15 – 20
Diğerleri: kimyasallar, demir dışı metal rafinasyonu, kağıt, gıda, yem ve sağlık hizmetleri için PCC	10 – 15

Kaynak: [44, EuLA, 2006]

2.1.3.2 Temel çevre ve sürdürülebilir kalkınma hususları

Kireç üretimi için temel çevresel hususlar, enerji tüketimi, proses ve yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonları, hava kirliliği kontrolü (esas olarak toz), nakliye ve çıkarma sahası restorasyonudur [44, EuLA, 2006].

2. Bölüm

Kireç üretimi ana hammaddelerinin çıkarılması için kilit sürdürülebilir kalkınma hususları, uzun vadeli gelecek için jeolojik rezervleri güvence altına almak üzere yüksek kaliteli kireçtaşı ve dolomit yataklarına erişim sağlamada yatmaktadır. Jeolojik olarak, kalker yaygın bir taştır. Bununla birlikte, aşağıdaki temel özelliklerin tümüne sahip yataklar nadir bulunur:

- ☐ 50 yıl veya daha fazla rezerv
- ☐ yüksek kimyasal saflık
- ☐ belirli fiziksel ve mekanik özellikler
- ☐ ulaşım altyapılarına yakınlık
- ☐ çevresel kısıtlamaların yokluğu.

Tablo 2.4, 2003 yılına kıyasla 2030 için öngörülen kireçtaşı kullanımını göstermektedir.

Tablo 2.4: 2003 – 2030 döneminde hammadde kireçtaşı ve dolomit kullanım eğilimi

2003 – 2030 döneminde hammadde kireçtaşı ve dolomit kullanım eğilimi		
Kireç uygulamaları: inşaat malzemeleri ve endüstriyel kullanımlar (çelik, kağıt, cam, şeker, toprak koruma, çevre koruma)	2003 yılı milyon ton	2030 yılı milyon ton
Kireçtaşı ve dolomit kalsinasyonundan sonra kireç/dolomit üretimi	25	32
Kireç ve dolomit üretimi için hammaddeler	50	64
Kaynak: [44, EuLA, 2006]		

2.1.3.3 Kireç türü ve dolomitli kireç

Kireçtaşı ürünlerini tanımlarken, 'kireç' terimi sıklıkla yanlış kullanılır. Bu durum çoğu zaman kafa karışıklığı yaratır. Kireç, sönmemiş kireci ve sönmüş kireci içerir ve bu 'kireç' terimi, 'kireç ürünleri' terimiyle eş anlamlıdır. Sönmemiş kireç veya 'yanmış kireç', kireçtaşının (CaCO_3) karbondan arındırılmasıyla üretilen kalsiyum oksittir (CaO). Sönmüş kireç, sönmemiş kirecin suyla reaksiyona sokulması veya 'söndürülmesi' ile üretilir ve esas olarak kalsiyum hidroksitten (Ca(OH)_2) oluşur. Sönmüş kireç, hidratlı kireç (kuru kalsiyum hidroksit tozu), kireç sütü ve kireç macununu (suda kalsiyum hidroksit parçacıkları dağılımları) içerir. Bununla birlikte üretilen toplam miktarın %90'ı kireç ve %10'u dolimdir.

Çok çeşitli uygulamalar için farklı kireç türleri kullanılır. Kalsiyum kireçleri, dolomitli kireçler ve hidrolik kireçler arasında bir ayrım yapılmalıdır. Kalsiyum kireçleri açık ara en geniş kategori olup parça, öğütülmüş ve hidratlı formlarda sunulur. Dolomitli kireçler daha özel ürünlerdir ve daha küçük miktarlarda, parça, öğütülmüş, hidratlı ve sinterli formlarda tedarik edilir. Hidrolik kireçler kısmen hidratlıdır ve çimentolu bileşikler içerir, yalnızca bina ve inşaatla kullanılırlar.

Bu belgede sadece ticari kireç üretimi ele alınacaktır.

Tablo 2.5, kireç alanında kullanılan farklı eş anlamlıları, karşılık gelen CAS (Amerikan Kimya Derneği'nin bir departmanı) Kayıt numaraları ve EINECS Envanterinde (Avrupa Mevcut Ticari Kimyasal Maddeler Envanteri) bulunan EC numaraları ile göstermektedir.

Tablo 2.5: Kireç terminolojisi, EC ve CAS numaraları

Kimyasal bileşik	Kimyasal formülü	Eş anlamlıları	EC #	CAS #
Kalsiyum oksit	CaO	Kireç, yanmış kireç ve sönmemiş kireç	215 – 138-9	1 305 – 78-8
Kalsiyum magnezyum oksit	CaO MgO	Dolomitli kireç, dolim	253 – 425-0	37 247 – 91 – 9
Kalsiyum hidroksit	Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidrat, kalsiyum hidroksit, kostik kireç, hidratlı kireç ve hidratlı kireç	215 – 137-3	1 305 – 62-0
Kalsiyum magnezyum tetrahidroksit	CaMg(OH) ₄	Dolomitik hidratlı kireç, kalsiyum magnezyum hidroksit	254 – 454-1	39 445 – 23-3
Kaynak: [44, EuLA, 2006]				

2.1.3.4 Kireç tesisleri

2003 yılında Avrupa Birliği'nde yaklaşık 211 adet kireç üreten tesis (tutsak kireç üretimi hariç) vardı ve bunlar AB Üye Devletleri arasında Tablo 2.6'da gösterildiği gibi dağılmıştı.

Tablo 2.6: AB-27 Üye Devletlerinde üretimi 50 ton/gün'ü aşan yerinde üretim olmayan kireç tesislerinin sayısı - 2003'ten itibaren toplam

Ülke	Kireç ve dolim üretimi	Sinterli dolim üretimi
Belçika	6	1
Bulgaristan	6	1
Çek Cumhuriyeti	5	0
Danimarka	1	0
Almanya	39	1
Estonya	1	0
Yunanistan	19	0
İspanya	22	2
Fransa	16	0
İrlanda	1	0
İtalya	36	1
Kıbrıs	0	0
Letonya	1	0
Litvanya	1	0
Lüksemburg	0	0
Macaristan	3	0
Malta	0	0
Hollanda	0	0
Avusturya	6	0
Polonya	8	0
Portekiz	4	0
Romanya	8	0
Slovenya	3	0
Slovakya	6	0
Finlandiya	6	0
İsveç	7	0
Birleşik Krallık	6	2
TOPLAM	211	8
Kaynak: [44, EuLA, 2006], [139, İtalya, 2007]		

2006 yılında, AB-27'de ticari kireç üreten, altı grup altında toplam yaklaşık 597 fırın (yerinde kireç fırınları hariç) vardı.

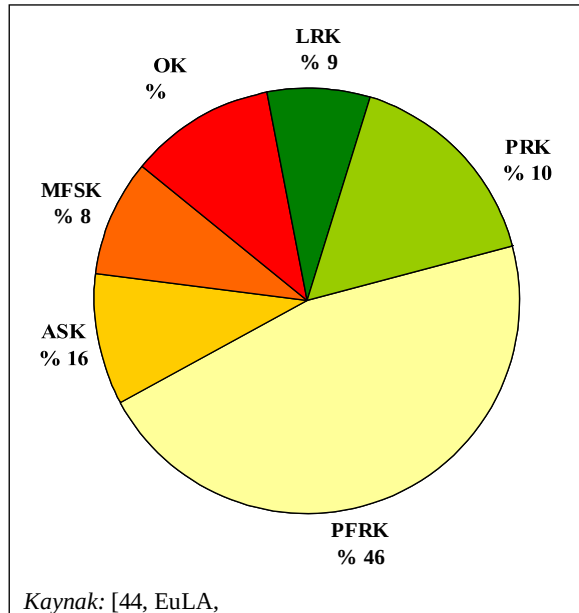
Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Tablo 2.7, AB-27'de fırın tipi başına faaliyetteki fırın sayısını ve kireç, dolim ve sinterlenmiş dolim (sinterli kireç) üretimindeki göreceli önemini göstermektedir.

Tablo 2.7: AB-27'de 2004 yılında fırın tipine göre işletimdeki kireç fırını sayısı

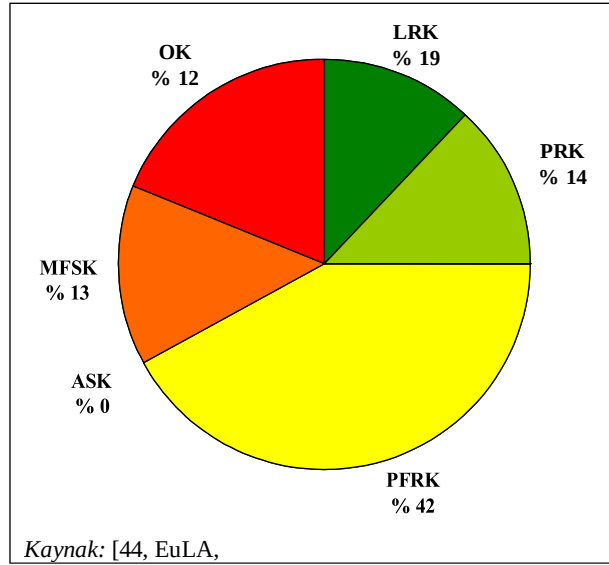
Fırın tipi	Fırın sayısı
Uzun döner fırın (LRK)	26
Ön ısıtıcılı döner fırın (PRK)	20
Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK) (standart ve ince kireç)	158
Dairesel şaft fırın (ASK)	74
Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	116
Diğer fırınlar (OK)	203
TOPLAM	597
Kaynak: [44, EuLA, 2006], [46, Almanya, 2006]	

Diğer fırınlar aşağıdakiler olabilir:

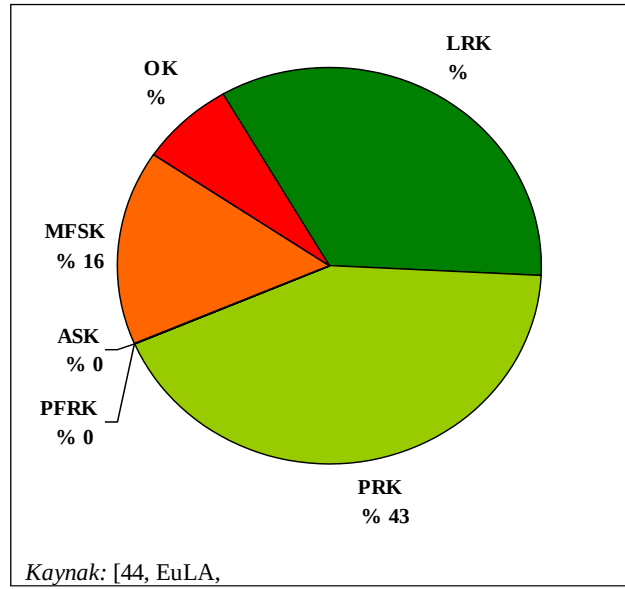
- ☐ çift eğimli şaft fırınlar
- ☐ çok hazneli şaft fırınlar
- ☐ merkezi brülörlü şaft fırınlar
- ☐ dış hazneli şaft fırınlar
- ☐ merkezi brülörlü şaft fırınlar
- ☐ iç arklı şaft fırınlar
- ☐ hareketli ızgaralı fırınlar
- ☐ Chisaki fırınları
- ☐ flaş kalsinatör fırınları
- ☐ döner ocaklı fırınlar



Şekil 2.2: 2004 yılında AB-27'de fırın tipine göre ticari kireç üretimi



Şekil 2.3: 2004 yılında AB-27'de firm tipine göre ticari dolim üretimi



Şekil 2.4: 2004 yılında AB-27'de firm tipine göre ticari sinterlenmiş dolim üretimi

Kireç, dolim veya sinterlenmiş dolim üretimi için, tipik kireç fırını kapasiteleri günde 50 ila 500 ton arasındadır. Bu kireç fırınlarının sadece %10'u günde 10 tonun altında veya 500 tonun üstünde kapasiteye sahiptir. Tablo 2.8, 2003 yılında AB-27'de kireç ve dolim üretimi için ülke başına farklı tipteki fırınların sayılarına ilişkin bir genel bakış sunmaktadır.

Tablo 2.8: 2003 yılında AB-27'de ülke başına kireç ve dolim üretimine yönelik kireç fırını sayısı, yerinde fırınlar hariç

Ülke		Uzun döner fırın (LRK)	Ön ısıtıcı döner fırın (PRK)	Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)	Dairesel şaft fırın (ASK)	Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	Diğer fırınlar (OK)	Toplam
Belçika	BE	5	3	14	5	9	1	37
Bulgaristan	BG	1	-	2	-	-	29	32
Çek Cumhuriyeti	CZ	-	2	8	-	4	2	16
Danimarka	DK	1	-	-	-	-	-	1
Almanya	DE	1	6	15	32	64	17	135
Estonya	EE	-	-	-	-	-	2	2
Yunanistan	EL	2	-	2	2	-	40	46
İspanya	ES	3	1	34	1	1	9	49
Fransa	FR	-	2	18	23	-	5	48
İrlanda	IE	-	-	1	-	-	-	1
İtalya	IT	-	-	31	4	-	35	70
Kıbrıs	CY	-	-	-	-	-	-	0
Letonya	LV	-	-	-	-	-	1	1
Litvanya	LT	1	-	-	-	-	-	1
Lüksemburg	LU	-	-	-	-	-	-	0
Macaristan	HU	-	-	3	-	-	-	3
Malta	MT	-	-	-	-	-	-	0
Hollanda	NL	-	-	-	-	-	-	0
Avusturya	AT	-	-	3	3	1	3	10
Polonya	PL	-	-	4	-	36	1	41
Portekiz	PT	-	-	3	-	-	6	9
Romanya	RO	-	-	7	-	-	14	21
Slovenya	SI	-	-	-	2	-	10	12
Slovakya	SK	-	4	3	-	1	13	21
Finlandiya	FI	5	-	3	1	-	-	9
İsveç	SE	5	-	4	-	-	-	9
Birleşik Krallık	UK	5	2	8	-	-	6	21
Toplam		29	20	163	73	116	194	595

Kaynak: [44, EuLA, 2006], [139, İtalya, 2007]

Kireç endüstrisi, enerjinin toplam üretim maliyetlerinin %30 – 60'ını oluşturduğu, oldukça enerji yoğun bir endüstridir. Fırınlar katı, sıvı veya gaz yakıtlar gibi fosil yakıtların yanı sıra yakıt atıklar ve/veya biyokütle ile ateşlenir. Atıkların yakıt olarak kullanımı, istenen kireç kalitesine bağlıdır. Atık kullanımının kireç kalitesi üzerinde etkisi olabilir, kullanılmadan önce atıkların özelliklerinin araştırılması gerekir. Son birkaç yılda fosil yakıt tüketimi azalmış ve yakıt atık tüketimi artmıştır. Tablo 2.9, 2003 yılında AB-27'de kullanılan yakıt türlerinin dağılımını göstermektedir.

Tablo 2.9: 2003 yılında AB-27'de kireç yakmada kullanılan yakıtların dağılımı

Yakıt türü	Birim	AB-27 2003
Gaz (fosil)	%	43
Katı (fosil)	%	41
Sıvı (fosil)	%	7
Diğer	%	-
Atık	%	8
Biyokütle	%	1

Kaynak: [16, EuLA, 2001], [44, EuLA, 2006]

Ana kireç üretimi emisyonları, fırından kaynaklanan atmosferik emisyonlardır. Bunlar, kullanılan hammaddelerin ve yakıtların kendilerine özgü kimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır. Bununla

birlikte, özellikle hidratlaştırıcı ve fırın olmak üzere sürecin herhangi bir kısmında önemli toz emisyonları meydana gelebilir. Ayrıca, örneğin konveyörlerden, nakliyeden ve toplu depolamadan difüz toz emisyonları meydana gelebilir. Kireç tesislerinden kaynaklanan, önem arz edebilen emisyonlar arasında karbon oksitleri (CO, CO₂), azot oksitleri (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve toz bulunur.

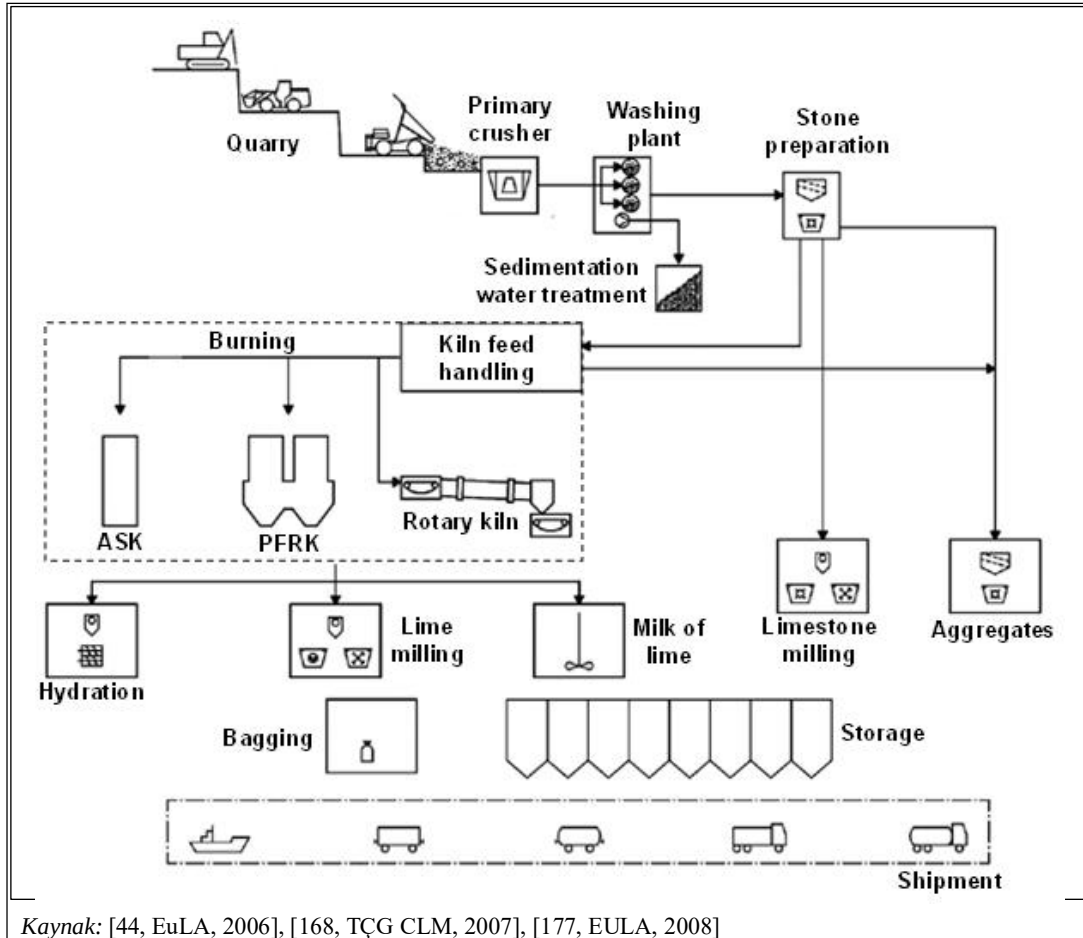
2.2 Kireç üretiminde uygulanan proses ve teknikler

Kireç üretim süreci, kalsiyum ve/veya magnezyum karbonatların 900 ila 1200 °C arasında sıcaklıkta yakılmasını içerir. Bu sıcaklık, karbon dioksitin serbest kalması ve türetilen oksitin elde edilmesi için yeterlidir ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Örneğin sinterli dolomit gibi bazı süreçler için 1 800 °C'ye varan, önemli ölçüde daha yüksek olan yanma sıcaklıkları gereklidir.

Fırından çıkan kalsiyum oksit ürünü, silo deposuna taşınmadan önce genellikle ezilir, öğütülür ve/veya elenir. Silodan, yanmış kireç ya sönmemiş kireç olarak kullanılmak üzere son kullanıcıya sevk edilir ya da hidratlı veya sönmüş kireç üretmek üzere suyla reaksiyona girdiği bir hidratlama tesisine aktarılır.

Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7, aşağıda görüldüğü üzere genel kireç üretim sürecinde yer alan temel adımları göstermektedir [44, EuLA, 2006]:

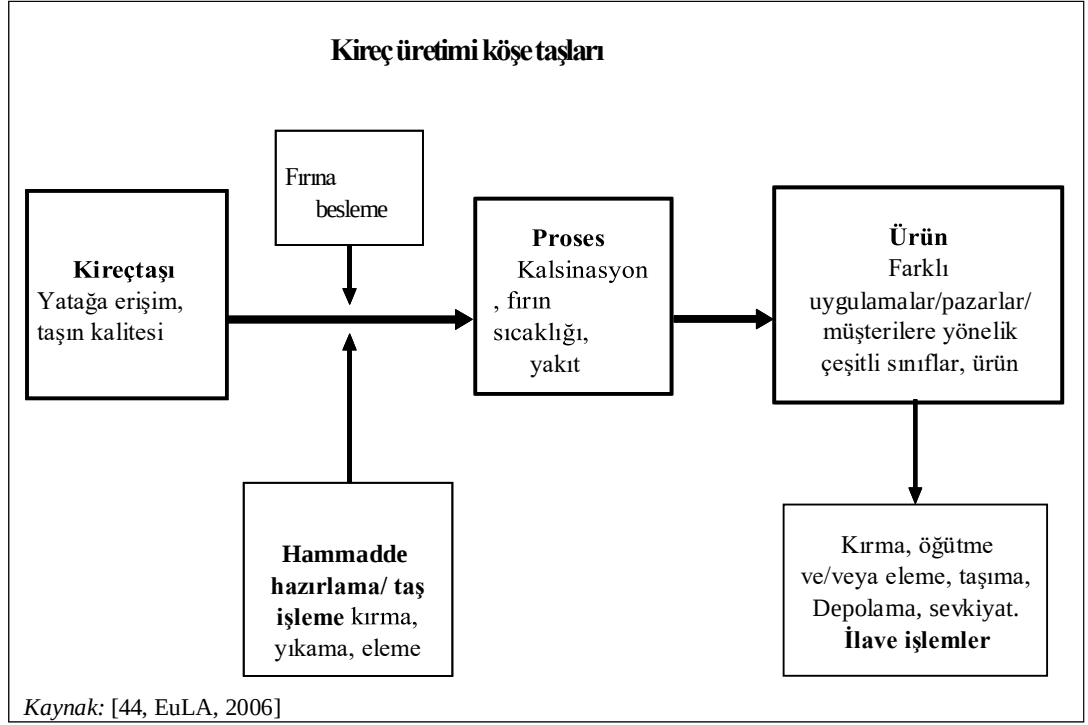
- ☐ kireçtaşı özelliklerine sahip hammaddenin çıkarılması
- ☐ kireçtaşı depolama ve hazırlama
- ☐ farklı yakıt türlerinin depolanması ve hazırlanması
- ☐ kireçtaşı kalsinasyonu
- ☐ sönmemiş kirecin nemlendirilmesi ve söndürülmesi
- ☐ sönmemiş kirecin işlenmesi
- ☐ diğer kireç işlemleri
- ☐ depolama, elleçleme ve taşıma.



Şekil 2.5: Örnek kireç üretim sürecine genel bakış

2.2.1 Genel üretim süreci açıklaması

Kireç üretimi, öncelikle yatağın jeolojisine özgü olan kireçtaşı kalitesine bağlıdır. Kireçtaşı işlenir ve işlenen kireçtaşı, kalsiyum oksit ve karbondioksit üretimi ile sonuçlanan bir termal ayrışma reaksiyonuna girdiği bir fırına şarj edilir. Yaygın olarak yanmış kireç veya sönmemiş kireç olarak adlandırılan bu ‘ürün’, boyutlarına göre işlenir ve daha sonra depolanır, taşınır veya daha fazla işlenir. Kireç üretimi köşe taşlarının gösterildiği akış şeması Şekil 2.6’da verilmektedir.

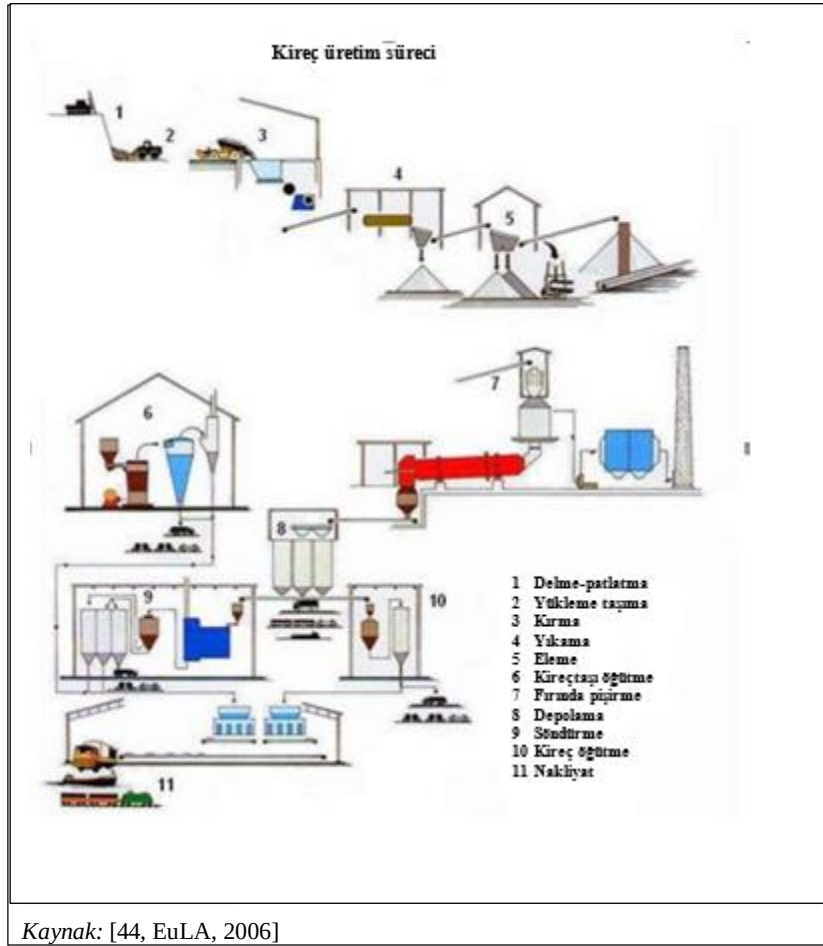


Şekil 2.6: Kireç üretimi köşe taşlarının gösterildiği akış şeması

‘Kireçtaşı’, ‘süreç’ ve ‘ürün’ olmak üzere üç büyük köşe taşı, farklı pazar talepleri için gerekli bir ürünün üretilmesinde birbirine bağımlı unsurlardan meydana gelen bir ‘matris’in temelini oluşturur. Kireç, çok çeşitli endüstriyel sektörler tarafından kullanılabilen çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır ve birçok proses için vazgeçilmez bir ara üründür. Bununla birlikte, çeşitli uygulama alanları, kireç ürünlerinde çeşitli fiziko-kimyasal özellikler de gerektirir. Kireç kalitesi gereklilikleri, özellikle Ulusal ve Avrupa Standartlarında ve ayrıca doğrudan üreticiler ve müşteriler arasındaki anlaşmalarda belirtilmiştir. Kireç endüstrisi her zaman, gelişmiş bir tekniğin getirdiği geniş kalite gereksinimleri aralığına uyum sağlamaya (özel fırın tipleri ve bunların yakıtları) hazır olmuştur.

Kireçtaşı, CaCO_3 ve dolomitin – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – kalitesi, sırasıyla üretim sürecinde, kirecin nihai kalitesinde ve kimyasal bileşimde özel bir rol oynar. Fırın tekniği, yani fırın tipi ve kullanılan yakıt, üretilen kirecin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle, dünya genelinde çeşitli kalitelerde kirecin üretimi için çeşitli fırın tipleri geliştirilmiştir. Müşterinin ihtiyaç profili ile birlikte uygun kireçtaşı yataklarının mevcudiyeti temelinde, kireç üretim süreci için mevcut en iyi teknikleri geliştirmek amacıyla optimum fırın/yakıt kombinasyonu seçilmiştir.

Kireç üretim süreci Şekil 2.5 ve Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Örnek kireç üretim sürecine genel bakış

2.2.2 Hammaddeler ve kireçtaşının çıkarımı

Kireç üretiminde hammadde, kireçtaşı veya bir düzeye kadar dolomit veya dolomitli kireçtaşıdır. Dünyadaki toplam tortul kayaç hacminin yüzde onu kireçtaşıdır.

Tipik olarak, kireçtaşı % 90'ın üstünde CaCO_3 ve % 10'un altında MgCO_3 içerir. Dolomit, % 54 – 58 CaCO_3 ve % 40 – 44 MgCO_3 içeren bir çift karbonattır. Dolomitli kireçtaşı genellikle kireçtaşından daha yüksek, ancak dolomitte daha az MgCO_3 içeren bir kireçtaşı türüne denir. Kireçtaşı gibi hammaddeler 360 milyon yıldan daha yaşlı olabilir. Kireçtaşı yatakları birçok ülkede nispeten bol olmakla birlikte, yalnızca küçük bir kısmı ticari çıkarıma uygundur.

Kireçtaşı kayacı, başlangıçta, çeşitli organizmaların etkisiyle organik yol veya karbonatın kristalleşmesini içeren inorganik yolla, kalsiyum iyonları ve karbon dioksitin birleşik çözünme sürecinden oluşur. Bu süreci daha sonra diyajenez adı verilen, tortuların kayalara dönüştüğü bir süreç takip eder. Bu süreç oldukça karmaşık olup çeşitli organik ve fiziko-kimyasal yollar içerir. Bu nedenle, ilk oluşum şekline bağlı olarak kireçtaşının pek çok çeşitli halde mevcut olduğu sonucuna varmak mümkündür. Bu durum, tane boyutuna, mikro yapısına, dokusuna, safsızlıklarına ve karbonat içeriğine yansır.

Kireçtaşının pek çok uygulama için uygunluğu açısından safsızlık veya eser element ve karbonat içeriği özellikle önem taşır. Tablo 2.10, genellikle kireçtaşında bulunan yaygın safsızlıkların veya eser elementlerin tipik aralığını göstermektedir. Bir Macar kireç tesisinde kullanılmış kireçtaşından elde edilen hammadde bileşimi örneği, Bölüm 6.3.2.1'de Tablo 6.29'da gösterilmektedir.

Tablo 2.10: Kireçtaşındaki tipik safsızlıklar ve eser elementler

	Birimler	Tipik aralık
Silis (SiO ₂ olarak)	%	0,1 – 2,0
Alümina (Al ₂ O ₃ olarak)	%	0,04 – 1,5
Demir (Fe ₂ O ₃ olarak)	%	0,02 – 0,6
Kükürt (S)	%	0,0024 – 0,118
Karbonlu madde	%	0,01 – 0,5
Manganez (MnO ₂ olarak)	mg/kg	20 – 1 000
Antimon	mg/kg	0,1 – 3
Arsenik	mg/kg	0,1 – 15
Bor	mg/kg	1 – 20
Kadmiyum	mg/kg	0,1 – 1,5
Krom	mg/kg	3 – 15
Bakır	mg/kg	1 – 30
Kurşun	mg/kg	0,5 – 30
Cıva	mg/kg	0,02 – 0,1
Molibden	mg/kg	0,1 – 4
Nikel	mg/kg	0,5 – 15
Selenyum	mg/kg	0,02 – 3
Gümüş	mg/kg	0,2 – 4
Kalay	mg/kg	0,1 – 15
Vanadyum	mg/kg	1 – 20
Çinko	mg/kg	3 – 500
Kaynak: [44, EuLA, 2006], [70, Macaristan, 2006], [126, Oates, 1998]		

Doğal hidrolik kireç üretimi için kullanılan hammaddeler %65 – 90 CaCO₃ ve MgCO₃ içermektedir. Bu hammaddenin saflığı, diğer kireç türlerinin üretiminde kullanılan hammaddelerden farklıdır. Ayrıca, TOK cinsinden ifade edilen organik içerik çok daha yüksektir ve %0,8 ile %5 aralığındadır [127, Portekiz, 2007].

Yüksek saflıkta kireçtaşı veya dolomit gibi hammaddeler ocaktan çıkarılır, ön kırmaya tabi tutulur ve bazı durumlarda kireç tesisine taşınmadan önce yıkanır ve elenir. Kireçtaşı normalde, genellikle kireç tesisine bitişik olan yüzey ocaklarından elde edilir, böylelikle hammadde bantlı konveyörlerin kullanımıyla tesise doğrudan taşınabilir. Ancak bazı durumlarda deniz tarama ve hatta yeraltı madenciliği kullanılır. Tesisten uzaktaki taş ocaklarından örneğin araçlar yoluyla hammadde temini de mümkündür. Tipik madencilik süreci şunları içerir:

- ☐ örtü tabakasının kaldırılması (yani, yatak üzerinde konumlanmış toprak, kil ve gevşek kayaç)
- ☐ kayaç patlatma
- ☐ patlatılan kayacın kırma ve eleme tesisine yüklenmesi ve taşınması.

Madencilik/taş ocakçılığı ile ilgili yararlı bilgiler Madencilik Faaliyetlerinde Maden Atıkları ve Atık-Kayaç Yönetimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [47, Avrupa Komisyonu, 2004].

2.2.3 Kireçtaşı hazırlama, temizleme ve depolama

2.2.3.1 Kireçtaşı hazırlama

Kireç üretimi, öncelikle yatağın jeolojisine özgü olan kireçtaşı kalitesine bağlıdır. Seçici madencilik, kalsinasyon prosesi için kireçtaşı kalitesini iyileştirebilir. Safsızlıklar veya eser elementler heterojen olarak mevcutsa, bunlardan bazıları genellikle seçici taş ocakçılığı, yıkama veya eleme yoluyla çıkarılabilir. Ancak bunlar kireçtaşında homojen olarak bulunuyorsa bu işlemler etkisizdir. Kireçtaşının gözenekliliği,

higroskopik davranışı veya su emmesi, kütle yoğunluğu, sertliği, mukavemeti ve yıpranma özellikleri gibi özellikleri birbirine bağımlıdır. Kalsinasyon veya yakma işlemi ile son ürünün kimyasal ve fiziksel özelliklerinde çok önemli bir rol oynadıkları bulunmuştur.

Kireçtaşı tipik olarak makul ölçüde basamaklarda kazılır ve patlatılır. Patlatılan kireçtaşı daha sonra kırma ve eleme işlemlerine beslenir.

Bir metre çapındaki kireçtaşı kayaçları genellikle birincil kırıcılarda 100 – 250 mm'lik uygun bir boyut aralığına kadar kırılır. Kayacın yapısına (sertlik, tabakalaşma, boyut vb.) bağlı olarak, çeneli kırıcılar, döner kırıcılar ve darbeli kırıcılar gibi çeşitli tipte birincil kırıcılar kullanılır. Bazen kırma tesisleri taş ocağında bulunur ve hareketlidir.

Birincil kırıcıdan gelen kırılmış kireçtaşı, konveyörler aracılığıyla titreşimli eleklerle taşınır; büyük parçalar ayrılır ve geri dönüştürülür, yeterince küçük olanlar ise fırın şarjı olarak kullanılır veya proses hattının daha aşağısında bulunan ikincil kırıcılara beslenir.

İkincil kırıcılar, 5 – 80 mm ebat aralığındaki kireçtaşlarını kırmak için kullanılır. Fırın şarjının çok ince olması gerekmediğinden, çekiçli değirmenler gibi çeneli ve darbeli kırıcılar da ikincil kırıcılar olarak sıklıkla kullanılır.

Kırma işleminden sonra, kireçtaşı bir eleme ünitesinde elenir ve daha sonra bantlı konveyörler ve/veya kovalı asansörler kullanılarak kireç fırınlarına beslenmeden önce depolanmak üzere kireçtaşı depolama silolarına, stok yığınlarına veya bunkerlere taşınır.

Ezilmiş ve elenmiş kireçtaşının parçacık boyutu dağılımı, fırın gereksinimleriyle uyumlu olmalıdır. Bu genellikle kireçtaşının ideal olarak 2:1 veya en azından 3:1 taş boyutu oranında elenmesini gerektirir.

2.2.3.2 Kireçtaşı depolama

Elemeden geçen kireçtaşları bunkerlerde ve açık hava depolarında depolanır. İnce olanlar genellikle silolarda ve stoklarda depolanır.

2.2.3.3 Kireçtaşı yıkama

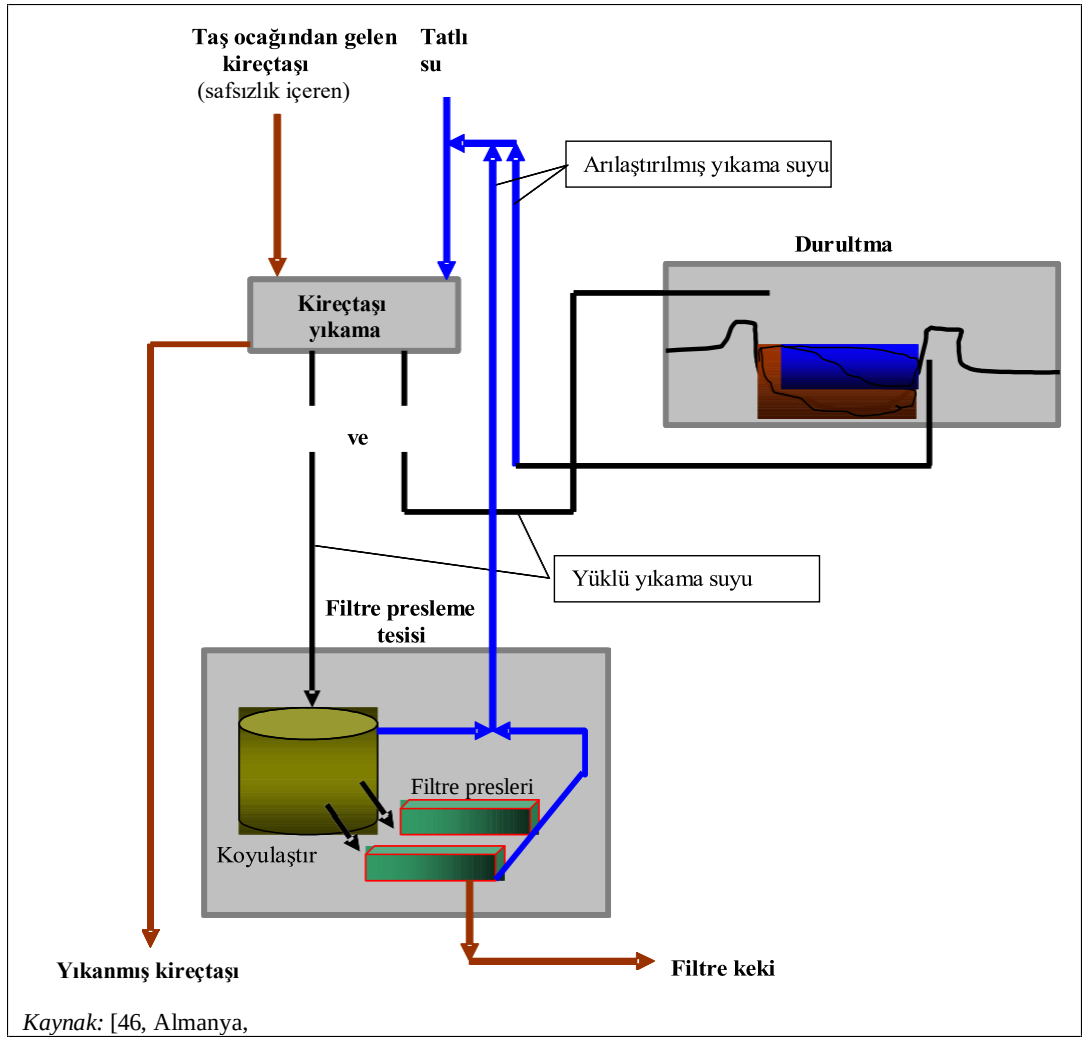
Fırına beslemeden önce kireçtaşı bazen örneğin yıkama tamburlarında veya eleklerde yıkanır. Fırın sürecini olumsuz etkileyebilecek veya son ürün kalitesini etkileyebilecek doğal kum ve kil miktarını azaltmaya yönelik kireçtaşı yıkaması, kireç tesislerinin %10'undan azında gerçekleştirilir.

Bu yıkama, yanma havası dolaşımı için taşlar arasında boşluk bırakarak yanma işlemine yardımcı olur, böylece fazla hava miktarını azaltır ve elektrik enerjisinden tasarruf sağlar. Daha iyi yıkama için kireçtaşı istifleme teknikleri geliştirilmiştir.

Askıda katı maddeler yıkama suyundan şu şekilde uzaklaştırılır:

- ☐ çöktürme çukurları, sonra rekültivasyona bırakılabilir
- ☐ filtre preslerinde dehidrasyon.

Her iki sistemden gelen arılaştırılmış su, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi yıkama işleminde yeniden kullanılmaktadır.



Şekil 2.8: Kireçtaşı yıkama ve yıkama suyu arıtma için malzeme akış şeması

2.2.4 Yakıtlar – Hazırlama ve depolama

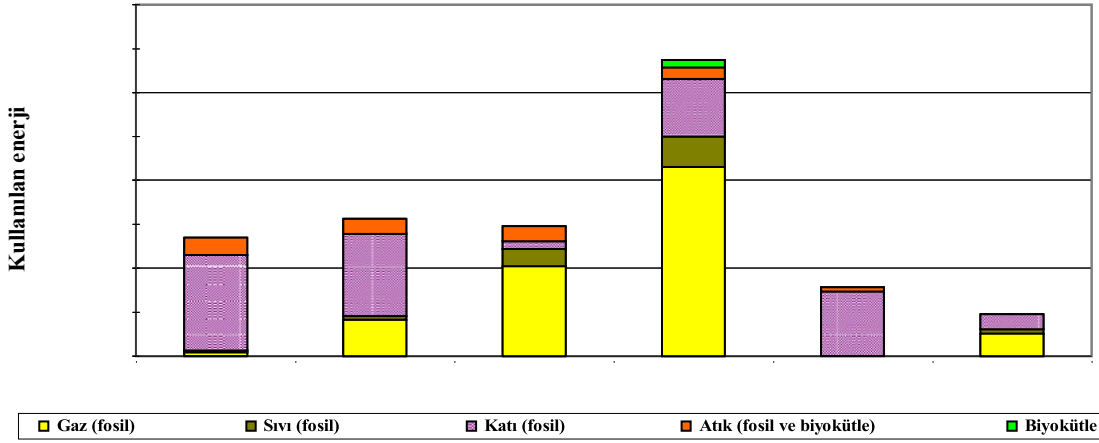
Kireç endüstrisi, enerjinin toplam üretim maliyetlerinin %60'a kadarını oluşturduğu, oldukça enerji yoğun bir endüstridir. Kireç yakmada yakıt, kalsine etme için gerekli enerjiyi sağlar. Ayrıca yanma ürünlerinin sönmemiş kireçle reaksiyona girmesiyle süreçle etkileşime geçer. Kireç fırınlarında birçok farklı yakıt kullanılmaktadır. AB'de en yaygın olanları, doğal gaz, kok fırını gazı gibi doğal gazlı yakıtlar, kömür gibi katı yakıtlar (taş kömürü, toz haline getirilmiş linyit ve petrokok), kok/antrasit ve bunların yanı sıra ağır ve/veya hafif fuel oil gibi sıvı yakıtlardır. Yakıt olarak atık da kullanılmaktadır, örn. kullanılmış petrol, plastik, kağıt ve hayvan küspesi (et kemik unu) veya talaş [44, EuLA, 2006], [45, Schorcht, 2006], [46, Almanya, 2006].

Çoğu fırın birden fazla yakıtla çalışabilir, ancak bazı yakıtlar belirli fırınlarda kullanılamaz. Bazı yakıtlar özel bir ateşe dayanıklı fırın astarı gerektirir. Tablo 2.11, 2003 yılında farklı kireç fırınlarında kullanılan yakıt türlerinin yüzdesini ve Şekil 2.9, AB-27'de 2005 yılında kullanılan yakıt türlerini ve enerjiyi göstermektedir.

Tablo 2.11: AB-27'de 2003 yılında farklı kireç fırınlarında kullanılan yakıt türleri

Yakıt türü	Yakıt açıklaması	Farklı tür kireç fırınlarında kullanılan yakıt türlerinin yüzdeleri (%)					
		LRK	PRK	ASK	PFRK	MFSK	OK
Gaz (fossil)	Doğal gaz, kok fırını ve konvertör gazı, bütan/propan gazı	3	26	69	64	0	51
Katı (fossil)	Kömür, petrokok, metalurjik kok, linyit, antrasit	81	60	6	20	100	32
Sıvı (fossil)	Ağır, orta ve hafif fuel oil	1	3	14	10	0	10
Atık (fossil ve biyokütle)	Atık kereste, lastikler, plastikler, yakıt sıvı atıklar, hayvansal yağlar, hayvan küspesi	14	11	11	3	0	7
Biyokütle	Ağaç, odun yongası, talaş, tarım ve ormancılıktan kaynaklanan atıklar	0	0	0	3	0	0

Kaynak: [44, EuLA, 2006], [46, Almanya, 2006], [64, Çek Cumhuriyeti, 2006]



Şekil 2.9: AB-27'de 2005 yılında kireç fırında pişirme işlemi için kullanılan yakıt türleri

Kireç yakma işlemi için yakıt seçimi aşağıdaki nedenlerden dolayı çok önemlidir:

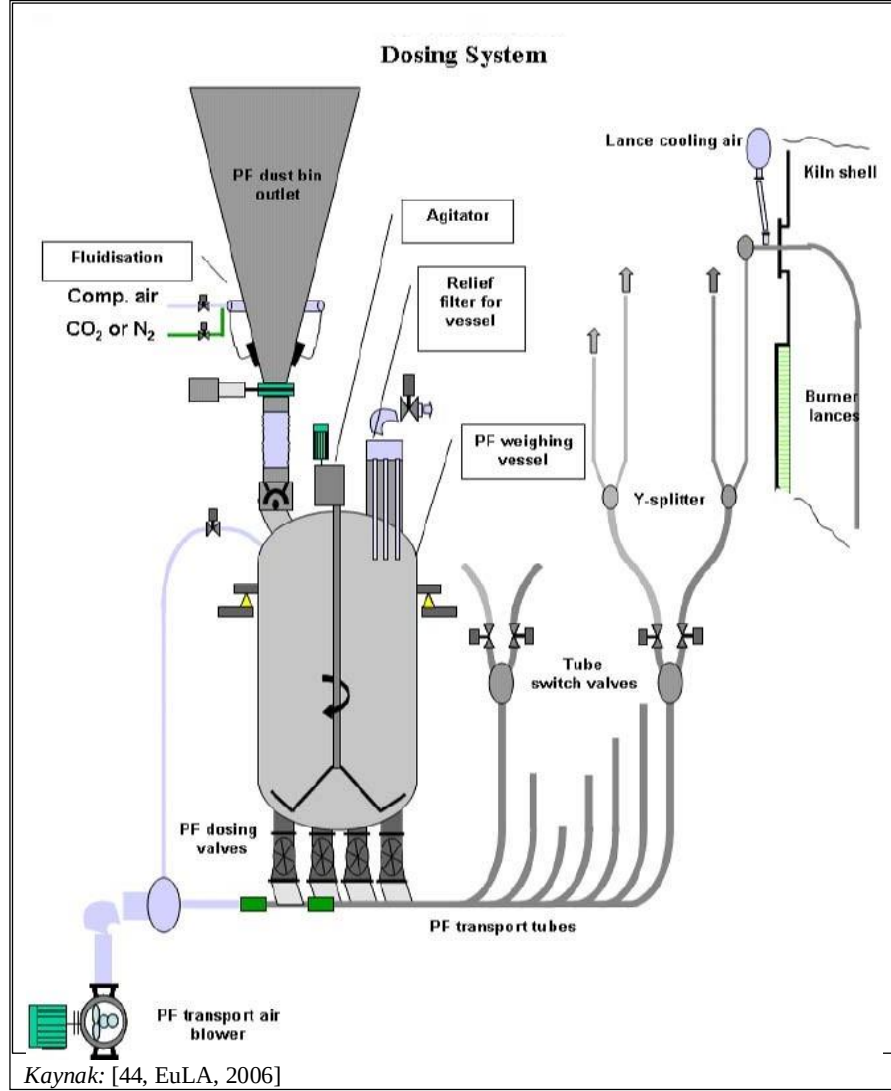
- ☐ yakıt maliyeti – ton kireç başına yakıt maliyeti, üretim maliyetinin %30 ila 60'ını temsil edebilir
- ☐ piyasada yakıt mevcudiyeti
- ☐ kireç kalitesi – yakıtın kireç kalitesi üzerindeki etkisi, kalan CO₂ seviyesini, safsızlıkları, beyazlığı, reaktiviteyi ve kükürt içeriğini vb. etkiler.
- ☐ emisyonlar – yakıt, her biri çevresel etkiye sahip olan karbon dioksit, karbon monoksit, duman, toz, kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarının seviyelerini etkiler
- ☐ birincil enerji tasarrufu – fuel oil ve doğal gaz.

Özgül maliyetler ve kükürt içeriği ile ilgili olarak farklı yakıtların karşılaştırması bu belgenin sinter manyezi bölümündeki Şekil 3.13'te bulunabilir (bkz. Bölüm 3.4.5).

Yakıtlar, doğrudan veya dolaylı ateşleme tipinde olabilen enjeksiyon sistemi için gerektiği şekilde hazırlanır (ısıtılır, toz haline getirilir). Katı yakıtlar söz konusu olduğunda, bu, kurulu taşıma sistemi için uygun parçacık boyutunda teslimatı içerir. Sıvı ve gaz yakıtlar söz konusu olduğunda, gerekli basınç ve (uygun olduğu ölçüde) sıcaklığın korunması gerekir.

Kömür genellikle bir kömür değirmeni tarafından öğütülür ve bir siloda depolanır. Kömür tozuna ilişkin patlama riskleri gibi güvenlik sorunları dikkate alınmalıdır, örneğin 10 bar basınca kadar basınca dayanıklı, darbeye dayanıklı silolar ve atıl gaz kullanılmalıdır. Linyit, kömür ve talaş, yakıtın kendiliğinden tutuşması önlenecek şekilde depolanmalıdır.

Şaft fırın için bir dozlama sistemi prensibi örneği Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Şaft fırın dozaj sistemi örneğinin akış şeması



Kaynak: [44, EuLA, 2006]

Şekil 2.11: Şaft fırın dozaj sistemi örneği

2.2.5 Atık kullanımı

2.2.5.1 Genel hususlar

Kireç üretimi önemli miktarda enerji girdisi gerektirir, bu da yakıtı en büyük üretim maliyeti haline getirir. Yakıt atıklarının kullanılması, kireç üreticisinin gaz ve sıvı yakıtlar gibi fosil yakıtların tüketimini azaltmasına olanak tanır ve Avrupa'daki kireç sektörünün ekonomik canlılığına katkıda bulunur. 1997'den beri Avrupa kireç endüstrisi biyokütlenin yanı sıra daha fazla atık yakıt kullanmaktadır. Ancak bu yakıt atıklarının kalitesi kireç üretiminde kullanım için önemlidir. Atık kullanımı ayrıca, örneğin kullanımın sınırlanması açısından kireç kalitesini etkiler. Her halükârda, yakıt atık kullanımı, bu yakıtların nakliye maliyetleri ve birim fiyatları açısından da uygun maliyetlidir.

AB Üye Devletleri, yakıt atık kullanımına oldukça farklı yasal gereklilikler getirmektedir. Gereklilikler, atıkların özelliklerini ve atık malzemelerde yer alan bir dizi maddeyi ilgilendirmektedir. Fransa, Almanya ve Birleşik Krallık'ta, bölgeden bölgeye değişebilen özellikler ve eşikler ortaya konmuştur. Metaller için ulusal veya bölgesel makamlar tarafından ek olarak, farklı toplamlara sahip farklı eşikler tanımlanır.

Herhangi bir yakıt değişiminde olduğu gibi ve özel ürün gereksinimleri ile üretim süreçlerinin doğasından dolayı, yakıt atıklarının kendine has fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmalı ve oldukça isabetli bir biçimde tanımlanmalıdır (örn. fiziksel hal, net ısı değeri, kimyasal bileşim). Bazı ön işleme tabi tutulmuş atık fraksiyonları gibi yüksek kalorili atıklar, kireç fırınlarında birincil yakıtın yerini alabilir. Bu nedenle, atık kalitesinde istikrar çok önemlidir (örn. yeterli kalorifik değeri, yüksek reaktivite, düşük nem, metal, klor ve kül içeriği). Ayrıca atık malzemelerin brülörlere (çok kanallı brülörler) uygun olması gerekmektedir.

Uygun yakıt atık seçimi aynı zamanda istenen ürün kalitesine ve seçilen fırına enjeksiyona ilişkin teknik imkanlara da bağlıdır. Kullanımları esas olarak aşağıdakilerle sınırlıdır:

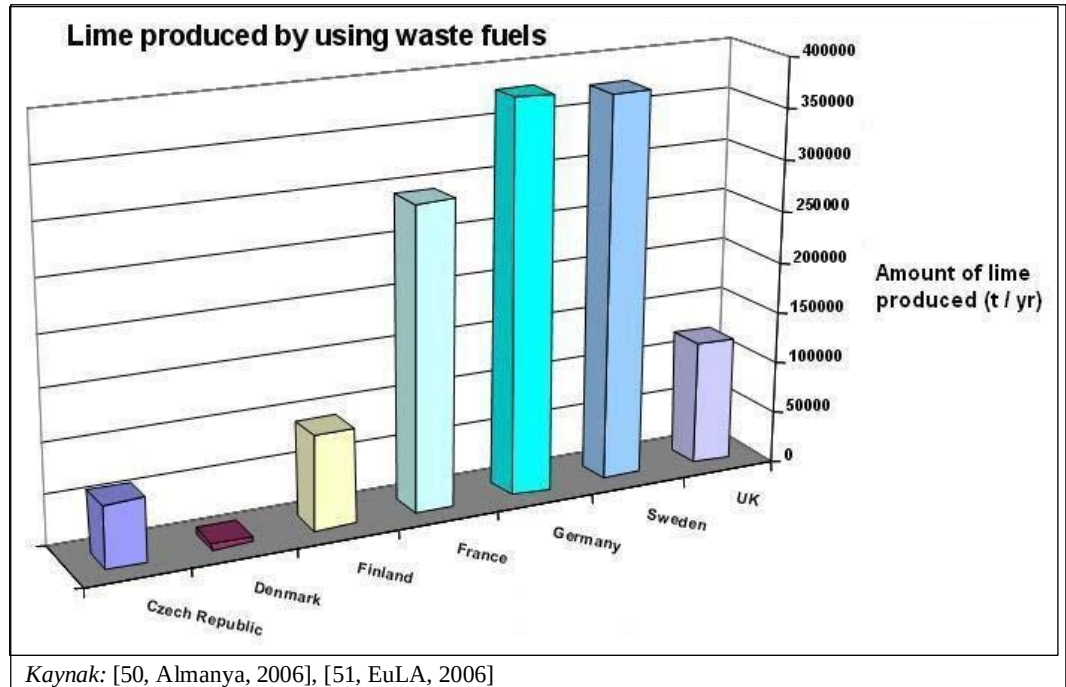
- ilgili fiziksel, kimyasal veya prosese özel gereksinimleri her zaman karşılamayan fiziksel ve kimyasal özellikler. Örneğin, PFRK fırınlarında parça katı yakıt yakmak imkansızdır.

□ piyasada mevcudiyet.

Yeterli yakıt atık miktarları mevcut olmalıdır. Bu tür yakıtlar kireç tesislerinde hazırlanmamaktadır. Normalde farklı tür yanıcı atıklar veya ayrılabilir yüksek kalorili fraksiyonlara sahip atıklar, üretim sahalarında herhangi bir ek işleme gerek kalmadan doğrudan kireç fırınlarında yakılabilecek şekilde özel atık yönetim tesislerinde hazırlanır. Bir istisna, kaba parçacıkların kontrol vanalarını veya brülörü tıkanmasını önleyen sıvı yakıt filtrelemesiyle ilgilidir.

Yakıt seçimi (fosil veya atık), ürünlerin kalite gerekliliklerini de hesaba katmak zorundadır ve sahaya özel koşullara büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle, sadece sınırlı sayıda yakıt atık kireç üretimi için uygundur.

Bu yakıt atıklar, Avrupa kireç endüstrisi tarafından tüketilen tüm enerjinin yaklaşık % 4'ünü temsil etmektedir. 2005 yılında, Şekil 2.12'de gösterildiği gibi Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İsveç ve Birleşik Krallık olmak üzere yedi ülkede atıkların yakıt olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12: Farklı Avrupa ülkelerinde yakıt atık kullanılarak üretilen kireç miktarı

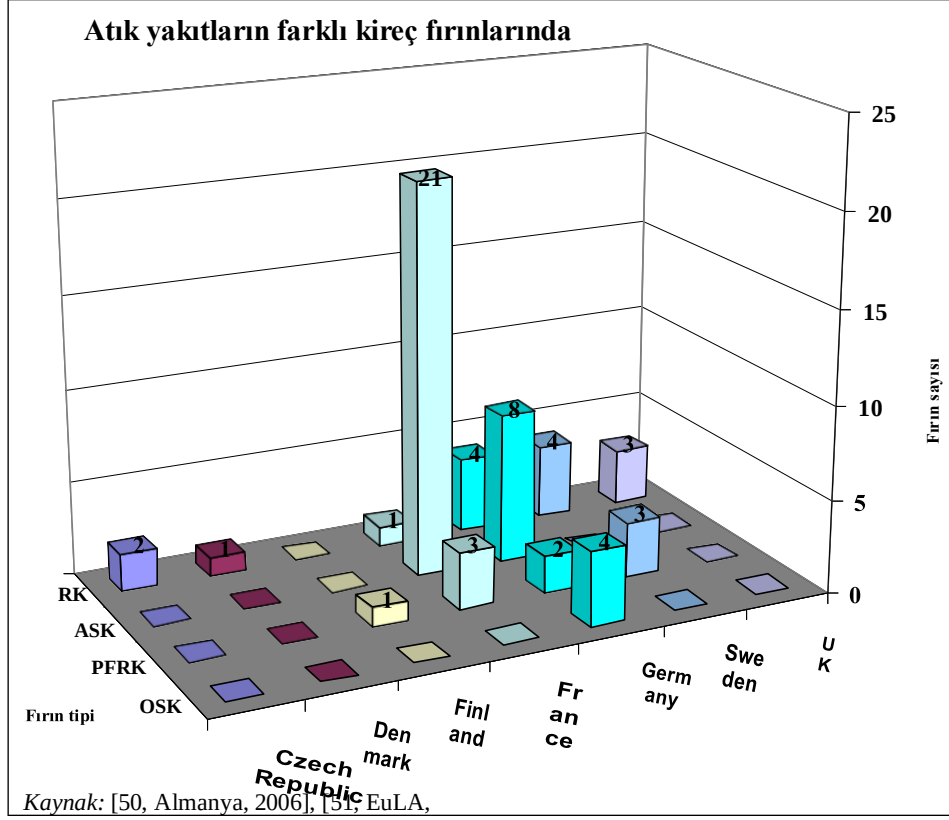
Atık arıtmaya ilişkin yararlı bilgi Atık Arıtma Endüstrilerinin Yönetimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [48, Avrupa Komisyonu, 2005].

Atık yakmaya ilişkin bilgi Atık Yakma için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında da bulunabilir [87, Avrupa Komisyonu, 2001].

2.2.5.2 Teknik yönler

Atıkların yakıt olarak kullanımı, temelde kireç üretim sürecini değiştirmez. Kireç fırınları, yakıt atığın toplam enerjinin yalnızca küçük bir yüzdesini sağladığı düşük ikame düzeylerinden tümünden ikameye kadar çok farklı ikame oranlarıyla çalışabilir.

Atıkların kullanımı döner fırınlarda (RK), dairesel şaft fırınlarda (ASK), paralel akışlı rejeneratif fırınlarda (PFRK) veya diğer şaft fırınlarda (OSK) gerçekleştirilebilir. Fırın tipinin seçimi kalite gereksinimlerine ve üretim kapasitelerine bağlıdır. Şekil 2.13, farklı Avrupa ülkelerinde yakıt atık yakan fırınların sayısını ve türünü göstermektedir. Kireç endüstrisinde kullanılan farklı fırın türleri hakkında daha fazla bilgi bu belgede Bölüm 2.2.7’de bulunabilir.



Şekil 2.13: Farklı Avrupa ülkelerinde yakıt atık kullanılan kireç fırınlarının dağılımı

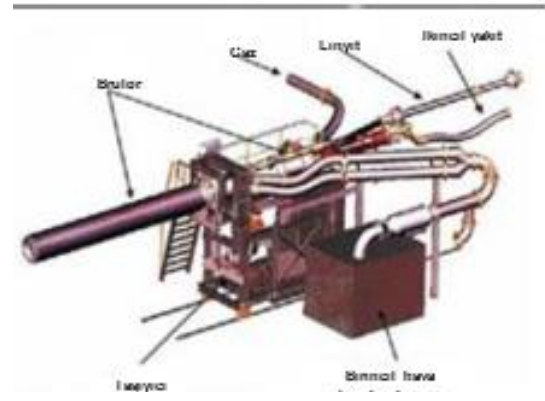
Paralel akışlı rejeneratif fırınlar (PFRK) haricinde yukarıda belirtilen fırınlarda yakıt atık kullanımı için ya gaz yakıtlar ya da sıvı yakıtlar için özel brülörler kullanılmalıdır. Bu fırınlar, gaz, sıvı ve katı yakıtların yakılması için özel olarak tasarlanmış borularla donatılmıştır.

Döner fırınlarda (RK), Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te gösterildiği gibi farklı yakıtları (gazlı, katı ve sıvı) ateşlemek üzere çok kanallı fırın brülörleri de kullanılabilir.



Şekil 2.14: Döner fırında (RK) kullanılan bir çok kanallı brülörün önden görünümü

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]



Şekil 2.15: RK brülör

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

2.2.5.3 Kullanılan yakıt atık türleri

Tablo 2.12'de gösterildiği gibi, farklı Avrupa ülkelerinde kullanılan yakıt türlerinde gözlemlenen farklılıkların altında yatan ana sebep pazar mevcudiyetidir.

Tablo 2.12: Farklı Avrupa ülkelerinde kullanılan yakıt atık türleri

Ülke	Yakıt atık türleri		
	Sıvı	Katı - pulverize	Katı - parça
Çek Cumhuriyeti	x		x
Danimarka		x	
Finlandiya	x		
Fransa	x	x	x
Almanya	x	x	x
İsveç	x		x
Birleşik Krallık	x		

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

Sıvı ve katı yakıt atıklar aşağıdaki bileşenleri içerir ve Tablo 2.13 ve Tablo 2.14'te gösterildiği gibi farklı fırınlarda yakılabilir.

Tablo 2.13: Sıvı ve katı yakıt atıklarının bileşenleri

Sıvı yakıt atıklar	Katı yakıt atıklar
Atık yağ	Katı türevi yakıtlar
Çözücü ve sıvı türevi yakıtlar	Plastikler (PVC hariç)
Hayvan yağı	Atık odun
	Lastikler
	Et kemik unu

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

Tablo 2.14: Farklı fırın tiplerinde kullanılan yakıt atıklar

Fırın tipi	Yakıt atık türü		
	Sıvı	Katı - pulverize	Katı - parça
Uzun döner fırın (LRK)	x	x	x
Ön ısıtıcılı döner fırın (PRK)		x	x
Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)	x	x	
Dairesel şaft fırın (ASK)	x	x	x
Diğer fırınlar (OK)	x	x	
Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]			

Sıvı yakıt atıklar, döner fırınlarda (LRK, PRK), dairesele şaft fırınlarda (ASK), paralel akışlı rejeneratif fırınlarda (PFRK) ve örneğin yan brülörlü ve çift eğimli normal şaft fırınlar gibi özel diğer fırın türlerinde kullanılabilir. Katı yakıtlar toz haline getirildiğinde yukarıda belirtilen tüm fırın tiplerinde kullanılabilirler. Küçük katı yakıt parçaları sadece döner fırınlarda (LRK, PRK) veya dairesele şaft fırınlarda kullanılabilir. Atıkların yakıt olarak kullanılmasıyla ne katı ne de sıvı atık üretilir.

Belirli niteliklere sahip yakıt atıkları hazırlamak ve harmanlamak için tedarikçiler tarafından kullanılan teknikler, girdi malzemesinin özelliklerine ve kullanıcıların gereksinimlerine bağlıdır. Kireç üretiminde kullanılmak üzere atık tesislerinde aşağıdaki tehlikeli olmayan katı atık türleri işlenir (örneğin ayırma, kırma, peletleme):

- ☐ kullanılmış lastikler, hayvan küspesi gibi yüksek ısı değere sahip mono atık malzeme
- ☐ farklı mono atık malzemelerin karışımları (örn. üretime özel tekstil veya plastik atık)
- ☐ karışık belediye atıkları, karışık ticari atıklar veya karışık inşaat ve yıkım atıklarının yüksek kalorili fraksiyonları.

Sıvı yakıt atıklar, kullanılmış çözücüler veya uygun ısı değerlere sahip atık yağ gibi değişik atıkların özel atık yönetimi tesislerinde harmanlanması suretiyle hazırlanır. Normalde sadece basit ön arıtma (diplerin, tortuların ve suyun uzaklaştırılması) gereklidir. Örneğin işleme yağı/emülsiyonu gibi bazı durumlarda, metalik kirleticileri ve katkı maddelerini uzaklaştırmak için kimyasal işlemler gereklidir.

Atık arıtmaya ilişkin yararlı bilgi Atık Arıtma Endüstrileri için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [48, Avrupa Komisyonu, 2005].

Sıvı yakıt atıklar tehlikeli olabilir, bu tehlike elleçleme (örn. depolama, besleme) için dikkate alınmalıdır. Organik bileşik emisyonlarını önlemek için buhar geri kazanımı kullanılır. Buhar geri kazanım sistemleri, organik madde akışına yalnızca buhar geri kazanım sisteminin bağlanmasıyla izin verilmesini sağlayacak şekilde çalıştırılır. Buhar geri kazanım sistemi ve bağlı kurulumlar, güvenlik nedenleriyle gerekli olan salınımlar dışında, normal çalışma sırasında atmosfere gaz salınımı yapmaz.

Yakma işlemi için atık yağın taşınması ve kullanılmasına ilişkin bir örnek açıklanmış olup Bölüm 1.1'de (kireç üretimi) bulunabilir.

Hayvansal yağ kullanıldığında, viskozitesi nedeniyle bu atık malzemenin 40 °C'lik sıcaklıklarda katılaştığı ve boruları ve bağlantı parçalarını tıkayabileceği belirtilmelidir. 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıkların üzerinde hayvansal yağın örneğin ek ısıtma kullanarak işlenmesi gereklidir [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006].

2.2.5.4 Yakıt katı atıkların kalite kontrolü

Belirli ürün gereksinimleri ve üretim süreçlerinin doğası gereği, yakıt atıkların çok kesin olarak tanımlanmış bir takım fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Kireç üretiminde sadece belirtilen amaca yönelik bu özelliklere sahip olan atıklar kullanılabilir.

Yüksek kalorili atıkların kireç fırınlarında birincil yakıtların yerine kullanılabilmesi nedeniyle atık kalitesinde istikrar esastır (örneğin yeterli ısı değeri, düşük nem, metal, klor ve kül içeriği, atığın brülörler için uygun olması). Bu tür yakıt genellikle özel atık yönetimi tesislerinde hazırlanır.

Tedarikçi tarafından hazırlanmadan önce atık malzeme kontrol edilmeli ve farklı kalite özellikleri açısından analiz edilmelidir. Bunlara örnek olarak, belirlenmiş yeterli ısı değerleri, düşük nem ve kireci kirletme ihtimallerinden dolayı kükürt, klor ve metal gibi kirleticilerin düşük içeriği verilebilir. Kireç üretiminde kullanılan atık yağ ve hayvansal yağlarda bulunmasına izin verilen tipik kirletici içeriği örnekleri Bölüm 6.3.2.2'de gösterilmiştir (bkz. Tablo 6.30). Yakıt atıklar pelet gibi farklı şekillerde üretilebilir. Ayrıca fırın ateşleme için kullanılmadan önce, hazırlanan ve teslim edilen atık malzemeler analiz edilmektedir. Farklı atıkların analizi için özel laboratuvar ekipmanları kullanılmaktadır. Döner fırınlarda yakılan katı yakıt atıkların kalite kontrolüne örnek Bölüm 6.3.4'te verilmektedir [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006].

Yakıt atık özelliklerini garanti altına almak için, bir kalite güvence sistemine ihtiyaç vardır. Bu gibi bir güvence sistemi özellikle örneklem, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili tedbirleri içerir. Daha fazla yararlı bilgi CEN/TC 343 'Geri Kazanılan Katı Yakıtlar' gibi Avrupa Standardizasyon Komitesi teknik şartnamelerinde bulunabilir.

Atığın menşei ve sınıflandırması Avrupa Atık Kataloğu'na (EWC) göre belirtilmelidir [49, Avrupa Komisyonu, 2000]. Bu katalog, atık malzemeleri sınıflandırır ve üretim şekilleriyle özelliklerine göre kategorize eder. Atık yönetimine ilişkin bir dizi AB Direktifinde ve Komisyon Kararında EWC'ye atıfta bulunmaktadır.

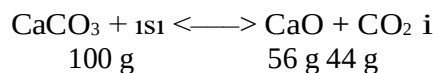
Atık tedarikçisi, atığı sınıflandırmalı ve kullanıma hazır yakıtların farklı fırınlarda kireç üretimine yönelik olarak belirlenen özelliklere sahip olduğunu doğrulamalıdır.

Bir kalite kontrol örneği, atık sınıflandırması açıklamasıyla birlikte tanımlanmış olup Bölüm 6.3.4'te bulunabilir [44, EuLA, 2006], [46, Almanya, 2006].

2.2.6 Sönmemiş kireç ve dolomit üretimi

2.2.6.1 Kireçtaşının kalsinasyonu – kimyasal reaksiyon

Kireç, kalsiyum ve/veya magnezyum karbonatların 900 ile 1 200 °C arasındaki sıcaklıklarda yakılmasıyla üretilir. Ayrıca, örneğin sinterleme için (örn. sinterli dolim) 1 800 °C'ye kadar sıcaklıklar mümkün olabilir. Bu sıcaklıklar, karbondioksiti serbest bırakmak ve türetilmiş oksidi elde etmek için yeterince yüksektir. Kalsiyum karbonatın ısı ayrışması olan bu kimyasal reaksiyon genellikle "kalsinasyon" olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:



2. Bölüm

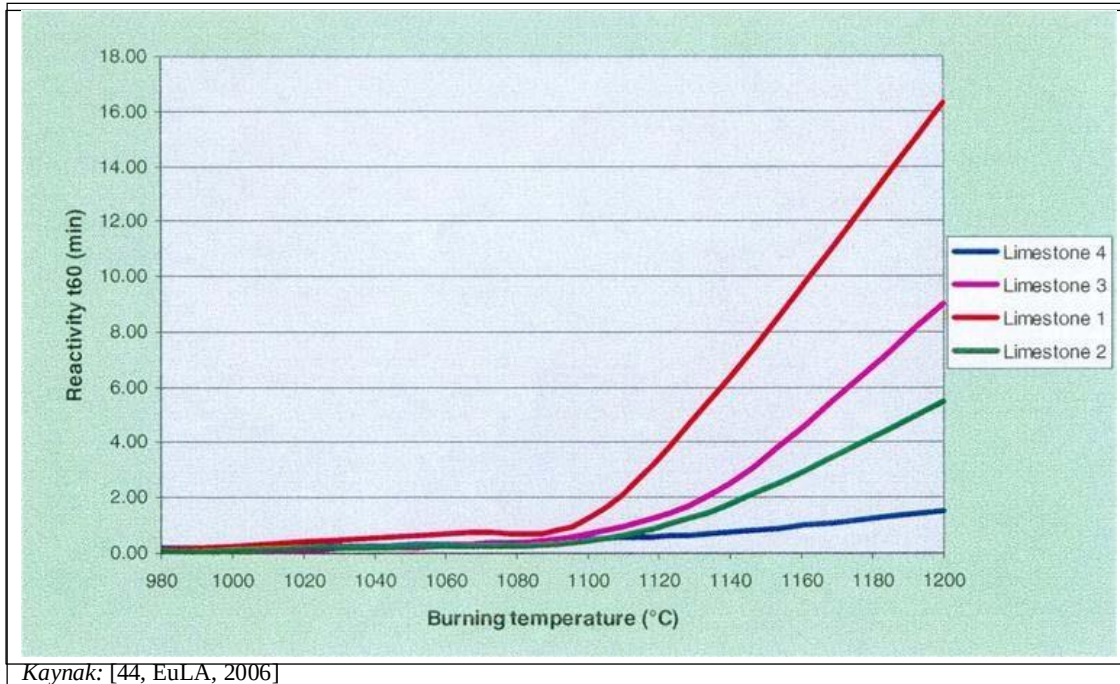
Bu nedenle prosesin ihtiyaç duyduğu yeterli sıcaklık, karbonsuzlaştırma ve iyi bir kalma süresi sağlamak için en azından 800 °C'nin üzerinde olmalıdır; reaktivitesini kontrol etmek üzere kireç/kireçtaşının 1 000 – 1 200 °C sıcaklıkta yeterince uzun süre tutulması gerekir.

Sönmemiş kirecin reaktivitesi, sönmemiş kirecin su varlığında reaksiyona girme hızının bir ölçüsüdür. Kireci suda söndürerek öğütülmüş kirecin reaktivitesini ölçmeye yönelik test yöntemi, Avrupa standardı EN 459-2'de açıklanmıştır. Parça kirecin reaktivitesini ölçmek için, kireç endüstrisinde 'Wuhrer-Test' gibi başka yöntemler kullanılmaktadır [44, EuLA, 2006].

Kirecin reaktivitesi, hammadde ve proses ile ilgili farklı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler:

- ☐ yanma sıcaklığı ve süresi
- ☐ kireçtaşının kristal yapısı
- ☐ kireçtaşının safsızlıkları
- ☐ sinterli
- ☐ çok yanmış
- ☐ orta yanmış
- ☐ az yanmış.

Kirecin reaktivitesini değerlendirmeye yönelik Avrupa standardı yöntemi, kireç ve su karışımının sıcaklığının (standart koşullar altında) 20 °C'den 60 °C'ye yükselmesi için geçen süreye karşılık gelen, 't60' olarak adlandırılan süreyi ölçmektir. Pratikte 't60' ne kadar yüksek olursa, üretilen kirecin reaktivitesi o kadar düşük olur. Ancak sınırlar net olarak belirlenmediği için ürün kalitesini (az, yarı, çok yanmış) tanımlayacak standartlar bulunmamaktadır. Şekil 2.16, kireçtaşının doğasının yanı sıra yanma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak reaktivitenin (t60) değişimini göstermektedir.

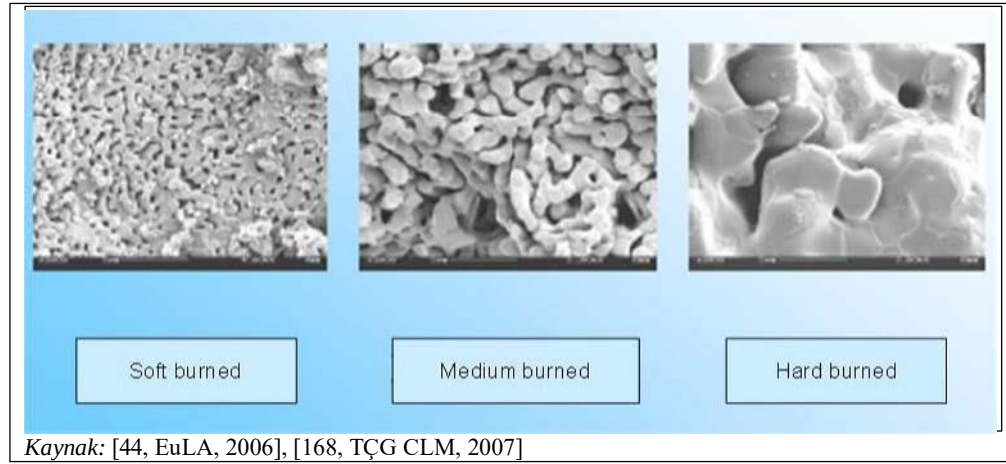


Şekil 2.16: Yanma sıcaklığına ve kireçtaşı tipine göre reaktivite değişimi

Daha düşük reaktiviteye sahip kireç, genellikle yarı, çok yanmış ve sinter olarak nitelendirilir. Reaktivitenin azalmasına, kireç yüzeyinin ve gözenekliliğinin azaldığı sinterleme süreci eşlik eder.

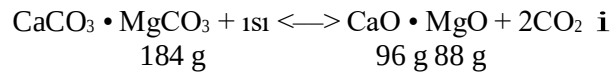
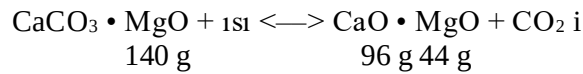
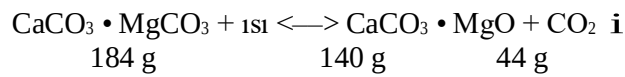
Her bir kireç türü, uygulamanın gereklilikleri ve söz konusu proses tarafından belirlenen bir reaktiviteye sahiptir. Yukarıda bahsedildiği gibi kirecin özellikleri aynı zamanda kireçtaşı besleme malzemesine, fırın tipine ve kullanılan yakıtı da bağlıdır. Örneğin, kokla çalışan şaft fırınlar genellikle orta ila düşük reaktiviteli sönmemiş kireç üretirken, gazla çalışan paralel akışlı rejeneratif fırınlar genellikle yüksek reaktiviteli kireç üretir. Kirecin kimyası ve reaktivitesi, piyasayı yönlendiren ana parametrelerdir.

Şekil 2.17, taramalı elektron mikroskobu görüntüleyicisi (SEM, büyütme: SEMx5000) ile alınan ve taranan yarı ve çok yanmış kirecin morfolojik (parçacık formu) ve yüzey farkını göstermektedir.



Şekil 2.17: Düşük, orta ve yüksek sıcaklıkta fırınlanmış kirecin morfolojisi

Dolomitlerin ve magnezyum/dolomitik kireçtaşının ayrışması çok daha karmaşıktır. Ayrışma, tek veya iki ayrı aşama veya hatta ara aşamalar yoluyla gerçekleşebilir [44, EuLA, 2006]:



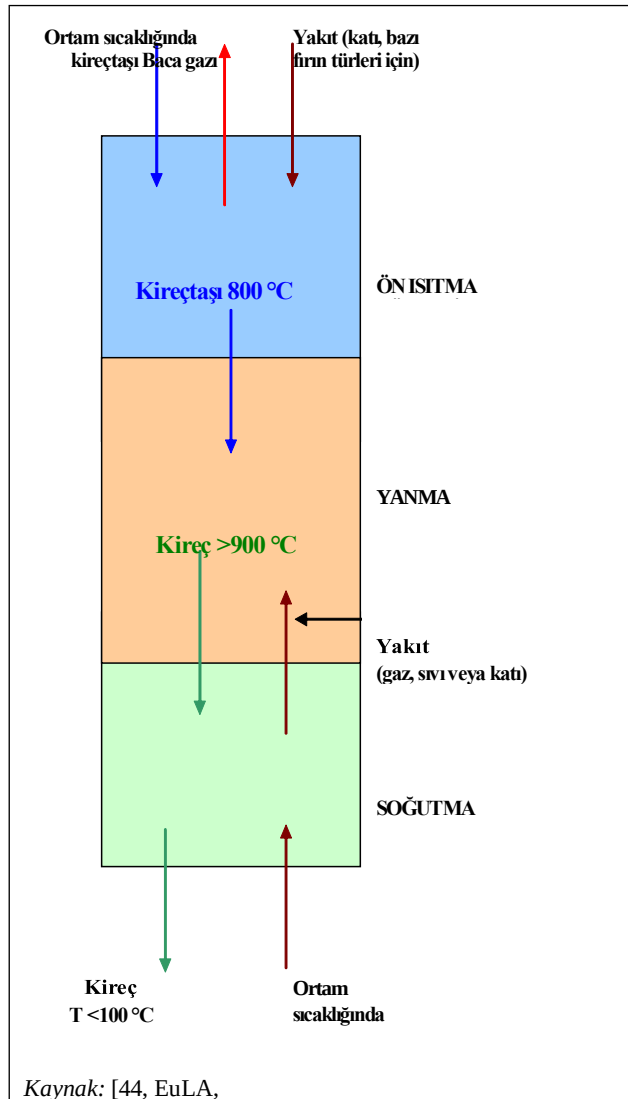
Dolomitlerin ve magnezyum/dolomitik kireçtaşının ayrışması için gereken sıcaklık genellikle 500 – 750 °C aralığındadır.

2.2.6.2 Kireçtaşının fırında kalsine edilmesi

Kireçtaşının (önemli bir magnezyum karbonat içeriği olan veya olmayan) fırından geçirilmesi, Şekil 2.18'de gösterilen ve aşağıda açıklanan üç aşamaya veya ısı aktarım bölgesine ayrılabilir:

2. Bölüm

1. **Ön ısıtma alanı:** Kireçtaşı, çoğunlukla yanma ürünleri ile kalsinasyonlardan çıkan fazla hava ile CO₂ unsurlarından meydana gelen gazlarla doğrudan temas ettirilerek, ortam sıcaklığından 800 °C'ye ısıtılır.
2. **Yanma bölgesi veya kalsine etme bölgesi:** Yakıt, soğutma bölgesinden gelen önceden ısıtılmış havada ve (tasarıma bağlı olarak) yakıtla beraber verilen ilave 'yanma' havasında yakılır. Bu bölgede 900 °C'nin üzerinde sıcaklıklar üretilir. 800 ila 900 °C aralığında kireçtaşının yüzeyi ayrışmaya başlar. Kireçtaşının ayrışma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda, yani 900 °C'de, ayrışma çakıl yüzeyinin altında gerçekleşir. 900 °C sıcaklıkta, bu çakıllar kalsinasyon bölgesini terk eder, bazen de içeride kalmış olan artık kireçtaşı olarak bulunur. Çakıl taşları tamamen ayrılmışsa ve hala kalsine etme bölgesinde bulunuyorsa, sinterleme meydana gelir.
3. **Soğutma alanı:** 900 °C civarı sıcaklıklarda kalsine etme bölgesinden çıkan sönmemiş kireç, 'soğutma' havası ile, önceden ısıtılmış olan yanma havasının bir kısmı veya tümüyle doğrudan temas yoluyla soğutulur. Kireç bu bölgeyi 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda terk eder.



Şekil 2.18: Kireç kalsinasyonunun genel ilkeleri

Kireçtaşı kirecinin fırında kalma süresi, fırın tipine ve gerekli son ürün tipine bağlı olarak değişir. Bu sürenin altı saat ile iki gün arasında olduğu tespit edilmiştir.

Sönmemiş kireç, kireçlenme derecesine bağlı olarak genellikle az, yarı veya çok yanmış olarak adlandırılır. Reaktivite derecesinin, yani suya reaktivitenin, gözeneklilik seviyesi arttıkça azaldığı bulunmuştur.

Bu nedenle, fırında kireçtaşı ayrışma hızının, kireçtaşı parçacıklarına özgü morfoloji ve bileşime dayalı çeşitli faktörlere ve proses koşullarına bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Tespit edilen ana değişkenler şunlardır:

- ☐ kireçtaşının kimyasal özellikleri
- ☐ partikül boyutu ve yoğunluğu
- ☐ kalsine etme bölgesinin sıcaklık profili
- ☐ gazlar ve parçacıklar arasındaki ısı alışverişi oranı.

Kullanılan fırınların çoğu ya şaft ya da döner tasarıma dayanmaktadır. Farklı prensiplere dayanan birkaç fırın daha mevcuttur. Tüm bu tasarımlar, üç bölge konseptini içermektedir. Şaft fırınlar genellikle bir ön ısıtma bölgesi içerirken, diğer bazı kireç fırınları, yani döner fırınlar, kimi zaman ayrı ön ısıtıcılarla bağlantılı olarak çalışır. Dikey şaft ve hareketli ızgara olmak üzere iki ana ön ısıtıcı tipi kullanılmaktadır.

Katıların ve gazların karşı akışımı çoğu fırın sistemi için karakteristik olup, bu durumun kirletici salınımı yönünden etkileri vardır.

2.2.6.3 Sönmemiş kireç işlemesi

Fırından çıkma (ROK) sönmemiş kirecin işlenmesinin amacı, çeşitli pazar segmentlerinin gerektirdiği parçacık boyutları ve niteliklere sahip bir dizi sınıf üretmektir. Eleme, kırma, toz haline getirme, öğütme, havada sınıflandırma ve taşıma dahil olmak üzere bir dizi birim süreç kullanılır. İyi tasarlanmış bir kireç işleme tesisi, bir dizi hedefi yerine getirir, bunlar:

- ☐ ana ürün çıktısını en üst düzeye çıkarmak
- ☐ fazlalık sınıfı çıktısını en aza indirmek (genellikle ince taneler)
- ☐ belirli ürünlerin kalitesini iyileştirmek
- ☐ pazar taleplerindeki değişikliklere karşılık vermek üzere ürün çıktısını değiştirmek için esneklik sağlamak.

İşleme tesisi, hem ürünler hem de ara ürünler için, sürekli çalıştırılması gereken fırın ile geceleri ve haftasonları düşük düzeylerde olan sevkiyatlar arasında bir tampon sağlamak üzere yeterli depolama imkanına sahip olmalıdır.

ROK kireci genellikle tipik olarak yaklaşık 5 mm'ye kadar elenir. ROK kirecinin (ömeğin) azami boyutu 45 mm'yi aşıyorsa, ince tane üretimi en aza indirilerek boyutu küçültülür. Bu görev için çeneli ve merdaneli kırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ezilmiş ROK kireci daha sonra ikincil bir ince fraksiyon (örn. 5 mm'den az) ve granüler veya 'çakıl' kireç fraksiyonları (örn. 5 – 15 mm ve 15 – 45 mm) üreten çok katlı bir eleğe beslenir.

Ürünler, doğrudan sevk edilebilecekleri veya öğütme veya nemlendirme için başka bir tesise transfer edilebilecekleri bunkerlerde depolanır.

2.2.6.3.1 Öğütülmüş sönmemiş kireç üretimi

1950'lerden bu yana, çeşitli sönmemiş kireç sınıf ve kalitelerine talep hızla artmıştır. Partikül boyutu gereksinimleri, zemin stabilizasyonu için kullanılan nispeten kaba ürünlerden özel uygulamalar için çok ince kesilmiş ürünlere değişiklik gösterir.

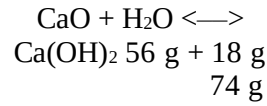
Daha kaba ürünler, entegre bir sepet ile donatılmış bir çırpıcı değirmende tek geçişli işlemle, nispeten ucuz maliyetle üretilir. Daha ince ürünlerse genellikle bilyalı değirmenlerde ve dikey valsli pres değirmenlerinde üretilir. Çoğu öğütme tesisi hava sınıflandırma sistemlerini kullanır.

2.2.6.4 Sönmüş ve/veya hidratlı kireç üretimi

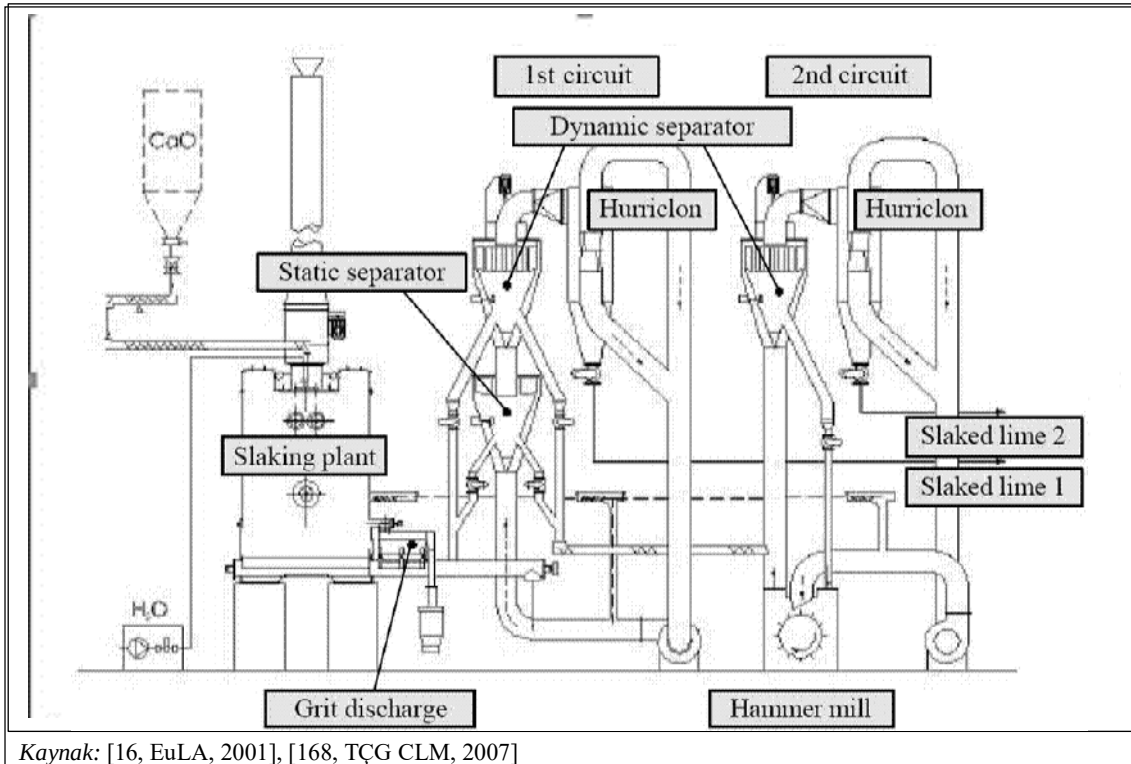
Sönmüş kireç, hidratlı kireç (kuru kalsiyum hidroksit tozu), kireç sütü ve kireç macununa (suda kalsiyum hidroksit parçacıkları dağılımları) işaret eder.

2.2.6.4.1 Hidratlı kireç üretimi

Kirecin hidrasyonu, bir hidratörde kalsiyum okside su eklenmesini içerir. Eklenen su miktarı, hidrasyon reaksiyonu için gerekli olan stokiometrik miktarın yaklaşık iki katıdır. Fazla su, aşağıda gösterildiği gibi buharlaşma yoluyla, reaksiyon ısısı tarafından üretilen sıcaklığı düzenlemek üzere ilave edilir:



Birçok farklı tipte hidratör tasarımı mevcuttur, ancak prosenin kendisi prensipte Şekil 2.19'da gösterildiği gibi açıklanabilir. Hidratör, örneğin, su mevcut olduğunda kireci kuvvetli bir şekilde çalkalayan dönen kanatlardan oluşur. Bir kg kalsiyum oksit başına 1,14 MJ üreten güçlü bir ekzotermik reaksiyon gerçekleşir. Hidrasyon işlemi, son ürün kuru bir toz olacak şekilde düzenlenir. Hidrasyondan sonra ürün bir sınıflandırıcıya aktarılır. Kaba fraksiyonun bir kısmı veya tamamı depolanabilir, öğütülebilir veya geri dönüştürülebilir. Ürünler silolarda depolanır.



Kaynak: [16, EuLA, 2001], [168, TÇG CLM, 2007]

Şekil 2.19: Kireç hidratörünün akış şeması

Bazı hidratlama tesisleri, iri, karbonat bakımından zengin fraksiyondan oluşan daha düşük kaliteli bir sınıfı uzaklaştırarak hidratlı kirecin kalitesini iyileştirir. Bu düşük kalite malzemeler, mümkün olduğu ölçüde seçilen ürünlere dahil edilir. Aksi takdirde, atık sahasına gönderilirler.

2.2.6.4.2 Kireç sütü ve kireç kaymağı üretimi

Kireç sütü ve kireç macunu, kirecin fazla su ile söndürülmesiyle üretilir. Söndürme, hem kesikli hem de sürekli söndürücülerde yapılır. 'Kireç sütü' terimi, sönmüş kirecin suda akışkan süspansiyonunu tanımlamak için kullanılır. Kireç sütleri ağırlıkça %40'a kadar katı madde içerebilir. Katı içeriği yüksek olan kireç sütüne bazen kireç harcı denir. Kireç macunu, sönmüş kirecin sudaki koyu dağılımıdır. Macunlar tipik olarak ağırlıkça %55 ila 70 oranında katı içerir. Kireç macunu bazen yarı akışkan macunu tanımlamak için kullanılır.

Örneğin binalarda harçlar, kimyasal reaksiyonlarda reaktifler gibi pek çok uygulamada; kireç hidroksit olarak, suda süspansiyon (harç) olarak veya macun olarak kullanılır.

Kolaylık açısından, kireç kullanıcıları sönmemiş kireç yerine suda seyreltilmiş toz halindeki hidratlı kireçle çalışmayı tercih ederler. Söndürme işlemi, kireç kullanıcılarının kaçınmayı tercih ettiği özel teçhizat gerektiren hassas bir ekzotermik işlemdir. Ayrıca, nem ile anında reaksiyona giren sönmemiş kireç yerine hidratlı kireç tercih edilebilir. Son olarak, hidrasyon işlemi yanmamış (CaCO_3) kaba partikülleri veya diğer kaba safsızlıkları gidererek ürün kalitesinin (veriminin) artmasını sağlar.

2.2.7 Kireç fırını çeşitleri – teknikler ve tasarım

Yıllar boyunca dünya çapında çok çeşitli teknikler ve fırın tasarımları kullanılmıştır. Son yıllarda kireç fırını satışında nispeten az sayıda tasarım baş göstermekle birlikte, belirli uygulamalara özellikle uygun olan birçok alternatif mevcuttur. Bir fırın tekniği seçerken yanma öncesi ve sonrası mukavemet gibi kireçtaşı özellikleri, mevcut yakıt türü ve ürün kalitesi dikkate alınmalıdır. Birçok kireç üreticisi, farklı boyutlarda kireçtaşı beslemesi kullanan ve farklı niteliklerde kireç üreten iki veya daha fazla türde fırın çalıştırır, böylelikle iyi bir çevresel uygulama olarak doğal kaynakların daha iyi kullanımı sağlanır.

Kireç üretimi için kullanılan altı genel fırın türü vardır. Genelde, fırın seçiminde başlıca önemli faktörler şunlardır:

- ☐ maden yatağının doğası
 - kireçtaşının özellikleri, bulunabilirliği ve kalitesi
- ☐ girdi granülometrisi
 - fırın beslemesinin mekanik özellikleri
 - ince taneler
- ☐ kireç özelliklerine ilişkin müşteri uygulamaları
- ☐ fırın kapasitesi
- ☐ yakıt mevcudiyeti (yakıt atıklar dahil)
- ☐ maliyetler (yakıt, yatırım ve işletme)

Farklı tip fırınlar için taş beslemenin tipik üretim hızı ve boyutu Tablo 2.15'te gösterilmektedir. Kireç üretimi için kullanılan fırın türlerinin kullanım ömrü genel olarak 30 ila 45 yıldır.

Tablo 2.15: Kireç fırınları türlerinin işletimsel parametreleri

Fırın tipi	Kısaltma	Çıktı aralığı (t/gün)	Besleme taşı boyutu aralığı (mm)
Uzun döner fırın	LRK	160 – 1 500	2 – 60
Ön ısıtıcılı döner fırın	PRK	150 – 1 500	10 – 60
Paralel akış rejeneratif fırın	PFRK	100 – 600	10 – 200
Dairesel şaft fırın	ASK	80 – 300	10 – 150
Karışık beslemeli şaft fırın	MFSK	60 – 200	20 – 200
Diğer fırınlar	OK	10 – 200	20 – 250

Kaynak: [16, EuLA, 2001] [44, EuLA, 2006]

Kirecin fiziko-kimyasal özellikleri, doğası gereği kalsinasyon için kullanılan fırınların tipine bağlıdır. Diğer parametreler fırın seçimini etkileyebilir, örneğin:

- ☐ yakıt türü ve mevcudiyeti
- ☐ fırın kapasitesi
- ☐ yatırım maliyetleri
- ☐ işletim giderleri
- ☐ çevresel etki.

Tablo 2.16, piyasanın ihtiyaç duyduğu belirli türdeki kireçlerin üretimi için genel olarak kullanılan fırın tiplerini göstermektedir.

Tablo 2.16: Fırınlar ve bu fırınlarda genellikle üretilen kireç türleri arasındaki ilişki

Reaktivite	t60 ⁽¹⁾ < 3 dk.						t60 ⁽¹⁾ > 3 dk.					
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	< 20		20 – 60		> 60		< 20		20 – 60		> 60	
Kireçteki kükürt içeriği	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾	O ⁽²⁾	D ⁽³⁾
Uzun döner fırın (LRK)				+(4)					o ⁽⁵⁾	+(4)		
Ön ısıtıcılı döner fırın (PRK)				+(4)			+(4)			+(4)		
Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)	+(4)		+(4)		o ⁽⁵⁾							
Dairesel şaft fırın (ASK)			+(4)								+(4)	
Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)											o ⁽⁵⁾	
Diğer fırınlar (OK)	+(4)		+(4)		+(4)		+(4)			+(4)		

⁽¹⁾ t60 = sönmemiş kirecin suyla tepkimeye girerken 20' den 60 °C'ye çıkması için gereken süreyle gösterilen kireç reaktivitesi
⁽²⁾ O=orta: >% 0.05 ⁽³⁾ D=düşük: <% 0.05
⁽⁴⁾ En sık kullanılan
⁽⁵⁾ Belirli koşullar altında kullanılan
Kaynak: [44, EuLA, 2006]

Tablo 2.17, farklı pazar sektörleri veya tüketici grupları için reaktivite gibi farklı ürün özelliklerini göstermektedir. Kirecin kimyası ve reaktivitesi, piyasayı yönlendiren en önemli parametrelerdir.

Tablo 2.17: Tüketici gruplarına göre gösterge niteliğindeki kireç özellikleri

Tüketici grubu		2003 Yılında (ILA)(1) Üretim Yüzdesi (%)	Kireç ürün özellikleri				
			Reaktivite		Kimyasal		Kükürt içeriği
			t60 ⁽²⁾ < 3 dk ⁽³⁾	t60 ⁽²⁾ > 3 dk ⁽³⁾	Çok saf	CL 70 – 80 ⁽⁴⁾	
I.	Endüstri						
	1. Demir ve çelik	39	x		x		x
	2. Demir içermeyen	3					x
	3. Kimyasal	10	x		x		x
	4. Diğer (örn. kağıt)	6					x
II.	Yapı malzemeleri (endüstri) ⁽⁶⁾	3		x		x	
III.	Yapı malzemeleri (ticaret) ⁽⁶⁾	17		x		x	
IV.	Çevre koruma ⁽⁶⁾	16					
	1. Baca gazı arıtma						x
	2. İçme suyu						x
	3. Kanalizasyon suyu arıtma						x
V.	Tarım	2					
Tüketici grubu		2003 yılı (ILA) ⁽¹⁾ üretim yüzdesi (%)	Dolomitik kireç ürün özellikleri				
			Reaktivite		Kimyasal		Kükürt içeriği
					Çok saf	CL 70 – 80 ⁽⁴⁾	
I.	Çelik endüstrisi		x ⁽⁵⁾				x
II.	Dolim uygulaması yok						
III.	Yapı malzemeleri		Orta yanmış			DL 80 DL 85 ⁽⁵⁾	
IV.	Dolim uygulaması yok						
V.			Orta yanmış			DL 80 DL 85 ⁽⁵⁾	
VI.	Dolim uygulaması yok						
VII.	Refrakter		sinterli				x
(1) Uluslararası Kireç Derneği (2) t60 = sönmemiş kirecin suyla tepkimeye girerken 20'den 60 °C'ye çıkması için gereken süreyle gösterilen kireç reaktivitesi (3) Dakika (4) CL 70 – 80 = sınıflandırma standardı CL 70 = EN 459'da tanımlanan kireç, CaO + MgO > % 65 içerikli 'Yapı kireci' CL 80 = EN 459'da tanımlanan kireç, CaO + MgO > % 75 içerikli 'Yapı kireci' (5) DL 80, DL 85 = sınıflandırma standardı o DL 80 = CaO + MgO > %75 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim o DL 85 = CaO + MgO > %80 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim (6) Birleşik Krallık'ta kullanılan 'çok saf' şartı Kaynak: [44, EuLA, 2006]							

2. Bölüm

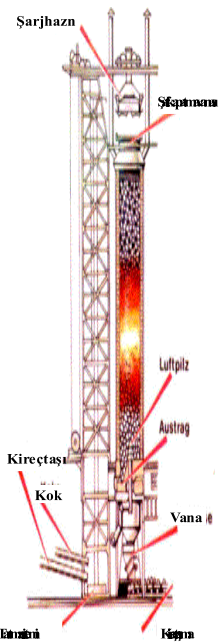
Avrupa’da toplam 551 adet olan şaft fırınlar tüm fırınların % 90’ına karşılık gelmektedir. Bu kısım, aşağıda verilen alt sınıflar arasında gözlemlenen bazı farklılıklarla birlikte bir şaft fırının temel işleyişini açıklamaktadır:

- karışık beslemeli şaft fırınları (MFSK)
 - AB-27’de, çoğu Orta Avrupa’da yer alan 116 fırın
- paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)
 - AB-27’de 158 fırın
- dairesel şaft fırınlar (ASK)
 - AB-27’de 74 fırın
- diğer fırınlar (OK)
 - AB-27’de 203 fırın.

30 metre yüksekliğe ve 6 metre çapa ulaşabilen şaft fırınlar dikey tasarımıdır. Bu tip fırınlarda, kireçtaşı fırının üst kısmında beslenir ve altta kireç olarak boşaltılana kadar fırının farklı aşamalarından aşağı doğru ilerler. Geleneksel şaft fırınların performansı, fırın kesiti boyunca eşit ısı dağılımını ve fırın boyunca tekdüze malzeme devinimini elde etmenin zorluğu nedeniyle kısıtlanmıştır [44, EuLA, 2006].

2.2.7.1 Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)

Karışık beslemeli şaft fırınlar, üst sınır boyutu 20 ila 200 mm arasında ve ebat oranı yaklaşık 2:1 olan kireçtaşı kullanır. En yaygın olarak kullanılan yakıt, düşük kül içeriğine sahip yoğun bir kok sınıfıdır. Kok boyutu taşınkinden sadece biraz daha küçüktür. Bu nedenle, boşluklardan damlamak yerine taşlarla birlikte aşağı doğru hareket eder. Taş ve kok, ayrışmamayı en aza indirecek şekilde karıştırılır ve fırına yüklenir. Antrasit, metalürjik kalite kokun uygun fiyatı ve erişilebilirliği nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır. Karışık besleme şaft fırının çalışma prensibi Şekil 2.20’de ve bu tür bir fırının bir örneği Şekil 2.21’de gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Karışık beslemeli şaft fırının çalışma ilkesi

Kaynak: [44, EuLA,



Şekil 2.21: Karışık beslemeli şaft fırının bir örneği

Kaynak: [44, EuLA,

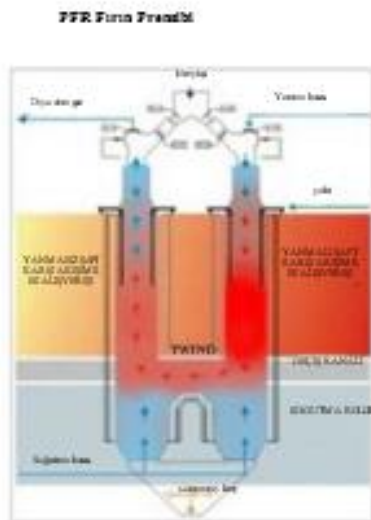
Sönmemiş kirecin kalitesi orta düzeyde olma eğilimindedir, reaktivite döner fırınlarda aynı CaCO_3 seviyesiyle elde edilenden önemli ölçüde daha düşüktür. Yakıt kaynaklı kükürtün tutulma oranı yüksektir. Tipik özellikler Tablo 2.18'te gösterilmiştir.

Tablo 2.18: Karışık beslemeli şaft fırınların temel teknik özellikleri

Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	
Yakıt besleme türü	Kireçtaşı ile karıştırılmış
Çıktı (t/gün)	60 – 200
Isı kullanımı (MJ/t kireç)	3 400 – 4 700
Enerji/elektrik kullanımı (kWs/ton kireç)	5 – 15
Yapı	Refrakter astarlı dikey silindir veya dikdörtgen şaft
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	20 – 200
Yakıt türü	Parça kok ⁽¹⁾ ve antrasit
Yanma havası enjeksiyonu	Soğutma havası yalnızca alttan
Kireç çekimi	Dönen eksantrik plaka
Önemli noktalar	Taş ve yakıtın homojen karışımını gerektirir Kesit üzerinde taşın eşit dağılımını gerektirir Kireçte yüksek yakıt kaynaklı kükürt tutma oranı
Avantajlar:	Şartsız İnşaat ve bakım maliyetleri Düşük reaktiviteli kireç için iyi araç Düşük elektrik gereksinimleri (fanlar) (bkz. Tablo 2.23) Yanma için soğutma havası kullanılır Düşük hava fazlası PCC ⁽²⁾ için yüksek CO_2 , yerinde kireç üretimi için şeker ve soda
Dezavantajlar	Homojen yakıt/hava karışımının elde edilmesi zordur, bu hava/yakıt oranında farklılıklara yol açar CO emisyonlarına yol açan proses koşulları Büyük kireçtaşı çakılı ihtiyacı yatak ömrünü kısaltır Değişen parametrelere yavaş tepki (24 saat), yani atalet çok yüksektir
(1) Metalurjik kok (2) Çökeltilmiş kalsiyum karbonat Kaynak: [44, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]	

2.2.7.2 Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)

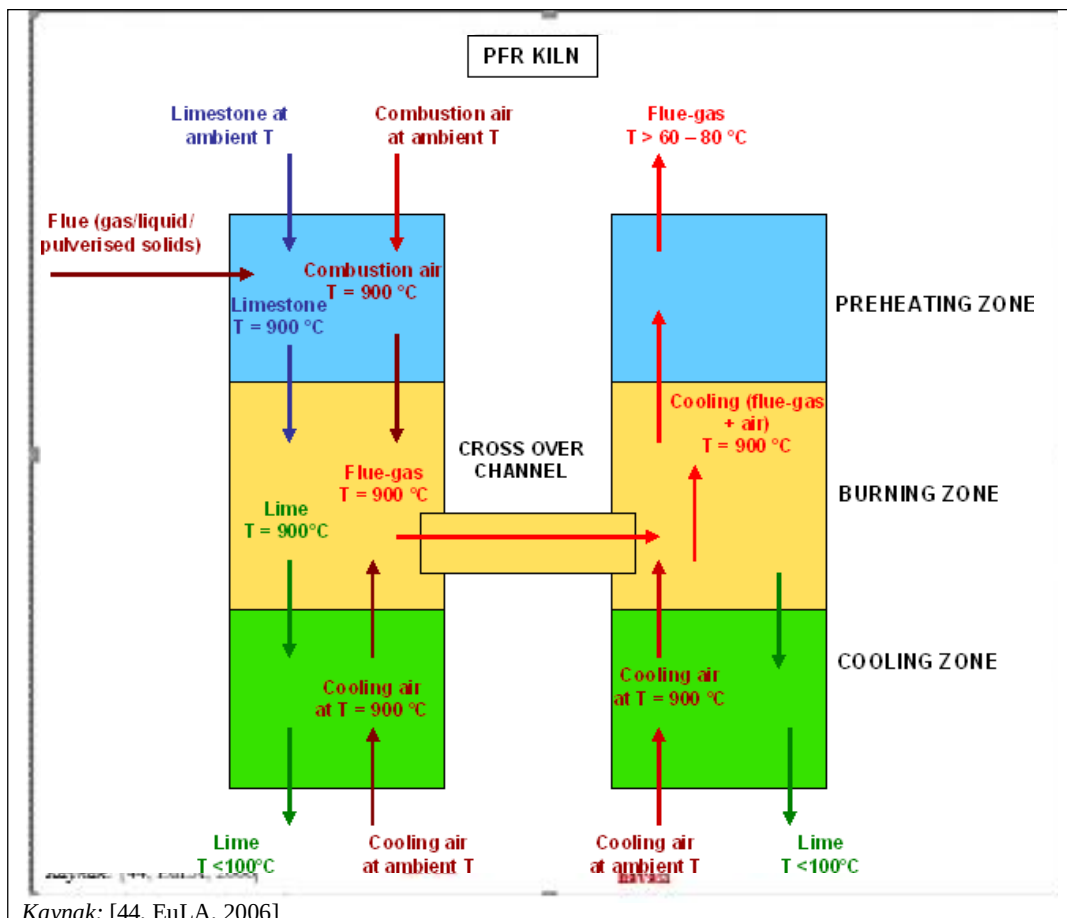
Standart PFRK'nin ana özelliği, bir çapraz kanalla birbirine bağlanan iki dairesel şafta sahip olmasıdır. Ancak ilk tasarımların bazıları üç şaft, diğerleri ise dikdörtgen şaftlara yer vermiştir. PFRK'ler tipik olarak 100 – 600 t/gün arasında çıktılar için tasarlanabilir. Şekil 2.22 ve Şekil 2.24, PFRK'daki temel çalışma prensibini ve gaz akışını gösterirken Şekil 2.23, bir PFRK örneğini gösterir.



Şekil 2.22: PFRK'nin ilkeleri
Kaynak: [44, EuLA, 2006]



Şekil 2.23: PFRK örneği
Kaynak: [44, EuLA, 2006]



Şekil 2.24: PFRK'nin temel çalışma ilkesi ve gaz akışı

Çalışma yöntemi iki prensip üzerine kuruludur:

- her bir şafttaki ön ısıtma bölgesi, taşın kalsine etme sıcaklığına ön ısıtmasının yanı sıra rejeneratif eşanjör görevi görür. Gazlardaki fazla ısı, sürecin ilk aşamasında diğer şaftın taşına aktarılır. Daha sonra, önceden yaklaşık 800 °C'ye kadar ısıtılan yanma havası ile ısı taştan geri kazanılır. Bu durum fırın için çok düşük özgül ısı tüketimiyle sonuçlanır
- sönmemiş kirecin kalsinasyonu nispeten ılık sıcaklıkta, tipik olarak yaklaşık 900 ila 1 100 °C arasında gerçekleşir. Bu, fırınları düşük artık CO₂ seviyesine sahip orta ve yüksek reaktiviteye sahip kireç üretmek için ideal hale getirir.

Pratikte, kireçtaşı yığınları her bir şafta dönüşümlü olarak doldurulur ve ön ısıtma bölgesinden, yakıt borularının çevresinden aşağı doğru kalsine etme bölgesine geçirilir. Kalsine etme bölgesinden son olarak soğutma bölgesine geçerler.

Fırının çalışması, tam güçte her biri 8 ila 15 dakika arasında süren iki eşit periyottan oluşur. İlk periyotta yakıt, birinci şafttaki borulardan enjekte edilir ve bu şafta üflenerek yanma havası ile yanar. Yayılan ısı, bu ilk şaftta kireçtaşının kalsinasyonu ile kısmen emilir. Kireci soğutmak için her bir şaftın tabanına soğutma havası üflenir. Bir numaralı şafttaki soğutma havası, yanma gazları ve kalsinasyondan kaynaklanan karbon dioksit ile birlikte, yaklaşık 1 050 °C sıcaklıkta iki numaralı şafta bağlayıcı çapraz kanal yoluyla geçer. İki numaralı şaftta, bir numaralı şafttan gelen gazlar, iki numaralı şaftın tabanına üflenerek soğutma havası ile karıştırılarak yukarı doğru akar. Böylece iki numaralı şaftın ön ısıtma bölgesindeki taşı ısıtırlar.

Yukarıdaki çalışma modu devam ettiğinde, dışa atım gazı sıcaklığı 500 °C'nin üzerine çıkacaktır. Ancak 8 ila 15 dakikalık bir sürenin ardından ilk şafttaki yakıt ve hava akışları durdurulur ve bir 'tersine dönüş' meydana gelir. Kireçtaşı bir numaralı şafta yüklendikten sonra, iki numaralı şafta yakıt ve hava püskürtülür ve dışa atım gazları bir numaralı şaftın tepesinden havaya bırakılır.

Fırın, gaz, sıvı veya katı pulverize yakıtların yanı sıra yakıt atıklar veya biyokütle ile ateşlenebilir. Daha düşük üretim hızlarında bir miktar enerji verimliliği kaybı olsa da, fırının çıktı aralığı geniştir. Fırın bir kere yakıldıktan sonra, daha kısa refrakter ömrüne neden olabileceğinden kapatılması istenen bir durum değildir. Yakma ve geçiş kanalındaki refrakterin çalışma ömrü, çoğu operasyon için 4 ila 8 yıldır.

Standart PFRK, ideal olarak 2:1'den büyük olmayan taş oranına sahip temiz taş gerektirir. Asgari taş boyutu 30 mm'dir, ancak PFRK ince kireç fırını adı verilen değiştirilmiş bir tasarım, temiz kireçtaşıyla 10 – 30 mm kadar küçük boyutlarda çalışabilir.

Tablo 2.19, PFRK'nin başlıca teknik özelliklerini özetlemektedir.

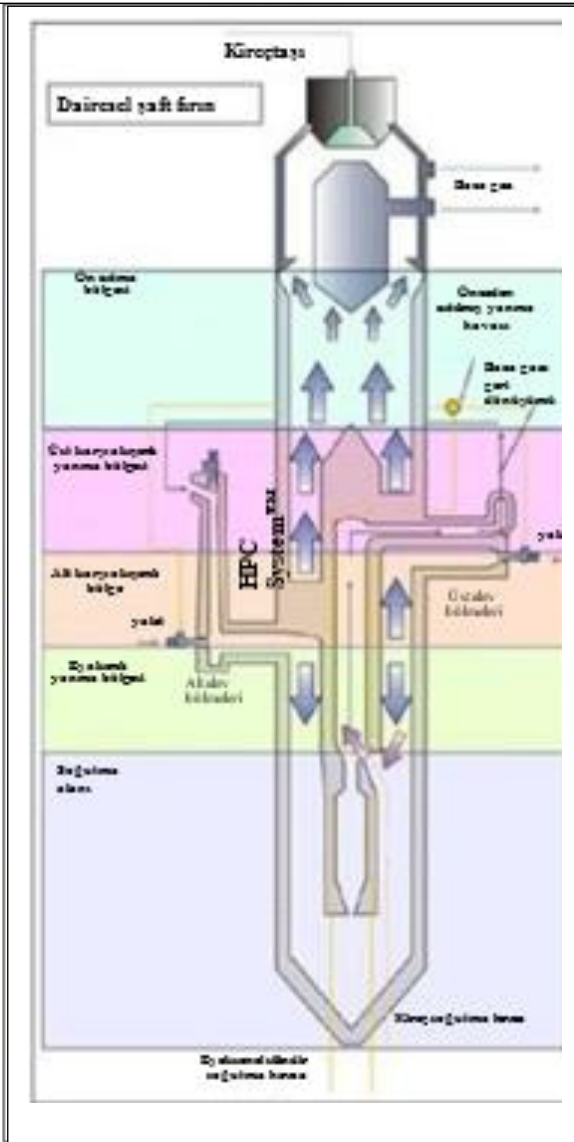
Tablo 2.19: Paralel akış rejeneratif fırınların teknik özellikleri

Paralel akış rejeneratif fırın (PFRK)	
Yakıt besleme türü	Taş yatağına giren borular
Çıktı (t/gün)	100 – 600
Isı kullanımı (MJ/t kireç)	3 200 – 4 200
Enerji/elektrik kullanımı (kWs/ton kireç)	20 – 41
Yapı	Sıcak gaz dolaşımı için bir kanalla birbirine bağlanan, refrakter astara sahip iki ya da üç dikey silindir veya dikdörtgen şaft
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	10 – 200
Yakıt türü	Gaz, sıvı ya da pulverize katı yakıtlar, yakıt atıklar veya biyokütle
Yanma havası enjeksiyonu	Üstte (ana) ve borularda (% 10)
Kireç çekimi	Dönen eksantrik plaka
Önemli noktalar	Refrakter işçiliğinin kalitesi çok önemlidir
Avantajlar:	Üretim esnekliği Yüksek kireç reaktivitesi Kireçtaşı izin verdiği yüksekten orta reaktiviteye makul esneklik Boru başına düşen küçük özgül kesit alanı nedeniyle iyi yakıt dağılımı Düşük yakıt gereksinimleri Düşük enerji tüketimi (bkz. Tablo 2.23) Uzun çalışma ömrü, durdurma ancak 5 ila 7 yıl sonra
Dezavantajlar	Sınırlı durdurma/başlatma esnekliği Yıpranırılığı yüksek taşta uygun değildir Sınırlı esneklik (az ve orta yanma) Diğer kireç fırınlarına göre daha pahalı refrakter astar
Kaynak: [44, EuLA, 2006]	

2.2.7.3 Dairesel şaft fırınlar (ASK)

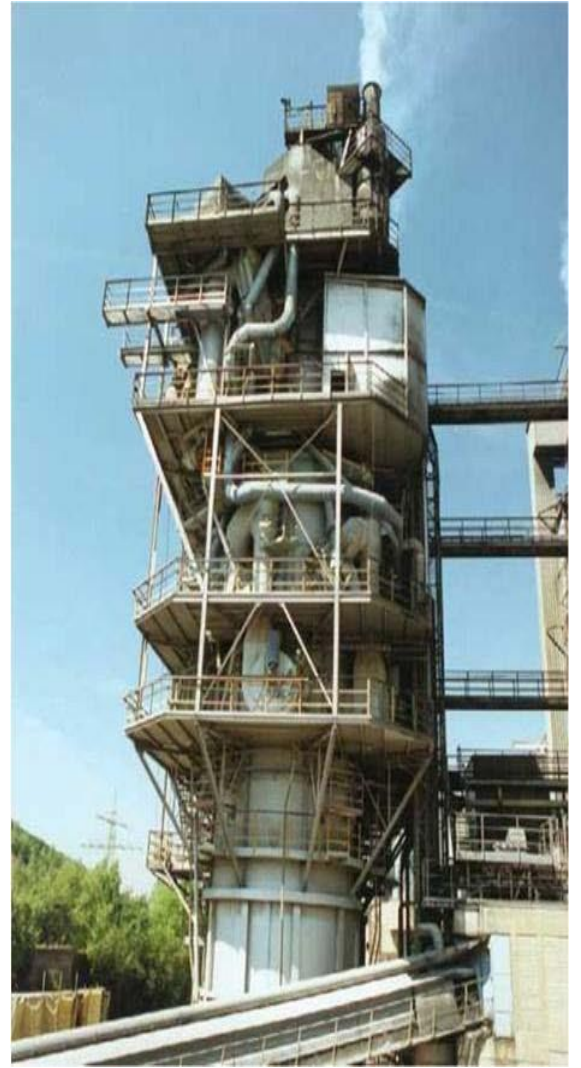
Bu tip fırının en önemli özelliği, halkanın genişliğini sınırlayan merkezi bir silindir olup Şekil 2.25 ve Şekil 2.27'de gösterildiği üzere yanma gazı dağıtımına yönelik kemerlerle birlikte iyi bir ısı dağılımı sağlar. Merkezi kolon ayrıca alt brülörlerden gelen yanma gazlarının bir kısmının şafttan aşağı çekilmesini ve alt bölmeye geri püskürtülmesini sağlar.

Bu geri dönüşüm, alt brülörlerdeki sıcaklığı düzenler ve kalsinasyonun son aşamalarının düşük sıcaklıkta gerçekleşmesini sağlar. Her iki etki de düşük CaCO_3 seviyesine ve yüksek reaktiviteye sahip bir ürün sağlamaya yardımcı olur. Dairesel şaft fırın (Şekil 2.26'da bir örnek gösterilmiştir) gaz, petrol veya katı yakıt ile ateşlenebilir. Dışa atım gazları yüksek CO_2 derişimine sahiptir.



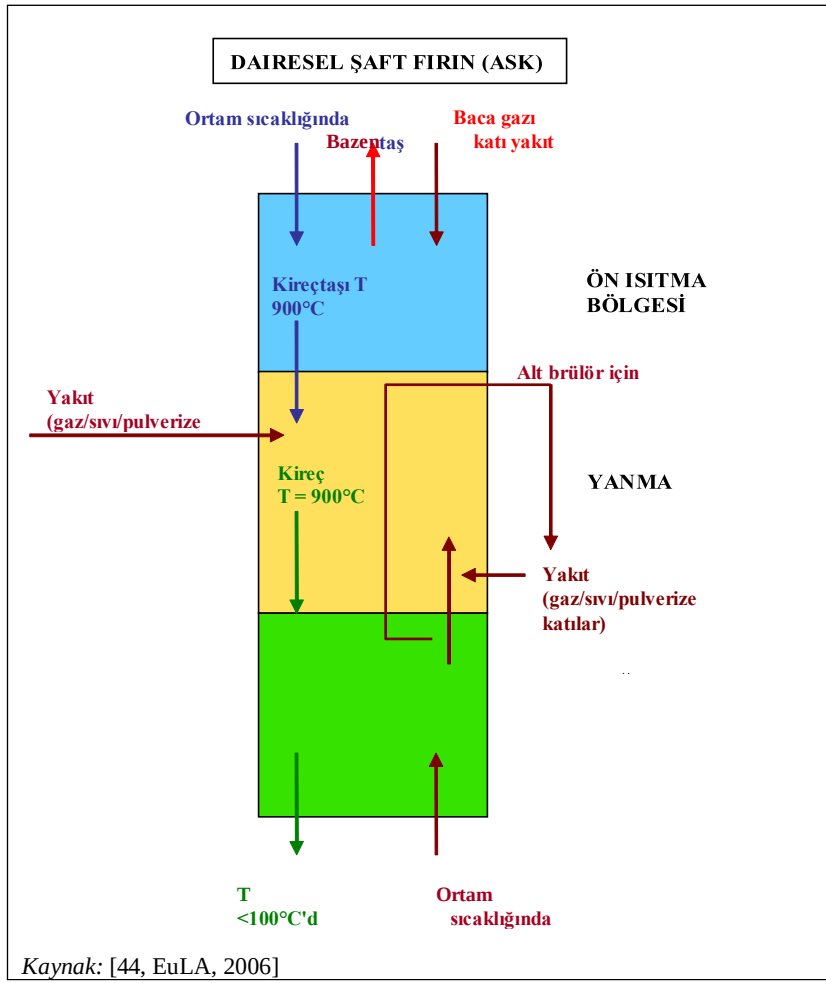
Şekil 2.25: Dairesel şaft fırın

Kaynak: [44, EuLA, 2006]



Şekil 2.26: Kireç üretiminde kullanılan dairesel şaft fırın örneği

Kaynak: [44, EuLA, 2006]



Şekil 2.27: Dairesel şaft fırınların (ASK) çalışma ilkesi

Dairesel şaft fırınların teknik özellikleri Tablo 2.20’de verilmektedir [44, EuLA, 2006].

Tablo 2.20: Dairesel şaft fırınların teknik özellikleri

Dairesel şaft fırın (ASK)	
Yakıt besleme türü	Üst ve alt yanma odasından; bazen kireçtaşı ile karıştırılarak
Çıktı (t/gün)	80 – 300
Isı kullanımı (MJ/t kireç)	3 300 – 4 900
Enerji/elektrik kullanımı (kW/s/ton kireç)	18 – 35 (40 mm'nin altındaki tane boyutları için 50'ye kadar varabilir)
Yapı	Refrakter ve iç silindirik dikey silindir Dış odalar ve brülörler
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	(10) 40 – 150
Yakıt türü	Gaz, sıvı ya da pulverize katı yakıtlar Yakıt atıklar ve biyokütle
Yanma havası enjeksiyonu	Tepede: ☐ kanal ☐ tozsuzlaştırma ☐ fan
Kireç çekimi	Dönen eksantrik plaka
Önemli noktalar	Çok hassas süreç denetimi gerektirir
Avantajlar:	Düşük artık CO ₂ Yüksek ila orta reaktivite Isı geri kazanımı yoluyla yakıt tasarrufu Merkezi silindir halka genişliğini kısıtlar İyi ısı dağılımı
Dezavantajlar	Isı rekuperatörünün ve dış odaların bakımı Tasarımı nedeniyle nispeten yüksek inşaat maliyeti
Kaynak: [44, EuLA, 2006]	

2.2.7.4 Diğer fırınlar (OK)

2.2.7.4.1 Diğer tek şaft fırınlar

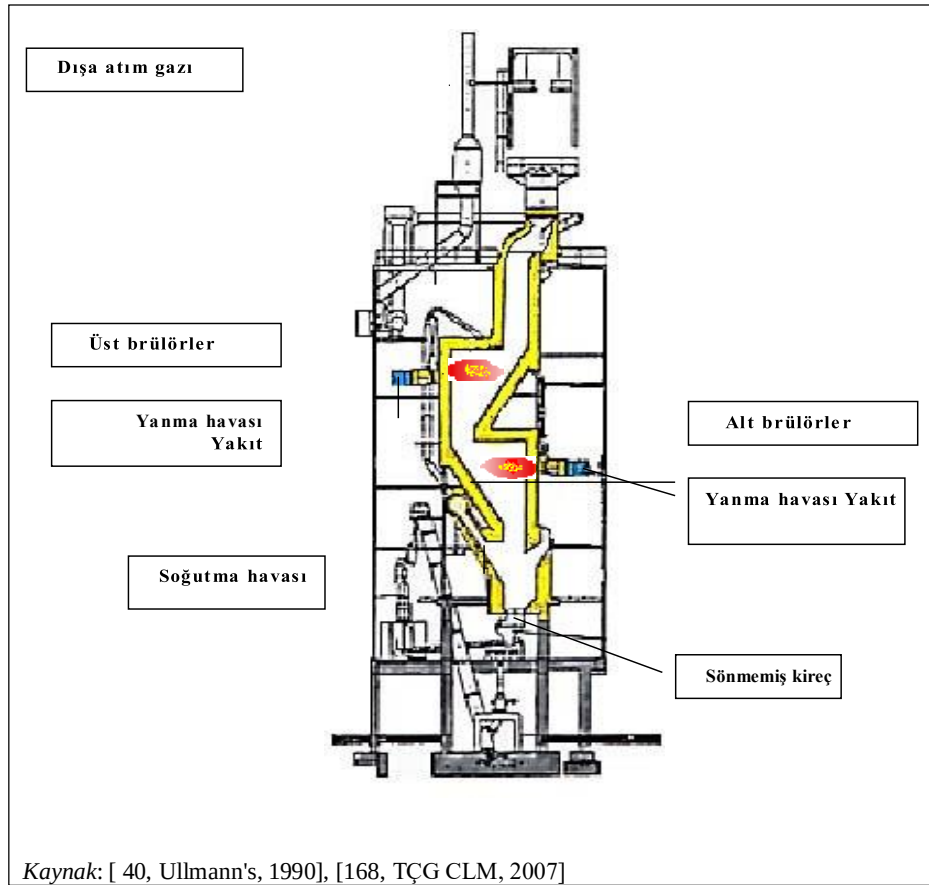
Bu fırın grubu, yukarıda açıklanmayan bir dizi tasarım içerir. Bu tasarımlarda, yakıt fırının duvarlarından verilir ve kireçleme bölgesinde yakılır, yanma ürünleri kireç ve kireçtaşına karşı akışimli olarak yukarı doğru hareket eder. Bazı tasarımlarda yakıt, kısmen harici gazlaştırıcılarda yakılır. Diğerlerinde ise, merkezi brülör, kiriş brülör gibi cihazlar aracılığıyla veya iç kemerlerin altına enjekte edilir.

2.2.7.4.2 Çift eğimli şaft fırınlar

Bu tip fırın, reaktif düşük karbonatlı bir ürün üretebilir. Kesit olarak esasen dikdörtgendir ancak kalsine etme bölgesinde iki eğimli bölüm içerir. Her eğimli bölümün karşısında çıkıntı kemerler, yakıtın ve önceden ısıtılmış yanma havasının alev bölmelerinden ateşlendiği alanlar yaratır.

Soğutma havası fırının tabanına çekilir, burada ön ısıtma yapılır, geri çekilir ve alev bölmelerinden yeniden enjekte edilir. Hem gazlar hem de yükün geçtiği dolambaçlı yollar, her iki taraftan ateşleme ile birlikte verimli ısı dağılımı sağlar. Bir dizi katı, sıvı ve gaz yakıt kullanılabilir, ancak yakıt külü ve kalsiyum sülfattan kaynaklanan aşırı birikimleri önlemek için dikkatle seçilmeleri gerekir.

Çift eğimli şaft fırınların başlıca özellikleri Şekil 2.28'de gösterilmektedir.



Şekil 2.28: Çift eğimli şaft fırınlar

2.2.7.4.3 Çok hazneli şaft fırınlar

Bu, çift eğimli fırının bir diğer türüdür. Kalsine etme bölgesinde almaşık eğimli dört veya altı bölüm içerir ve bunların her birinin karşısında çıkıntı kemer bulunur. Kemerler, çift eğimli fırında olduğu gibi aynı amaca hizmet eder.

Soğutma alanında soğutma havasının kireç tarafından ön ısıtması yapılır, geri çekilir, tozu alınır ve alev bölmelerinden yeniden enjekte edilir.

Fırının bir özelliği, alt yanma odalarında sıcaklığın değiştirilebilmesi sayesinde geniş bir kireç reaktivitesi aralığında seçim yapmaya imkan tanımasıdır. Fırın katı, sıvı ve gaz yakıtlarla veya farklı yakıt türlerinin karışımıyla ateşlenebilir.

2.2.7.4.4 Hareketli ızgaralı fırınlar

15 ila 45 mm ebat aralığındaki kireçtaşı taneleri için, 'yürüyen ızgara' veya CID fırını bir seçenektir. Bu fırın tipi Almanya'da geliştirilmiştir.

Kireçtaşının kalsine etme bölgesine beslendiği bir dikdörtgen şaft ön ısıtma bölgesi içerir. Kalsine etme bölgesinde, kireçtaşı, bir dizi brülörle karşı karşıya beş adet salınlımlı plaka üzerinde yavaşça dökülür. Kireç dikdörtgen şeklinde bir soğutma bölgesine geçer.

Fırın gaz, sıvı veya pulverize yakıtları yakabilir ve %2,3'ün altında kalıntı CaCO_3 içeriğine sahip az yanmış kireç ürettiği bildirilmektedir. Bugüne kadar inşa edilen dört fırın 80 ila 130 ton/gün sönmemiş kireç kapasitesine sahiptir.

2.2.7.4.5 Chisaki fırınları

'Chisaki' kireç fırını, 10 ila 25 mm aralığında besleme taşı kabul eden nispeten yeni geliştirilmiş bir tekniktir. Bu fırın tipi Japonya'da geliştirilmiştir.

Çubukların silindir şeklinde bir kalsine etme bölgesine itilmesiyle kireçtaşının hareket ettirildiği bir dairesel ön ısıtma bölgesinden oluşur. Merkezi, aşağı bakan, petrolle ateşlenen ve ön ısıtma bölgesinin merkezine yerleştirilmiş olan bir brülörden gelen yanma gazları, bir ejektör tarafından kalsine etme bölgesine çekilir. Kireç daha sonra konik bir soğutma bölgesine geçer.

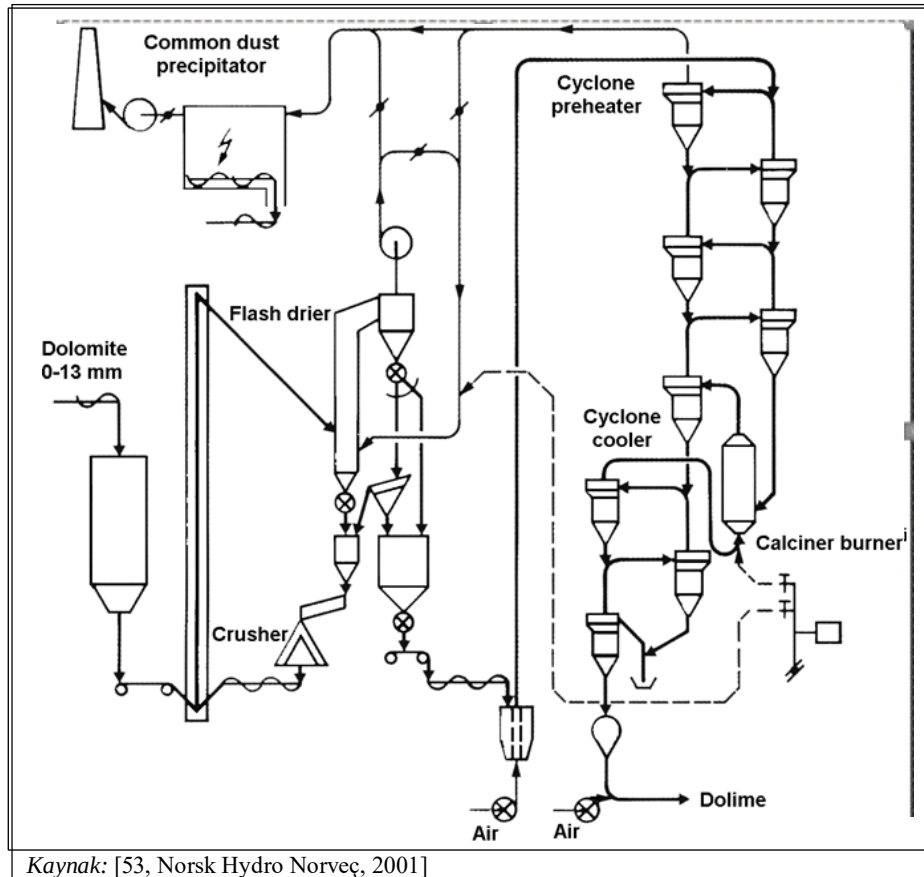
Fırının, çelik üretimine uygun yüksek kaliteli sönmemiş kireç ile çökeltilmiş kalsiyum karbonat ürettiği bildirilmektedir. 100 ton/gün sönmemiş kirece varan fırın kapasiteleri söz konusudur. Yüksekliğinin nispeten düşük olması nedeniyle fırının düşük mukavemetli kireçtaşı kabul edebileceği bildirilmektedir.

2.2.7.4.6 Gaz süspansiyonlu kalsinasyon (GSC) fırınları

Gaz süspansiyonlu kalsinasyon (GSC) fırınları, tekdüze ve reaktivitesi yüksek ürünler üretmek üzere pulverize hammaddelerden kireçtaşı, dolomit ve manyezit kalsine edilmesi gibi, mineral işlemeye yönelik bir tekniktir. Ancak 2007 yılında bu teknik AB-27'de sadece bir tesiste kullanmıştır. Tesiste kurutma, ön ısıtma, kalsinasyon ve soğutma gibi işlemlerin çoğu gazlı süspansiyonda gerçekleştirilir. Sonuç olarak, tesis, Şekil 2.29'da gösterildiği gibi, sabit teçhizat ve birkaç hareketli bileşenden oluşmaktadır.

Sistemde bulunan malzeme miktarı ihmal edilebilir düzeydedir, bu da birkaç dakikalık çalışmadan sonra ürünün spesifikasyonlara uygun olacağı anlamına gelir. Çalıştırma ve kapatma sırasında malzeme veya kalite kaybı olmaz, bu nedenle alt sınıf ürün çıktısı yoktur. GSC prosesi, yüksek kalsinasyon düzeyinde bile yüksek reaktiviteye sahip bir ürün üretir.

Gaz süspansiyonda işlenecek malzeme uygun inceliğe sahip olmalıdır; uygulamada elde edilen deneyim, 2 mm partikül boyutunun aşılması gerektiğini göstermiştir.



Kaynak: [53, Norsk Hydro Norveç, 2001]

Şekil 2.29: Gaz süspansiyonlu kalsinasyon süreç diyagramı

Dolomitik kireç üretimine yönelik bir GSC tesisi, Ağustos 1986'dan beri Norsk Hydro, Porsgrunn, Norveç'te devamlı olarak işletilmektedir. GSC'nin dengeli çalışması ve kırma/kurutma için bazı performans rakamları aşağıda sunulmuştur [53, Norsk Hydro Norway, 2001]:

tesis kapasitesi:	430 ton/gün
yakıt tüketimi:	4,8 GJ/ton ürün
güç tüketimi:	33 kW/ton ürün.

2.2.7.4.7 Döner ocaklı fırınlar

Artık tedavülde hemen hemen çıkmış olan bu fırın türü, çakıl kireci üretmek için tasarlanmıştır. Kireçtaşı yükünü taşıyan dairesel bir hareketli ocaktan oluşur. Kireçtaşı, dairesel ocak üzerinde dönerken birden fazla brülör tarafından kalsine edilir. Yanma havası, dışa atım gazlarındaki fazla ısı ile ve/veya sönmemiş kireci soğutmak için kullanılarak önceden ısıtılır.

Döner ve şaft fırınlara kıyasla daha az aşınma nedeniyle, döner ocaklı fırınlar yüksek oranda çakıl kireci üretir.

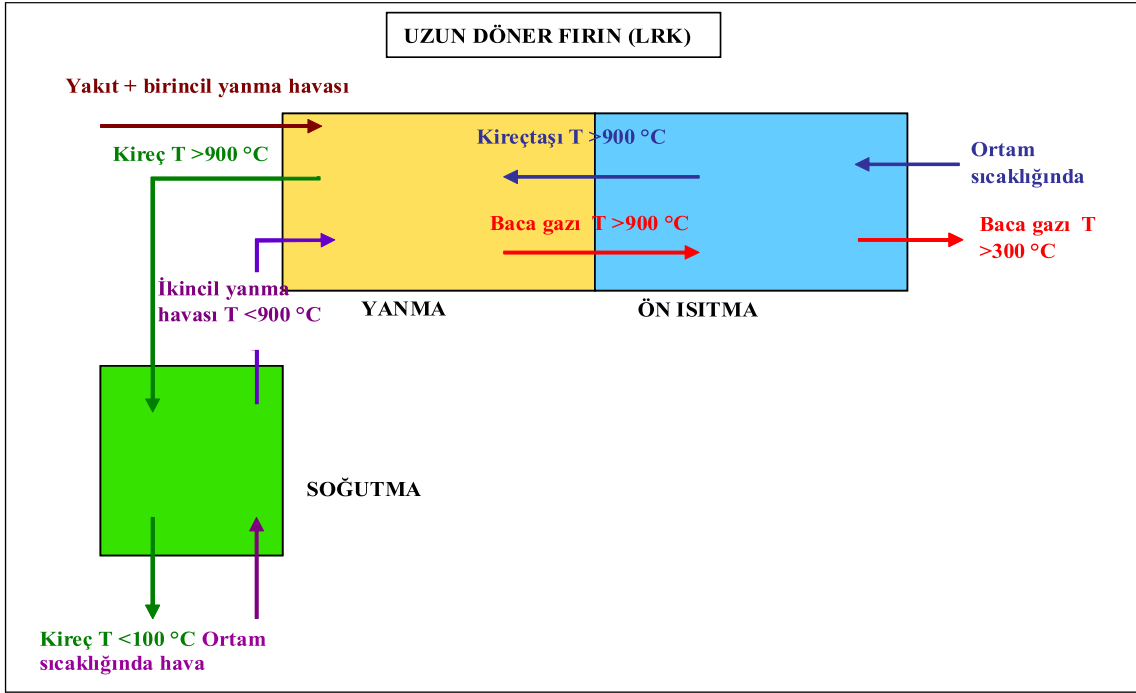
2.2.7.5 Uzun döner fırınlar (LRK)

2008 yılında, AB-27'de çoğunlukla Avrupa'nın kuzeyinde bulunan yaklaşık 29 uzun döner fırın vardı. Uzun döner fırın, yaklaşık 2 – 4,5 metre çapında, yataya 1 ila 4 derecelik açıyla

2. Bölüm

eğimli olan bir döner (150 m uzunluğa kadar) silindirden oluşur. Kireçtaşı üst tarafa beslenir ve yakıt yanma havasıyla birlikte alt tarafa ateşlenir. Sönmemiş kireç fırından bir kireç soğutucusuna boşaltılır ve burada yanma havasının ön ısıtması için kullanılır. Fırın kabuğunun etrafına monte edilmiş planet üniteler, hareketli ızgaralar ve çeşitli karşı akışım şaft soğutucuları dahil olmak üzere, çeşitli kireç soğutucu tasarımları kullanılmaktadır.

Şekil 2.30, bir uzun döner fırının ve tipik bir karşı akışım kireç işleminin akış diyagramını göstermektedir; bu fırın tipinin bir örneği Şekil 2.31'de gösterilmektedir. Tipik özellikler Tablo 2.21'te verilmiştir.



Şekil 2.30: Uzun döner fırınların çalışma ilkesi

Tablo 2.21: Uzun döner fırınların (LRK) teknik özellikleri

Uzun döner fırın (LRK)	
Yakıt besleme türü	Kireç deşarjında brülör
Çıktı (t/gün)	160 – 1 500
Isı kullanımı (MJ/t kireç)	6000 – 9 200
Enerji/elektrik kullanımı (kWs/ton kireç)	18 – 25
Yapı	Isı alışverişini iyileştirmeye yönelik refrakter astarlı ‘karıştırıcılara’ sahip eğimli döner silindir: ☐ 150 m’ye varan uzunluk ☐ 2 – 4,5 m çap Dış odalar ve brülörler
Ön ısıtıcı türü	Yok
Soğutucu türü	☐ fırın kabuğu etrafında planet ☐ hareketli ızgara veya ☐ dönen silindir veya ☐ statik şaft soğutucusu
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	2 – 60
Yakıt türü	Gaz, sıvı ya da pulverize katı fosil yakıtlar Yakıt atıklar ve biyokütle
Yanma havası enjeksiyonu	Soğutucunun ucundaki soğutma havası ve yakıtle birlikte birincil hava
Dışa atım gazı çıkarma	Tüpün sonunda, kireçtaşı besleme tarafında: ☐ kanal ☐ soğutma ☐ tozsuzlaştırma ☐ fan
Kireç çekimi	Soğutucunun ucunda
Önemli noktalar	Refrakter kalitesi İyi yanma ve azalmış birikim sağlamak üzere kömürün ince öğütülmesi İyi yanma ve güvenlik için gerekli olan sürekli CO ve O ₂ ölçümü
Avantajlar:	Üretim esnekliği Değişen parametrelere çok hızlı tepki Yatağın/doğal kaynakların korunması bakımından çok çeşitli besleme taşı boyutları Çok düşük artık CO ₂ düzeyi mümkün Az ila çok yanmış aralığında reaktivite esnekliği, sinterli dolomit üretme imkanı Yakıt esnekliği Şaft fırınlarda kullanıma uygun olmadığında zayıf kireç (kireçleme sırasında çok fazla ince tane oluşturan) kullanılabilir
Dezavantajlar	Yüksek enerji gereksinimleri (sıcak dışa atım gazları ve yüksek kabuk sıcaklığı) ‘Kemer’ oluşumu (kömür külleri, kalsiyum sülfatlar, kil)
Kaynak: [44, EuLA, 2006]	



Kaynak: [44, EuLA, 2006]

Şekil 2.31: Kireç üretiminde kullanılan dairesel şaft fırın örneği

Brülör tasarımı, fırının verimli ve güvenilir çalışması için önemlidir. Alev, farklı yakıt türleri için ayarlanabilir olmalıdır.

Proses koşullarının kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilebilmesi nedeniyle, uzun döner fırınlar, şaft fırınlara göre daha geniş bir kireç reaktivitesi aralığı ve daha düşük artık CO₂ seviyeleri üretebilir. Kabuk birikintileri ve kırılabilen kireçtaşı gibi nispeten zayıf olan besleme taşları, şaft fırınlar için uygun olmamakla birlikte döner fırınlarda iyi sonuçlar verebilir.

Döner fırınlar çok çeşitli yakıtlarla ateşlenebilir. Kalsine etme bölgesindeki ısı aktarımı radyasyondan önemli ölçüde etkilendiğinden ve (küçükten büyüğe) gaz, petrol ve katı yakıtların kızılötesi yayıcılığı nedeniyle, yakıt seçimi ısı kullanımında önemli etkiye sahip olabilir. Radyasyon ve konveksiyon kayıpları, diğer kireç fırını tasarımlarına göre oldukça yüksektir ve bu da diğer fırın türlerine kıyasla enerji tüketiminin genellikle daha yüksek olmasıyla sonuçlanır.

Döner fırının bir avantajı, kükürtün yakıttan ve bir düzeye kadar kireçtaşından, kalsine etme bölgesindeki sıcaklık ve CO yüzdesinin kontrol edilmesi sayesinde fırın gazları yoluyla fırından dışarı atılabilmesidir. Böylece, dışa atım gazları için herhangi bir SO₂ emisyon sınırına tabi olmak üzere, yüksek kükürtlü yakıtlar kullanılarak düşük kükürtlü kireçler üretilebilir.

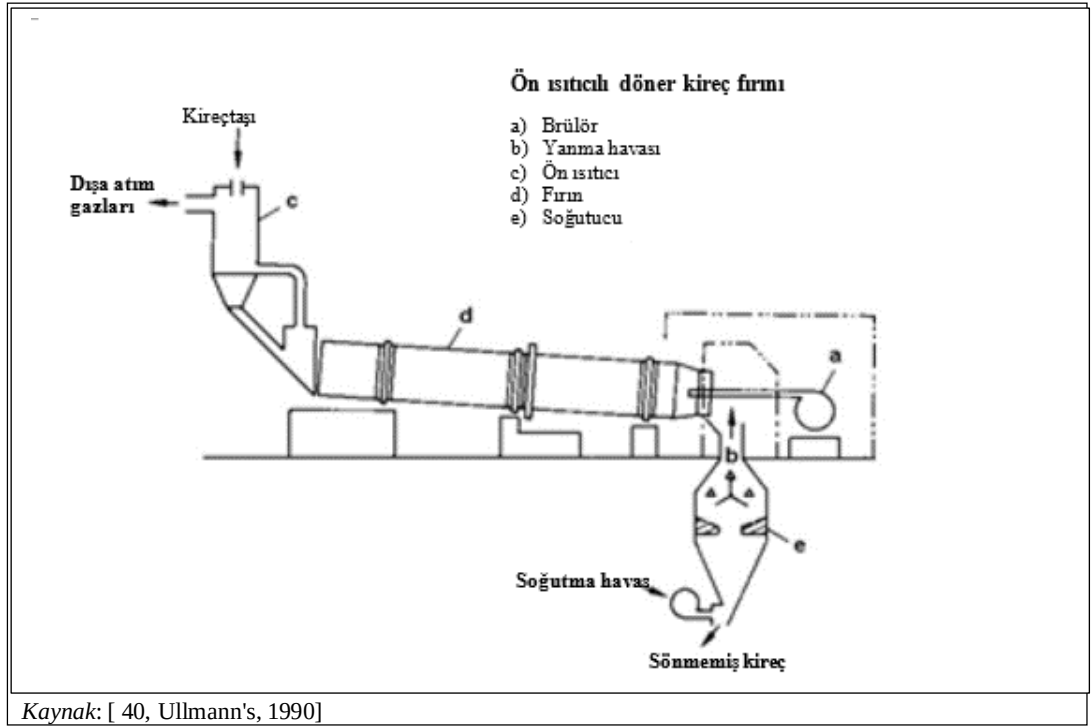
Uzun döner fırınlar, yakıtların ve farklı tane boyutlarındaki kireçtaşlarının, özellikle daha ince fraksiyonların kullanılabilmesi bakımından esnek fırınlardır.

2.2.7.6 Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)

Döner fırınlar ön ısıtıcılarla donatılabilir ve çoğu zaman genelleşmiş uzun döner fırınlardan (örneğin 40 ila 90 m) çok daha kısadır. Azalan radyasyon ve konveksiyon kayıplarının yanı sıra artan dışa atım gazı ısı geri kazanımı nedeniyle ısı kullanımı azalır.

2008 yılında AB-27'de çalışan 20 adet ön ısıtıcılı döner fırın vardı.

Kireç üretimi için ön ısıtıcılı bir döner fırının başlıca özellikleri Şekil 2.32'de gösterilmektedir.



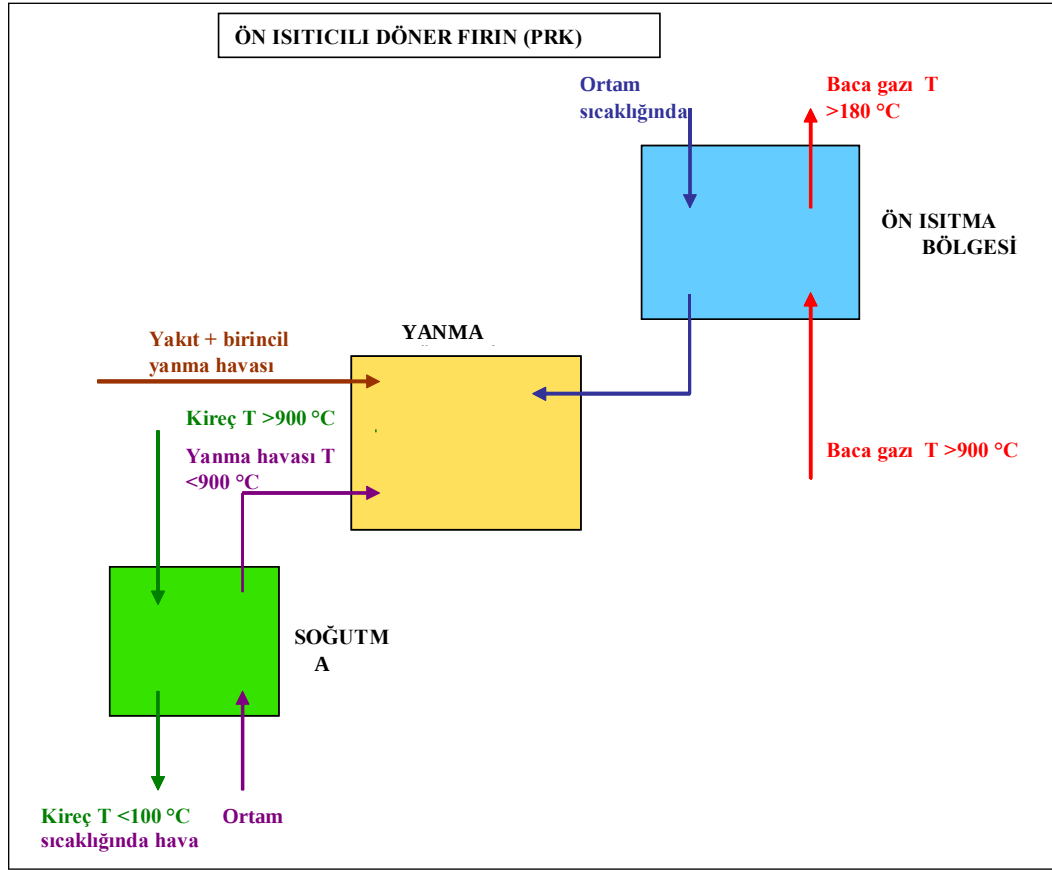
Şekil 2.32: Ön ısıtıcı döner fırın (PRK)

Dikey şaftlar ve hareketli ızgaralar dahil olmak üzere bir dizi ön ısıtıcı tasarımı geliştirilmiştir. Ön ısıtıcı, besleme taşının boyutuna ve özelliklerine göre seçilmelidir. Çoğu, 10 mm'lik bir asgari boyutu kabul edebilmekte olup, 6 mm'ye kadar olan taşların kullanıldığı durumlar mevcuttur. Bazıları ise zayıf veya kırılmaya meyilli taşları tolere edememektedir.

Ön ısıtmalı fırınlarda kükürtün ortadan kaldırılması daha zor olsa da, bunu başarmanın birkaç yolu vardır:

- fırını indirgeyici koşullar altında çalıştırmak ve ilave havayı arka tarafta (yalnızca belirli ön ısıtıcı tasarımları için) ve şu noktalarda vermek:
 - brülör
 - yanma havası
 - ön ısıtıcı
 - fırın
 - soğutucu
- seçici SO₂ emilimi ve bunun arka taraftaki toz toplayıcıda toplanması veya soğutucudan boşaltılan kireçten elenmesi için, beslemeye yeterli miktarda ince kesilmiş kireçtaşının ilave edilmesi

Şekil 2.33'te, kireç üretiminde kullanılan tipik bir ön ısıtıcı uzun döner fırının akış diyagramı, bu fırın tipinin bir örneği ise Şekil 2.34'te gösterilmektedir. Tipik özellikler Tablo 2.22'te verilmiştir.



Şekil 2.33: Ön ısıtıcılı döner fırının (PRK) çalışma ilkesi



Şekil 2.34: Ön ısıtıcılı döner fırın örneği

Tablo 2.22: Ön ısıtıcı döner fırınların (PRK) teknik özellikleri

Ön ısıtıcı döner fırın (PRK)	
Yakıt besleme türü	Kireç deşarjında brülör
Çıktı (t/gün)	100 – 1 500
Isı kullanımı (MJ/t kireç)	5100 – 7 800
Enerji/elektrik kullanımı (kW/ton kireç)	17 – 45
Yapı	Isı alışverişini iyileştirmeye yönelik refrakter astarlı ‘karıştırıcılara’ sahip eğimli döner silindir: □ en fazla 90 m uzunluğunda □ 2 – 4,5 m çapında
Ön ısıtıcı türü	Dikey şaft Hareketli ızgara
Soğutucu türü	Fırın kabuğu etrafında planet Hareketli ızgaralı döner silindir
Kireçtaşı tane boyutu (mm)	10 – 60
Yakıt türü	Gaz, sıvı ya da pulverize katı fosil yakıtlar Yakıt atıklar ve biyokütle
Yanma havası enjeksiyonu	Soğutucunun ucunda soğutma havası
Dışa atım gazı çıkarma	Sıcak gazlar ön ısıtıcıdan geçer: □ kanal ve soğutma ve tozsuzlaştırma ve fan
Kireç çekimi	Soğutucunun ucunda
Önemli noktalar	Refrakter kalitesi İyi yanma ve azalmış birikim sağlamak üzere kömürün ince öğütülmesi Ön ısıtıcı ve fırın arasındaki bağlantının hava sızdırmazlığı Kireçtaşı boyutu: çok fazla ince tane ön ısıtıcıyı tıkayabilir İyi yanma ve güvenlik için gerekli olan sürekli CO ve O ₂ ölçümü
Avantajlar:	Üretim esnekliği Değişen parametrelere çok hızlı tepki Yatağın/doğal kaynakların korunması bakımından çok çeşitli besleme taşı boyutları Çok düşük artık CO ₂ düzeyi mümkün. Az ila çok yanmış aralığında reaktivite esnekliği, sinterli dolomit üretme imkanı Yakıt esnekliği Şaft fırınlarda kullanıma uygun olmadığında zayıf kireç (kireçleme sırasında çok fazla ince tane oluşturan) kullanılabilir Ön ısıtıcıda daha iyi ısı alışverişi sayesinde daha düşük yakıt gereksinimleri (karbonsuzlaştırmanın başlangıcı)
Dezavantajlar	‘Kemer’ oluşumu (kömür külleri, kalsiyum sülfatlar, kil) Ön ısıtıcı, bakımı yapılması gereken ek bir teçhizatır.
Kaynak: [44, EuLA, 2006]	

2.2.8 Depolama ve taşınma

2.2.8.1 Depolama

2.2.8.1.1 Sönmemiş kirecin depolanması

Sönmemiş kireç tercihen kuru koşullarda depolanır ve hava kaynaklı söndürmeyi sınırlamak üzere hava çekişinden korunur. Hidrasyon hem ısıyı serbest bırakmak hem genişlemeye neden olmak bakımından tehlike arz ettiğinden, suyun kireçten uzak tutulmasına büyük özen gösterilir.

Hava basınçlı boşaltım araçları, taşıma havasından tozu çıkarmaya yönelik bir filtre ile donatılmış depolama bunkerine doğrudan üfleme yapabilir. Filtre hava koşullarına dayanıklı ve su geçirmez olmalıdır. Toplanan toz bunkere geri boşaltılabilir. Bunkere takılan basınç/vakum tahliye cihazı bir ihtiyati tedbirdir.

Tüm depolama konteynerleri, boşaltma mekanizması üzerinde bakım çalışmalarının yapılabilmesi için bunker tabanını kapatabilecek cihazlarla donatılabilir.

Sönmemiş kireç miktarının depolama bunkerlerini gerekçelendirmek için yetersiz olduğu durumlarda, aşırı hava kaynaklı söndürmeyi önlemek için ürün tercihen bir bina içinde ayrı bir bölmede beton bir taban üzerinde depolanabilir.

2.2.8.1.2 Hidratlı kirecin depolanması

Hidratlı kireç, atmosferdeki karbondioksiti emerek kalsiyum karbonat ve su oluşturur. Bu nedenle, en iyi şekilde kuru hava akımı olmayan koşullarda depolanır.

Kağıt torbalarda torbalanan hidrat, nem ile bozulmayı ve hidratlı kirecin yeniden karbonatlaşmasını önlemek için tercihen örtü altında saklanır. 'Büyük torbalar' kullanıldığında da herhangi bir hasarı önlemek üzere örtülü olarak saklanmaları en iyisidir. Torbalı hidrat paletleri açık havada depolama için başarıyla kullanılmıştır; palet plastik bir örtü ile kapatılır, torbalar tabakanın üzerine yerleştirilir ve sıkıca paketlenir (şrinkleme).

Dökme hidrat, hava koşullarına tümüyle dayanıklı olması gereken silolarda depolanır. Silo, hava koşullarına dayanıklı olması ve gelen hava akışını idare edebilmesi gereken bir torba filtre ile havalandırılır. Filtrenin silonun üstüne takıldığı yerde, toplanan toz tekrar siloya boşaltılır. Silo tepesine kontrol bakım deliği ve basınç tahliye vanası takılabilir. Aşırı doldurmayı önlemek için yüksek seviye göstergesi veya alarm takılabilir.

Söndürülmüş kireç 'kemerlenmeye' eğilimli olduğundan, bunu önlemek için havalandırma yastıkları, vibratörler ve mekanik cihazlar gibi uygun kemer kırma cihazları takılır. Diğer taraftan, havalandırılmış tozun "taşmasını" önlemek için önlemler alınmalıdır.

2.2.8.1.3 Kireç sütünün depolanması

Süreçlerinde sönmüş kirece ihtiyaç duyan birçok müşteri, kireç sütünün depolama ve işleme için uygun bir form olduğu kanısına varmıştır. Belirli önlemler alındığında sıvı olarak elleçlenmesi mümkündür.

Herhangi bir depolama ve elleçleme sistemi için, kireç sütü su ile seyreltildiğinde veya sönmüş kireç suda dağıldığında, sudaki herhangi bir karbonat sertliğinin kalsiyum karbonat olarak birikeceği gerçeğine dikkat göstermelidir. Uygun önlem alınmadığı takdirde, bu durum boruların duvarlarında, pompaların çarkında ve gövdesinde kireçlenme ile sonuçlanacaktır. Benimsenebilecek iki yaklaşım vardır. Sistem kireç oluşumuyla başa çıkabilecek şekilde tasarlanabilir ya da kireçlenmeyi önlemek veya en aza indirmek için harekete geçilebilir.

Oluşan macunun yeniden dağılması zor olabileceğinden, kireç sütü sistemlerinde çökmeyi önlemek önemlidir. Bu nedenle depolama tanklarının çalkalanması gereklidir. Çalkalama düzeyi düşük olabilir, atmosferden karbondioksit emilimini artıracak bir girdap oluşturmaktan kaçınılmalıdır.

Bir depolama kabından gelen boşaltım borusu kaçınılmaz bir kör noktadır, herhangi bir tıkanmayı ortadan kaldırmak için suyla geri yıkama imkanı sağlanabilir.

2.2.8.2 Taşıma

Ürünün aktarımı için pek çok tür teçhizat uygundur ve sürekli olarak yenileri geliştirilmektedir. Aşağıdaki teknikler başarıyla kullanılmıştır, ancak tüm uygulamalar için uygun olmayabilir.

Eğik asansörler, tüm taneli ve parçalı sınıflar için kullanılabilir, ancak 100 mm'den büyük parçacıklar için daha uygundur. *Asansörler*, sönmemiş kireç sınıfları için gerek kayışlı-kovalı gerek zincirli-kovalı asansörler kullanılmıştır. *Çekme kollu konveyörler*, granül ve ince sönmemiş kireç için uygundur. Genellikle yatay veya eğimli transfer için kullanılırlar. *Konveyör bantları*, toprak ve taneli sınıfları yatay ve yukarı eğimli yüzeylerde aktarmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. *Helezon konveyörler*, ince sönmemiş kireç için yaygın olarak kullanılmaktadır. *Titreşimli oluklu konveyörler* 40mm'ye varan partikül boyutları için kullanılmıştır. Beslemeden boşaltma noktasına doğru hafif bir aşağı eğim olduğunda daha verimli çalışırlar.

Pnömatik taşıma, azami boyutu 20 mm'ye kadar olan ürünler için kullanılabilir olup genellikle alternatiflere göre daha düşük sermaye maliyetine, ancak daha yüksek işletme maliyetlerine sahiptir. Ürün, bir fana bağlı olan döner üfleme contasına beslenir. Boru hattı deliği ve üflenilen havanın hacmi/basıncı, taşınan kirecin boyutu, aktarım hızı ve boru hattının uzunluğu/güzergahı dikkate alınarak tasarlanır. Alıcı silo, hava filtresi ve basınç tahliye vanası ile donatılmıştır.

2.2.9 Diğer kireç türleri

2.2.9.1 Hidrolik kireç üretimi

Doğal hidrolik kireç, aşağı yukarı silis, alümina ve demirden meydana gelen silisli veya killi kireçtaşıdan üretilir. Kireçtaşıdaki tipik seviyeler SiO_2 : %4 ila 16, Al_2O_3 : % 1 ila 8 ve Fe_2O_3 : % 0,3 ila 6'dır. Kalsiyum artı magnezyum karbonat içeriği %78 ila % 92 arasında değişebilir.

Kireçtaşı genellikle serbest kireci sinterlemeden silis ve alüminanın mümkün olduğu kadar fazla reaksiyona girmesini sağlamak için yakından kontrol edilmesi gereken şaft fırınlarında kalsine edilir. Tipik kalsine etme sıcaklıkları 950 – 1250 °C'dir: katılama endeksi arttıkça gerekli sıcaklık yükselir (kirecin hidrolikliği arttıkça).

Kalsine kireç, serbest CaO unsurunun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ unsuruna dönüşümü için yeterli su ile hidratlanır. Serbest CaO içeriği %10 ila 15'ten fazlaysa, çok sinterlenmiş parçalar toz haline gelir. Aksi takdirde, kirecin hidrasyondan önce öğütülmesi gerekir. Gerekli incelik derecesini ve biçimlenme hızını elde etmek için hidratlı ürünün öğütülmesi de gerekebilir.

'Özel' doğal hidrolik kireçler, toz haline getirilmiş doğal hidrolik kireçlerin, toz haline getirilmiş puzolanik veya hidrolik malzemelerle iyice karıştırılmasıyla üretilir. Yapay hidrolik kireçlerse toz haline getirilmiş söndürülmüş kireçlerin, pulverize puzolanik veya hidrolik malzemelerle iyice karıştırılmasıyla üretilir.

2.2.9.2 Kalsine dolomit üretimi

Dolomit hem şaft hem de döner fırınlarda kalsine edilir. Hafif yanmış, sinterlenmiş ve yarı yanmış olmak üzere üç sınıf kalsine dolomit üretilir.

Hafif yanmış dolomit genellikle döner veya şaft fırınlarda üretilir. Hafif yanmış dolomitin yapım ilkeleri, yüksek kalsiyumlu sönmemiş kirecin yapım ilkelerine benzer. Daha düşük kalsinasyon ısısı ve dolomitin (MgCO_3) daha düşük ayrışma sıcaklığı sayesinde daha az ısı kullanılır.

Sinterlenmiş dolomit iki kalitede üretilir. Refrakter üretimi için kullanılan yüksek saflık kalitesi, dolomitin döner veya şaft fırınlarda 1800 °C'ye varan sıcaklıklarda kalsine edilmesiyle elde edilir. Dolomitin %5 ila 10 demir oksit ile 1400 ila 1 600 °C'de, genellikle bir döner fırında kalsine edilmesiyle “fırın onarım” kalitesi üretilir. Bu işlemlerin her ikisinden de çıkan dışa atım gazları, diğer kireç fırınlarından daha yüksek sıcaklıklardadır; eşanjörler, menevişleme havası veya püskürtme su enjeksiyonu kullanılarak 420 °C'nin altına soğutulurlar.

Yarı yanmış dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$), dolomitin yaklaşık 650 °C'de yavaş kalsinasyonu ile üretilir. Üretimi nispeten küçük miktarlarda olup Almanya Avrupa'daki tek üreticidir.

2.2.9.3 Çift geçişli proses ile sinterlenmiş dolim üretimi

Çift geçişli proses ile sinterlenmiş dolim üretimi iki ayrı adımda gerçekleştirilir. Her bir adım özel bir fırında ayrı ayrı gerçekleştirilir:

- 1. Adım: Dolomitin 900 ve 1 200°C arasındaki malzeme sıcaklığında (çoğu durumda 1 000°C'nin altında) kalsinasyonu. Ortaya çıkan ürün, yoğunlaştırma aşaması için besleme malzemesi olarak kullanılan standart dolimdir.
- 2. Adım: 1. adımda üretilen standart dolimin 1600°C'den yüksek malzeme sıcaklığında yoğunlaştırılması. Prosesin çıktısı, uygun yoğunluğa sahip bitmiş sinterlenmiş dolim ürünüdür.

1. ve 2. adımlar, hem şaft hem de döner fırınlarda gerçekleştirilebilir. Çift geçişli işlemin aksine, tek geçişli işlemde 1. ve 2. adımlar özel bir fırında tek bir sürekli adım olarak gerçekleştirilir.

Çift geçişli işlemde 2. adımın özelliği, fırında (kalıntı) kalsinasyon ya da ekzotermik reaksiyonların meydana gelmemesidir. Sonuç olarak, özgül ısı tüketimi normal kalsinasyon fırınlarındakinden çok daha düşüktür (örn. 1. adım) ancak baca gazı ve ürün sıcaklıkları çok yüksektir. Bu, önemli miktarlarda soğutma havası gerektirir ve oluşan baca gazlarında kuru bazda yaklaşık %20 olan yüksek oksijen değerlerine yol açar.

2.2.10 Yerinde kireç fırınları için genel hususlar

Demir-çelik, şeker ve kağıt gibi diğer birçok endüstriyel sektörde ve kimya sektörlerinde de kireç ihtiyacı vardır ve bu sektörlerden bazılarının kireç üretimine yönelik kendi kireç fırınları vardır.

2.2.10.1 Demir çelik endüstrisinde kireç fırınları

Demir çelik endüstrisinde kullanılan kirecin çoğu, bazik oksijen fırınındaki safsızlıkları eritkenleştirmek içindir. Kireç ayrıca demir cevheri hazırlamak için sinter bandı işleminde, pik demirin kükürt giderme işleminde, diğer oksijenli çelik üretim süreçlerinde eritkenleyici madde olarak, elektrik arklı çelik yapımı sürecinde ve pek çok ikincil çelik yapımı sürecinde nispeten küçük miktarlarda kullanılır.

Demir çelik sektöründeki kireç fırınları ağırlıklı olarak farklı tasarım ve kapasitelerde şaft fırınlardır. Emisyon/tüketim eğilimleri bağlı olmayan kireç fırınlarıyla benzerdir.

Demir çelik endüstrisine ilişkin yararlı bilgi Demir Çelik Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [87, Avrupa Komisyonu, 2001].

2.2.10.2 Kağıt hamuru endüstrisinde kireç fırınları

2001 yılında Avrupa kağıt endüstrisinde yaklaşık 100 kireç fırını mevcuttu. Bunların hepsi günde 30 ila 400 ton yanmış kireç arasında değişen kapasitelere sahip döner fırınlardır. Fırınlara çoğu uzun döner fırınlar olmakla birlikte bazı modern ön ısıtıcılı döner fırınlar da mevcuttur.

Uzun döner kireç fırınları genellikle %30 su içeriğine sahip bir kalsiyum karbonat bulamacı ile beslenir. Temel yakıt normalde doğal gaz veya petroldür. Ek olarak, hamurlaştırma işleminin çeşitli alanlarında üretilen yoğunlaşmayan gazlar genellikle yakılır ve baca gazlarındaki H_2S , organik kükürt bileşikler ve SO_2 içeriği artar. Bazı durumlarda biyokütle gazlaştırılmasıyla elde edilen talaş ve gazlar da yakıt olarak kullanılmaktadır.

Venturi tipi yaş gaz yıkayıcılar ve elektrostatik toz tutucular (partikül madde için) normalde dışa atım gazlarını temizlemek için kurulur.

Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisine ilişkin yararlı bilgi Kağıt ve Kağıt Hamuru Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [124, Avrupa Komisyonu, 2001].

2.2.10.3 Şeker endüstrisinde kireç fırınları

Avrupa şeker endüstrisindeki kireç fırınlarının çoğu karışık beslemeli şaft fırınlardır. Fırınlara çoğunluğu bir şeker kampanyası boyunca günde 50 ila 350 ton sönmemiş kireç üretir. 1997/1998 sezonu için bu süre, ortalama 86 gün olmak üzere 63 ila 170 gün arasında gerçekleşti.

Dışa atım gazındaki sönmemiş kireç ve CO_2 , şeker fabrikalarında kullanılmaktadır. Fırın tarafından üretilen gaz yakalanır ve şeker prosesinde (karbonatasyon) kullanılmadan önce çoğu yaş gaz yıkayıcıda tozdan arındırılır. CO_2 büyük ölçüde, $CaCO_3$ oluşturmak üzere kireçli özsuundaki kireç sütü ile yeniden birleşir.

Şeker sanayi kireç fırınlarında en çok kullanılan yakıt koktur. Bunun başlıca nedeni, ürün gazının, petrol veya gazla çalışan fırınlardan çıkan ürün gazından (hacimce %28 – 32 CO_2) daha fazla CO_2 (hacimce %40 – 42 CO_2) içermesidir.

Şeker endüstrisi kireç fırınları için tüketim seviyeleri (kireçtaşı ve yakıt), diğer sektörlerdeki aynı tip kireç fırınları ile hemen hemen aynıdır.

Şeker endüstrisine ilişkin yararlı bilgi Gıda, İçecek ve Süt Endüstrileri için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında (FDM) bulunabilir [87, Avrupa Komisyonu, 2001]. Ancak, üretilen kirecin türü ve miktarı ile kullanılan fırınlar ve yakıtlar hakkındaki bilgiler henüz FDM MET-Ref'in kapsamına girmemektedir [125, Avrupa Komisyonu, 2006].

2.3 Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri

Kireç üretimi ile ilgili temel çevresel hususlar hava kirliliği ve enerji kullanımıdır. Kirecin yanma süreci, başlıca enerji kullanıcısı ve ana emisyon kaynağıdır. Kireç söndürme ve öğütme gibi ikincil işlemler ve yan işlemler (kırama, eleme, taşıma, depolama ve boşaltma) de önem arz edebilir, bununla birlikte hem emisyonlar hem enerji kullanımı açısından nispeten küçük ölçeklidirler.

Bu belgede aksi belirtilmedikçe, kireç endüstrisi ile ilgili bu kısım için, baca gazı hacim akışlarının ve derişimlerinin ölçülmesine ilişkin standart koşulların, yine Terimler Sözlüğünde belirtilen aşağıdaki tanımlarla ilgili olduğuna dikkat edilmelidir:

m ³ /s	hacimsel akış hızı: bu belgede aksi belirtilmediği sürece, hacimsel akış hızları hacimce % 11 oksijen içeriğini ve standart hali referans alır
mg/m ³	derişim: belgede aksi belirtilmediği sürece, gaz halindeki maddelerin veya madde karışımlarının derişimi, hacimce %11 oksijen ve standart haldeki kuru baca gazını referans alır
standart hal	273 K sıcaklık, 1013 hPa basınç ve kuru gaz anlamına gelir

Buna ek olarak, emisyon aralıkları için referans oksijen seviyesi % 11 olmakla birlikte pişirme prosesindeki fiili oksijen seviyesinin % 11'in çok altında olduğu akılda tutulmalıdır. Emisyon derişimi hesaplama formülü aşağıda gösterilmektedir:

$$E_R = \frac{21 - O}{21 - O_R} * E_M$$

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesindeki emisyon derişimi
 O_R ; O_R (hacimce %): referans oksijen seviyesi
 E_R (mg/Nm³): ölçülen oksijen seviyesindeki emisyon derişimi
 O_R ; O_R (hacimce %): ölçülen oksijen seviyesi

İzleme ile ilgili ek yararlı bilgiler İzleme Genel İlkeleri Referans Dokümanında (MON) bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

2.3.1 Kireçtaşı tüketimi

Kireç üretimi genellikle ton satılabilir sönmemiş kireç başına 1,4 ila 2,2 ton arasında kireçtaşı kullanır. Tüketim, ürünün cinsine, kireçtaşının saflığına, kalsinasyon düzeyine ve fırın ile fırın dışı atım gazlarından çıkan toz miktarına bağlıdır.

2.3.2 Enerji kullanımı

2.3.2.1 Kireçtaşı kalsinasyonu

Belirli bir fırın tipi için enerji kullanımı aynı zamanda kullanılan taşın kalitesi, kalsiyum karbonatın kalsiyum okside dönüşüm derecesi, taşın boyutu, nem, yakıt, fırın tasarımı, proses kontrolü, hava sızdırmazlığı vb. bir dizi farklı faktöre de bağlıdır.

Kalsiyum kireçtaşının ayrışma ısısı kireç için 3,2 GJ/ton'dur (dolim için yaklaşık % 9 daha az). Ton sönmemiş kireç başına net ısı kullanımı fırın tasarımına göre değişir. Döner fırınlar genellikle

şaft fırınlardan daha fazla ısı gerektirir. Yanma düzeyi arttıkça ısı kullanımı da artma eğilimindedir (bkz. Bölüm 2.2.6.1).

Elektrik kullanımı, karışık beslemeli şaft fırınlar için 5 – 15 kWs/ton kireç gibi düşük bir aralıktan, şaft fırınların ve döner fırınların daha gelişmiş tasarımları için 20 – 40 kWs/ton kirece kadar çıkabilmektedir.

Çeşitli tipteki kireç fırınlarının tipik ısı ve elektrik gücü kullanımı Tablo 2.23'te gösterilmektedir. Isı tüketimi, kireç üretmek için toplam enerji tüketiminin yaklaşık %95'ini temsil eder.

Tablo 2.23: AB-27'de kireç ve dolim üretimi için fırın tiplerine göre tipik ısı ve elektrik kullanımı

Fırın tipi	Kireç ve dolim üretiminde kullanılan enerji türü	
	Isı kullanımı/tüketimi ⁽¹⁾ GJ/ton	Fırın elektrik kullanımı kWs/ton
Uzun döner fırınlar (LRK)	6,0 – 9,2	18 – 25
Ön ısıtıcı döner fırınlar (PRK)	5,1 – 7,8	17 – 45
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	3,2 – 4,2	20 – 40
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	3,3 – 4,9	18 – 35 ⁽²⁾ 50'ye kadar ⁽³⁾
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	3,4 – 4,7	5 – 15
Diğer fırınlar (OK)	3,5 – 7,0	20 – 40
(1) Isı kullanımı/tüketimi, kireç üretmek için toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 80'ini temsil eder. (2) 40 ila 150 mm aralığındaki kireçtaşı tane boyutları için (3) 40 mm altındaki kireçtaşı tane boyutları için Kaynak: [46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [64, Çek Cumhuriyeti, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]		

Aşağıdaki parametreler Tablo 2.23'te verilen enerji tüketim değerlerini etkileyebilir:

- ☐ tane büyüklüğü
 - % 5'e kadar
- ☐ kireçtaşı nemliliği
 - % 1 ila 10
- ☐ yakıt (kuruluk, verimlilik vb.)
 - % 5'e kadar
- ☐ Artık CO₂
 - %0,5 ila 5
- ☐ dolim:
 - %9'a kadar/kireç
- ☐ çok yanmış kireç
 - % ~10.

Ürünlerdeki artık CO₂ içeriği enerji tüketimini etkileyebilir. Ürünlerin sertliği arttıkça enerji tüketimi artar. Artık CO₂ içeriği kireç kullanımını belirler; çelik endüstrisinde yaklaşık %5 CO₂ içerikli kireç, dışa atım gazı kükürt giderme için yaklaşık %1,5 CO₂ içerikli kireç kullanılmaktadır.

Ölü yanmış dolimin durumunda, enerji tüketimi fırın tipine bağlı olarak 6,5 ila 13 GJ/ton aralığındadır [54, EuLA, 2006].

Yüksek yakıt enerjisi tüketimini azaltmak için farklı kireç fırınlarında farklı teknikler uygulanmıştır, örneğin:

- ☐ proses optimizasyonu ve kontrolü
- ☐ fazla havanın azaltılması.

2.3.2.2 Kireç söndürme

Söndürme prosesi ekzotermik olduğundan, hidratörlerdeki sıcaklığı kontrol etmek için fazla su eklenir. Düşük miktarda olan bu fazla su, atmosfere verilmek üzere buhara dönüştürülür; buna tesise/sönmemiş kireç besleme teçhizatına toz ve nem girişini önlemek ve fazla suyun buharlaşmasına yardımcı olmak üzere hidratöre çekilen küçük miktarda hava eşlik eder.

Nemlendiricileri, hava sınıflandırıcıları ve taşıma teçhizatını çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi, yaklaşık 5 ila 30 kWs/ton sönmemiş kirece denk gelir.

2.3.2.3 Kireç öğütme

Kireç öğütmede kullanılan enerji, daha kaba sınıflar için (örneğin, toprak stabilizasyonu için kullanılanlar) 4 ila 10 kWs/ton sönmemiş kireç ile daha ince sınıflar için 10 ila 40 kWs/ton sönmemiş kireç arasında değişir. Gereken enerji miktarı kullanılan teçhizata da bağlıdır. Daha kaba ürünler için ince çarpmalı değirmenler kullanılabilir. Bilyalı değirmenler, halkalı merdaneli değirmenler ve yüksek basınçlı değirmenler ile toprak çözücüler (özellik enerji kullanımı giderek düşmektedir) daha ince ürünler elde etmek için kullanılır.

2.3.3 Havaya emisyonlar

Kireç üretimi sırasında havaya emisyonlar ve gürültü emisyonları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, suya emisyonlar, proses kayıpları/atıklar ve nadiren kokular meydana gelir. Bu kısımda, örneğin hammaddelerin, yakıtların veya ürünlerin depolanması ve taşınması gibi diğer süreç adımları da dahil olmak üzere kireç üretim sürecinde hava kirleticisi emisyonların değer aralıkları sunulmuştur.

Kireç imalatında kalsinasyon işlemi, ciddi havaya emisyon düzeylerine sebep olur. En çok önem arz eden kireçtaşı kalsinasyonu kaynaklı havaya emisyonlar şunlardır:

- ☐ karbon oksitler (CO₂, CO)
- ☐ azot oksitler (NO_x)
- ☐ kükürt dioksit (SO₂)
- ☐ toz (PM).

Emisyonların niteliği ve derişimi, aşağıdakiler gibi çeşitli faktörlerden etkilenir:

- ☐ fırın tipi ve fırın tasarımı
- ☐ işletme veya proses koşulları
- ☐ hammadde kireçtaşının kimyası ve kalitesi
- ☐ kullanılan yakıtlar
- ☐ emisyonların azaltılmasına yönelik azaltma teknikleri.

Üretim sürecinde meydana gelen diğer havaya emisyonlar arasında şunlar yer alabilir:

- ☐ hidrojen klorür (HCl)
- ☐ hidrojen florür (HF)
- ☐ organik bileşikler
- ☐ ağır metaller
- ☐ poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar (PCDD/F)
- ☐ hidrojen sülfür (H₂S)

Fırın tipi ve fırın tasarımı

Fırın tipinin seçiminde etkili olan unsurlar arasında, mevcut kireçtaşının boyutu ve niteliğiyle uyum ve belirli kalite gereksinimlerini karşılama yetisi yer almaktadır.

Fırın tasarımları aşağıdakiler gibi farklı özelliklere sahiptir:

- ☐ belirli kireçtaşı türlerini kullanma yetenekleri (kimya ve tane boyutu aralığı)
- ☐ kullanılan yakıt türleri ve fırına yakıt enjeksiyon yöntemleri
- ☐ hava yakıt oranı
- ☐ işletim sıcaklığı profilleri
- ☐ ısı dağılımları.

Fırın tipiyle ilgili bir diğer önemli faktör de fırındaki sıcaklık profiline bağlı olan gaz-katı etkileşimidir. Fırın gazlarındaki (özellikle SO₂ ve HCl) belirli bileşenlerin sönmemiş kireç veya kireçtaşı ile reaksiyona girmesine izin verir. Bu bileşenler gazdan çıkarılır, ürünle kaplanır ve ürünün parçası olarak fırından çıkar.

Proses koşulları

Proses parametreleri, yakıt kullanımını en aza indirmek ve yanmamış kireçtaşından kaçınmak üzere seçilir. Seçilen kesin proses parametreleri, ürün kalite gerekliliklerini sağlamak ve emisyonlar üzerinde etki yaratmak için önemlidir.

Kireçtaşının kimyası

Kirlilik derişimi ve kalsinasyon sırasında taşın davranışı emisyonları etkileyebilir. Kireçtaşı/dolomit içindeki kükürt ve klor içeriğindeki değişiklikler önemli bir rol oynar ve dışa atım gazındaki SO₂ ve HCl emisyonlarının aralığı üzerinde etkiye sahiptir. Bu, fırının tipine ve belirli bir kalitede ürün üretmek için gereken proses koşullarına bağlıdır.

Yakıt türü

Katı, sıvı ve gaz gibi doğal bileşim, kullanılan yakıtların ısı değeri ve yanma özellikleri ile kükürt ve klor gibi farklı bileşen içeriği, havaya emisyonlar üzerinde etkilidir.

Şaft fırın için bir yakıt dozlama sistemi prensibi örneği Bölüm 2.2.4'te Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

Azaltma teçhizatı

Kireç fırınları tipik olarak, örneğin toz gibi havaya emisyonları azaltmak için azaltma teknikleri ile donatılır. Kullanılan azaltma tekniğinin türü örneğin fırın tipi ve kullanılan yakıtlara bağlıdır. Toz emisyonları sadece kalsinasyon süreci sırasında değil, aynı zamanda eleme, kırma, öğütme, hidratlama ve paketleme gibi kireç üretiminde kullanılan diğer işleme faaliyetlerinde de meydana gelir.

2006'da Avrupalı kireç üreticileri, güncel havaya emisyon aralıklarını bildirdiler. Avrupa kireç fırınları için tipik emisyonlar Tablo 2.24'te sunulmaktadır.

Tablo 2.24: Avrupa'daki kireç fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon örnekleri

Kirlenici	Derişim		Oran/ton kireç	
	Min mg/Nm ³	Maks. mg/Nm ³	Min kg/ton kireç	Maks. kg/ton kireç
Partiküller				
Toz	1 ⁽¹⁾ – < 10	> 250	0,003 – 0,006	> 1,3
Gazlar				
NO _x	< 50 – < 100	2 500	< 0,15	> 12,5
SO ₂	< 50	> 2 000	0	> 10,0
CO ₂			987	1975
CO	100	2 500	< 0,3	> 12,5
HCl	0,02 ⁽¹⁾ – 10	> 250	0,00006	> 1,3
Dioksinler (ortalama)	0,0155 ng I-TEQ/Nm ³	0,0638 ng I-TEQ/Nm ³	4,7*10 ⁻⁸	3,2 *10 ⁻⁷
Ağır metaller (gazlı ve özel formlar) ⁽²⁾				
Arsenik	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Kadmiyum	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Bakır	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Manganez	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Cıva	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Kalay	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Tellür	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Talyum	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Vanadyum	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Krom	< 0,01	< 0,10	< 5*10 ⁻⁵	< 5*10 ⁻⁴
Antimon	< 0,01	< 0,04	< 5*10 ⁻⁵	< 2*10 ⁻⁴
Selenyum	< 0,01	< 0,06	< 5*10 ⁻⁵	< 3*10 ⁻⁴
Kobalt	< 0,01	< 0,06	< 5*10 ⁻⁵	< 3*10 ⁻⁴
Kurşun	< 0,10	> 1,00	< 5*10 ⁻⁴	< 5*10 ⁻³
Çinko	< 0,10	> 1,00	< 5*10 ⁻⁴	< 5*10 ⁻³
Emisyon derişimleri ortalamalar olup çeşitli ölçüm tekniklerine dayanan gösterge niteliğindeki değerlerdir. Aşağıdaki tipik dışa atım kuru gaz hacimlerine dayanarak, normal standart hal koşulları %11 O ₂ içeriği için normalize edilmiş 1013 hPa basınç ve 273,15 K sıcaklığı referans alır: ☐ Normal şaft fırınlar, dairesel şaft fırınlar ve paralel akışlı rejeneratif fırınlar için 3 000 Nm ³ /t kireç (min) ☐ Ön ısıtıcılı döner fırınlar için 3 700 Nm ³ /t kireç ☐ Uzun döner fırınlar için 5 000 Nm ³ /t kireç (maks) (1) Spot ölçümler (2) Alt aralık, metaller için algılama seviyesine karşılık gelir Kaynak: [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]				

2.3.3.1 Toz (PM)

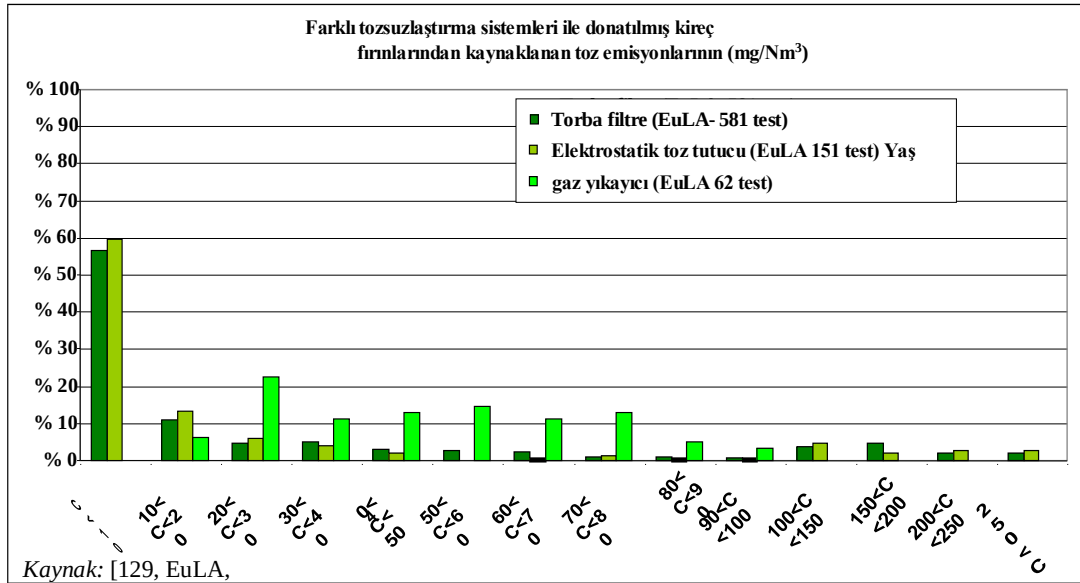
2.3.3.1.1 Kanalize toz emisyonları

Kireçtaşının kalsine edilmesi

Toz (partikül madde/PM) üretimi, kireçtaşı beslemesindeki ince bölünmüş partiküllerden, fırın içindeki termal ve mekanik (kireç ve kireçtaşının bozulması) yıpranmadan ve bir düzeye kadar yakıt külünden kaynaklanır. Tozdan arındırma teçhizatının girişindeki toz seviyeleri, fırın tasarım, kapasitesi ve kullanılan hammadde gibi bir dizi faktöre bağlı olarak büyük değişim gösterir.

Çok çeşitli dışa atım gazı koşulları nedeniyle, siklonlar, yaş gaz yıkayıcılar, torba filtreler, elektrostatik toz tutucular ve çakıl yataklı filtreler dahil olmak üzere çeşitli toz toplayıcılar kullanılır. Siklonlar tipik olarak kireç fırınlarındaki tozun yaklaşık %90'ını giderir.

Azaltım sonrasında, emisyonlar tipik olarak 10 ila 250 mg/Nm³ arasında değişir ve yaş gaz yıkayıcılar kullanılarak 20 ila 100 mg/Nm³ elde edilir. Spot ölçüm sonuçlarının verildiği Şekil 2.35, ESP'ler ve torba filtreler kullanan kireç fırınlarında yapılan testlerin % 70'inin 20 mg/Nm³'ün altında toz emisyonları verdiğini (bunların % 60'ı 10 mg/Nm³'ün altındadır) ve bu değerin yaş gaz yıkayıcı kullanan kireç fırınlarında yapılan testlerin sadece % 6'sında elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, 1,4 ila 2 mg/Nm³ aralığında fırın ateşleme işleminden kaynaklanan spot toz emisyonları da rapor edilmiştir [16, EuLA, 2001], [45, Schorcht, 2006]], [46, Almanya, 2006], [66, Avusturya, 2006], [68, EuLA, 2006], [71, Macaristan, 2006].



Şekil 2.35: AB-27'de farklı tipte toz azaltma teknikleri kullanıldığında farklı kireç fırını türlerinde ölçülen toz emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)

Almanya'da tüm şaft fırınları torba filtrelerle donatılmıştır. Torba filtrelerle baca gazı azaltımı sonrasında, toz emisyonları tipik olarak <10 ila <20 mg/Nm³ aralığındadır (spot ölçümler, standart hal, atık kullanıldığında %10 O₂). Bu seviyelere ulaşan torba filtreler, <1 ila 1,2 m³/m²•dak arasında değişen hava:kumaş alanı oranına sahiptir. Döner fırınlar ESP'lerle donatılır. Tipik emisyon aralığı 20 mg/m³'ün altındadır. Torba filtrelerden veya ESP'lerden ayrılan toz, çoğunlukla ürün olarak kullanılır. Almanya'da yaş gaz yıkayıcı ve çakıl yataklı filtrelerin kullanımının ardından elde edilen temiz gaz toz emisyonları, standart koşullar altında günlük ortalama değerler olarak ölçülen 30 ila 60 mg/Nm³ aralığındaydı. Bununla birlikte, 20 mg/Nm³'ten daha düşük toz emisyon seviyesi elde etmek üzere yaş gaz yıkayıcılar ve çakıl yataklı filtreler, torba filtrelerle ikame edilmiştir. Ölçümler, toz emisyon değerlerinin kullanılan yakıtın türüne, yani kaynağın fosil veya atık olmasına bağlı olmadığını göstermektedir. Yakıt olarak kullanılan atık durumunda, örneğin şaft fırınlarında toz emisyonları günlük ortalama değerler olarak <5 ila <10 mg/Nm³ aralığındadır [46, Almanya, 2006].

Kireç söndürme

Hidratlama tesislerinden çıkan gaz halindeki atık suyun hacmi oldukça küçüktür; seviyeler 800 m³/ton sönmüş kireç civarındadır, ancak azaltma öncesi 2 g/m³ toz içerebilir. Böylece toz oluşumu yaklaşık 1,6 kg/ton sönmüş kireç olabilir. Emisyonları tozdan arındırmak için hem yaş gaz yıkayıcılar hem de torba filtreler kullanılır. Emisyonların nem içeriği emisyon seviyesini etkileyebilir. Bu nedenle yaş gaz yıkayıcılar genellikle hidratlama tesislerinde kullanılır. Yeni nesil yaş gaz yıkayıcılar kullanıldığında, azaltma sonrası emisyon seviyeleri 10 ila 30 mg/Nm³ arasında değişir, bu da yaklaşık olarak 0,008 ila 0,024 kg/ton sönmüş kirece karşılık gelir. 2007'de İngiltere'de en modern yaş gaz yıkayıcılardan üçü 11 mg/Nm³, 17 mg/Nm³ ve 18 mg/Nm³ sonuçlarını vermiştir. Bununla birlikte, 60 mg/Nm³'e kadar toz emisyonları da rapor edilmiştir (yaş koşullarda ifade edilir) [168, TÇG CLM, 2007], [177, EULA, 2008].

Kireç öğütme

Gerekli partikül boyutundaki öğütülmüş kireci çıkarmak için tüm öğütme teçhizatından hava çekilir. Ürün, genellikle siklonlardan önce gelen torba filtrelerde havadan ayrılır. Bu nedenle toz toplama, sürecin ayrılmaz bir parçasıdır. Azaltma sonrasında, toz emisyonları tipik olarak <10 ila 50 mg/Nm³ arasında değişir. Almanya'da kireç öğütme işleminden kaynaklanan emisyon değerleri tipik olarak 20 mg/Nm³'ün altındadır.

Bağlantılı ve yardımcı süreçler/işlemler

Bir kireç tesisinin kırma, eleme, taşıma, söndürme, depolama ve boşaltma gibi neredeyse tüm bağlantılı ve yardımcı süreçleri, toz emisyonları üretebilir. Toz emisyonları muhafaza yoluyla kontrol edilir. Hava, örneğin aşağıdaki işlemler için torba filtrelerden geçirilir ve düzenli olarak ayrılır:

- ☐ birincil/ikincil kırıcı
- ☐ kireçtaşı depolama
- ☐ sönmemiş kireç için öğütme değirmenleri
- ☐ eleme makineleri
- ☐ sönmemiş kireç depolama siloları
- ☐ katı yakıtların depolanması (örneğin pulverize linyit)
- ☐ sönmemiş kirecin taşınması.

Toplanan toz genellikle ürüne geri döndürülür. Sönmemiş kirecin öğütülmesi ve taşınmasına yönelik teçhizat hafif emiş altında tutulur. Bu kaynaklardan gelen toz emisyon değerlerinin güvenilir olarak 10 ila 20 mg/m³ aralığında olduğu bildirilmektedir.

2.3.3.1.2 Difüz toz emisyonları

Difüz toz emisyon kaynakları ağırlıklı olarak hammaddelerin, yakıtların ve kirecin depolanması ve taşınması ile üretim alanında kullanılan araçlardan kaynaklanır. Olası difüz toz kaynaklarını asgari seviyeye indirmek için basit ve doğrusal bir saha yerleşim düzeni tavsiye edilir.

Örneğin hammadde ve katı yakıt stok yığınlarından yayılan toz, aşağıdaki teknikler kullanılarak azaltılabilecek sorunlara neden olabilir:

- ☐ depolama alanlarında, yükleme ve boşaltma noktalarında yeterli nemlendirme kullanımı
- ☐ yüksekliği ayarlanabilir konveyör bantların kullanımı.

Toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda, konveyörler ve asansörler kapalı sistemler olarak inşa edilir. Tesis alanında, kamyonlar tarafından kullanılan yollar difüz toz emisyonlarını önlemek üzere periyodik olarak asfaltlanır ve temizlenir. Ayrıca tesis alanında su püskürtme de uygulanır. Mümkün olduğu yerlerde kapalı depolama sistemleri kullanılır. Yanmış kirecin yüklenmesi sırasında yayılan toz emisyonlarını azaltmak için bir örnek, bir toz emme sistemi ile donatılmış esnek doldurma borularının kullanılmasıdır. Bu esnek dolum boruları, tozsuz yüklemeyi garanti eden boşaltma cihazlarıyla donatılmıştır. Kamyonun yükleme katına yerleştirilir, programlanmış bir dolum yüksekliğine ulaşılan kadar otomatik olarak yukarı doğru hareket ederler. Kamyon yaklaşık 30 cm ilerledikten sonra esnek dolum borusu yerleştirilir ve yükleme yeniden başlar [46, Almanya, 2006], [66, Avusturya, 2006].

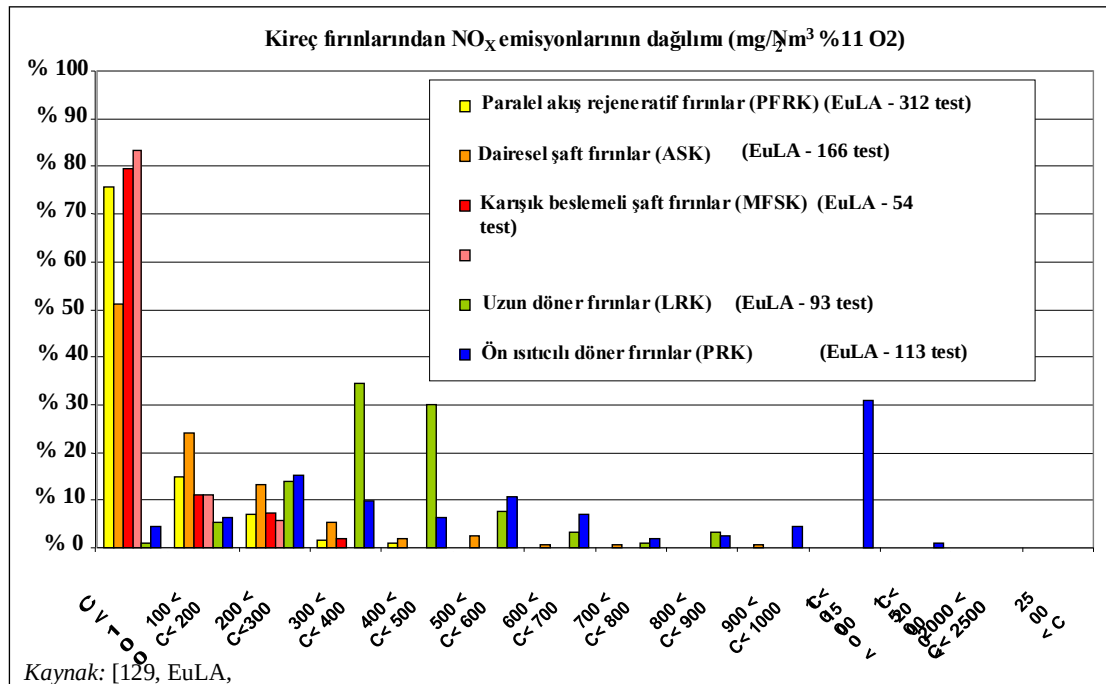
2.3.3.2 Azot oksitler

NO ve NO₂, yakıtın yanmasıyla ortaya çıkabilen, kireç üreten döner fırınların baca gazında ağırlıklı tespit edilen azot oksitlerdir (NO_x). NO_x üretiminin iki ana kaynağı vardır:

- termal NO_x, esas olarak, sıcaklığa ve kullanılan yakıtlara büyük ölçüde bağlı olan bir süreç olan, yanma havasındaki azot ve oksijenin yüksek sıcaklık reaksiyonu (termal NO_x) ile üretilir.
- yakıt kaynaklı NO_x, yakıtta bulunan azot bileşikleriyle yanma havasının oksijeni arasındaki reaksiyondan kaynaklanır.

Termal NO_x, 1 000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, yani sıcaklıkların yeterince yüksek olduğu fırın yanma bölgesinde meydana gelir. Üretilen termal NO_x miktarı, yanma bölgesinde sıcaklık ve oksijen içeriğiyle birlikte artar. Düşük reaktiviteli çok yanmış veya sinter kireç üreten fırınların, yanma bölgesinde daha yüksek sıcaklıklarla çalıştırılması gerektiğinden, bu fırınlar yüksek reaktiviteli yumuşak yanmış kireç üreten fırınlara göre daha fazla termal NO_x üretme eğilimindedir. Bu sıcaklık bağımlılığı nedeniyle, Şekil 2.36'da gösterildiği gibi dikey şaft fırınlardaki NO_x emisyonları genellikle döner fırınlara göre daha düşüktür.

Yakıt kaynaklı NO_x, yakıtta bulunan azot bileşiklerinin oksitlenmesi ile üretilir. Yanma koşullarına bağlı olarak yakıtın içindeki azot, N₂ gazını oluşturmak üzere diğer azot atomları ile birleşir veya NO_x oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girer. Döner fırınların yanma bölgesinde, sıcaklıklar genellikle yakıt azotunun yakıt kaynaklı NO_x oluşturmak üzere oksitlenmesini teşvik edecek yüksekliktedir.



Şekil 2.36: AB-27'de farklı kireç fırını türlerinde ölçülen NO_x emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)

Şekil 2.36'da gösterildiği gibi, döner fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonları fırın tipine, kullanılan yakıtlara ve üretilen kireç tipine bağlı olarak 300 ila 2000 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Spot ölçümler, bu testlerde döner fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının % 68'inin 500 mg/Nm³'ün altında olduğunu göstermektedir. Şaft fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonları kullanılan fırın tipine ve üretilen kireç tipine bağlı olarak <100 ila 500 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Spot ölçümler, bu testlerde şaft fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının % 60'ının 100 mg/Nm³'ün altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca, PFRK,

MFSK ve OSK'lerin yaklaşık % 80'inin yanı sıra, ASK'lerin % 50'si yarım saatlik ortalamalar olarak ölçülen $<100 \text{ mg/Nm}^3$ NO_x emisyon değerlerine ulaşmaktadır.

Döner fırınlar (uzun döner fırınlar (LRK) veya ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK))

Alev kontrolü iyidir ve alev sıcaklıkları şaft fırınlara göre daha yüksektir. Isı aktarım süreçleri nedeniyle, fırın gazlarının azami sıcaklığı da yüksek olup bu durum termal NO_x seviyelerinin artmasına neden olur.

Sinter dolim ağırlıklı olarak döner fırınlarda üretilir. Proses daha yüksek sıcaklıklar gerektirdiğinden, daha da yüksek NO_x seviyeleri ile sonuçlanır.

Bu fırınlar için NO_x emisyonları, üretilen kireç/dolie tipine (yumuşaktan sert yanmaya) bağlı olarak genellikle $300 \text{ ila } 2000 \text{ mg/Nm}^3$ arasında değişir ve yakıtlardaki azot içeriğine, proses sıcaklıklarına, fazla havaya ve üretilen ürüne bağlıdır. Aşağıdaki baca gazı akışlarına dayalı olarak:

- ☐ LRK için %11 O_2 ile $5000 \text{ Nm}^3/\text{t}$
- ☐ PRK için %11 O_2 ile $4000 \text{ Nm}^3/\text{t}$

özgül azot oksit akışı, LRK için $1,5 \text{ ila } 10 \text{ kg/t}$ kireç ve PRK için $1,2 \text{ ila } 8 \text{ kg/t}$ kireç aralığındadır.

Şaft fırınlar (diğer fırınlar (OK), karışık beslemeli (MFSK), dairesel (ASK) ve paralel akışlı rejeneratif (PFRK))

Şaft fırın tipleri döner fırınlara göre daha az NO_x yayar çünkü şaft fırınlardaki sıcaklıklar genellikle 1400°C 'nin altındadır, dolayısıyla termal NO_x oluşumu nispeten daha düşüktür.

Ek olarak, yanma prosesleri genellikle döner fırınlara göre nispeten daha düşük alev sıcaklıkları üretir ve bu da düşük yoğunluklu karıştırma koşullarıyla birlikte daha düşük yakıt kaynaklı NO_x seviyelerine neden olur.

Bu fırınlar için NO_x emisyonları, üretilen kireç/dolim türüne bağlı olarak genellikle $100 \text{ ila } 500 \text{ mg/Nm}^3$ arasında değişir. Aşağıdaki baca gazı akışlarına dayalı olarak:

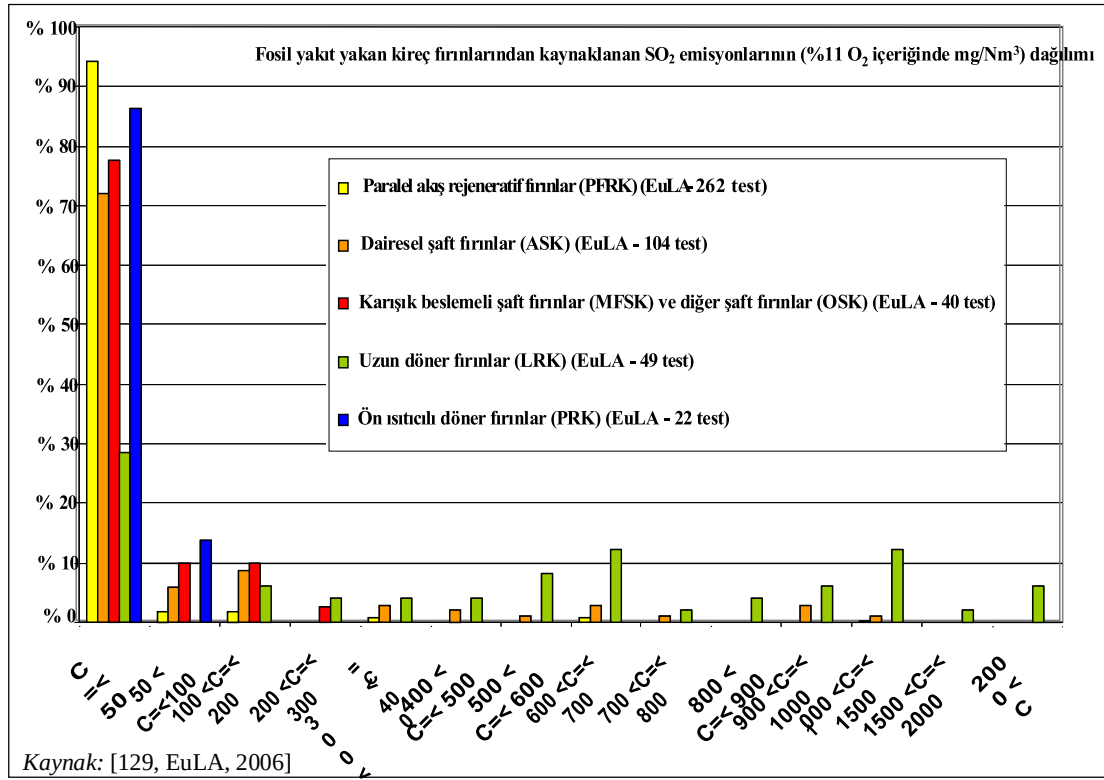
- ☐ PFRK ve ASK için $3000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ (%11 O_2)
- ☐ MFSK ve OK için $2500 \text{ Nm}^3/\text{t}$ (%11 O_2)

özgül azot oksit akışı, PFRK/ASK için $0,3 \text{ ila } 1,5 \text{ kg/t}$ kireç ve MFSK/OK için $0,25 \text{ ila } 1,3 \text{ kg/t}$ kireç aralığındadır.

Bununla birlikte, şaft fırınların çok yanmış kalsiyum kireci veya sinter dolomit üretmek için kullanıldığı yerlerde, 2000 mg/Nm^3 'e varan daha yüksek NO_x emisyon seviyeleri bulunabilir.

2.3.3.3 Kükürt dioksit

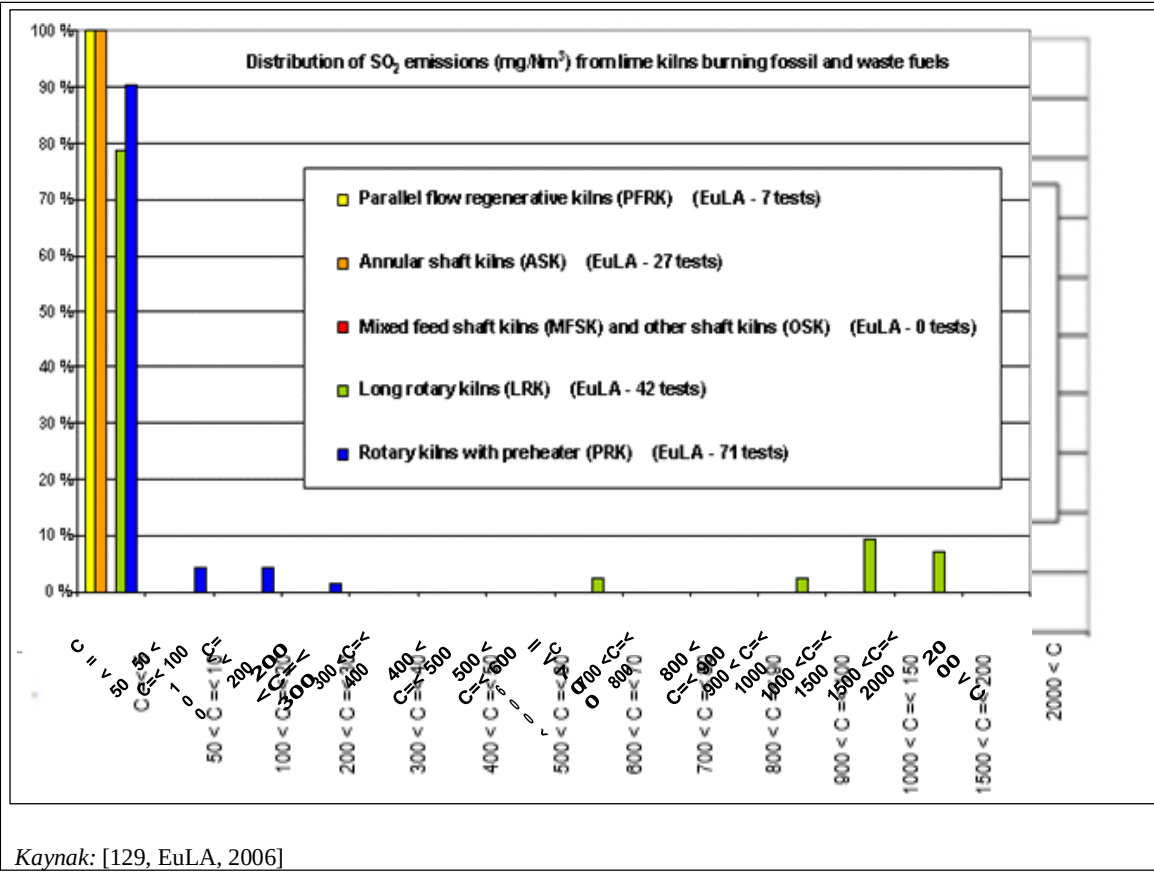
Çoğu kireç yakma işleminde sönmemiş kireç, kireçtaşından ve yakıttan kaynaklanan kükürtün büyük kısmını yakalar. Fırın gazları ve sönmemiş kireç arasında verimli temas genellikle kükürt dioksitin verimli bir şekilde emilmesini sağlar. AB-27 kireç fırınları tipik olarak yarım saatlik ortalama değerleri 50 mg/Nm^3 'ün altında SO_2 emisyonları bildirmektedir. Bunlar, Şekil 2.37'de gösterildiği gibi kireç üretimi için kullanılan fırına bağlıdır.



Şekil 2.37: AB-27'de fosil yakıtlar kullanılan farklı kireç fırını türlerinde ölçülen SO₂ emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)

Şekil 2.37'de gösterildiği gibi, döner fırınlardan kaynaklanan SO_x emisyonları fırına, kullanılan yakıt tipine ve üretilen kireç tipine bağlı olarak 50 ila 2000 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Spot ölçümler, bu testlerde döner fırınlardan kaynaklanan SO_x emisyonlarının %63'ünün 500 mg/Nm³'ün altında olduğunu göstermektedir. Şaft fırınlardan kaynaklanan SO_x emisyonları kullanılan fırın tipine ve üretilen kireç tipine bağlı olarak <50 ila 1000 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Spot ölçümler, bu testlerde şaft fırınlardan kaynaklanan SO_x emisyonlarının %87'sinin 50 mg/Nm³ veya altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca spot ölçümler, bu testlerde PFRK'den kaynaklanan SO_x emisyonlarının %90'ından fazlasının <50 mg/Nm³ ve OSK'den kaynaklanan SO_x emisyonlarının %90'ının <200 mg/Nm³ olduğunu göstermektedir (yarım saatlik değerler olarak ölçülür). Ayrıca, ön ısıtıcılı (PRK) döner fırınların yaklaşık %90'ı, dairesel şaft fırınların (ASK), diğer şaft fırınların (OSK) ve karışık beslemeli şaft fırınların (MFSK) yaklaşık % 78'i 50 mg/Nm³ veya daha düşük bir değere ulaşmaktadır (yarım saatlik değer olarak ölçülür).

Ateşleme için atık yakıtlar kullanılarak %100 PFRK ve ASK, % 90 PRK ve LRK'nin yaklaşık % 80'i, Şekil 2.38'de gösterildiği gibi 50 mg/Nm³ veya altında (yarım saatlik ortalama değer olarak ölçülür) SO_x emisyonlarına ulaşır.



Şekil 2.38: AB-27'de fırında pişirmede yakıt atık ve fosil yakıtlar kullanılan farklı kireç fırını türlerinde ölçülen SO₂ emisyonları (yarım saatlik aralıklarla yapılan spot ölçümlerden elde edilen değerler)

Uzun döner fırınlar (LRK)

Uzun döner fırınlar, indirgeyici atmosferde düşük kükürtlü sönmemiş kireç üretme kabiliyetine sahiptir. Bu durumda, yakıt ve kireçtaşındaki kükürtün bir kısmı, başta dışa atım gazlarında olmak üzere kükürt dioksit olarak dışarı atılır.

Bu fırınlar için SO_x emisyonları, kullanılan yakıt tipine ve farklı ürün kaliteleri için gerekli olan indirgen veya yükseltgen atmosfere bağlı olarak genellikle 50 ila 1500 mg/Nm³ arasında değişir. İşletmeci düşük kükürt içerikli yakıtlara her zaman erişim sağlayamadığından, daha yüksek emisyonlar yüksek kükürtlü yakıtlarla ilişkilidir. 5 000 Nm³/t (%11 O₂) özgül baca gazı akışına dayalı olarak, özgül kükürt oksit akışı 0,3 ila 7,5 kg/t kireç aralığındadır.

Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)

Ön ısıtıcılı döner fırınlar ayrıca indirgeyici atmosferde düşük kükürtlü sönmemiş kireç üretme kabiliyetine sahiptir, ancak bu durumda yakıttaki kükürtün bir kısmı esas olarak kireç ve toz tarafından tutulur. Bu nedenle, kükürt emisyonları LRK'ye göre daha düşüktür.

Bu fırınlar için SO_x emisyonları, kullanılan yakıt tipine ve farklı ürün kaliteleri için gerekli olan indirgen veya yükseltgen atmosfere bağlı olarak genellikle 50 ila 400 mg/Nm³ arasında değişir. 4000 Nm³/t (%11 O₂) özgül baca gazı akışına dayalı olarak, özgül kükürt oksit akışı 0,2 ila 1,6 kg/t kireç aralığındadır.

Şaft fırınlar (diğer fırınlar (OK), karışık beslemeli (MFSK), dairesel (ASK) ve paralel akışlı rejeneratif (PFRK))

Şaft fırınlarda, fırın gazları ve sönmemiş kireç arasındaki verimli temas, genellikle kükürt dioksitin etkin bir şekilde emilmesini sağlar (bu, yüksek kükürt içerikli yakıt söz konusu olduğunda yüksek kükürtlü sönmemiş kirecin oluşmasına neden olabilir).

Bu fırınlar için SO_x emisyonları, üretilen kireç/dolim türüne bağlı olarak genellikle 50 ila 400 mg/Nm³ arasında değişir. Buna istisna olan ASK'nin durumunda azami değer 1 000 mg/Nm³'ü bulabilir. Aşağıdaki baca gazı akışlarına dayalı olarak:

- ☐ PFRK ve ASK için 3000 Nm³/t (%11 O₂)
- ☐ MFSK ve OK için 2500 Nm³/t (%11 O₂)

Özgül kükürt oksit akışı, PFRK/ASK için 0,2 ila 1,2 kg/t kireç ve MFSK/OK için 0,1 ila 1,0 kg/t kireç aralığındadır.

2.3.3.4 Karbon oksitler (CO_x)

2.3.3.4.1 Karbon dioksit (CO₂)

CO₂ emisyonları sera gazı olarak belirlenir ve raporlanır. Kireç endüstrisinden kaynaklanan CO₂ emisyonları, Emisyon Ticareti Planına dahildir. CO₂ emisyonları ve Emisyon Ticareti Planı ile ilgili bilgi Topluluk içinde sera gazı emisyonu ticaretine imkan tanıyan bir planı ortaya koyan ve 2009/29/AK sayılı Direktifle tadil edilen, Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in 13 Ekim 2003 tarih ve 2003/87/AK sayılı Direktifinde bulunabilir [99, Avrupa Birliği, 2003] [191, Avrupa Birliği, 2009].

Kireç/dolim üretimindeki temel mineralojik reaksiyon şu şekilde ifade edilebilir:

- ☐ kireç: $CaCO_3 + \text{enerji} \rightarrow CaO + CO_2 \text{ süreci} + CO_2 \text{ yanması}$
- ☐ dolim: $CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{enerji} \rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2 \text{ süreci} + CO_2 \text{ yanması}$

(CO₂ süreci) enerji tüketimiyle belirlenen kireç/dolim üretimiyle
(CO₂ yanması) belirlenir

Fırın tipine göre proses ve yanma CO₂ miktarları Tablo 2.25'te gösterilmektedir.

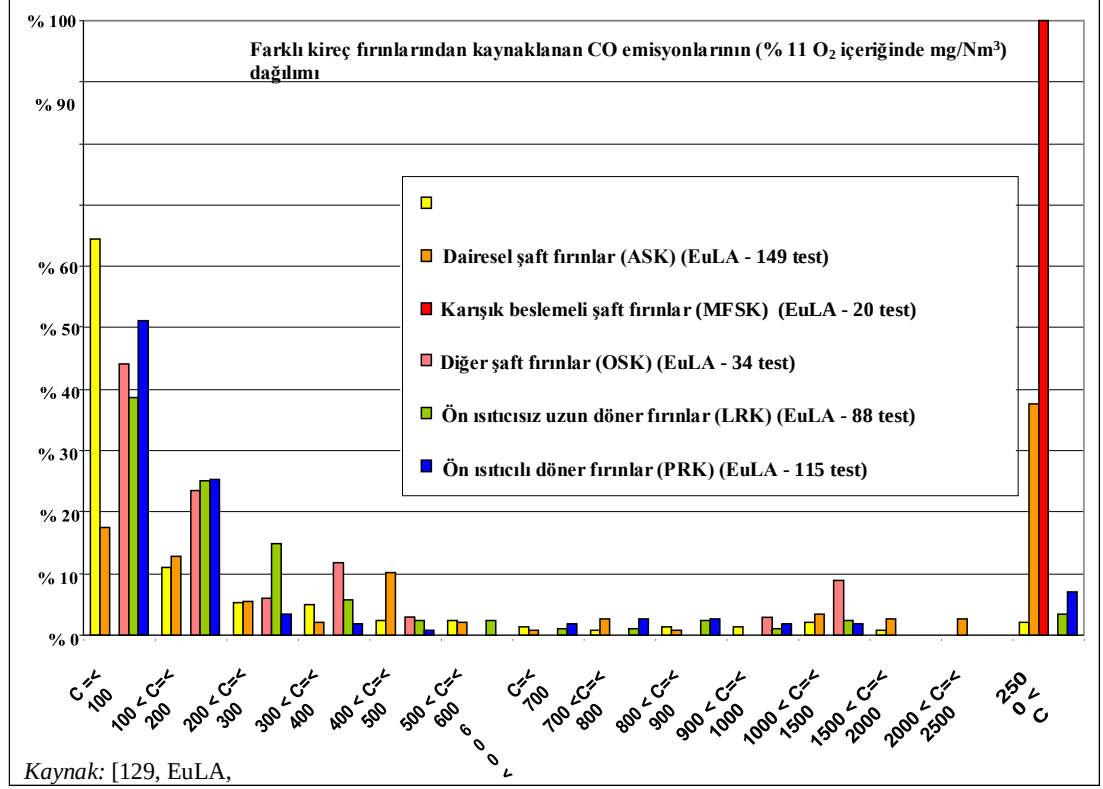
Tablo 2.25: Kireç endüstrisinde farklı fırın tiplerinden kaynaklanan CO₂ emisyon faktörleri

Fırın tipi ⁽¹⁾	Ton kireç (CaO) başına ton proses CO ₂ ⁽²⁾	Ton dolim (CaO.Mgo) başına ton proses CO ₂ ⁽²⁾	Ton kireç/dolim başına ton yanma CO ₂	Toplam aktivite CO ₂ emisyonu faktörü
Uzun döner fırınlar (LRK)	0,785	0,913	0,365 – 1,062	Kireç 1,150 – 1,847 Dolim 1,278 – 1,975
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)	0,785	0,913	0,269 – 0,617	Kireç 1,054 – 1,402 Dolim 1,182 – 1,530
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	0,785	0,913	0,202 – 0,425	Kireç 0,987 – 1,210 Dolim 1,115 – 1,338
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	0,785	0,913	0,224 – 0,465	Kireç 1,009 – 1,250 Dolim 1,137 – 1,378
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	0,785	0,913	0,224 – 0,708	Kireç 1,009 – 1,493 Dolim 1,137 – 1,621
Diğer fırınlar (OK)	0,785	0,913	0,224 – 0,508	Kireç 1,009 – 1,291 Dolim 1,137 – 1,419
(1) Fırın tipi, gerekli ürün kalitesine, kireçtaşı kalitesine ve girdi granülometrisine bağlıdır (2) UNFCCC IPCC yönergeleri tarafından tanımlanan proses CO₂ emisyon faktörü. Daha fazla bilgi, 'Ulusal Sera Gazı Envanterleri için 2006 IPCC Yönergeleri, 3. Cilt, Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı'nda bulunabilir. Kaynak: [54, EuLA, 2006]				

2008 yılına kadar, AB-27'nin çoğu ülkesinde ton sönmemiş kireç başına karbon dioksit emisyonları, yalnızca eski fırınların termal olarak daha verimli tasarımlarla değişimi değil, aynı zamanda enerji kullanımının iyileşmesi (örneğin, daha iyi proses kontrolüyle) ve üretkenliğin artmasından (örneğin üretilen atık toz miktarını azaltarak) kaynaklı olarak da azalmıştır.

2.3.3.4.2 Karbon monoksit (CO)

Kireç tesislerinden kaynaklanan tipik CO emisyonları Şekil 2.39'da gösterilmektedir. Kireç fırınlarından kaynaklanan CO emisyonları kullanılan fırın tipine ve yakıt tipine bağlı olarak <100 ila 2 500 mg/Nm³ arasında değişmektedir. Spot test sonuçlarının yaklaşık % 50'si 100 mg/Nm³'ün altında CO emisyon değerleri göstermektedir.



Şekil 2.39: AB-27'deki farklı kireç fırını türlerinden kaynaklanan CO emisyonları

Kireç fırınlarında yapılan deneyler, termal oksitleme kullanılarak hacimce %2'lik CO derişimlerinin güvenli bir şekilde yönetilebileceğini göstermektedir. Ancak temiz gazdaki CO emisyon derişimi her zaman < 100 mg/Nm³'tür [142, EnvNGO/Tebert, 2007].

CO derişimi bacanın dibinde ölçülür. Atmosfere girdiğinde CO₂ oluşturmak üzere hızla oksitlenir ve dağılır.

Eksik yanmadan kaynaklanan karbon monoksit (CO) emisyonları genelde verim kaybına işaret eder. Bu nedenle işletmeciler fırınların CO emisyonlarını kısıtlamaya çalışma eğilimindedir.

Döner fırınlar

CO emisyonları, borunun çıkış ucunda sürekli olarak izlenir. CO emisyonları, kireçtaşı ve/veya yakıtta kükürt bulunduğu hede flenen kireç kalitesiyle bağlantılıdır.

Bu fırınlar için CO emisyonları, üretilen kireç/dolim türüne bağlı olarak genellikle 100 ila 400 mg/Nm³ arasında değişir. Aşağıdaki baca gazı akışlarına dayalı olarak:

- ▮ LRK için % 11 O₂ ile 5000 Nm³/t
- ▮ PRK için % 11 O₂ ile 4000 Nm³/t

Özgül karbon monoksit akışı, LRK için 0,5 ila 2,0 kg/t kireç ve PRK için 0,4 ila 1,6 kg/t kireç aralığındadır.

Şaft fırınlar (diğer fırınlar (OK), karışık beslemeli (MFSK), dairesel (ASK) ve paralel akışlı rejeneratif (PFRK))

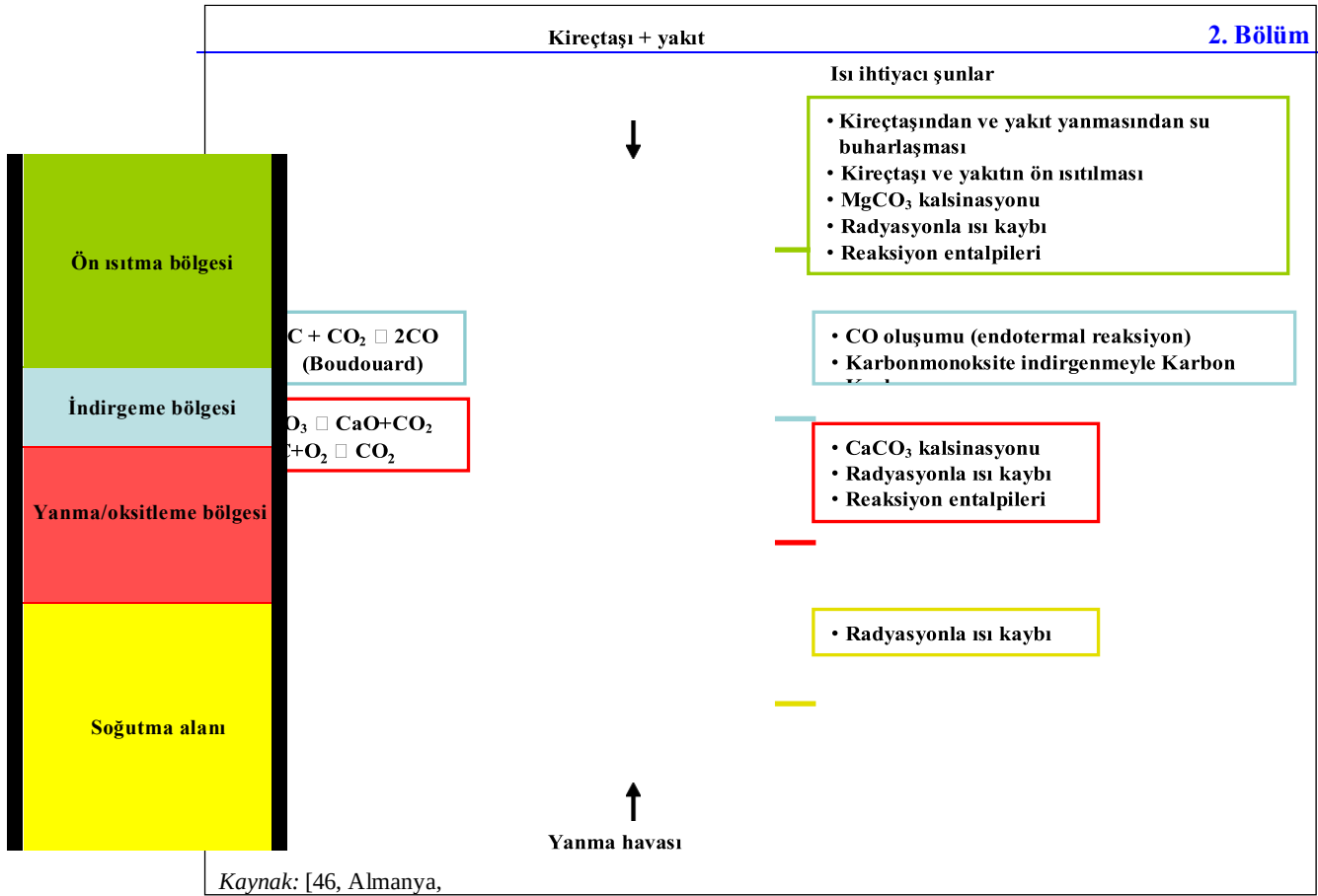
Dairesel şaft fırınlar (ASK), temel tasarımları nedeniyle alt brülör seviyesinde oksijen fazlası ile, üst brülör seviyesindeyse stokiometrik koşullar altında çalıştırılır. Bu nedenle, tipik emisyon aralığı 100 ila 2500 mg/Nm³'tür. 3000 Nm³/t (%11 O₂) özgül baca gazı akışına dayalı olarak, özgül karbon monoksit akışı 0,3 ila 7,5 kg/t kireç aralığındadır.

Diğer şaft fırınlar (OSK) için, ölçümlerin sayısı, CO emisyonları için tutarlı aralıkların belirtilmesine izin vermemektedir.

Karışık besleme şaft fırınlar için, diğer yakma proseslerinin aksine, kireç fırınlarının CO emisyon seviyesinin mutlaka eksik yanmayı göstermediğine dikkat edilmelidir. Kireç fırınlarının çalışma koşulları her zaman ürün gereksinimlerine, yani yanmış kirecin istenen özelliklerine göre belirlenir. Daha yüksek CO emisyonları, fırının daha yüksek enerji tüketimine karşılık geldiğinden (atık gazdaki + % 1 CO, yaklaşık 200 kJ/kg kireç ek enerji tüketimine denk gelir), kireç fırınları genellikle CO emisyonlarını söz konusu ürünlere bağlı olarak mümkün olduğunca düşük tutacak şekilde çalıştırılır. Alman kireç endüstrisinde genel olarak, proses optimizasyon teknikleri ile atık gazdaki CO seviyesi % 3'ün altında tutulmaktadır. CO emisyonlarını azaltmak için proses optimizasyonu tek seçenektir [46, Almanya, 2006]. Ayrıca karışık beslemeli şaft fırınlar için, belirli ürünlerin üretiminde % 1 ila 6 aralığında CO emisyonları gözlemlenebilir. Bu durumlarda, gerekli ürün kalitesini üretmek için kontrollü karbon monoksit seviyeleri gereklidir. Bununla birlikte, bazı kireç uygulamaları, esas olarak karışıka beslemeli şaft fırınlarda üretilen çok yanmış kireci gerektirir. Karışık besleme şaft fırınların CO emisyonları, Şekil 2.40'ta gösterildiği gibi Boudouard reaksiyonu ile belirlenir.

Paralel akışlı rejeneratif fırınlar (PFRK) için, döngülerin başında çok kısa CO pikleri görülür. Döngünün sonunda, yakıt enjeksiyonu durdurulur ve 'tersine çevrim' öncesinde, tüm yakıtın yanmasını sağlamak için bir süreliğine sadece hava enjekte edilir. Deneyimler, buna rağmen, boruların altında az miktarda yakıt kalabileceğini göstermektedir. Tersine çevrimden sonra, yanma elverişsiz koşullarda devam eder ve bir CO 'piki' üretir.

Bu fırınlar için CO emisyonları, üretilen kireç/dolım türüne bağlı olarak genellikle 100 ila 400 mg/Nm³ arasında değişir. 3000 Nm³/t (%11 O₂) özgül baca gazı akışına dayalı olarak, özgül karbon monoksit akışı 0,3 ila 1,2 kg/t kireç aralığındadır.



Şekil 2.40: Karışık besleme şaft fırında kimyasal reaksiyonlar ve enerji kullanımı (Boudouard reaksiyonu)

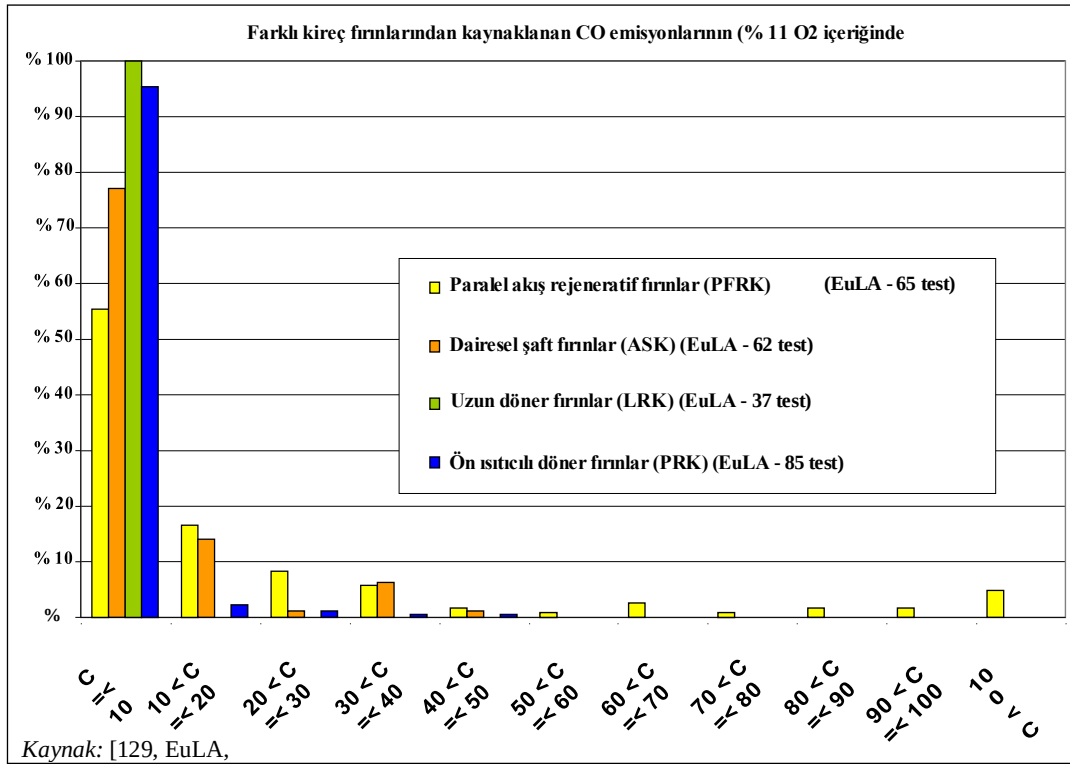
Boudouard reaksiyonu esas olarak oksijensiz atmosferdeki yakıtın sıcaklık profili ile belirlenir. Diğer önemli faktörler, tane boyutu, yakıtın reaktivitesi, besleme stoğunun homojenliği, hava hızı ve başlangıç CO_2 içeriğidir. CO üretim hızı, indirgeme bölgesinde daha yüksek sıcaklıklar olduğunda artar. Bu nedenle, karışık beslemeli şaft fırınlardan kaynaklanan CO emisyonlarının önlenmesi zor ve bir dereceye kadar imkansız olabilir [46, Almanya, 2006].

Hidrolik kireç üretimi

Bazı kireçtaşları, %65 – 90 $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ içeren kireçtaşının kullanıldığı OSK işletilen doğal hidrolik kireç tesislerinde (bkz. Bölüm 2.2.2) olduğu gibi, kireç yakma işleminde daha yüksek CO emisyonlarına yol açabilen karbon içeriğine sahiptir. Bu hammaddenin saflığı, diğer kireç türlerinin üretiminde kullanılan hammaddelerden farklıdır. 2003 ve 2006 yılları arasındaki periyodik ölçümlerde (yılda iki kez) 5904 ila 12560 mg/Nm^3 (spot ölçüm, % 8 O_2 , standart durum) aralığında CO emisyon değerleri ölçülmüştür (sırasıyla 4 541 – 9 555 mg/Nm^3 % 11 O_2) [128, Portekiz, 2007].

2.3.3.5 Organik bileşikler/toplam organik karbon (TOK)

UOB emisyonları tipik olarak toplam organik karbon (TOK) olarak ölçülür. Özel analiz, TOK'nin bir kısmının esas olarak metandan kaynaklandığını göstermiştir, ancak ölçüm sonucunda benzen de bulunmuştur. Karışık besleme şaft fırınlarda, emisyonlarda %80 – 90 metan ve %2 benzen gözlemlenir [46, Almanya, 2006] [54, EuLA, 2006]. Farklı tipteki kireç fırınlarında (LRK, PFRK, ASK) toplam organik karbon (TOK) olarak ölçülen tipik organik bileşik emisyonları Şekil 2.41'de gösterilmektedir.



Şekil 2.41: AB-27'deki farklı kireç fırını türlerinden kaynaklanan TOK emisyonları

UOB emisyonları genellikle eksik yakıt yanmasından kaynaklanan CO emisyonları ile ilişkilidir. İşletmeci, fırınların CO emisyonlarını sınırlama eğiliminde olduğundan, UOB emisyonları genellikle düşük kalır. Hammadde olan kireçtaşının % 0,1'e varan organik madde içerdiği çok sınırlı sayıda durumda, uçucu organik bileşikler sürekli olarak yayılabilir.

Paralel akışlı rejeneratif fırınlar (PFRK) ve karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK) dışındaki tüm fırın türleri için bu emisyonlar, başlatma sırasında kısa süreler için veya arıza koşullarından kaynaklı olarak meydana gelir ve bu nedenle 10 mg/Nm³'ün (eqC) altında emisyon seviyelerine yol açar. PFRK için süreç, her 10 ila 12 dakikada bir yanma koşullarında döngüsel değişiklikler gerektirir. Bu nedenle, UOB emisyon seviyeleri, diğer fırın türleri için gözlenen seviyelerin biraz üzerindedir. Daha eski MFSK'larda, fırının üst kısmındaki (indirgeyici alanlar) özel proses koşulları nedeniyle daha yüksek TOK emisyonları meydana gelebilir.

Hidrolik kireç üretimi

Doğal hidrolik kireç üretimi durumunda emisyon durumu farklıdır. Kullanılan hammaddenin saflığı, diğer kireç türlerinin üretiminde kullanılan hammaddeden farklıdır. Hammaddedeki yüksek organik madde içeriği, yüzyıllar boyunca organizmalar tarafından karbondioksit ve suya dönüştürülmek yerine bunların materyal içinde fosilleşmesinden kaynaklanmaktadır. Organik malzeme içeriği (TOK olarak ifade edilir) tipik olarak %0,8 – 5 aralığındadır. 2005 yılına ait bir vaka çalışması, organik maddede ham madde içeriği %2,8 ila %5 arasında olduğunda, kalsine ürünlerdeki TOK içeriğinin % 0,7 ile 1,2 arasında olduğunu göstermektedir. Kireçtaşının önemli miktarda organik madde içerdiği az sayıda durumda, uçucu organik karbonun (TOC olarak ifade edilir) sürekli olarak salınımı söz konusu olabilir. 2003 ve 2006 yılları arasındaki periyodik ölçümlerde (yılıda iki kez), 593 ila 2169 mg/Nm³ (spot ölçüm, %8 O₂, standart hal) aralığında TOK emisyon değerleri ölçülmüştür (% 11 O₂ ile sırasıyla 456 – 1668 mg/Nm³) [127, Portekiz, 2007].

2.3.3.6 Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranlar (PCDF)

Klorür içeren ham maddeler veya yakıtlar, sıcaklıkların 300 ila 450 °C arasında değiştiği herhangi bir proses bölgesinde PCDD/F oluşumuna neden olma potansiyeline sahiptir.

'Avrupa'da Önemli Endüstriyel Dioksin ve Furan Kaynaklarının Belirlenmesi' belgesinde rapor edilen veriler, Avrupa'daki toplam PCDD/F emisyonları bakımından kireç üretim tesislerinin az önem taşıdığını göstermektedir [31, LUA NRW, 1997].

PCDD/F durumuna daha iyi bir genel bakış elde etmek üzere kireç endüstrisi, çoğu dahili amaçlara yönelik ölçümler gerçekleştirmiştir. Tablo 2.26'da gösterildiği gibi, 2006 yılında mevcut olan veriler AB-27'deki kireç üretimini büyük ölçüde temsil etmektedir.

Tablo 2.26: AB-27'deki farklı fırın türleri için ortalama PCDD/F emisyonları

Fırın tipi	Ortalama emisyonlar PCDD/F (ng I-TEQ/Nm ³ (%11 O ₂))	İzlenen fırın sayısı	AB-27'deki toplam fırın sayısı	Yüzde (%)
Uzun döner fırınlar (LRK)	0,0638	11	25	44
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)	0,0698	15	20	75
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	0,0198	45	149	30
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	0,0155	40	77	52
Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	0,0532	25	115	22
Diğer fırınlar (OK)	0,0050	1	158	0,6

Kaynak: [54, EuLA, 2006]

2.3.3.7 Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)

AB-27'deki çeşitli kireç fırınlarından kaynaklanan tipik HCl ve HF emisyonlarına örnekler Tablo 2.27'de verilmektedir.

Tablo 2.27: AB-27'deki çeşitli kireç fırınlarından kaynaklanan tipik HCl ve HF emisyonları

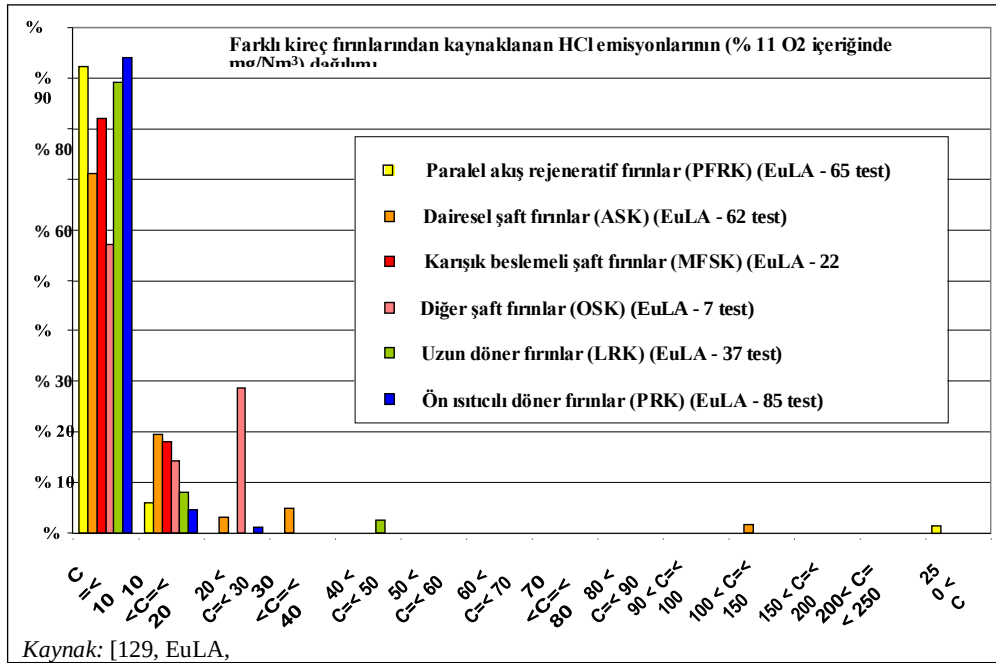
Fırın tipi	mg HCl/Nm ³ (1)	mg HF/Nm ³ (1)
Sönmemiş kireç (az ila çok yanmış)		
Uzun döner fırınlar (LRK)	<5 – <50	<1
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK) (2)	<5 – <20	<1
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	<10	<1
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	<20 – <40	<2
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	<15 – <20	<1
Diğer fırınlar (OK)	<10	<1
Dolim (az yanmıştan sinterlenmiş)		
Uzun döner fırınlar (LRK)	<150	<1
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)	<30	<1
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	<20	<1
Atıkların kullanımı		
Farklı fırın türleri	10(3)	1(3)
	60(4)	4(4)
(1) Emisyon derişimleri, yarım saatlik ortalama değerler olarak ölçülür ve kıyaslanabilirlik için %10 O ₂ referansı ile ilişkilendirilir		
(2) Izgara ön ısıtıcılı döner fırın		
(3) Günlük ortalama değer		
(4) Yarım saatlik ortalama değer		

Kaynak: [46, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]

Kireç fırınlarındaki HCl davranışı SO₂ ile çok benzerdir. Bundan dolayı kireç yakma işlemlerinin çoğunda, ham maddede (kireçtaşı) ve yakıtta bulunan klorun çoğu sönmemiş kireç tarafından tutulur. Fırın gazları ve kireç/dolim arasında verimli temas genellikle verimli HCl Emilimini sağlar. Bu, özellikle fırın gazları ile kireç/dolim arasında verimli temasın olduğu dikey fırınlar için geçerlidir. Bununla birlikte, şaft fırınlardan kaynaklanan HCl emisyonları esas olarak kireçtaşıdaki klor bileşiği içeriğine bağlıdır. Kuru kireçtaşı yakıldığında HCl emisyonları daha yüksek olma eğilimindedir. Bazı durumlarda, baca gazına su enjekte edilerek HCl emisyonları azaltılabilir.

Klor içeriği dolomitte (100 ila 1000 ppm) kireçtaşına göre (10 ila 150 ppm) daha yüksek olduğundan, ilgili HCl emisyonları genellikle dolim üretiminde daha yüksektir. Bu nedenle dolim üreten döner fırınlar için, klorlu yakıt kullanılsa bile bu emisyonların 10 mg/Nm³ (atık yakma tesisleri yönetmeliği eşiği) emisyon değerini aşabileceği gözlemlenmiştir.

Farklı tipteki kireç fırınlarında (LRK, PFRK, ASK) tipik HCl emisyonlarının dağılımı Şekil 2.42'de gösterilmektedir.



Şekil 2.42: AB-27'deki farklı kireç fırınlarından kaynaklanan HCl emisyonları

Bazı durumlarda atıkların yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılmasıyla HCl için 10 mg/Nm³ ve HF için 1,0 mg/Nm³ emisyon değerleri günlük ortalama değerler (% 10 oksijen içeriği) olarak belirlenir. Bu emisyon seviyelerinin spot veya periyodik ölçümler sırasında da korunması gerekir [46, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

2.3.3.8 Hidrojen sülfür (H₂S)

Karışık beslemeli şaft fırınların üst kısmında meydana gelen güçlü indirgeme koşulları nedeniyle H₂S emisyonları sadece bu fırın tipinden kaynaklanmaktadır. 20 mg/Nm³'e kadar emisyonlar gözlenmiştir.

Ancak, taş ve yakıt gibi fırın beslemesindeki kükürt içeriği ile H₂S emisyonları arasında bir bağlantı bulunamadı. Bunun nedeni, kükürtün (fırın beslemesinde) kısmen, örneğin organik bağlı veya element kükürt gibi indirgenmiş formda, kısmen de örneğin sülfat gibi yükseltgenmiş formlarda mevcut olmasıdır. Tipik kükürt analizi yalnızca bu ikisinin

toplamını gösterdiğinden, her ikisinin oranı genellikle bilinmez. Ancak, karışık besleme şaft fırının üst kısmında gerçekleşen kimyasal süreçler sırasında, kükürtün yalnızca indirgenmiş veya element formları H_2S oluşumuna yol açar [46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006].

2.3.3.9 Metaller

Güncel durumda şu metaller için büyük miktarda veri mevcuttur: antimon, arsenik, kadmiyum, krom, kobalt, bakır, kurşun, manganez, cıva, nikel, selenyum, tellür, talyum, vanadyum ve çinko. Ayrıca, Bölüm 6.3.4'teki bir örnekte gösterildiği gibi, atık malzemelerin kullanımından metal emisyonları da meydana gelebilir (bkz. Tablo 6.40).

AB-27'deki metal emisyonlarına ilişkin veri Tablo 2.28'de gösterilmektedir. Bu tabloda, (C) sonuçları % 11 oksijen içeriğini referans almakta olup buhar ve partikül formundaki metallerin bir derlemesi niteliğindedir. Ölçülen derişimin algılama sınırından az olduğu durumlarda, sonucun algılama sınırına eşit olduğu varsayılmıştır. Bu ölçümlerin çoğunun sonucuna göre emisyonlar, atık yakıtların kullanıldığı durumda bile analitik algılama sınırlarının altındadır. Bundan yola çıkarak emisyon değerleri 0,01 – 0,1 mg/Nm³ aralığındadır. Kurşun ve çinko için, daha yüksek toz emisyonunun olduğu bazı özel durumlarda 0,40 mg/Nm³'e varan değerler gözlemlenebilir.

AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki farklı metal derişimlerinin dağılımına ilişkin ayrıntılı şekiller Bölüm 6.3.1'de gösterilmektedir [56, EuLA, 2006].

2. Bölüm

Tablo 2.28: AB-27'de farklı metal emisyonlarına ulaşan tesis sayısı

Metaller	mg/Nm ³ cinsinden metal emisyonu sonuçları (C)										
	C≤0.010	0.010<C<0.020	0.020<C<0.030	0.030<C<0.040	0.040<C<0.050	0.050<C<0.060	0.060<C<0.070	0.070<C<0.080	0.080<C<0.090	0.090<C<0.100	0.100<C
Arsenik (As)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	283	7	1	1	0	0	1	1	1	1	2
Kadmiyum (Cd)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	279	30	9	8	0	1	0	0	0	0	2
Kobalt (Co)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	248	15	1	0	3	1	0	0	0	0	0
Krom (Cr)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	242	30	13	13	3	1	0	0	0	0	2
Bakır (Cu)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	254	20	6	4	1	5	7	1	1	0	3
Cıva (Hg)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	237	27	10	6	3	0	0	0	0	0	3
Manganez (Mn)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	206	25	11	6	5	3	3	2	1	0	13
Nikel (Ni)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	230	36	19	14	4	0	4	0	1	0	5
Kurşun (Pb)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	292	21	9	1	2	1	1	0	0	0	3
Antimon (Sb)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	255	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Selenyum (Se)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	139	3	5	0	0	1	0	0	0	0	0
Kalay (Sn)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	145	33	5	5	2	4	2	0	0	2	9
Tellür (Te)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	124	6	2	0	0	0	0	0	0	0	1
Talyum (Tl)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	159	40	18	10	1	1	0	0	0	1	0
Vanadyum (V)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	210	19	2	1	0	1	0	0	0	0	11
	mg/Nm ³ cinsinden metal emisyonu sonuçları (C)										
	C≤0.1	0.1<C≤0.2	0.2<C≤0.3	0.3<C≤0.4	0.4<C≤0.5	0.5<C<0.6	0.6<C<0.7	0.7<C<0.8	0.8<C<0.9	0.9<C<1	1<C
Çinko (Zn)											
Tüm yakıt, fırın, toz giderme sistemi türleri	184	14	11	5	1	3	1	0	2	0	9
Kaynak: [56, EuLA, 2006]											

2.3.3.10 Atık malzemelerin kullanılmasının emisyon davranışı üzerindeki etkisi

2.3.3.10.1 Atık yağ kullanımı için emisyon örnekleri

Bir Alman örnek tesisi, yakıt olarak atık yağ kullanan bir şaft fırından kaynaklanan emisyonlar için tipik analiz sonuçlarını göstermektedir. Bu şaft fırın torba filtre ile donatılmıştır. Dairesel şaftlı bir fırının 10 alev bölmesi içinde, tipik sıcaklıklar 1140 ila 1300 °C arasında değişir. Yakılan atık yağ, özel bir atık yağ toplama ve harmanlama tesisi tarafından teslim edilir. Atık yağ brülöre verilmeden önce 200 µm gözenek boyutlu filtreleme eleğinden geçirilir. Dairesel şaft fırında yakılan atık yağın kalitesi (kalorifik değeri yaklaşık 0,030 – 0,039 GJ/kg ve su içeriği ağırlıkça yaklaşık %4 – 13'tür) Tablo 2.29'da gösterilmektedir. Bu tablo, 2002 yılına ait tipik analiz sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.29: Alman şaft fırınlarında kullanılan atık yağın kalitesine ilişkin tipik analiz sonuçları

Kirletici	Birim	Filtreleme sonrasında tipik atık petrol kirletici içeriği (200 Mm) ⁽¹⁾
Kükürt	Ağırlıkça yüzdesi	0,34 – 0,55
Toplam klor	Ağırlıkça yüzdesi	0,03 – 0,04
Hg	mg/kg	≤ 0,05
Cd	mg/kg	0,2 – 0,3
TI	mg/kg	< 0,5
Metaller		
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, V, Sn	mg/kg	42 – 244
Σ 6 PCB 28, 52, 101, 153, 138, 180	mg/kg	< 1
⁽¹⁾ 2002 yılına ait tipik analiz sonuçları Kaynak: [46, Almanya, 2006]		

Tablo 2.30, Almanya'da 2002'den itibaren bireysel emisyon ölçümlerinin sonuçlarını göstermektedir. Ölçümler sırasında yakıt olarak yalnızca atık yağ kullanılmıştır.

Tablo 2.30: Atık yağ kullanan bir Alman şaft fırınından münferit emisyon ölçümleri

Parametre	Birim	Yarım saatlik ölçümlerin aralığı
Toz	mg/Nm ³	1 – 11
TOK/UOB	mg/Nm ³	< 4
CO	g/Nm ³	0,06 – 1,2
NO _x	mg/Nm ³	110 – 240
SO ₂	mg/Nm ³	1 – 13
HF	mg/Nm ³	< 0,2
HCl	mg/Nm ³	11 – 19
PCDD/F	ng I-TEQ/Nm ³	< 0.004 ⁽¹⁾
Ağır metaller		
Σ Cd, Ti	mg/Nm ³	< 0,01
Hg	mg/Nm ³	< 0,01
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, V, Sn	mg/Nm ³	< 0,04
% 10 oksijen içeriği, 273,15 K, 101,3 kPa, kuru gaz ⁽¹⁾ PCDD/F için örnekleme süresi 6 saattir Kaynak: [46, Almanya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]		

Araştırmalar, fırın tipi ve yakılan yakıttan bağımsız olarak metal emisyonlarının çok düşük olduğunu göstermiştir. Tüm fırın tiplerinde yapılan ölçümler, kadmiyum (Cd) için <0,001 – 0,05 mg/Nm³ aralığında tipik değerler göstermiştir. Arsenik (As), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni), selenyum (Se) ve tellür (Te) metallerinin toplamı için, şaft fırınlarının tipik emisyon seviyeleri 0,01 – 0,04 mg/Nm³ aralığında gözlemlendi. Döner fırınlarda

arsenik (As), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni), selenyum (Se) ve tellür (Te) metallerinin emisyonları bazı durumlarda 0,16 mg/Nm³'e varabilmektedir. Genel olarak tüm fırın türlerinden kaynaklanan cıva emisyonları <0,05 mg/Nm³ idi. Cıva ile kullanılan atık yakıtların (örn. atık odun) olası bulaşımına özel dikkat gösterilmelidir. Cıvanın uçuculuğu nedeniyle, önem arz eden nispeten yüksek cıva emisyonları meydana gelebilir. Bu nedenle, yakıt atık yoluyla cıva girişi sınırlandırılmalıdır.

Atık kullanımı için ölçülen cıva emisyonlarının günlük ortalama değer olarak 0,03 mg/Nm³'ün ve yarım saatlik ortalama değer olarak 0,05 mg/Nm³'ün altında olduğu gözlemlendi. Kadmiyum ve talyum toplamı için, ölçülen emisyonların yarım saatlik ortalama değer olarak 0,05 mg/Nm³'ün altında; arsenik, kobalt, krom, bakır, manganez, kurşun, antimon, kalay ve vanadyum toplamı içinse, ölçülen emisyonların yarım saatlik ortalama değer olarak 0,5 mg/Nm³'ün altında olduğu gözlemlendi (oksijen içeriği % 10) [46, Almanya, 2006].

2.3.3.10.2 Döner fırınlarda katı atık kullanımından kaynaklanan emisyonlara örnekler

Almanya'daki örnek bir tesisin dört döner fırınında katı atık kullanılmaktadır. Seçilen ve kullanılan katı atık malzeme türleri, yakma işleminin teknik gereksinimlerine ve ürün kalitesine bağlıdır. Bir örnek olarak bu katı atık malzemelerin kalite kontrolü Bölüm 6.3.4'te açıklanmıştır. Tüm döner fırınlar emisyon azaltma teknikleri ile donatılmıştır, örneğin siklonlar, toz emisyonlarının azaltılmasına yönelik ESP ve NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik SNCR tekniği.

Fırın bacalarında aşağıdaki emisyonlar ve referans faktörler için sürekli ölçümler yapılır:

- ☐ toz (PM₁₀ dahil)
- ☐ azot oksitler (NO_x)
- ☐ kükürt oksitler (SO₂) (2007 itibarıyla)
- ☐ baca gazı hacim akışı
- ☐ baca gazı nemliliği
- ☐ baca gazı basıncı
- ☐ baca gazı sıcaklığı
- ☐ oksijen içeriği.

Ölçüm cihazları ve analiz birimleri DIN/ISO 14181 ile uyumludur. Ölçülen değerler kaydedilir ve çevrimiçi olarak izleme yetkilisine aktarılır. Tablo 2.31, 2006'da kaydedilen sürekli toz ve NO_x ölçümlerini göstermektedir. Ölçüm periyotlarındaki kesinti, ulusal mevzuattaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. 2006 yılı sonuna kadar SO_x periyodik olarak ölçülmüştür ve sürekli SO_x ölçümleri 2007 yılı başında başlamıştır.

Tablo 2.31: 2006 yılında katı yakıt kullanan bir Alman döner fırınından alınan sürekli emisyon ölçümleri

Parametre	Birim	Emisyon değeri (yıllık ortalama)
Ocak-Ekim 2006		
Toz	mg/Nm ³	6,1
NO _x (¹)	mg/Nm ³	376
NO _x (²)	mg/Nm ³	737
Kasım-Aralık 2006		
Toz	mg/Nm ³	4,1
NO _x (³)	mg/Nm ³	366
(1) Az yanmış kireç üretimi (2) Orta ve çok yanmış kireç üretimi (3) Az, orta ve çok yanmış kireç üretimi Kaynak: [156, Almanya, 2007, 164, Rheinkalk, 2007]		

Ayrıca ulusal mevzuatla ilgili olarak, sürekli ölçümlerin yanı sıra farklı emisyon parametreleri de periyodik olarak ölçülmektedir. Tablo 2.32, bireysel bazda emisyon ölçümlerini göstermektedir (günlük ortalama değerler).

Tablo 2.32: 2006 yılında katı yakıt kullanan bir Alman döner fırınından alınan periyodik münferit emisyon ölçümleri

Parametre	Birim	Emisyon değerleri (günlük ortalama değer)		
		İlk gün	İkinci gün	Üçüncü gün
Toplam C (organik maddeler)	mg/Nm ³	1,7	1,7	0,2
HCl	mg/Nm ³	2,0	1,2	0,9
HF	mg/Nm ³	< 0,1	< 0,2	< 0,2
SO ₂	mg/Nm ³	8,9	2,5	5,2
Hg	mg/Nm ³	0,006	0,005	0,004
Σ Cd, Tl ve bileşenler	mg/Nm ³	0,003	0,007	0,005
Σ Metaller ve bileşikler	mg/Nm ³	<0,009	<0,066	<0,049
Be	mg/Nm ³	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
PCDD/F	ng/Nm ³	0,072	0,044	0,025
Standart hal, kuru gaz, % 10,25 O ₂ Kaynak: [164, Rheinkalk, 2007]				

2.3.4 Proses kayıpları/atıklar

Kireçtaşının kalsinasyonu, piyasa gereksinimlerini her zaman karşılamayan partikül boyutları ve dekarbonasyon seviyelerine sahip yan ürün kireç üretebilir. Bu yan ürün, çalıştırma ve kapatma prosedürleri sırasında doğrudan fırın çıkışıdan veya baca gazının elemenden geçirilmesi veya tozdan arındırılması yoluyla toplanabilir. Bu yan ürün, toplam yıllık üretimin % 1 ila 5'ini oluşturur. Fırın yeni çalıştırıldığında ve kapatma sırasında küçük miktarlarda kısmen kalsine edilmiş malzeme üretilir. Bu tür olaylar 6 ayda bir ile 10 yılda bir arasında değişen sıklıkta meydana gelebilir.

Kireçtaşı yıkamasından ayrılan katı fraksiyon, örneğin silika, kil ve ultra ince parçacıklar gibi doğal safsızlıklar aşağıdaki gibi değerlendirilebilir ve yeniden kullanılabilir:

- ☐ bulaşık (örneğin asitle) zeminlerin yeniden rekültivasyonu veya kaplanması için
- ☐ çimento sektöründe hammadde olarak veya
- ☐ tarımda toprağın iyileştirilmesi için.

Torba filtrelerden toplanan toz, farklı türde ticari ürünlerde kullanılabilir [46, Almanya, 2006]

2.3.5 Su kullanımı ve arıtma

Ocaktan çıkan hammaddeler az miktarda kil ve kum içerebilir. Bu durumda kireçtaşı fırına girmeden önce su ile yıkanır. Kireçtaşı yıkaması için su ihtiyacı, niteliğine ve kirlilik miktarına bağlı olarak, ton hammadde başına 0,5 ila 2 m³'tür. Kullanıldıktan sonra yıkama suyu, 5 ila 20 g/l katı içeriğine karşılık gelen, litre başına 50 ila 200 ml askıda katı madde içerir. Genel olarak, yıkama suyuna başka kirlleticiler yüklenmez.

Kireçtaşı yıkaması için kullanılan su, genellikle yüzey sularından veya kazı sırasında alçalan yeraltı suyundan alınır. Diğer yaygın yıkama suyu kaynakları yağış ve kuyulardır.

Her iki sistemden gelen arlaştırılmış su, yıkama işleminde yeniden kullanılmaktadır. Su geri dönüşüm oranı yaklaşık %85'tir; yalnızca %15'lik bir kısım proses kayıplarını oluşturur ve tatlı su ile telafi edilmesi gerekir.

Koyulaştırıcıdaki işlem ve mekanik dehidrasyon, % 10 ila 20 arasında artık nem içeriğine sahip pres kekleri üretir [46, Almanya, 2006].

2.3.6 Gürültü

Gürültü emisyonları tüm kireç üretim süreci boyunca, hammaddelerin çıkarılması ve kireç üretim sürecinde hazırlanması, malzemelerin sevkiyata kadar depolanması ile son ürünlerin nakliyatı sırasında oluşur. Örneğin, kireç üretim sürecinde, kireçtaşlarının kireç fırınlarına doldurulması, azaltma gerektiren gürültü ve/veya titreşim seviyelerine neden olabilir. Bununla birlikte şunlar da gürültü kaynağı olabilir:

- ☐ ağır makine
- ☐ oluklar ve silolar
- ☐ kirecin kırılması, ezilmesi, öğütülmesi ve elenmesi ile ilgili tüm işlemler
- ☐ çıkış fanları
- ☐ fanlar
- ☐ kanal titreşimi.

Tesisler ulusal mevzuat uyarınca gürültü azaltım standartlarına uymakla yükümlüdür.

2.3.7 Kokular

Üretilen hidrojen sülfür (H₂S) emisyonları nedeniyle karışık besleme şaft fırınlar kullanılan kireç tesislerinde koku emisyonları meydana gelebilir. Yüzde 30 kok ve % 70 antrasit yakıt karışımı kullanılarak, 6 ila 9,5 mg/Nm³ aralığında H₂S emisyonları rapor edilmiştir. Özel antrasit kullanımıyla, tespit sınırının altından <1,6 mg/Nm³'e varan azaltılmış H₂S emisyonları rapor edilmiştir.

Ayrıca, hammadde veya yakıt olarak kullanılan atık malzemeler de özellikle hazırlama ve depolama gibi farklı süreç aşamaları sırasında koku emisyonlarına yol açabilir.

2.3.8 İzleme

Avrupa Kireç Birliği'ne göre, dikey kireç fırınlarından elde edilen deneyimler, proses koşullarının genel olarak stabil olduğunu göstermektedir. Emisyon seviyesi ancak, belirli bir ürün kalitesini sağlamak için gerekli olan kireçtaşı ve/veya yakıtın kimyasal bileşimi ve proses koşulları değiştirilirse değişebilir.

İzlemeye ilişkin ek yararlı bilgiler İzleme Genel İlkeleri Referans Dokümanında bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

2.3.8.1 Sürekli ölçümler

Emisyon ölçümleri gerçekten de emisyonların kararlılığını doğrulamaktadır. Fırında pişirme prosesini kontrol etmek için, proses kararlılığını gösteren çeşitli proses parametreleri sürekli olarak izlenir, örneğin:

- ☐ sıcaklık
- ☐ O₂ içeriği
- ☐ hava akışı
- ☐ basınç.

Dahası, bu proses parametrelerinin bazıları temsili olup bu nedenle örneğin ESP'nin yoğunluğu ve toz emisyonları gibi emisyon parametreleriyle bağlantılıdır. Ayrıca ilgili sürekli ölçümlerin yapılması yerinde olabilir, aşağıdaki parametreler için bazı durumlarda yapıldığı bildirilmiştir.

- ☐ NO_x
- ☐ SO₂
- ☐ toz
- ☐ CO.

Bununla birlikte, atık malzemelerin yakıt olarak kullanılması durumunda, toz ve NO_x emisyonları ve bazı durumlarda SO₂ ve UOB/TOK için olduğu gibi, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek VI hükmüne göre sürekli emisyon izlemesi normalde gereklidir. Atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gereklidir.

Bazı proses parametrelerinin değişkenliği nedeniyle büyük döner fırınların emisyonlarının izlenmesi de uygun olabilir. Ayrıca, kullanılan yakıt, proses koşullarına ve emisyonların önemine bağlı olarak ek ölçümler yapılması gerekebilir [46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006].

2.3.8.2 Periyodik ölçümler

Sürekli izlenmediği durumlarda, aşağıdaki kirleticiler için periyodik ölçümler yapılır:

- ☐ toz
- ☐ kükürt dioksit (SO₂)
- ☐ azot oksit (NO_x).

Özellikle kullanılan atık durumunda girdi yakıtlarına, proses koşullarına ve emisyonların önemine bağlı olarak, aşağıdaki kirleticiler için ek ölçümler yapılır:

- ☐ karbon monoksit (CO)
- ☐ toplam organik karbon (TOK)
- ☐ hidrojen klorür (HCl)
- ☐ hidrojen florür (HF)
- ☐ ağır metaller
- ☐ poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranlar (PCDF).

Bazı durumlarda benzo-a-piren (C₂₀H₁₂) (kategori 2A, IARC sınıflandırmasına göre muhtemelen insanlar için kanserojen) izlemesi yapılır.

2.4 MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler

Bu kısımda, bu belge kapsamındaki faaliyetlerde yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama potansiyeline sahip olduğu düşünülen teknikler (veya bunların kombinasyonları) ve ilgili izleme çalışmaları açıklanmaktadır. Açıklanan teknikler hem kullanılan teknolojiyi, hem de tesisin tasarımının, inşasının, bakımının, işletiminin ve hizmetten çıkarılmasının nasıl gerçekleştirildiğini içermektedir.

Çevre yönetim sistemlerini, prosese entegre teknikleri ve boru çıkışı tedbirlerini kapsar. Atıkların en aza indirilmesi ve geri dönüşüm prosedürleri dahil olmak üzere atık önleme ve yönetiminin yanı sıra, kullanımı ve yeniden kullanımı optimize ederek hammadde, su ve enerji tüketimini azaltan teknikler de dikkate alınmaktadır.

Direktifin Ek III kısmında MET'i belirlemek için bir dizi kriter sıralanmış olup bu bölümdeki bilgiler kapsamında bu hususlar ele alınacaktır. Mümkün olduğunca, Direktifte yer alan MET tanımına göre tekniklerin karşılaştırılması ve bir değerlendirme yapılması amacıyla her bir teknik hakkındaki bilgilerin özetlenmesi için Tablo 1.30'da yer alan standart yapı kullanılmaktadır.

Bu kısımda listelenen tekniklerin, sektörde uygulanabilecek bütün teknikleri kapsadığı düşünülmemelidir. Tesis özelinde MET'in belirlenmesinde dikkate alınabilecek başka teknikler mevcut olabilir veya geliştirilebilir.

Tablo 2.33: Her tekniğe ilişkin bilgiler

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
Tanım	Kimyasal denklemlerin veya diğer denklemlerin, resimlerin, diyagramların ve akış şemalarının uygun şekilde kullanıldığı, tekniğin kısa bir açıklaması.
Elde edilen çevresel faydalar	Tekniğin uygulanmasıyla elde edilecek başlıca potansiyel çevresel faydalar (enerji tüketiminin düşürülmesi, suya, havaya ve toprağa salınan emisyonların azaltılması, ham madde tasarrufu, üretim veriminde artış, atık miktarının azaltılması vb.).
Ortamlar arası etkiler	Tekniğin uygulanmasıyla ilişkili çevre üzerindeki olumsuz etkiler, çevre üzerindeki etkinin bir bütün olarak değerlendirilmesi için teknikler arasında karşılaştırma yapılmasına imkan sağlar. Bu, aşağıdaki gibi konuları içerebilir: ☐ hammadde ve su tüketimi ve özellikleri ☐ enerji tüketimi ve iklim değişikliğine katkısı ☐ stratosferik ozon tüketme potansiyeli ☐ fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli ☐ havaya salınan emisyonlardan kaynaklanan asitleşme ☐ ortam havasında partikül maddelerin varlığı (mikro partiküller ve metaller dahil); ☐ havaya veya suya emisyonlardan kaynaklanan kara ve su ötrofikasyonu ☐ sudaki oksijeni tüketme potansiyeli ☐ kalıcı/toksik/biyobirikimli bileşenler (metaller dahil) ☐ kalıntı/atık oluşumu ☐ kalıntıları/atıkları yeniden kullanma veya geri dönüştürme imkanına getirilen sınırlar ☐ gürültü ve/veya koku oluşumu ☐ artan kaza riski. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkilere İlişkin Referans Belge (ECM) dikkate alınmalıdır.
İşletim verileri	Gerçek ve tesise özgü performans verileri (hammadde, su, enerjiden kaynaklanan emisyon ve tüketim seviyeleri, üretilen kalıntı/atık miktarları dahil).

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
	Aşağıdakilerle ilgili diğer yararlı bilgiler: ☐ tekniğin nasıl tasarlanacağı, çalıştırılacağı, sürdürüleceği, kontrol edileceği ve hizmet dışı bırakılacağı ☐ tekniğin kullanımına ilişkin emisyonların izlenmesine dair hususlar ☐ tekniğin hassasiyeti ve dayanıklılığı ☐ kazaların önlenmesi ile ilgili konular.
Uygulanabilirlik	Tekniğin, sektör genelinde uygulanıp uygulanamayacağı belirtilir. Aksi takdirde, söz konusu tekniğin sektör içinde kullanımına ilişkin ana genel teknik kısıtlamalar belirtilir. Örneğin: ☐ sektördeki tekniğin uygulanamayacağı tesislerin veya proseslerin türü; ☐ bazı genel durumlarda uygulamaya dair kısıtlılıklar; örneğin: ◦ güçlendirme ile ilgili faktörleri (örneğin alan müsaitliği) ve halihazırda kullanılan tekniklerle etkileşimleri dikkate alarak, yeni veya mevcut bir tesisle ilgili olup olmadığı ◦ ◦ ◦ kullanılan yakıt veya ham madde türü. Bu kısıtlamalar, nedenleri ile birlikte belirtilmiştir. Bu kısıtlamaların, tek bir tesis için tekniğin uygulanabilirliğini etkileyebilecek olası yerel koşulların bir listesi olması amaçlanmamıştır.
Ekonomik boyut	Maliyetler (sermaye/yatırım, bu maliyetlerin nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere bakım ve işletme maliyetleri) ve olası tasarruflar (örn. azaltılmış hammadde veya enerji tüketimi, atık ücretleri, diğer tekniklere nazaran kısa geri ödeme süresi) veya nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere gelirler ya da diğer faydalar hakkında bilgi. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler Referans Belgesi (ECM) ve Genel İzleme İlkeleri (MON) Referans Belgesi, sırasıyla ekonomik boyutlar ve izleme maliyetleri açısından dikkate alınır.
Uygulamanın itici gücü	Uygulanabilir olduğunda, bugüne kadar tekniğin uygulanmasını sağlayan ya da teşvik eden özel yerel koşullar, gereklilikler (örneğin mevzuat, güvenlik tedbirleri) veya çevresel olmayan tetikleyiciler (örneğin verimin artması, ürün kalitesinin iyileşmesi, sübvansiyonlar ve vergi indirimleri gibi ekonomik teşvikler) sunulur.
Örnek tesisler	Tekniğin uygulandığı ve bilgilerin toplandığı ve ilgili kısmın yazılmasında kullanılan tesise (tesislere) atıf. Tekniğin AB'de veya dünya genelinde ne kadar kullanıldığının bir göstergesi.
Referans literatür	İlgili kısım yazılırken kullanılan ve teknikle ilgili daha ayrıntılı bilgiler içeren literatür veya diğer referans materyal (örn. kitaplar, raporlar, çalışmalar). Referans materyalin çok sayıda sayfadan oluştuğu durumlarda, ilgili sayfaya (sayfalara) ya da bölüme (bölümlere) atıfta bulunulacaktır.

2.4.1 Kireçtaşı tüketimi

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Tüketicinin en aza indirilmesi ve sürdürülebilir kireçtaşı kullanımı, ocak fırın taşı randımanının madencilik (delme ve patlatma) ve işleme tekniklerinin optimize edilmesi yoluyla en üst düzeye çıkarılması, aynı zamanda fırın taşının satılabilir sönmemiş kireç randımanının en üst düzeye çıkarılmasıyla mümkündür. Bu, daha geniş bir kireçtaşı tane boyutu yelpazesi ile çalışabilen örneğin ince kireç PFRK ve/veya döner fırınları gibi optimize edilmiş fırın tekniklerinin kullanımıyla gerçekleştirilebilir.

Ortamlar arası etkiler

Ortamlar arası etki yoktur.

İşletim verileri

Farklı tip kireç fırınları için işletme parametreleri Tablo 2.15'te bulunabilir.

Uygulanabilirlik

Genellikle kireç endüstrisinde uygulanabilir ancak taş işleme ve fırın teknikleri kireçtaşı kalitesine bağlıdır.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Kireçtaşının sınırlı mevcudiyeti.

Uzayan taş ocağı ömründen doğan çevresel fayda (sürdürülebilirlik).

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri

[54, EuLA, 2006].

2.4.2 Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Kireç endüstrisinde fırınların enerji kullanımını izlemek için bir enerji yönetim sistemi uygulanabilir.

Sadece enerji verimliliği ve CO₂ emisyonları dikkate alındığında, genel olarak dikey fırınlar ve özel olarak paralel akışlı rejeneratif fırınlar (PFRK) en verimli fırınlardır. Ancak, enerji ve CO₂ hususları temel düzeyde önemli olsa da fırın (bkz. Bölüm 2.2.7 ve 2.3.2) veya hammadde seçimine karar vermeden önce diğer spesifikasyonların dikkate alınması gerekir. Bazı durumlarda spesifikasyonlar, özellikle yükseltme söz konusu olduğunda, döner fırınlara teknik bir avantaj sağlayabilir.

Çoğu durumda, yeni fırınlar eski fırınların yerini alır, ancak bazı mevcut fırınlar yakıt enerjisi kullanımını azaltmak üzere tadil edilmiştir. Bu tür tadilatlar, teknik fizibilite, maliyet ve ihtiyacın kendisine bağlı olarak küçük değişikliklerden fırın konfigürasyonundaki büyük değişikliklere kadar uzanır, örneğin:

- ☐ baca gazlarından fazla ısıyı geri kazanmak veya daha geniş bir yakıt yelpazesinin kullanımına izin vermek için uzun döner fırınlarda eşanjörlerin kurulumu
- ☐ kireçtaşı öğütme gibi diğer prosesler için kireç taşı kurutmada döner fırınlardan çıkan fazla ısının kullanımı
- ☐ şaft fırınların artık ekonomik değer sağlamadığı bazı durumlarda, örneğin basit bir şaft fırını dairesel şaft tasarımına dönüştürerek veya bir çift şaft fırının birbirine bağlanmasıyla paralel akış rejeneratif fırın oluşturarak bunları modern tasarımlara dönüştürmek

2. Bölüm

mümkün olmuştur. Dönüşüm, fırın yapı gereçleri, taş besleme sistemi ve kireç işleme/depolama tesisi gibi pahalı teçhizatın ömrünü uzatır

- ☐ istisnai durumlarda uzun döner fırınları kısaltmak ve ön ısıtıcı takmak suretiyle yakıt tüketimini azaltmak ekonomik olabilir
- ☐ elektrik enerjisi kullanımı, enerji verimli teçhizatın kullanılmasıyla en aza indirilebilir.

Aşağıda listelenen enerji verimliliği tedbir/teknikleri, enerji kullanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir:

- ☐ proses kontrolü, örneğin aşırı hava yanması, yakıt akış hızı
- ☐ teçhizatın bakımı, örneğin hava sızdırmazlığı, refrakter erozyonu
- ☐ optimize edilmiş taş tane boyutu.

Ayrıca, Tablo 2.34'te, fırın sistemi bileşenlerine göre sıralanmış, kireç fırınlarında enerji verimliliği iyileştirme seçenekleri listelenmektedir.

Tablo 2.34: Kireç fırınlarında enerji verimliliği iyileştirme seçenekleri

Fırın sistemi bileşeni	Tanım	LRK	PRK	PFRK	ASK	MFSK, OK
Yanma sistemi	Sıcaklık profilini ürün gereksinimine uyarlamaya yönelik yüksek verimli ve esnek brülör tekniği	X	X	-	-	-
Yanma sistemi	Hat üzeri yanma izleme ve fazla hava azaltımı	X	X	-	-	-
Yanma sistemi	Baca gazı analizi yoluyla yanma kontrolü	-	-	X	X	X
Yanma sistemi	Yakıt atık içeriğine sahip olası yakıt karışımlarını içeren son derece esnek yanma sistemi	X	X	X	X	X
Soğutucu	Gerekli olan soğutma havası miktarını en aza indirmek için homojen hava dağılımı ve ürün tahliyesine sahip verimli soğutucu	X	X	X	X	X
Soğutucu	Güvenilir soğutucu seviyesi ölçüm cihazı	X	X	-	-	-
Baca gazı devresi	Isı geri kazanım sistemi	X	-	-	-	-
Girdi kontrolü	Düzenli yakıt ve taş örnekleme ve analizinin yanı sıra prosesin buna göre uyarlanması	X	X	X	X	X
Girdi kontrolü	Taş derecelemesini kontrol etmek için fırın besleme öncesi taş yeniden eleme	X	X	X	X	X
Girdi kontrolü	Yakıt, taş ve hava debisini kontrol etmek için güvenilir tartım/ölçüm cihazları	X	X	X	X	X
Fırın tasarımı ⁽¹⁾	Optimize uzunluk:çap oranı	X	X	X	X	X
Fırının kendisi	Isı alışverişini desteklemek ve ürün ayrışmasını en aza indirmek için dönen parçanın içinde refrakter iç kısımlar	X	X	-	-	-
Fırının kendisi	Kabuk ısı kayıplarını en aza indirmek için verimli yalıtım astarı	X	X	X	X	X
Fırının kendisi	Fırın başlığına ve fırın beslemesine conta takarak hava sızıntısının azaltılması	X	X	-	-	-
Fırının kendisi	Düzenli kanal temizliği	-	-	X	X	X
Fırın ve ön ısıtıcı	Fazla havayı kontrol etmek için hava kaçığı azaltımı	-	-	X	X	X
Fırın işletimi	Başlık çekişi, fazla hava, yakıt oranı, ton/fırın devri, ayar vb. için otomatik kontrol döngüleri	X	X	-	-	-
Fırın işletimi	Kilit parametre trendlerine sahip PLC ve denetim sistemi	X	X	X	X	X
Fırın işletimi	Tekdüze çalışma koşulları	X	X	X	X	X
Fırın işletimi	Kapanma nedenlerinin ve onarımlarının analizi	X	X	X	X	X
Ön ısıtıcı	Isı alışverişine karşı basınç düşüşünün optimize edilmesi	-	X	-	-	-
Kalite takip	Düzenli kireç örnekleme ve analizinin yanı sıra fırın ayarı	X	X	X	X	X

⁽¹⁾ Yalnızca yeni fırınlara uygulanabilir
Kaynak: [168, TÇG CLM, 2007], [177, EULA, 2008]

Ortamlar arası etkiler

Doğal kaynaklara erişim zorlaştıkça, yerel düzeyde optimum enerji kullanımı ile yatağın en iyi şekilde kullanılması arasında bir denge kurulması gerekir.

İşletim verileri

Genel olarak, kirecin yakılmasında en maliyetli unsurlar yakıt ve enerji olup, üretim maliyetlerini en aza indirmek için enerji verimliliği iyileştirmeleri yapılmıştır. Almanya'daki bazı vakalarda, sönmemiş kireç değirmenleri yüksek basınçlı öğütmeye benzer şekilde çalışan değirmenlerle (örn. valsli değirmen) değiştirilerek kireç öğütme için elektrik tüketimi en aza indirildi. Yüksek basınçlı öğütme değirmenlerinin kullanımının 2,5 kWs/tsönmemişkireç düzeyinde elektrik enerjisi tasarrufu sağladığı bildirildi. Ayrıca vakalrın birinde, yaşı gaz yıkayıcıların torba filtrelerle değiştirilmesiyle de elektrik tüketiminde azalma sağlanmıştır. Bu durumda, 2,9 kWs/tsönmemişkireç elektrik enerjisi tasarrufu rapor edilmiştir [46, Almanya, 2006].

Uygulanabilirlik

Prensipte tüm fırın türleri için uygulanabilir.

Dikey fırınlar genellikle sadece kaba kireçtaşı çakıllarını yakabilir. Bununla birlikte, daha yüksek enerji tüketimine sahip döner fırınlar, küçük fraksiyonları da değerlendirebilir ve yeni dikey fırınlar genellikle, en küçük 10 mm olmak üzere küçük granülleri yakabilmektedir. Daha büyük fırın besleme taşı granülleri, döner fırınlardan çok dikey fırınlarda kullanılmaktadır.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklikler. Doğal
kaynaklar.
Maliyetlerin
azaltılması.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Bu bağlamda Enerji Verimliliği için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında da (ENE) faydalı bilgiler bulunabilir [181, Avrupa Komisyonu, 2008].

2.4.3 Proses kontrol optimizasyonu**Tanım**

Optimizasyon, kireç üretim sürecinin genelindeki çoğu proses adımının proses otomasyonu yoluyla uygulanabilir. Fırın kontrol parametrelerinin optimum değerlere yakın tutulması, kireç yakma işleminde tüm tüketim ve emisyon parametrelerini düşürme etkisine sahiptir. Bunun nedenleri arasında, azalan kapatma ve arıza koşulları yer alır.. Yönetim sistemleri, iyi işletme ve bakım uygulamalarının tüm ilgililer tarafından benimsenmesini, takip edilmesini ve bunlara uyumun izlenmesini sağlamak üzere işletilebilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Proses kontrol optimizasyon teknikleri, enerji kullanımı ve emisyonlar üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Ortamlar arası etkiler

Yok.

İşletim verileri

Optimizasyon görevine bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Tüm kireç tesislerinde, değişen düzeylerde uygulanabilir.

Tam proses otomasyonu, kireçtaşı kalitesi gibi kontrol edilemeyen değişkenler nedeniyle genellikle mümkün değildir.

Ekonomik boyut

Optimizasyon görevine bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki çimento tesisleri
[54, EuLA, 2006].

2.4.4 Yakıt seçimi (yakıt atıklar dahil)

Tanım

Kireç endüstrisi enerji yoğun bir endüstridir (bkz. Bölüm 2.2.4). Yakıtın kimyasal bileşimine ve kullanılan fırın tipine bağlı olarak, uygun yakıtların veya yakıt karışımının seçimi, emisyonların azalmasına ve pişirme verimliliğinin artmasına neden olabilir, örneğin:

- ☐ düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı, enerji bağlantılı SO₂ emisyonlarında azalmaya yol açar. Ancak yakıtlardan gelen kükürt, kireç tarafından kimyasal olarak soğurulduğundan, daha yüksek kükürt içeriğine sahip bazı yakıtlar, SO₂ emisyonlarını arttırmadan kireç üretiminde kullanılabilir
- ☐ biyokütle, fosil yakıtların tasarrufuna katkıda bulunur
- ☐ yakıt atıklar, kullanılan fosil yakıtların miktarını ve ilgili CO₂ emisyonlarını azaltır (bkz. Bölüm 2.2.5), katı fosil yakıtlar ise daha yüksek CO₂ emisyonlarına katkıda bulunur.

Karışık besleme şaft fırınlar dışında her türlü fırın her türlü yakıtla çalışabilir. Bazı fırınlar sadece bir tür yakıtla çalışırken, fırınların çoğu yakıt karışımıyla çalışır. Fırın tipine bağlı olarak gaz, katı ve sıvı yakıtlar kullanılabilir. Katı yakıtlar ayrıca fırın tipine bağlı olarak birlikte de kullanılabilen toz ve parça yakıtlar olarak ayrılabilir.

2008 yılına kadar AB'de en yaygın kullanılan yakıtlar doğal gaz ve linyit, kömür, petrokok ve kok gibi katı yakıtlardır. Ancak sıvı yakıtların yanı sıra yüksek ısıl değere ve yüksek reaktiviteye sahip yakıt atıklar ve/veya biyokütle de kullanılmaktadır.

Proses ve brülör için uygun yakıt atıkların (örn. atık yağ, kullanılmış çözücüler, hayvansal yağ, sıvı atık) seçimi ve belirli özellikler, kriterler ve sabit nitelikler (örn. yüksek ısıl değer, yüksek reaktivite, düşük kükürt, klor içeriği, metaller ve külün yanı sıra nicel mevcudiyet) fosil yakıtların miktarını azaltır (bkz. Bölüm 2.2.5). Yakıt atık özelliklerini garanti altına almak için, bir kalite güvence sistemine ihtiyaç vardır. Bu gibi bir güvence sistemi özellikle örnekleme, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili tedbirleri içerir. Daha fazla yararlı bilgi CEN/TC 343 'Geri Kazanılan Katı Yakıtlar' gibi Avrupa Standardizasyon Komitesi teknik şartnamelerinde bulunabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Uygun yakıtların veya yakıt karışımının seçimi, emisyonların azalmasına ve pişirme verimliliğinin artmasına neden olabilir.

Ortamlar arası etkiler

Yakıtın kimyasal bileşimine ve fırın tipine bağlı olarak daha yüksek emisyonlar meydana gelebilir.

Atıkların kullanılmasıyla farklı tipte ek emisyonların meydana gelmesinin mümkün olabileceği belirtilmelidir.

Ayrıca, yakıt karışımındaki bir değişiklik genellikle ton kireç başına özgül enerji tüketiminde değişikliğe neden olur. Kullanılan atık yakıtların türlerine ve ısı değerlerine bağlı olarak, çimento endüstrisinde gözlemlendiği gibi yıllık ortalama özgül termal enerji ihtiyacı artabilir (çimento endüstrisi ile ilgili olarak bkz. Bölüm 1.3.3). Çimento endüstrisinden elde edilen bu gözlem, kireç endüstrisindeki atık kullanımı ile karşılaştırılabilir.

İşletim verileri

Kullanılan yakıt karışımını değiştirirken, yakıtların türüne ve kullanılan yakıtların ısı değerine bağlı olarak kirecin ton başına özgül enerji tüketimi çeşitli nedenlerden dolayı farklılık gösterebilir. Fosil yakıtların ısı değerlerinin (ortalama, net) örneğin tipik kömür için 26 – 30 MJ/kg, tipik fuel oil için 40 – 42 MJ/kg olduğu ve plastik malzeme gibi katı atıkların 17 ila 40 MJ/kg aralığında yüksek ısı değerleri olduğu literatürde belirtilmiştir. Bu atıkların ısı değerlerinin 3 ila 40 MJ/kg aralığında çok büyük değişiklik gösterdiği akılda tutulmalıdır. Ancak ısı değeri 18 MJ/kg'dan düşük olan yakıtlar, kül ve nem içeriği nedeniyle kireç endüstrisi için uygun değildir (ayrıca Tablo 6.41'de gösterilen örneklerle göz atın). Kireç fırınlarında kullanılan hayvan küspesinin (karkas unu) ısı değerlerinin 14 ile 21,5 MJ/kg arasında olduğu bildirilmektedir.

Uygulanabilirlik

Her fırın türü, prensipte farklı türde yakıtları ateşleyebilir, ancak bunu yapmak için teknik donanımına ihtiyaç duyar. Bu aynı zamanda yakıtların alınmasını ve depolanmasını da içerebilir. Fırınlar ayrıca yakıtla özgü yakma tekniği veya borularla donatılmalıdır. AB'deki tesislerin çoğu, konumlarına ve yukarıda belirtilen ekonomik faktörlere bağlı olarak az ya da çok yakıt esnekliğine sahiptir. Ancak, yakıt türü değişikliği önemli yatırımlar gerektirebilir.

Sıvı atıkların kullanımı söz konusu olduğunda, bu atık yakıtların düşük viskozitesine ihtiyaç duyulduğu ve sıklıkla yakıt ön ısıtmasının (60 ila 70 °C) gerekli olduğu belirtilmelidir. Dahası, hayvansal yağ kullanıldığında, viskozitesi nedeniyle bu atık malzeme 40 °C'lik sıcaklıklarda katılaşır ve boruları ve bağlantı parçalarını tıkayabilir. 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıkların üzerinde hayvansal yağın örneğin ek ısıtma kullanarak işlenmesi gereklidir.

Katı havlı atık yakıtlar sadece döner fırınlarda kullanılabilir. Ayrıca pulverize atık yakıtlar döner fırınlarda, paralel akışlı rejeneratif fırınlarda ve özel tip şaft fırınlarda kullanılabilir. Ancak pulverize atık yakıtlar, hav şeklinde atıkların ezilerek toz haline getirilmesinin yüksek maliyeti nedeniyle 2008 yılında kireç endüstrisinde uygulanabilir değildi.

Uygun yakıt atık seçimi aynı zamanda kullanılan fırınların türüne, istenen ürün özelliklerine, uygun yakıt mevcudiyetine ve bunların seçilen fırına enjeksiyonuna ilişkin teknik imkanlara da bağlıdır. Kullanımları esas olarak aşağıdakilerle sınırlıdır:

- ☐ fiziksel, kimyasal veya prosese özel gereksinimleri her zaman karşılamayan fiziko-kimyasal özellikler.
- ☐ piyasada mevcudiyet ve çalışma saatleri dışında güvenilir tedarik
- ☐ ekonomik hususlar
- ☐ emisyonların seviyesi.

Yakıt atık kullanımına ilişkin bilgiler Bölüm 2.2.5'te bulunabilir.

Ekonomik boyut

En önemli ekonomik parametreler aşağıdaki gibidir:

- ☐ yakıtın maliyeti, ton kireç başına yakıt maliyeti, üretim maliyetinin % 30 ila 60'ını temsil edebilir
- ☐ zamanla değişen, doğal gaz ve katı yakıt fiyatları arasındaki fark
- ☐ CO₂ izin maliyetlerinin etkisi

- belirli bir yakıtın kullanımı için gerekli teçhizatın yatırım maliyetleri, örn. depolama, taşıma, kurutma, öğütme, enjeksiyon ve güvenlik.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Ekonomik gereklilikler.

Yerel koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[54, EuLA, 2006], [143, Williams, 2005], [155, Almanya, 2007], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.5 Toz emisyonları (partikül madde)

Bu kısımda, difüz (bkz. Bölüm 2.3.3.1.1) ve kanalize (bkz. Bölüm 2.3.3.1.2) emisyonları önlemeye yönelik teknikler açıklanmıştır.

Bu bağlamda, Yığın veya Tehlikeli Malzemelerin Depolanmasından Kaynaklanan Emisyonlara İlişkin Mevcut En İyi Tekniklere İlişkin Referans Belgesinde ve Kimya Sektöründe Yaygın Atık Su ve Atık Gaz Arıtma/Yönetim Sistemlerine İlişkin Mevcut En İyi Tekniklere İlişkin Referans Belgesinde de yararlı bilgiler bulunabilir [58, Avrupa Komisyonu, 2003], [96, Avrupa Komisyonu, 2006].

2.4.5.1 Tozlu işlemlere yönelik teknikler

Tanım

Burada, ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilecek olan çeşitli teknikler sunulmuştur (bkz. Bölüm 2.3.3.1.2):

- öğütme, eleme ve karıştırma gibi tozlu işlemlerin etrafının kapatılması
- toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen konveyörler ve asansörlerin etrafının kapatılması
- yeterli kapasiteye sahip depolama siloları ve doldurma işlemi sırasında çıkan tozlu havayı idare etmek için kesme anahtarlı ve filtreli düzey göstergeleri
- pnömatik aktarım sistemleri için dolaşım süreci tercih edilir
- malzeme taşımanın negatif basınç altında kapalı sistemlerde yürütülmesi ve emiş havasının havaya salınmadan önce bir torba filtre ile tozunun giderilmesi
- hava kaçakları ve sıçrama noktalarının azaltılması, kurulumun tamamlanması
- kurulumun doğru ve eksiksiz bakımı
- otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı
- sürekli sorunsuz işlemlerin kullanımı
- Kamyonun yükleme katında konumlandırılmış, yanmış kireç yüklemek için toz ayırma sistemi ile donatılmış esnek doldurma boruların kullanılması

Elde edilen çevresel faydalar

Büyük ölçüde difüz olan toz emisyonlarının azaltılması.

Gürültünün azaltılması makinelerin etrafının kapatılması ile de mümkündür.

Ortamlar arası etkiler

Vakum sistemlerinin kullanılması enerji tüketimini artırır.

Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknığe bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte kireç endüstrisinde uygulanabilir.

Kırma ve eleme gibi hammadde hazırlama işlemlerinde, hammaddenin nem içeriği nedeniyle toz ayırma normalde uygulanmaz. Toz emisyonlarını azaltmak için, işleme sırasında ek olarak su püskürtülerek hammaddeler nemlendirilebilir.

Ekonomik boyut

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknığe bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006].

2.4.5.2 Toplu depolama alanları ve stok depolarına yönelik teknikler**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Tozlu mineral hammaddelerinin toplu depolama alanlarından ve stok yığınlarından açık havaya doğru gerçekleşen difüz toz emisyonlarının öncelikli olarak azaltılması için, depolama alanları perde, duvar veya dikey yeşillik (açık stok için doğal veya yapay rüzgar bariyerleri) ile kapatılabilir.

Ürün siloları ve kapalı tam otomatik hammadde depolama alanları yüksek hacimli stokların oluşturduğu difüz toz sorununa en etkili çözüm olarak kabul edilir. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında difüz toz oluşumunu önlemek için bu tür depolar bir veya daha fazla torba filtre ile donatılır (otomatik taşıma sistemine sahip kapalı depolama gibi). Stoklardaki difüz toz emisyonları, depo yığını yükleme ve boşaltma noktalarının yeterli nemlendirilmesi ve yüksekliği ayarlanabilir konveyör bantları kullanılarak azaltılabilir. Depolama alanlarının yükleme veya boşaltım noktalarından gerçekleşen difüz toz emisyonları önlenemiyorsa; boşaltım noktasının yüksekliğinin, yığının değişken yüksekliğine mümkünse otomatik olarak uydurulması veya yükün boşaltım hızının azaltılması ile bu emisyonlar azaltılabilir.

Ayrıca özellikle kuru bölgelerdeki depolama alanları, püskürtme cihazları ile sürekli ıslatılabilir (toz kaynağı konumla sınırlı ise su spreyi sistemi kurulabilir) veya temizlik araçları tarafından temizlenebilir. Ayrıca, nemlendirme veya püskürtme teknikleri kullanıldığında, zemin kapatılabilir ve fazla su toplanabilir, ayrıca gerekirse bu fazla su arıtılabilir ve kapalı döngülerde kullanılabilir.

Çıkarma işlemleri sırasında difüz toz emisyonlarının oluşmasının engellenmesi için vakum sistemleri kullanılabilir. Yeni binalara sabit toz emme sistemleri kolayca kurulabilir, mevcut binalarda ise hareketli sistemler ve esnek bağlantılar kurulması daha iyi olacaktır.

Kamyonların kullandığı alanlarda meydana gelen difüz toz emisyonlarını azaltmak için bu alanlar mümkün olduğunda asfaltlanabilir, yüzey mümkün olduğunca temiz tutulmalıdır. Yolları ıslatmak, özellikle kuru havalarda difüz toz emisyonlarını azaltabilir. Difüz toz emisyonlarını en alt seviyede tutmak için iyi temizlik uygulamaları kullanılabilir.

Ortamlar arası etkiler

Alanların ıslak tutulması su tüketimini artırır. Vakum sistemlerinin kullanılması enerji tüketimini artırır.

Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknığe bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte kireç endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknığe bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

2.4.5.3 Kanalize toz emisyonlarının azaltılması

Bu kısımda tozun ortadan kaldırılmasına özel bazı teknikler açıklanmıştır (bkz. Bölüm 2.3.3.1.1). Hammadde hazırlama, kireç taşının kalsine edilmesi, kireç hidratlama, kireç öğütme ve bağlantılı ve yardımcı işlemler gibi kireç tesislerinden kaynaklanan farklı ana toz emisyonları kaynakları mevcuttur. Kireç üretiminde kullanılan fırın tipine bağlı olarak farklı tozsuzlaştırma teknikleri kullanılmaktadır. Tozdan arındırma teknikleri filtrelemeye, elektrostatik ayırmaya ve yağ yıkamaya (filtre ile baca gazı temizleme) dayanır. Bu teknikler, baca gazının aşağıdaki özellikleriyle bağlantılıdır:

- ☐ sıcaklık
- ☐ akış hızı
- ☐ nem
- ☐ filtre girişindeki toz derişimi.

Tablo 2.35, bu kısmın metninde bulunan işletimsel verilerin bir özetini sunmaktadır. Bu tabloda bir genel bakış verilmiş olup takip eden uygun bölüm ve paragraflarla bir arada okunmalıdır.

Tablo 2.35: Kireç üretim sürecinde toz kontrol tekniklerine genel bakış

Tedbir/teknik	Uygulanabilirlik	Emisyon verisi ⁽¹⁾		Maliyetler ⁽²⁾	
		mg/Nm ³ ⁽³⁾	kg/ton ⁽⁴⁾	Yatırım	İşletme
				milyon EUR	EUR/t kireç
ESP	Tüm fırın sistemleri, öğütme tesisleri, yan prosesler	< 10 – < 20	0,015 – 0,1	0,6 – 3,9	> 1,5
Torba filtre	Tüm fırın sistemleri	< 10 – < 20	0,015 – 0,15	0,25 – 1,7	> 1,5
	Öğütme tesisleri, yan prosesler	< 10 – < 20	0,015 – 0,05		
Yaş toz ayırıcı	Tüm fırın sistemleri, hidratlama tesisleri	10 – 30	0,06 – 0,25		
Santrifüjlü ayırıcı	Sadece ön ayırıcı olarak uygundur: tüm fırın sistemleri, değirmenler, yan prosesler	-	-		
Difüz toz azaltma	Tüm tesisler	-	-		

(1) Emisyon verileri bu kısmın ilgili paragrafında bulunabilir
(2) Farklı fırın kapasiteleri için bkz. Şekil 2.46 ve Tablo 2.36
(3) Fırın sistemleri için günlük ortalamalar, kuru gaz, 273 K, 101,3 kPa ve % 11 O₂
(4) kg/ton kireç, şunlara dayalıdır:
☐ ASK ve PFRK için 3 000 Nm³/t kireç
☐ PRK için 3 700 Nm³/t kireç
☐ LRK için 5 000 Nm³/t kireç

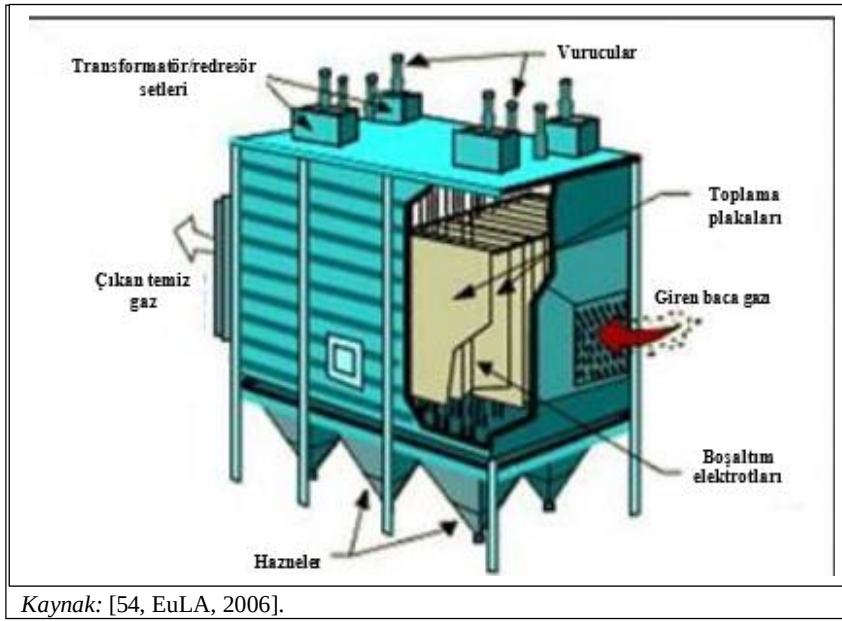
ESP'ler ve torba filtrelerin her ikisi de normal çalışma sırasında %99'dan fazla partikül tutma ile çok yüksek toz giderme verimliliğine sahiptir, ancak her ikisi de partikül boyutuna bağlıdır. Dışa atım gazı sıcaklığına bağlı olarak, farklı filtre ortamı türlerinin kullanılması gerekir. Yaş toz ayırıcılara göre daha yüksek olan yeterli verimliliği sağlamak için her iki tip filtre sisteminin de uygun şekilde (periyodik olarak) bakımı yapılmalıdır. Yaş toz ayırıcılar, ek su ve enerji tüketmenin yanı sıra daha sonra arıtılması gereken atık su üretir. ESP'lerin verimliliği CO aşımından etkilenebilir; ancak CO aşımları Bölüm 6.2.6'da görüldüğü üzere en aza indirilebilir. Santrifüj ayırıcılar da kullanılmakla birlikte yalnızca ön ayırıcı olarak uygundur; ancak daha yüksek kirletici yükleri söz konusu olduğunda daha verimli performans gösterebilirler. Difüz toz azaltma için bkz. Bölüm 2.4.5.1 ve 2.4.5.2

2.4.5.3.1 Elektrostatik toz tutucular (ESP)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Elektrostatik toz tutucuda, baca gazları iki elektrotun bulunduğu bir odadan geçirilir. Baca gazlarını iyonize eden birinci elektrotta yüksek gerilim (100 kV'a kadar) uygulanır. Oluşturulan iyonlar baca gazlarındaki toz parçacıklarına yapışır ve bu parçacıklar elektrik yüklü hale gelir. Elektrostatik kuvvet, yüklü toz parçacıklarını birinci elektrottan iterek ikinci elektrotun üzerinde toplar. Böylece toz partikülleri baca gazı akışından uzaklaştırılır.

Elektrostatik toz tutucular partikül maddelerin hava akımı içinde izlediği yol boyunca bir elektrik alan oluşturur. Partiküller negatif yüklü hale gelirler ve pozitif yüklü toplama plakalarına doğru hareketlenirler. Toplama plakaları periyodik olarak sallanarak veya titretilerek materyalin yerinden oynaması ve altta bulunan toplama hunilerine düşmesi sağlanır. ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve yüksek nem şartlarında çalışabilmeleridir. Verimliliği etkileyen faktörler, baca gazı akış hızı, elektrik alanının gücü, tozun iletkenliği, SO₂ derişimi, nem içeriği ve elektrotların şekli ve alanıdır. Elektrik alanı özellikle, Şekil 2.43'te gösterildiği gibi, toplama plakaları üzerinde yalıtkan bir tabaka oluşturan malzeme birikmesi sonucunda küçülerek verimsizleşebilir.



Şekil 2.43: Genelleşmiş elektrostatik toz tutucunun (ESP) şematik görünümü

Patlama riskleri nedeniyle, ESP'nin girişindeki CO güvenlik derişimi genellikle %1 ila 2 ile sınırlıdır ve bu, %10'luk patlama sınırının oldukça altındadır. Bu nedenle CO aşımından kaçınılması, yani CO seviyelerinin filtrenin öncesinde sürekli izlemesi gerekir. Daha hızlı ölçüm ve kontrol teçhizatına sahip modern kontrol sistemleri kullanılarak, daha yüksek kapatma kriterlerine izin verebilir ve böylece CO aşımının sayısı azaltılabilir. CO aşımının kontrolüne ilişkin kılavuz Bölüm 6.2.6'da bulunabilir.

Gerektiğinde, PCDD gibi emisyonların temizlenmesini iyileştirmek üzere ESP öncesinde söndürme kuleleri kurulabilir.

Ortamlar arası etkiler

Yüksek CO derişimlerinde patlama riskleri ortaya çıkar.

ESP'nin çalıştırılmasıyla enerji tüketimi artar (ancak diğer filtre sistemlerine kıyasla daha az basınç düşüşü baca gazı fanlarının daha az elektrik enerjisi tüketmesini sağlar) Ek atık oluşur.

İşletim verileri

Kararlı çalışma koşulları sırasında, elektrostatik toz tutucular, 5 ila 20 mg/Nm³ aralığında toz emisyonlarını güvenilir şekilde sağlayabilir (bkz. Bölüm 2.3.3.1.1). 2005 yılında Finlandiya'daki kireç fabrikalarından alınan örnekler, döner fırınlarda yakıt olarak kok ve kömür kullanılarak spot ölçümlerde 5 mg/Nm³'ten daha düşük toz emisyonlarının elde edilebileceğini göstermiştir.

Mevcut bir ESP'nin verimliliği, sıra halinde odaların (elektrik alanları) eklenmesiyle geliştirilebilir. Ancak bu iyileştirme, yalnızca gerçek toz emisyon seviyesi yüksek ve alan yeterli olduğunda gerçekçidir.

Uygulanabilirlik

Elektrostatik toz tutucular, çiy noktasının üzerindeki ve 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda (yumuşak çelik konstrüksiyonlu) kullanıma uygundur. Ayrıca, çiy noktasına yakın veya altında sıcaklıklarda da ESP kullanımı mümkündür.

Yüksek hacimli akışlar ve nispeten yüksek toz yükleri nedeniyle, esas olarak ön ısıtıcısız döner fırınların yanı sıra ön ısıtıcılı döner fırınlar da ESP'lerle donatılmıştır. Bazı durumlarda bunun nedeni dışa atım gazı sıcaklığının yüksek olması, bazı durumlarda ise fırınların büyük üretim kapasitelerine sahip olması ve dolayısıyla büyük hacimlerde gaz üretmesidir. Söndürme kulesi ile kombinasyon durumunda mükemmel performans elde edilebilir.

Ekonomik boyut

ESP'lerin torba filtrelemlere göre yatırım maliyetleri, Şekil 2.46'da gösterildiği gibi fırın boyutu ve günlük üretim kapasitesi ile artmaktadır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Baca gazı sıcaklığı ve akış hızı.

Yatırımlar (yerel koşullar).

İşletim giderleri.

Enerji tüketimi.

Kanıtlanmış teknik.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Lappeenranta, Nordkalk Oy (Finlandiya), Rheinkalk GmbH Flandersbach (Almanya), Hönnetal (Almanya), AB-27'deki kireç fabrikaları. [54, EuLA, 2006], [63, Finlandiya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

2.4.5.3.2 Torba filtreler**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

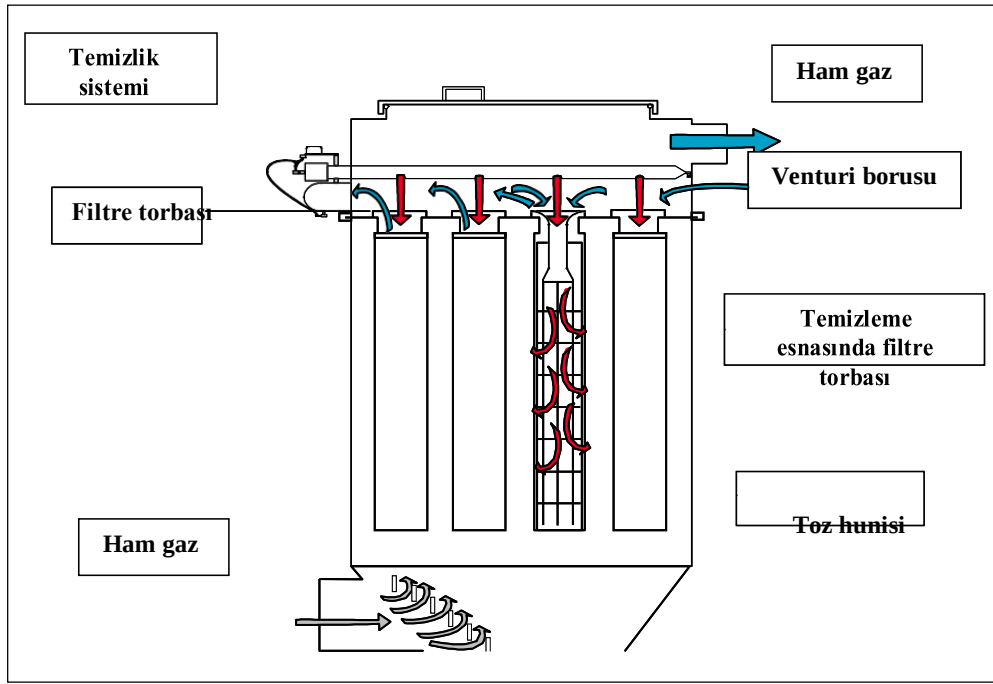
Torba filtrede temel filtreleme prensibi, gazı geçirecek ancak toz partiküllerini tutacak kumaş membranının kullanılmasıdır. Başlangıçta toz hem yüzeyde hem de kumaşın derinliğinde birikir. Yüzey tabakası biriktikçe, toz parçacıklarının kendileri baskın filtre ortamı haline gelir. Toz katmanı kalınlaştıkça gaz akışına (basınç düşüşü) karşı direnç artar.

Bu nedenle filtre boyunca gaz basıncı düşüşünü kontrol etmek için ortamın periyodik olarak temizlenmesi gereklidir. Yaygın temizleme yöntemleri arasında ters hava akışı, mekanik sallama, vibrasyon ve basınçlı hava darbesi (püskürtmeli temizleme) yer alır.

Temizleme sistemi, hava akışı ve ortamın hava yükü, verimli filtreleme için temel unsurlardır. Filtrede, herhangi bir torba arızası sırasında izole edilebilen birden fazla bölme olmalı (bu durum yatırım maliyetlerini ve hem yüzey hem hacim açısından filtre boyutunu etkiler) ve bunların sayısı herhangi bir bölme, örneğin bakım için devre dışı bırakıldığında yeterli performansı sağlamak için yeterli olmalıdır. Dahası, her bölmede, torbanın patlaması halinde bakıma ihtiyaç olduğunu belirten 'patlak torba detektörleri' bulunmalıdır.

Toz, 'toz hunisi' (bölmenin bir parçası) olarak adlandırılan bir bunkerde depolanacak ve Şekil 2.44'te gösterildiği gibi helezon konveyörler, kanatlar ve/veya döner vanalar yoluyla çıkarılacaktır.

Torba filtreler, emme koşullarının yanı sıra aşırı basınçta da çalıştırılabilir.



Şekil 2.44: Darbeli püskürtme temizlemeli bir torba filtrenin şeması

Dışa atım gazı sıcaklığına bağlı olarak, farklı filtre ortamı türleri kullanılabilir. Torbaların kısa ömürlü olmasının nedenleri şunlar olabilir:

- ☐ çalışma sıcaklık koşulları
- ☐ kapatma sıcaklık koşulları
- ☐ sıcaklık artışları
- ☐ baca gazı bileşimi.
- ☐ kireç tozu davranışı (tıkama).

Bir vakada, torbaların kısa ömürlü olmasının nedeninin yetersiz filtre boyutu olduğu düşünülmüştür. Sorun, filtrenin büyütülmesiyle çözüldü ve ardından torbalarda 2 yıl ömür garantisi ile 5 mg/Nm³'ün altında değerlere ulaşıldı. Özel torba malzemeleri ve kaliteleri de kullanılmış olup, kimi zaman yine kısa ömür sorunlarıyla karşılaşmıştır. Bir tesiste, periyodik olarak aşırıya varan çalışma sıcaklığının sorunlara neden olduğu sonucuna varıldı [24, Junker, 2001].

Ortamlar arası etkiler

Yüksek basınç düşüşü (torba filtre ortamı ve yüzeydeki toz tabakası) nedeniyle özgül enerji tüketimini artırır.

Filtrenin korozyonunu ve torbaların tıkanmasını önlemek için yüksek nem içeriğine ve düşük sıcaklığa (<120 °C) sahip baca gazlarının ek ısıtılması enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını artırır.

Torba filtrelerin özellikle basınç darbesi rejenerasyonu ile çalıştırılması gürültü emisyonlarına neden olabilir.

Bazı durumlarda, kaynaklardaki küçük kusurlar ve (tespit edilmesi zor olan) korozyon başlangıcı, bir baypas oluşturabilir ve toz emisyonlarının rutin işlemler sırasında gözlenen seviyenin üzerine çıkmasına neden olabilir.

Yetersiz filtre alanı, filtreye soğutma havası verildiğinde çok yüksek filtreleme hızına neden olur.

Ek atık oluşur.

İşletim verileri

Torba filtreler genellikle çiy noktasının üzerindeki sıcaklıklarda çalıştırılır; özel kumaşlar için 180 – 200 °C'ye kadar ve fiberglas ve 'Teflon' gibi filtre ortamları için 250 °C'ye kadar. Bununla birlikte, hidratlama tesislerinden kaynaklanan emisyonları artırmak üzere çiy noktasında kullanılabilirler.

İyi tasarlanmış, çalıştırılan ve bakımı yapılan torba filtreler için (filtre torbalarının sürekli tozdan arındırılması), 10 mg/Nm³'ün (AB-27'den %60 az) altında toz emisyonlarına ulaşılabilir ve genellikle 20 mg/Nm³'ün altında toz emisyonları gözlenir. Finlandiya'daki bir kireç tesisinde, yılda bir kez ölçülen toz emisyonları, 2004'te 0,7 – 1,1 mg/Nm³ (%4,3 O₂) ve 2005'te 1,7 – 2,2 mg/Nm³ (%4,3 O₂) aralığındaydı. Bu emisyonlar, torba filtreler ve yanma için ağır ve hafif yakıt kullanılarak bir dairesel şaft fırında elde edildi. Ayrıca 2004'te Finlandiya'daki bir PFRK, torba filtreler ve yakıt olarak kok gazı kullanarak 6 mg/Nm³ (kısa vadeli, %9,6 O₂) toz emisyonu elde etti (ayrıca bkz. Tablo 6.37). 2005 yılında, bir torba filtre kullanılarak bir dairesel şaft fırında 1,7 ila 2,2 mg/Nm³ aralığında toz emisyonları elde edilmiştir (tekil ölçümler).

Torba filtrelerin verimliliği ve torba yüklemesi genellikle ham ve temiz gaz arasındaki basınç düşüşü ölçülerek izlenir. Torba filtre kullanan tesislerde parçacık tutma oranı yüksek olup, partikül büyüklüğüne bağlı olarak, tipik olarak %98-99,9'a kadar çıkabilir ve tüm fırınlarda kullanılabilir (Bölüm 6.3.2.3).

Uygulanabilirlik

Çıkış gazlarından toz gidermeye yönelik torba filtreler prensipte, kireç endüstrisinde her tür kireç fırınına uygulanabilir ve toz giderme için yaygın olarak kullanılır. Kireçtaşının yanı sıra sönmemiş kirece yönelik fırınlar, öğütme tesisleri için, aynı zamanda hidrasyon tesisleri, malzeme taşımacılığı, depolama ve yükleme tesisleri için oldukça uygundur. Siklon ön filtrelerle beraber kullanım çoğu zaman faydalıdır.

Torba filtrelerin çalışması, sıcaklık, nem, toz yükü ve kimyasal bileşim gibi baca gazı koşulları yönünden kısıtlıdır. Bu koşullara yanıt vermek için mekanik, termal ve kimyasal aşınmaya direnç gösterebilecek çeşitli kumaş malzemeleri mevcuttur.

Isıya dayanıklı ortam kullanan fırın baca gazları için çalışma sıcaklıkları 250 °C'ye kadar çıkabilir. Bunun üzerindeki sıcaklıklar, gazın su veya temiz hava ile söndürülerek soğutulmasını gerektirir.

Filtrenin korozyonunu ve torbaların tıkanmasını önlemek için yüksek nem içeriğine ve düşük sıcaklığa (<120 °C) sahip baca gazlarının ek ısıtması gereklidir. Bu, filtreden önce ek bir ısıtma sisteminin kurulmasını gerektirir. Filtre muhafazası genellikle yalıtılmıştır ve kritik parçalar ısıtılır ve/veya paslanmaz çelikten yapılır.

Yüksek baca gazı hızı torba temizleme etkinliğini azaltacaktır. Sonuç olarak, torbaların temizlenmesi için temizleme havasının basıncının artırılması gerekir, bu da torbaların ömrünü kısaltır. 0,9 – 1,2 m/dk'lık bir filtreleme hızı tavsiye edilmiştir.

Filtre torbasına ve çelik konstrüksiyona zarar vermemek için filtreye katmanlı akışın tam kontrolünü sağlamak gerekir. Buna yönelik olarak, örneğin muflaların nasıl yerleştirileceğini anlamak için, işletim tecrübesine ihtiyaç vardır ve modellemelerden faydalanmak mümkün değildir. Burada yanıtlanması gereken soru, filtre içinde ne tip gaz akış dağılımı ve hangi tip filtre malzemelerinin kullanılacağıdır. İşletimin çiy noktasının üzerinde gerçekleştirilmesi de önemlidir, aksi takdirde çelik konstrüksiyon korozyona uğrayacaktır. Bazı durumlarda (büyük) korozyon sorunları meydana geldiğinde, filtrenin bazı bölümlerinin paslanmaz çelikten yapılması gerekir.

Ekonomik boyut

Torba filtre yatırım maliyetleri, Şekil 2.46'da gösterildiği gibi fırın boyutu ve günlük kapasitesi ile artmaktadır (bkz. Bölüm 2.4.5.3.5). Bakım ve enerji maliyetleri Şekil 2.47 ve Şekil 2.48'de gösterilmektedir (bkz. Bölüm 2.4.5.3.5).

Avusturya kireç tesislerinde, bir torba filtre kurmak için yatırım maliyetleri, filtrenin kendisi ve yardımcıları hariç 350000 EUR ile 500000 EUR arasındaydı. Yıllık işletme maliyetleri, ton başına yaklaşık 0,5 – 1 avrodur [66, Avusturya, 2006].

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Baca gazı sıcaklığı ve akış hızı.

Yatırım maliyetleri (yerel koşullar).

İşletim giderleri.

Enerji tüketimi.

Kanıtlanmış teknik.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

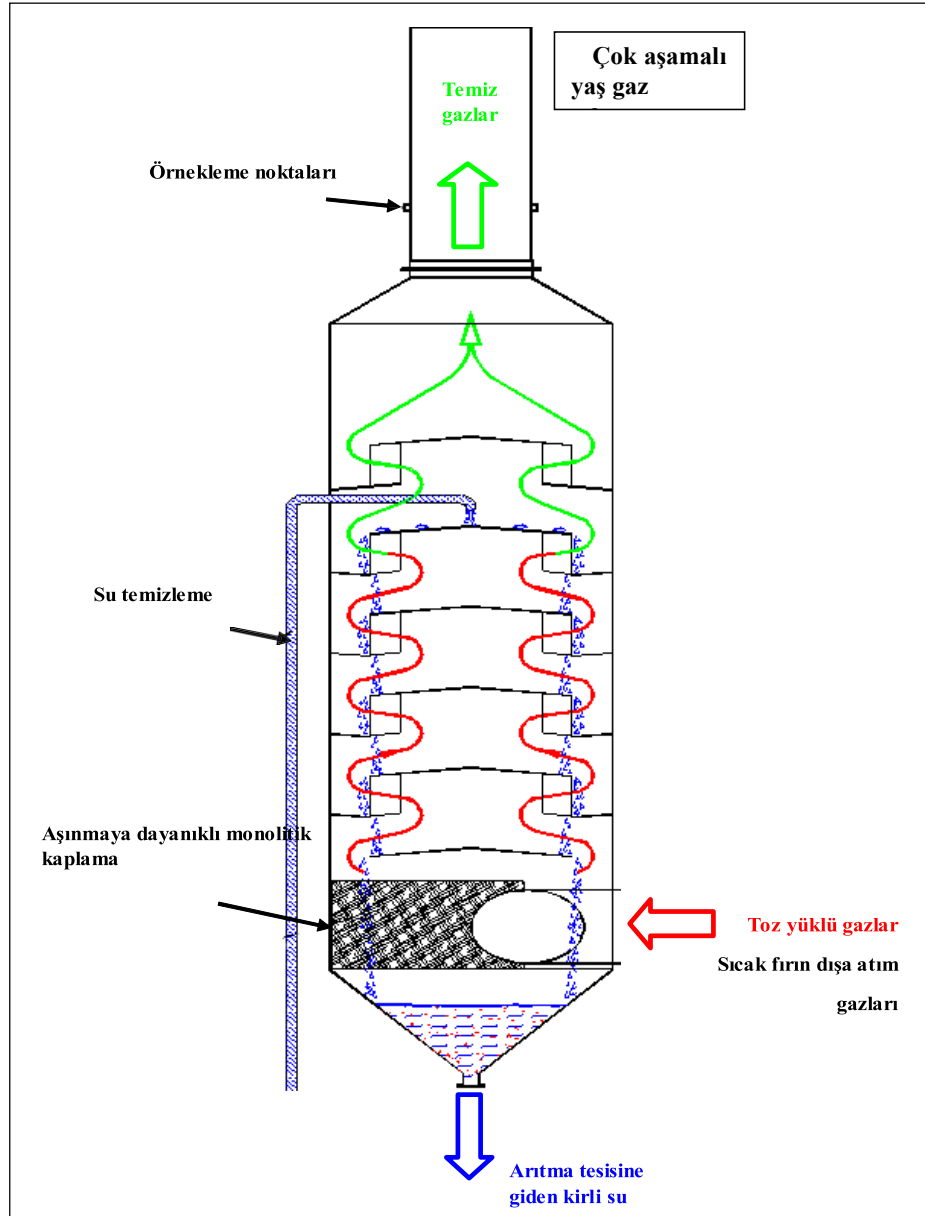
AB-27'deki kireç tesisleri, Finlandiya'daki Tytyri tesisi.

[24, Junker, 2001] [45, Schorcht, 2006], [54, EuLA, 2006], [63, Finlandiya, 2006], [66, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.5.3.3 Yaş toz ayırıcıları

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Yaş toz ayırıcıları ile, gaz akışının yıkama sıvısı (genellikle su) ile yakın teması sağlanır, böylece toz partikülleri sıvıda tutulur ve durulanabilir, bu sayede çıkış gazı akımlarından kaynaklanan toz ortadan kaldırılır. Yaş toz ayırıcıları, tasarımları ve çalışma prensiplerine (venturi tipi gibi) göre çeşitli türlere ayrılabilir, ancak kireç fırınları için en yaygın kullanılan türler, Şekil 2.4.5'te gösterildiği gibi çok aşamalı yıkayıcılardır.



Şekil 2.45: Dışa atım gazlı çok kademeli yaş gaz yıkayıcı örneğinin şematik görünümü

Fırından çıkan ham gazlar, havaya deşarj edilmeden önce çok kademeli/çok kademeli yıkayıcıdan geçer. Su üniteye pompalanır ve ardından tozun sürüklendiği çeşitli bölümlerden aşağı doğru kademeli olarak akar ve sonunda su arıtma tesisine tahliye olur. Fırın yaş gaz yıkayıcısından üretilen çamur, nötralize edici bir ürün olarak satılabilir veya susuzlaştırıldıktan sonra bertaraf edilebilir. Su genellikle geri dönüştürülür.

Toz giderme için bir dizi farklı yaş gaz yıkayıcı tipi mevcuttur. Kireç fırınlarında kullanılan başlıca türler çok aşamalı yaş gaz yıkayıcılar, dinamik yaş gaz yıkayıcılar ve venturi yaş gaz yıkayıcılarıdır. Kireç fırınlarında kullanılan yaş gaz yıkayıcıların çoğu, Şekil 2.45'te gösterildiği gibi çok kademeli yaş gaz yıkayıcılarıdır. Daha düşük olan temiz gaz yüklerini elde etmek için, ünitelerin göreve göre aşırı boyutlandırılması, ek kaskad bölümlerinin olması veya yıkanmış taştan kaynaklanan giriş toz yükünün düşük olması gerekebilir.

Venturi yıkayıcı kullanılarak gaz, hızların 60 ila 120 m/s'ye ulaştığı bir boru hattından geçmeye zorlanır. Boru hattının akış yukarısında eklenen su, pnömatik kuvvetler tarafından ince damlalar halinde ayrıştırılır ve böylece gazla yakından karıştırılır. Damlacıklar tarafından tutulan toz parçacıkları ağırlaşır ve venturi yıkayıcıya bağlı bir tutma ayırıcısında (genellikle siklonlu) kolayca çıkarılır.

Toplanan malzeme çamur halindedir, bu nedenle malzemenin taşınmasında herhangi bir difüz toz emisyonu meydana gelmez. Sabit su beslemesi söz konusu olduğunda, yaş gaz yıkayıcının performansı sabit kalacak ve sarf malzemelerinin değiştirilmesini gerektirmeyecektir.

Ortamlar arası etkiler

Su tüketimi artar. Temiz gazlarda daha yüksek nem içeriği.

Fırın bacasında, atmosfer koşullarına ve bağlı neme bağlı olarak yüksek nem içeriğinden kaynaklanan pus görülebilir.

Ek atık su oluşabilir.

Yıkama sıvısının ve proses atık suyunun temizlenmesi, çamur taşıma, kullanım ve bertarafı göz önüne alınmalıdır.

Atık su arıtımı için ek enerji kullanılabilir. Gürültü oluşabilir.

Daha düşük temiz gaz yüklerini elde etmek için, ünitelerin aşırı boyutlandırılması, ek kaskad bölümlerinin olması veya yıkanmış taştan kaynaklanan giriş toz yükünün düşük olması gerekebilir.

Ek yatırım ve bakım maliyetleri ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Yeni nesil yaş gaz yıkayıcılar kullanıldığında, azaltma sonrası emisyon seviyeleri 10 ila 30 mg/Nm³ arasında değişir, bu da yaklaşık olarak 0,008 ila 0,024 kg/ton sönmüş kirece karşılık gelir. 2007'de İngiltere'de en modern yaş gaz yıkayıcılar 11 mg/Nm³, 17 mg/Nm³ ve 18 mg/Nm³ sonuçlarını vermiştir. Bununla birlikte, 60 mg/Nm³'e kadar toz emisyonları da rapor edilmiştir (yaş koşullarda ifade edilir) [168, TÇG CLM, 2007], [177, EULA, 2008].

Verimli şekilde çalıştırıldığında, çok kademeli/çok kademeli yaş gaz yıkayıcılar 30 mg/Nm³'ün altında temiz gaz derişimlerine ulaşabilir; ancak çoğu durumda toz emisyonları 30 mg/Nm³'ün üzerindedir. Şekil 2.35 (bkz Bölüm 2.3.3.1.1), yaş gaz yıkayıcıların sadece yaklaşık %30'unun 30 mg/Nm³'ün altında, yaklaşık %12'sinin 20 mg/Nm³'ün altında sonuçlar verdiğini ve hiçbirinin 10 mg/Nm³'ün altında emisyon seviyelerine ulaşamadığını göstermektedir. Bununla birlikte, daha aralığın alt kısmı çok aşamalı yaş gaz yıkayıcıların verimli çalışması ve/veya yeni nesil yaş gaz yıkayıcıların kullanılmasıyla elde edilir.

ESP'ler ve torba filtrelerle karşılaştırıldığında, yaş gaz yıkayıcıların ulaşılabilir emisyon seviyesi önemli ölçüde daha yüksek olabilir.

Çok aşamalı yaş gaz yıkayıcının tipik su tüketimi yaklaşık 100 l/t kireçtir.

Uygulanabilirlik

Yaş gaz yıkayıcılar, dışa atım gazı sıcaklıkları çiy noktasına yakın veya altında olduğunda tercih edilir. Bu, alanın sınırlı olduğu durumlarda da geçerli olabilir.

Yaş gaz yıkayıcılar bazen daha yüksek sıcaklıktaki gazlarla kullanılır, bu durumda su gazları soğutur ve hacimlerini azaltır.

Ekonomik boyut

İşletim maliyetleri konusunda, hem yıkama sıvısının hem proses atık suyunun temizlenmesi göz önüne alınmalıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Shapfell Limeworks, Birleşik Krallık.

[54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [177, EULA, 2008], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.5.3.4 Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Siklon/santrifüjlü ayırıcıda, çıkış gazı akışından gelen toz partikülleri merkezkaç eylemiyle ünitenin dış duvarına itilir ve ünitenin dibindeki bir açıklıktan atılır. Merkezkaç kuvveti, gaz akışını aşağı doğru spiral bir hareketle silindirik şeklinde bir kaba yönlendirerek (siklonlu ayırıcılar) veya üniteye dönen bir pervane takılarak (mekanik santrifüjlü ayırıcılar) oluşturulabilir. Ancak, sınırlı partikül giderme verimleri nedeniyle yalnızca ön ayırıcı olarak uygundurlar. ESP'leri ve torba filtreleri fazla toz yükünden kurtarır ve aşınma sorunlarını azaltırlar.

Ortamlar arası etkiler

Santrifüjlü ayırıcıların çalıştırılması, önemli bir gürültü kaynağıdır

İşletim verileri

Siklonlar tipik olarak kireç fırınlarındaki tozun yaklaşık %90'ını giderir. Ön ayırıcılar/ürün ayırıcılar olarak, tipik olarak yalnızca 150 mg/Nm³'ün biraz altında toz emisyon değerlerine ulaşabilirler.

Santrifüjlü ayırıcılar, cihaz tıkanmadığı sürece, kirletici yükleri arttıkça daha verimli performans gösterir.

Uygulanabilirlik

Siklonlar nispeten ucuzdur ve işletimi kolaydır, ancak küçük çaplı partiküller etkili bir şekilde yakalanmaz. Parçacık boyutu çok küçük olduğunda santrifüjlü ayırıcıların/siklonların uygulanması sınırlı olabilir. Yapıları gereği sınırlı parçacık giderme verimleri nedeniyle, yalnızca ön ayırıcı olarak uygundurlar ve esas olarak değirmenlerden, fırınlardan ve diğer işlemlerden gelen dışa atım gazlarının ön temizliğinde kullanılırlar.

Ekonomik boyut

Siklonlar, ESP'ler ve torba filtrelerle karşılaştırıldığında nispeten ucuzdur. Torba filtreler ve ESP'ler için yatırım maliyetleri (fırın boyutuna ve günlük kapasiteye bağlı olarak) Şekil 2.46'da, bakım ve enerji maliyetleri ise Şekil 2.47 ve Şekil 2.48'de gösterilmektedir (bkz. Bölüm 2.4.5.3.5).

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Hammadde kullanımından tasarruf.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[16, EuLA, 2001], [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.5.3.5 Farklı baca gazı temizleme teknikleri için maliyet verilerine örnekler

Farklı azaltma teknikleri kullanılarak toz emisyonlarının azaltılmasına ilişkin bazı maliyet verileri örnekleri Tablo 2.36'da gösterilmektedir.

Kireç fırınları için kullanılan üç ana toz giderme tekniği vardır:

- ☐ torba filtreler
- ☐ elektrostatik toz tutucular (ESP)
- ☐ yağ gaz yıkayıcılar.

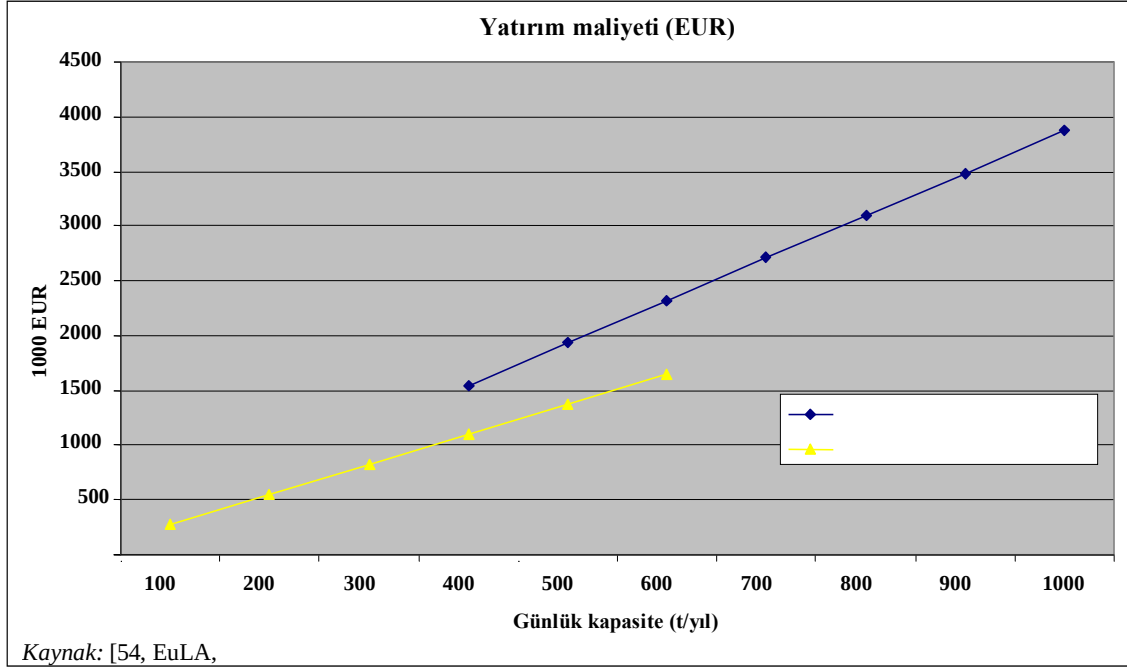
Yatırım maliyetleri, filtrenin boyutundan ve çalışma koşullarından etkilenir. Sıcaklıklar ve gaz bileşenleri, aşağıdakiler gibi birkaç ek kurulum gerektirebilir:

2. Bölüm

- ☐ yalıtım
- ☐ ısıtma/soğutma
- ☐ korozyon ve aşınmaya karşı koruma.

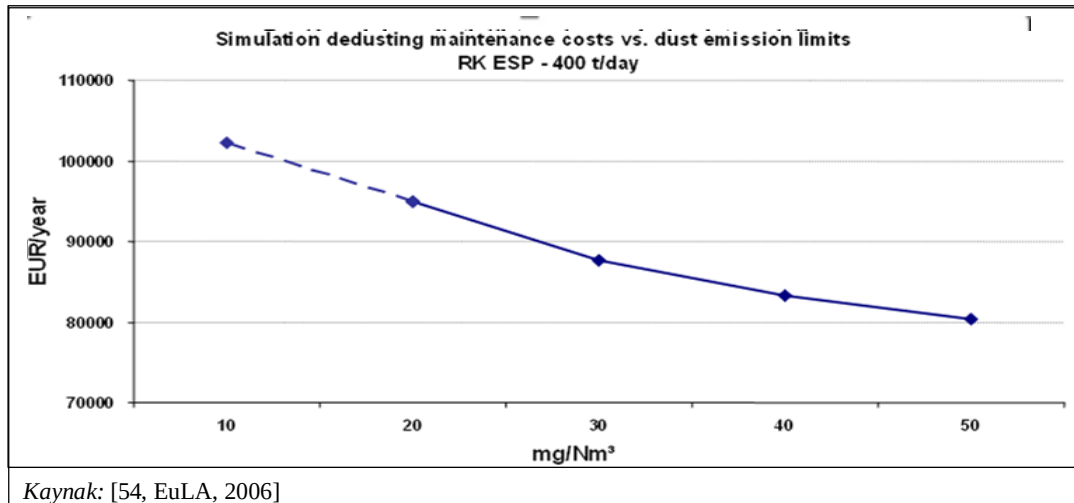
Yani yatırım maliyetleri çok çeşitli olabilir. Ana maliyet faktörleri yatırımlar, bakım ve enerjidir.

ESP'lerin torba filtreler göre yatırım maliyetleri, Şekil 2.46'da gösterildiği gibi fırın boyutu ve günlük üretim kapasitesi ile artmaktadır.

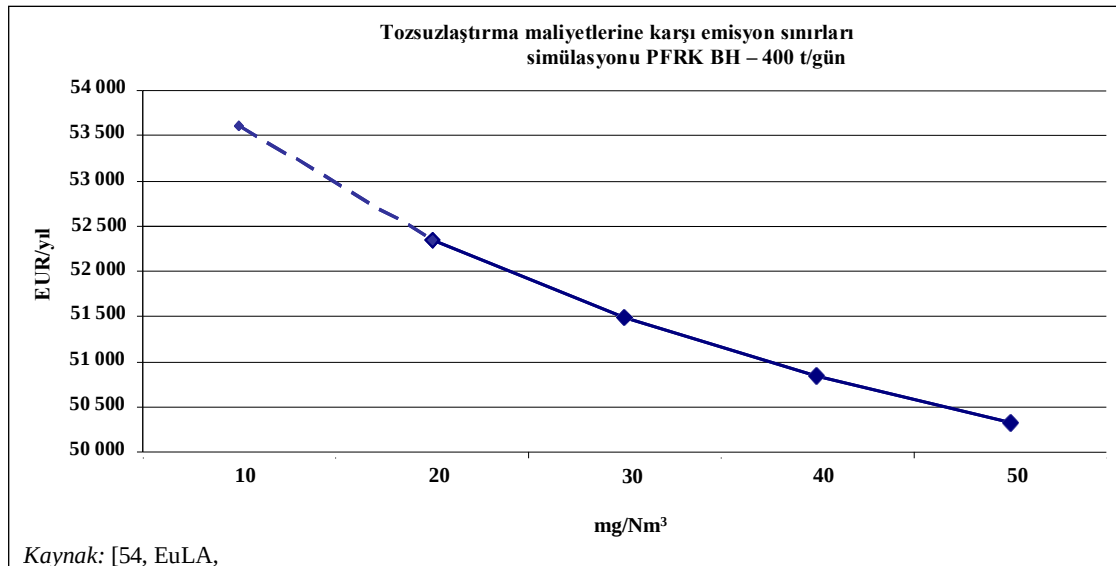


Şekil 2.46: ESP'ler ve torba filtreler için fırın kapasitesinin bir fonksiyonu olarak yatırım maliyetleri – AB-27

Teçhizat için yatırım maliyetleri, fırın kapasitesine ve sahaya özgü etkilere bağlı olarak 300000 ile 4 000 000 EUR arasında değişmektedir. Şekil 2.47 ve Şekil 2.48'de gösterildiği gibi emisyon seviyesi düşüktüğü bakım ve enerji maliyetlerinin arttığı tespit edilmiştir.

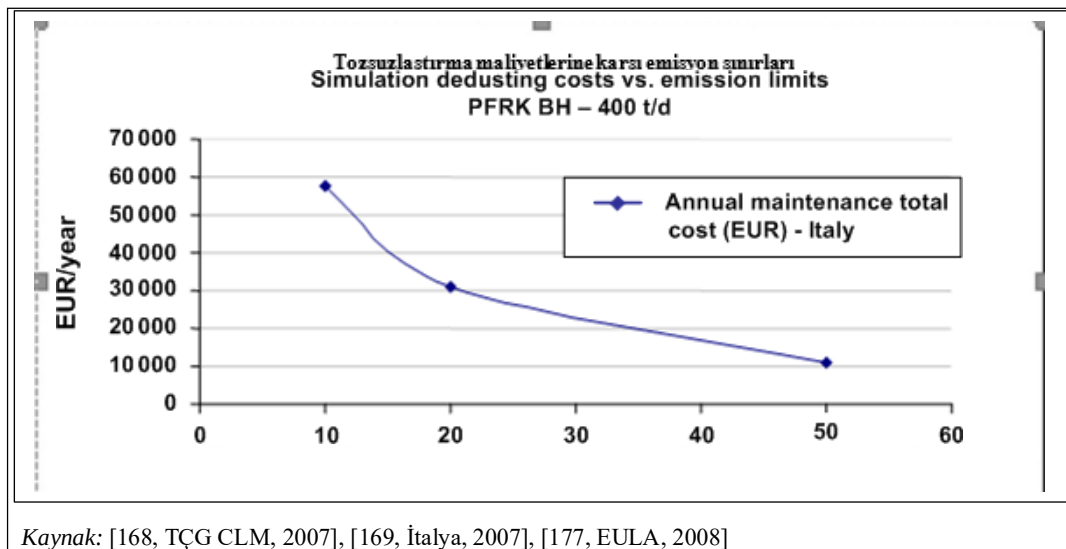


Şekil 2.47: ESP'li bir döner fırın (RK) için toz emisyon limitlerinin bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma maliyetinin simülasyonu – AB-27



Şekil 2.48: PFRK ve torba filtreler için toz emisyon sınırlarının bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma bakım maliyetlerinin simülasyonu – AB-27

2007 yılında İtalya'da 33 İtalyan PFRK'sinde bir anket yapılmış ve PFRK'lerin toz emisyon aralıklarına bağlı olan tozsuzlaştırma maliyetleri araştırılmıştır. Bu araştırma, tozsuzlaştırma maliyetleri ile toz emisyon derişimi arasında parabolik bir ilişki olduğunu göstermiştir. Maliyet oranı, Şekil 2.49'da gösterildiği gibi, 20 ila 50 mg/Nm³ aralığının yanı sıra 10 ila 20 mg/Nm³ aralığındaki toz emisyonları için yaklaşık 2'dir.



Şekil 2.49: İtalya'da 2007 yılı için PFRK ve torba filtreler için toz emisyon aralıklarının bir fonksiyonu olarak tozsuzlaştırma bakım maliyetlerinin simülasyonu

Fransız referans kireç tesisinde toz azaltma teknikleri için maliyet hesaplamalarına örnekler Tablo 2.36'da verilmiştir. Araştırılan ESP'ler ve torba filtre toz azaltma teknikleri değerlendirilmiştir. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, toz bertaraf etme masrafları da bu tabloda belirtilmiştir. Ayrıca, yaş gaz yıkayıcılara ilişkin veriler de dahildir.

Tablo 2.36: Toz azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri

Toz azaltma tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri				
Parametre	Biri m	Azaltma tekniği		
		ESP (°)	Torba filtre(°)	Yaş gaz yıkayıcı
Referans kurulumun açıklaması				
Kapasite	t kireç/gün	140	140	
Kapasite	t/yıl			50 000
Tesis faktörü	s/yıl	7 680	7 680	
Dışa atım gazı akışı	Nm³/s (¹)	23 333	23 333	
Yatırım maliyetleri	k EUR	600	700	6 – 18
Yıla yayılan sermaye maliyetleri	k EUR			
Faiz oranı	%/100/yıl	4	4	
Kontrol teçhizatının ömrü	yıl	10	10	
Toplam	k EUR	73,97	86,30	
Toplam	k EUR/ton kireç	1.65E-03	1.93E-03	
Sabit işletme giderleri	%/yıl (²)	4	4	
Toplam	k EUR	24	28	
Toplam	k EUR/ton kireç	5.36E-04	6.25E-04	1.0 – 5.0E-04 (0,1 – 0,5 EUR/ton kireç)
Değişken işletme giderleri	k EUR/ton kireç	8.06E-04	9.03E-04	
Ton kireç başına maliyet	k EUR/ton kireç	2.99E-03	3.45E-03	
Ton azaltılan PM(³) başına maliyet	k EUR/t azaltılan PM			
Azaltılmamış emisyon faktörü	t PM/t kireç	0,015	0,015	
Azaltılan emisyon faktörü	t PM/t kireç	0,0002	0,0002	
Toplam	k EUR/t azaltılan PM	0,202	0,233	
Değişken işletim maliyetinin belirlenmesi				
Elektrik maliyetleri (⁴)				
Ek elektrik ihtiyacı (e⁵)	kWs/t kireç	6,86 40 kW	8,57 50 kW	
Elektrik fiyatı (c⁶)	EUR/kWs	0,0569	0,0569	
Toplam	k EUR/ton kireç	3.90E-04	4.88E-04	
İşgücü maliyetleri (⁶)				
İşgücü ihtiyacı (e¹)	insan yılı/t kireç	1.12E-05	1.12E-05	
Maaşlar (c¹)	k EUR/insan yılı	37.234	37.234	
Toplam	k EUR/ton kireç	4.16E-04	4.16E-04	
Toz bertaraf maliyetleri (⁷)				
Toplam	k EUR/ton kireç	0	0	
Toplam değişken işletme maliyetleri	k EUR/ton kireç	8.06E-04	9.03E-04	
k EUR = bin EUR (0)2000 verileri (1)% 10 O ₂ ve kuru gaz (2) Yatırımın (3)% 50 ESP ve % 50 torba filtre olmak üzere yeniden bölümlenme; ESP ve torba filtre ortalaması kullanılır (4)Elektrik maliyetleri = e ^e • c ^e /10 ³ (k EUR/t) (5)Ek elektrik talebi = yeni toplam tüketim - eski toplam tüketim (6) İşçilik maliyetleri = e ¹ • c ¹ (k EUR/t) (7) Toz bertaraf maliyeti = e ^d • c ^d • efazaltılmamış • f/10 ³ (k EUR/t) Efazaltılmamış: kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (t kirletici/t) e ^d : toz bertaraf ihtiyacı (t/t giderilen kirletici) c ^d : özgül toz bertaraf maliyeti (EUR/t) f: giderme verimi (=1-efazaltılmış/efazaltılmamış) Kaynak: [61, Fransa, 2006, 62, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2004]				

Tablo 2.36'daki maliyet hesaplamasına ve özellikle işletme maliyetlerine dahil edilen farklı maliyetlere ilişkin olarak bunların oranları aşağıdaki Tablo 2.37'de gösterilmektedir.

Tablo 2.37: Azaltma teknikleri için işletme maliyetlerine dahil edilen farklı maliyet türlerinin oranları

Değişken işletme maliyetlerine dahil edilen orantılı maliyetler			
Maliyet türü	Birim	Azaltma tedbiri/teknik	
		ESP	Torba filtre
Elektrik maliyetleri	%	48,42	53,99
İşçilik maliyetleri	%	51,58	46,01
Toz bertaraf maliyetleri	%	0,00	0,00
Toplam değişken işletme giderleri	%	100,00	100,00
Kaynak: [61, Fransa, 2006]			

Avusturya'da bir torba filtrenin kurulum maliyetleri 350000 ile 500000 EUR arasındaydı. Çevre birimlerinin maliyetleri bu kurulum maliyetlerine dahil değildir [66, Avusturya, 2006].

2.4.6 Gaz halindeki bileşikler

2.4.6.1 NO_x emisyonlarının azaltılması

En yüksek NO_x emisyonları döner fırınlarda görülmektedir. Bu nedenle, döner fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının kontrolüne öncelik verilmektedir (bkz. Bölüm 2.3.3.2).

NO_x emisyonlarını azaltma imkanları aşağıdakilere ayrılabilir:

- ☐ NO_x oluşumunu azaltmayı amaçlayan birincil teknikler ve
- ☐ azot oksitleri N₂ oluşturmak üzere indirgeyerek yok etmeyi amaçlayan ikincil

teknikler. Birincil teknikler özellikle şunları içerir:

- ☐ yakıttaki azot içeriğinin sınırlanması, yakıt seçimi
- ☐ proses optimizasyonu (alev şekillendirme ve sıcaklık profili)
- ☐ brülör tasarımı (düşük NO_x brülörleri)
- ☐ hava kademelendirme.

Bu teknikler maliyet açısından en etkin tekniklerdir, ancak özellikle döner fırınların alev bölmesinin tasarımı ve kirecin kalitesini korumak için gereken sıcaklık seviyeleri nedeniyle etkinlikleri sınırlıdır.

İkincil teknikler aşağıdakilere ayrılabilir:

- ☐ seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) ve
- ☐ seçici katalitik indirgeme (SCR).

Her iki teknikte de azot oksitlerle reaksiyona giren azot bileşikleri, bunları indirgemek ve N₂ oluşturmak için kullanılır. Katalitik prosesler genellikle yüksek yatırım maliyetleri getirir.

Tablo 2.38, belirli kireç fırınlarına uygulanabilen NO_x azaltma tekniklerini sunmaktadır.

Tablo 2.38: Kireç endüstrisinde geliştirilmekte olan NO_x azaltma tekniklerine genel bakış

Tebdir/teknik	Uygulanabilirlik	Azaltım verimliliği %	Emisyon verisi ⁽¹⁾⁽²⁾		Maliyetler ⁽³⁾	
			mg/Nm ³ ⁽⁴⁾	kg/ton ⁽⁵⁾	Yatırım EUR milyon	İşletme EUR/t kireç
Proses optimizasyonu	PFRK, ASK, MFSK, OSK		< 100 – < 350 ^(6,7)	0,3 – 1,05		
	LRK, PRK		< 200 – < 500 ^(6,7)	0,74 – 2,5		
Hava kademelendirme (2007'de AB-27'de kireç endüstrisinde uygulanmamaktaydı)	LRK, PRK	-				
Düşük NO _x brülörleri	LRK, PRK	0 – 20			Genelleşmiş brülör teknikleri aralığında	Genelleşmiş brülör teknikleri aralığında
SNCR ⁽⁸⁾	PRK (Lepol ızgara)	30 – 80	< 500 ⁽⁷⁾	< 2.5	0,5 – 1,2	0,1 – 1,7 ⁽⁹⁾
SCR (2007'de AB-27'de kireç endüstrisinde uygulanmamaktaydı)	LRK, PRK	⁽¹⁰⁾	-	-	⁽¹¹⁾	⁽¹¹⁾

(1) Standart hal, % 11 oksijen
(2) Emisyon verileri bu kısmın ilgili paragrafında bulunabilir
(3) Farklı fırın kapasiteleri için bkz. Şekil 2.46 ve Tablo 2.36
(4) Fırın sistemleri için günlük ortalamalar, kuru gaz, 273 K, 101,3 kPa ve % 11 O₂
(5) kg/ton kireç, şunlara dayalıdır:
□ ASK ve PFRK için 3 000 Nm³/t kireç
□ PRK için 3 700 Nm³/t kireç
□ LRK için 5 000 Nm³/t kireç
(6) Ürün özelliklerine bağlı olarak seviye daha yüksek olabilir, bkz. Bölüm 2.3.3.2 ve Şekil 2.36
(7) Başlangıç NO_x seviyesine bağlıdır
(8) 2007'de SNCR yalnızca Lepol ızgaralı fırınlara uygulanabiliyordu; bir kireç fırını (Lepol ızgara) SNCR ile donatılmıştı
(9) 1 000 t/gün fırın kapasitesine ve 1 500 mg NO_x/Nm³e varan başlangıç emisyonlarına ilişkin ön testlere dayalı mali tahminler
(10) Kullanılan katalizöre bağlı olarak, bkz. Bölüm 2.4.6.1.5
(11) Çimento endüstrisine benzerdir (bkz. Tablo 1.34, Bölüm 1.4.5.1, 1.4.8.2 ve 2.4.6.1.5), ancak kireç fırınlarında özgül hacimin daha yüksek olmasıyla ilgili olarak, çimento endüstrisine kıyasla kireç endüstrisinde yatırım maliyetlerinin daha yüksek olması beklenmektedir.

Ayrıca, Şekil 2.36 (Bölüm 2.3.3.2), farklı kireç fırınları kullanılarak farklı kireç türlerinin üretilmesinden kaynaklanan sıcaklık bağımlılığı nedeniyle dikey şaft fırınlardaki NO_x emisyonlarının genellikle döner fırınlara göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Şekil 2.36'da da gösterildiği gibi, döner fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının yaklaşık % 68'i 500 mg/Nm³'ün (spot ölçümlerden alınan yarım saatlik ortalama değerler olarak), şaft fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının ise yaklaşık % 60'ı 100 mg/Nm³'ün altındadır. Ayrıca, PFRK, MFSK ve OSK'lerin yaklaşık % 80'inin yanı sıra, ASK'lerin % 50'si yarım saatlik ortalamalar olarak ölçülen <100 mg/Nm³ NO_x emisyon değerlerine ulaşmaktadır (bkz. Bölüm 2.3.3.2).

2.4.6.1.1 Proses optimizasyonu

Tanım

Tesis işletiminin ve/veya yakıt ve hammadde besleme homojenizasyonunun optimize edilmesi gibi proses optimizasyonu süreçleri, NO_x emisyonlarının azaltılmasında uygulanabilir. Optimizasyonu NO_x emisyonları üzerinde olumlu etkiye sahip olabilecek, bir kireç fırınında proses kontrol optimizasyonu için önemli olan parametreler şunlardır:

- ☐ ısıtma hızı
- ☐ pişirme sıcaklığı düzeyi
- ☐ hava fazlası

- ☐ ikincil hava sıcaklığı
- ☐ püskürtme havası basıncı
- ☐ toz haline getirilmiş kömürün inceliği
- ☐ yakıttaki uçucu içerik
- ☐ alevin konumu, uzunluğu ve sıcaklığı.

Elde edilen çevresel faydalar

Emisyonların ve enerji kullanımının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Ortamlar arası etki bildirilmemiştir.

İşletim verileri

Şekil 2.36'da gösterildiği gibi, döner fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının yaklaşık %68'i 500 mg/Nm³'ün (spot ölçümlerden alınan yarım saatlik ortalama değerler olarak), şaft fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının yaklaşık % 60'ı 100 mg/Nm³'ün altındadır. Ayrıca, PFRK, MFSK ve OSK'lerin yaklaşık %80'inin yanı sıra, ASK'lerin % 50'si yarım saatlik ortalamalar olarak ölçülen <100 mg/Nm³ NO_x emisyon değerlerine ulaşmaktadır (bkz. Bölüm 2.3.3.2).

Uygulanabilirlik ve ekonomi

Proses ve proses kontrolünün optimizasyonu kireç üretiminde uygulanabilir; ancak kireç endüstrisinde pişirme prosesine ait ısıtma eğrilerinin, uygulamada ürün kalitesi ve enerji tüketimine paralel olarak optimize edildiğine dikkat edilmelidir. Dolayısıyla ısıtma eğrileri yalnızca son ürünün teknik özellikleri buna müsaade ediyorsa değiştirilebilir. Emisyona bağlı nedenlerden dolayı ısıtma eğrileri üzerinde değişiklik yapılırken ilave giderler hesaba katılmalıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

2.4.6.1.2 Hava kademelendirme

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Hava kademelendirme, prensipte döner kireç fırınlarına uygulanabilir. Birincil reaksiyon bölgelerindeki oksijen tedarikinin azaltılmasıyla bir indirgeme bölgesi oluşturulur. Bu bölgedeki yüksek sıcaklıklar özellikle NO_x unsurlarını yeniden element azota dönüştüren reaksiyon için çok uygundur. Takip eden yanma bölgelerinde, oluşan gazları oksitlemek için hava ve oksijen beslemesi artırılır. Hem CO hem NO_x seviyelerinin düşük tutulmasını sağlamak için ateşleme bölgesinde etkili hava/gaz karıştırma gereklidir.

Ortamlar arası etkiler

Daha fazla bilgi mevcut değildir.

İşletim verileri

2007 itibarıyla hava kademelendirme AB kireç endüstrisinde henüz test edilmemişti.

Uygulanabilirlik

2007'de AB-27 kireç sektöründe hava kademelendirme hiç uygulanmamıştı; bununla birlikte testler, döner fırınlara prensipte uygulanabilir olduğunu, ancak çok yanmış kirecin üretildiği döner fırınlara uygulanamayacağını göstermiştir. Şaft fırınlarda hava kademelendirme uygulanmaz.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

2008'de AB-27'de örnek kireç tesisi yoktu.

[54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.6.1.3 Düşük NO_x brülörleri

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Azot oksit emisyonları esas olarak üretilen kirecin kalitesine ve fırının tasarımına bağlıdır ve 1300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda pişirme işleminden kaynaklanır. Bu NO_x emisyonları, özel düşük NO_x emisyonlu brülörlerinin çalıştırılması ile en aza indirilebilir. Bu brülörler alev sıcaklığının azaltılmasıyla elde edilen termal (bir düzeye kadar) ve yakıt kaynaklı NO_x azaltımı için faydalıdır. NO_x azaltımı, alev sıcaklığının azaltılması için temiz hava ikmal veya brülörlerin atımlı çalıştırılması ile sağlanır.

Bir brülör aracılığıyla fırına gelen ve 'birincil hava' olarak adlandırılan yanma havası, 'girdap havası' ve 'eksenel hava' olmak üzere iki akıma ayrılır. Eksenel hava, brülör eksenine neredeyse paralel olarak akarken, girdap havası bir eksenel ve bir teğet bileşene sahiptir. Hem girdap havası hem de eksenel hava, alevin şekli ve alevin stabilitesini sağlamak için gereklidir.

Düşük NO_x brülörleri, daha düşük NO_x oluşumuna yol açan birincil hava kısmını azaltmak için tasarlanmış olup, yaygın çok kanallı brülörler, toplam yanma havasının % 10 ila 18'lik birincil hava bölümü ile çalıştırılır. Birincil havanın daha yüksek olan kısmı, sıcak ikincil hava ve yakıtın erken karıştırılmasıyla kısa ve yoğun bir aleve yol açar. Bu, düşük NO_x brülörleri kullanılarak önenebilecek yüksek miktarda NO_x oluşumuyla birlikte yüksek alev sıcaklıkları ile sonuçlanır.

Brülör tekniğinin, farklı atık türlerinin kullanımı söz konusu olduğunda özellikle yakıt değişimlerinde veya sıvı atık yakıtların kullanılması durumunda, yakılan yakıtta çok iyi ayarlanması önemlidir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Dairesel *şaft fırın ile* yakıtı yüksek basınçlı hava enjeksiyonu (6 bar) yoluyla atomize eden brülörlerden (30 – 150 kg/saat yakıt debisi) olumlu deneyim elde edilmiştir. Ek olarak, yanma havasının akış hızı ve alevin şekli optimize edilmiştir. 2005 ve 2006'da <200 mg/Nm³ (standart hal, %10 oksijen) NO_x emisyon seviyeleri ölçülmüştür. Yakıtların azot ve su içeriği NO_x emisyon seviyesini etkileyebileceğinden, yakıt olarak ağır fuel oil kullanıldığı belirtilmelidir [46, Almanya, 2006], [157, Almanya, 2007].

Uygulanabilirlik

Düşük NO_x brülörleri döner fırınlara takılmıştır ve ayrıca bazı özel koşullar (yüksek birincil hava) için dairesel şaft fırınlara da uygulanabilir. Düşük NO_x brülörü tekniğinin çimento fırınlarından kireç fırınlarına doğrudan aktarımı kolay değildir. Çimento fırınlarında alev sıcaklıkları daha yüksektir ve yüksek başlangıç 'termal NO_x' seviyelerini azaltmak için düşük NO_x brülörleri geliştirilmiştir. Çoğu kireç fırınında NO_x seviyeleri daha düşüktür ve 'termal NO_x' muhtemelen daha az önemlidir.

Brülör tekniği, kullanılan yakıtlara, yani genelleşmiş fosil veya atık yakıtlara göre ayarlanmalıdır. PFRK'ler alevsiz yanmaya sahiptir, bu nedenle düşük NO_x brülörleri bu fırın tipine uygulanamaz.

Ekonomik boyut

Düşük NO_x brülörlerinin yatırım maliyetleri, genelleşmiş brülör tekniklerinin maliyet aralığındadır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Alman kireç fabrikası (daireseel shaft fırın).

[38, Birleşik Krallık, 1996], [46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [157, Almanya, 2007].

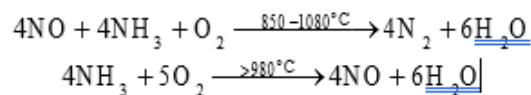
2.4.6.1.4 Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) işleminde, baca gazlarından gelen azot oksitler (NO ve NO₂) seçici katalitik olmayan indirgeme ile giderilir ve fırına azot oksitlerle reaksiyona giren bir indirgeyici maddenin enjekte edilmesiyle azot ve suya dönüştürülür. Amonyak veya üre tipik olarak indirgeyici madde olarak kullanılır. Reaksiyonlar, tipik optimum aralık 900 ila 920 °C arasında olmak üzere, 850 ile 1020 °C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir.

Baca gazlarının ve indirgeyici maddenin iyi bir şekilde karıştırılması, optimize edilmiş enjeksiyon sıcaklığı ve optimum sıcaklık penceresinde yeterli kalma süresi gereklidir. Kireç üretimi için teknik işlemler sırasında bu koşulların elde edilmesi her zaman kolay olmadığından, yeterli indirgeme verimliliğini sağlamak için yüksek miktarda indirgeyici madde kullanmak gerekir.

Bununla birlikte, çok yüksek NH₃:NO oranları, 'amonyak kayması' olarak adlandırılan istenmeyen amonyak emisyonlarına yol açabilir. Kireç fırınlarının baca gazları genellikle malzemeleri kurutmak için kullanılmadığından, akış aşağısında ilave amonyak tutulması veya adsorpsiyonu mümkün değildir. Bu nedenle amonyak kayması, kireç fırınlarında diğer endüstriyel işlemlere göre çok daha kolay gerçekleşebilir.

SNCR prosesinin ana reaksiyonları ve NH₃ enjeksiyonu için sıcaklık aralığı aşağıdaki gibidir:



Sıcaklık önemli bir parametredir. Yukarıda adı geçen reaksiyonlar, rekabet eden çok sayıda reaksiyon arasındaki ana reaksiyonlardır. İlk reaksiyon, azot oksitlerinin arzu edilen azota indirgenmesini gösterir. İkincisi, amonyanın oksitlendiği istenmeyen reaksiyonu tanımlar. Genellikle bu reaksiyon, enjeksiyon yerinde daha yüksek sıcaklıkta ve daha yüksek oksijen içeriği ile gerçekleşir. Sıvı amonyak yerine sıvı üre enjekte edilebilir. Ürenin avantajı, tehlikeli olmaması ve bu nedenle taşınmasının çok daha kolay olmasıdır.

Ortamlar arası etkiler

Çok yüksek NH₃:NO oranları, amonyak emisyonlarına yol açabilir (amonyak kayması).

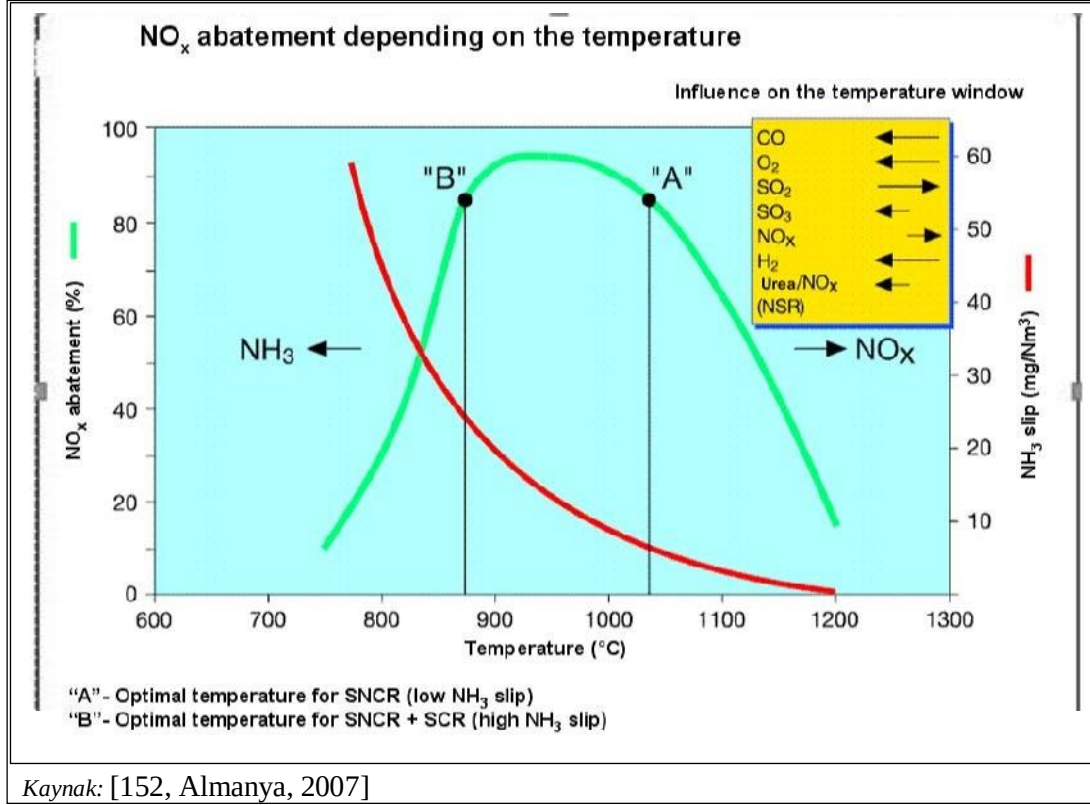
Kireç fırınlarındaki sınırlı sayıdaki enjeksiyon konumuna bağlı olarak, istenen azaltma seviyelerine ulaşmak için daha yüksek indirgeyici madde tüketimi gerekli hale gelir. Bu da amonyak kayması riskini artırır.

İşletim verileri

Alman kireç endüstrisinde Temmuz 2006'dan bu yana, atık ve fosil yakıtlar kullanan bir tesiste ilk kez seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) ile bir deneme gerçekleştirilmektedir. İstenmeyen maddelerden kaçınmak için kalite kontrollü indirgeyici ajan olarak üre çözeltisi (% 45), % 24,5 amonyum hidroksit ve amonyak içeren atık su kullanılabilir. İndirgeyici madde ızgara ön ısıtıcısına (Lepol ızgara) enjekte edilir. Enjeksiyon yerinin (nozulların) seçimi

2. Bölüm

verimlilik açısından önemlidir ve atık gazın en iyi şekilde havalandırılması (örneğin fırın girişiyle ızgaranın arasında) için önemli bir kriterdir. Reaksiyon sıcaklığı 1080 ila 1150 °C aralığındadır. Sıcaklık, NH₃ kayması ve NO_x indirgenmesi arasındaki ilişkiler Şekil 2.50'de gösterilmiştir.



Şekil 2.50: Sıcaklığa bağlı olarak NO_x azaltımı

Kireç endüstrisinde kullanılan SNCR prosesi için sıcaklık penceresi ve indirgeme verimliliği gibi teorik işletimsel veriler Tablo 2.39'da gösterilmektedir.

Tablo 2.39: SNCR prosesi için teorik operasyonel veriler

Proses	Katalizör	DeNO _x reaksiyonu için sıcaklık penceresi (°C)	NO _x Azaltım verimliliği (%)
SNCR	Alev bölmesine doğrudan katalitik konvertör NH ₃ veya (NH ₂) ₂ CO (üre) enjekte edilmez	850 – 1 150	30 – 80

Kaynak: [93, EuLA, 2006], [152, Almanya, 2007]

Almanya, Flandersbach'taki örnek bir tesiste %50 ila 70 oranında azaltma verimliliği elde etmek, böylece NO_x emisyonlarının seviyesinin günlük ortalama olarak 500 mg NO_x/Nm³'ün altında kalmasını sağlamak mümkündür (standart hal, %10 O₂). Prensipite daha yüksek azaltma oranları mümkündür, ancak bunlar hemen büyük amonyak kaymalarına yol açar. Farklı proses ve enjeksiyon koşulları altında gerçekleştirilen ölçümler, azot oksit (N₂O) emisyonlarının her zaman 10 mg/Nm³'ün altında kaldığını göstermiştir [93, EuLA, 2006], [152, Almanya, 2007].

Uygulanabilirlik

Kireç üretiminde SNCR, ön ısıtıcılı döner fırınlara (Lepol ızgara) uygulanabilir.

Dikey fırınlar için (AB-27'deki toplam fırın sayısının %90'ından fazlasını temsil eder), baca gazının sıcaklığı 200 °C'nin çok altında olduğundan, 2007 yılı itibarıyla SNCR işlemi gerçekleştirmek teknik olarak henüz mümkün değildir.

Uzun döner fırınlarda, optimum sıcaklık penceresine sahip bölge fırının dönen kısmı içinde yer aldığından SNCR tekniğinin uygulanması pratik değildir. 2007 yılında fırının bu bölümüne erişim mümkün değildir ve sadece birincil teknikler uygulanabilir.

Ön ısıtıcı döner fırınlarda proses koşulları teorik olarak SNCR tekniğinin uygulanmasına izin verir, ancak yalnızca sıcaklıkların ideal 950 ila 1050 °C aralığında olduğu bazı özel alanlarda (koşullar tüm PRK fırınları arasından yalnızca Lepol ızgara fırınları tarafından sağlanır) bu geçerlidir. Bu nedenle, enjeksiyon konumunu ayarlama ve optimize etme olanakları (indirgeyici ajanı doğru sıcaklıklarda ve oksijen derişimlerinde enjekte etmek için) oldukça sınırlıdır. Ayrıca, baca gazının bu sıcaklık penceresinde asgari kalma süresi aşağıdakiler için gereklidir:

- ☐ indirgeyici ajanı (üre veya sıvı amonyak) buharlaştırmak
- ☐ tüm bölüme mümkün olduğunca homojen bir şekilde dağıtmak
- ☐ indirgeyici maddenin azot oksitlerle reaksiyona girmesine izin vermek.

Pratikte ön ısıtıcı döner fırınlarda her iki koşul mutlaka karşılanmaz. Dikey ön ısıtıcılarla donatılmış olanlar için, baca gazının ideal sıcaklık penceresinde kalma süresinin, tüm bölüm boyunca azot oksitlerle tam reaksiyonu mümkün kılmak için çok kısa olması muhtemeldir. Izgaralı ön ısıtıcılarla donatılmış döner fırınlarda şartlar daha kolay karşılanır. Bununla birlikte, pratik deneyim, SNCR'nin verimliliğinin, DeNO_x denemelerinin temelde yukarıda bahsedilen Alman fırınlarıyla aynı olan bir ön ısıtıcı fırında gerçekleştirildiği aşağıdaki Almanya örneğinde gösterildiği gibi beklenenden çok daha düşük olabileceğini göstermektedir (bkz. işletimsel veri). Lepol ızgarasının üzerine enjekte edilen üre miktarının, yığındaki büyük amonyak ve amonyum tuzları emisyonlarını sınırlamak için 1:2'lik NH₂:NO₂ molar oranı ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bacada beyaz bir pus tespit edildikten hemen sonra test durduruldu. NO_x emisyonlarının sürekli izlenmesi, üre enjeksiyonu sırasında NO_x emisyonlarında yaklaşık 400'den yaklaşık 300 mg/Nm³'e hafif bir düşüş gösterdi. Üre enjeksiyonu olmayan fırından kaynaklanan amonyak emisyonları, genellikle döner fırınlarda ölçülen 0,7 mg/Nm³'e kıyasla, 3 ila 8 mg/Nm³ aralığındaydı. Ancak, SNCR'yi Lepol ızgaralı ön ısıtıcı döner fırınlara uygulamak için önceden gerçekleştirilmesi gereken kapsamlı test aşamaları ve uyarlamalar mevcuttur.

Ekonomik boyut

Flandersbach, Almanya'daki örnek tesis için, yatırım maliyetleri çimento endüstrisi tarafından belirtilenlere benzerdi, yani 0,5 milyon ile 1,2 milyon avro arasındaydı (bkz. Bölüm 1.4.8.2). Bu tesiste, teçhizat 2007'de yalnızca kısa bir süre (birkaç hafta) için çalıştırılmıştır ve şu anda işletme maliyetlerini tam olarak değerlendirmek zordur. Ön testlere dayanan finansal tahminler, çimento endüstrisine benzer işletme giderlerine, yani 1000 t/gün fırın kapasitesine ve 1500 mg/Nm³ başlangıç NO_x emisyonlarına sahip bir fırın için 0,1 ila 1,7 avroya işaret etmektedir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Flandersbach kireç tesisi, Almanya.

[46, Almanya, 2006] [54, EuLA, 2006], [57, Avrupa Komisyonu, 2005], [93, EuLA, 2006], [152, Almanya, 2007], [168, TÇG CLM, 2007].

2.4.6.1.5 Seçici katalitik indirgeme (SCR)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Seçici katalitik indirgeme tekniği (SCR), 300 – 400 °C sıcaklık aralığında çalışır. NO ve NO₂, NH₃ ve bir katalizör kullanımıyla N₂ oluşturmak üzere indirgenir.

Kullanılan indirgeyici madde tipinden bağımsız olarak SCR prosesi, baca gazlarının ve indirgeyici maddenin iyi bir şekilde karıştırılması, optimize edilmiş enjeksiyon sıcaklığı ve optimum sıcaklık penceresinde yeterli kalma süresini gerektirir. Bir indirgeyici maddenin kullanımı, yeterli indirgeme verimliliği sağlar. Genel olarak, SCR'ler neredeyse stokiyometrik olarak çalıştırılabilir ve bu durumda da yüksek indirgeme verimlilikleri elde edilir. Genellikle kireç fırını baca gazları, malzemeleri kurutmak için kullanılmaz. Akış aşağısında daha fazla amonyak tutmak veya adsorbe etmek mümkün değildir. Ayrıca Bölüm 1.4.5.1.8'e göz atın.

Ortamlar arası etkiler

Katalizörlerin kullanımı işletme maliyetlerini artırır ve bunların geri dönüştürülmeleri ya da atılmaları gerekir.

Toz derişiminin yüksek olduğu durumlarda, SCR reaktörünün dahili tozsuzlaştırma sistemi ve ek basınç kayıpları nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyacı artabilir.

Düşük tozlu dışa atım gazı sistemleri, tozsuzlaştırmadan sonra dışa atım gazlarının yeniden ısıtılmasını gerektirir, bu da ek enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir.

İşletim verileri

Bu NO_x indirgeme tekniğinin kireç endüstrisinde kullanımı için gerekli sıcaklık aralıkları ve indirgeme oranları gibi teorik işletimsel veriler Tablo 2.40'ta gösterilmektedir.

Tablo 2.40: SCR prosesi için gerekli teorik sıcaklık aralıkları ve azaltma oranları

Proses	Katalizör	DeNO _x reaksiyonu için sıcaklık penceresi (°C)	NO _x Azaltım verimliliği (%)
SCR	Seramik gövdelerde oksitlenmiş metal	280 – 450	70 – >90
	Moleküler elekler	380 – 480	70 – 90

Kaynak: [93, EuLA, 2006].

Uygulanabilirlik

NO_x emisyonlarını azaltmak için seçici katalitik indirgeme prensipte döner kireç fırınlarına uygulanabilir. Ancak 2007'de Avrupa kireç endüstrisi, SCR henüz kullanılmadığından NO_x indirgemeye yönelik bu teknikle ilgili herhangi bir deneyime sahip değildi.

Kireç endüstrisinde SCR kullanımı ile ilgili olarak, birkaç parametrenin araştırılması gerekir, örneğin:

- ☐ yüksek toz yükü
- ☐ yüksek özgül gaz hacmi
- ☐ metal alkalileri hususu
- ☐ yatırım, işletme ve bakım maliyetleri.

Ekonomik boyut

Çimento endüstrisinde kullanılan SCR için maliyet verileri Bölüm 1.4.5.1.8 ve Bölüm 1.4.8.2'de gösterilmiştir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

2008'de AB-27'de mevcut örnek kireç tesisi yoktu [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

2.4.6.2 SO₂ emisyonlarının azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Esas olarak döner fırınlardan kaynaklanan SO₂ emisyonları, yakıtın kükürt içeriğine, fırının tasarımı ve üretilen kirecin gerekli kükürt içeriğine bağlıdır. Bu nedenle, düşük kükürt içeriğine sahip yakıtların seçiminin yanı sıra daha yüksek kükürt içeriğine sahip yakıtların kullanıldığı kireç üretimi SO₂ emisyonlarını sınırlandırabilir.

Kademeli tip dolgulu yataklı adsorberler, modül adsorber sistemleri ve bir filtre ile kuru baca gazı temizleme (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu) gibi SO₂ emisyonlarının azaltılması için mevcut olan emici ilave teknikleri vardır. SO₂ emisyonlarını azaltmak için emicilerin kullanımı diğer endüstrilerde iyi bilinmektedir; ancak henüz döner kireç fırınlarında uygulanmamıştır. Döner fırınlarda kullanım için aşağıdaki teknikler düşünülebilir:

- ince kireçtaşı kullanımı: Dolomit ile beslenen düz bir döner fırında, ya yüksek miktarda ince kırılmış kireçtaşı içeren ya da ısıtıldığında kırılmaya meyilli olan besleme taşları ile SO₂ emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelebildiği gözlemlenmiştir. İnce kırılmış kireçtaşı kalsinleri, fırın gazlarında sürüklenir ve toz toplayıcıya giderken ve toz toplayıcının içinde SO₂ unsurunu giderir
- yanma havasına kireç enjeksiyonu: Fırının pişirme başlığına beslenen havaya ince kırılmış sönmüş veya sönmemiş kirecin enjekte edilmesiyle döner fırın kaynaklı SO₂ emisyonlarının azaltılmasını açıklayan bir patentli teknik (EP 0 734 755 A1) mevcuttur
- dışa atım gazlarına bir emici enjeksiyonu: Gaz emisyonlarında SO₂ derişimlerini azalttığı kabul edilen bir teknik:
 - gaz akışına bir emici (örn. sönmüş kireç veya sodyum bikarbonat) enjekte edin ve verimli
 - soğurma elde etmek için enjeksiyon noktası ile toz toplayıcı (tercihen bir torba filtre) arasında yeterli gaz kalış süresi sağlayın.

2007'de, Avrupa tesislerinde herhangi bir kurulu SO₂ azaltma tekniği yoktu. Ancak bazı durumlarda, SO₂ emisyonlarını azaltmak için sönmüş kireç enjeksiyonu kullanılır [54, EuLA, 2006].

Bu bağlamda emme tesislerine ilişkin faydalı bilgilere Kimyasal Sektöründe Yaygın Atık Su ve Atık Gaz Arıtma/Yönetim Sistemlerine İlişkin Mevcut En İyi Teknikler Referans Belgesinden de ulaşılabilir [58, Avrupa Komisyonu, 2003].

Ortamlar arası etkiler

Veri bulunamamıştır.

İşletim verileri

Test ölçüm sonuçları, AB-27'de 26'dan az sayıda olan birkaç uzun döner fırın dışında, kireç fırınlarının çoğunun (PFRK, ASK, MFSK, OSK, PRK) kirecin doğal kükürt tutma eğilimi nedeniyle 50 mg/Nm³'ün altına ulaştığını göstermektedir (bkz. Bölüm 2.3.3.3). Ayrıca, atıkları yakıt olarak kullanarak, kireç fırınlarının çoğu 50 mg/Nm³'ün altına inebilir.

Uygulanabilirlik

SO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik emici ilave teknikleri prensipte kireç endüstrisinde uygulanabilir. Ancak 2007 yılında herhangi bir uygulama yoktur.

Yukarıda açıklanan tekniklerin döner kireç fırınlarında kullanıma uyarlanabilmek açısından daha fazla araştırılması faydalı olabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.6.3 CO emisyonlarının azaltılması

Tanım

Mümkün olduğunda organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin seçimi de CO emisyonlarını azaltır. Bununla birlikte, hammadde seçimi kullanılan fırın tipine ve/veya örneğin hidrolik kireç gibi üretilen kirecin tipine bağlıdır.

CO aşım yönetimi

Baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin güvenlik nedenleriyle kapatılmasını gerektirecektir.

Elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) ile donatılmış çimento fırınları için geliştirilen CO aşım yönetimi tekniği, bazı durumlarda ESP'lerle donatılmış döner kireç fırınlarına uygulanabilir. Bununla birlikte, ESP'nin devre dışı bırakılmasını takip eden toz emisyonu oranı (kg/ton ürün), kireçtaşının nispeten iri boyutu ve herhangi bir toz geri dönüşümünün mevcut olmaması nedeniyle, kireç fırınlarında genellikle çimento fırınlarına göre çok daha düşüktür.

CO aşımalarının kontrolüne ilişkin bilgiler ve bir kılavuz Bölüm 1.4.5.3 ve Bölüm 6.2.6'da bulunabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

CO aşımları, CO ve toz emisyonlarının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

CO aşımları ESP'lerde patlamalara neden olabilir.

İşletim verileri

PFRK'ler, LRK'ler, PRK'ler, OSK'lerden <100 – <500 mg/Nm³ (nokta test sonuçları) aralığında CO emisyonları bildirilmiştir (bkz. Bölüm 2.3.3.4.2'deki Tablo 2.38). ASK'ler ve MFSK'ler için teknik nedenler CO emisyon seviyelerinin daha yüksek olmasını gerektirecektir.

Hidrolik kireç üretiminin durumunda, hammaddenin organik karbon içeriği tipik olarak % 0,8 – 5 aralığındadır.

Uygulanabilirlik

CO aşım yönetimi prensipte döner fırınlara uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[54, EuLA, 2006], [83, CEMBUREAU, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.6.4 Toplam organik karbon emisyonlarının (TOK) azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

UOB emisyonları tipik olarak toplam organik karbon (TOK) olarak ölçülür ve genellikle eksik yakıt yanmasından kaynaklanan CO emisyonları ile ilişkilidir. İşletmeci, fırınların CO emisyonlarını sınırlama eğiliminde olduğundan, UOB emisyonları genellikle düşük kalır. Tesis işletiminin, pişirme prosesinin ve/veya yakıt ve hammadde besleme homojenizasyonunun optimize edilmesi gibi proses optimizasyonu süreçleri, NO_x emisyonlarının azaltılmasında uygulanabilir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Hammadde olan kireçtaşının %0,1'e varan organik madde içerdiği çok sınırlı sayıda durumda, uçucu organik bileşikler sürekli olarak yayılabilir.

ASK'ler, LRK'ler ve PRK'ler için UOB emisyonları, yalnızca çalıştırma ve arıza koşullarında kısa süreler için meydana gelir ve bu nedenle 10 mg/Nm³'ün (eqC) altında emisyonlara yol açar. PFRK'ler için süreç, her 10 ila 12 dakikada bir yanma koşullarında döngüsel değişiklikler gerektirir. Bu nedenle, UOB emisyon seviyeleri, diğer fırın türleri için gözlenen seviyelerin biraz üzerindedir.

Hidrolik kireç üretimi için kullanılan hammaddeler, tipik olarak %0,8 – 5 (TOK olarak ifade edilir) aralığında yüksek düzeyde organik madde içerir ve bu, geleneksel kireç üretimine göre daha yüksek TOK emisyonlarına yol açar.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte kireç fırınlarında uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[129, EuLA, 2006], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.6.5 Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Düşük seviyede klor ve düşük seviyede flor içeren hammaddelerin kullanımı klor ve flor emisyonlarını azaltabilir. Hammaddelerde ve yakıtlarda bulunan klorun çoğu sönmemiş kireç tarafından tutulur.

Dikey fırınlarda, fırın gazları ve kireç/dolim arasında verimli temas verimli HCl emilimini sağlar. Bununla birlikte, şaft fırınlardan kaynaklanan HCl emisyonları esas olarak kireçtaşındaki klor bileşiklerine bağlıdır. Kuru kireçtaşı yakıldığında HCl emisyonları daha yüksek olma eğilimindedir. Bazı durumlarda, baca gazına su enjekte edilerek HCl emisyonları azaltılabilir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Klor içeriği dolomitte (100 ila 1000 ppm), kireçtaşından (10 ila 150 ppm) daha yüksektir.

Atıkların yakıt olarak kullanımı için, 10 mg/Nm³ HCl emisyonu ve 1 mg/Nm³ HF emisyonu rapor edilmiştir (bkz. Bölüm 2.3.3.7'deki Tablo 2.27).

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte kireç endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki
gereklikler. Yerel
koşullar

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.
[46, Almanya, 2006], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.7 Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranların (PCDF) emisyonlarının azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

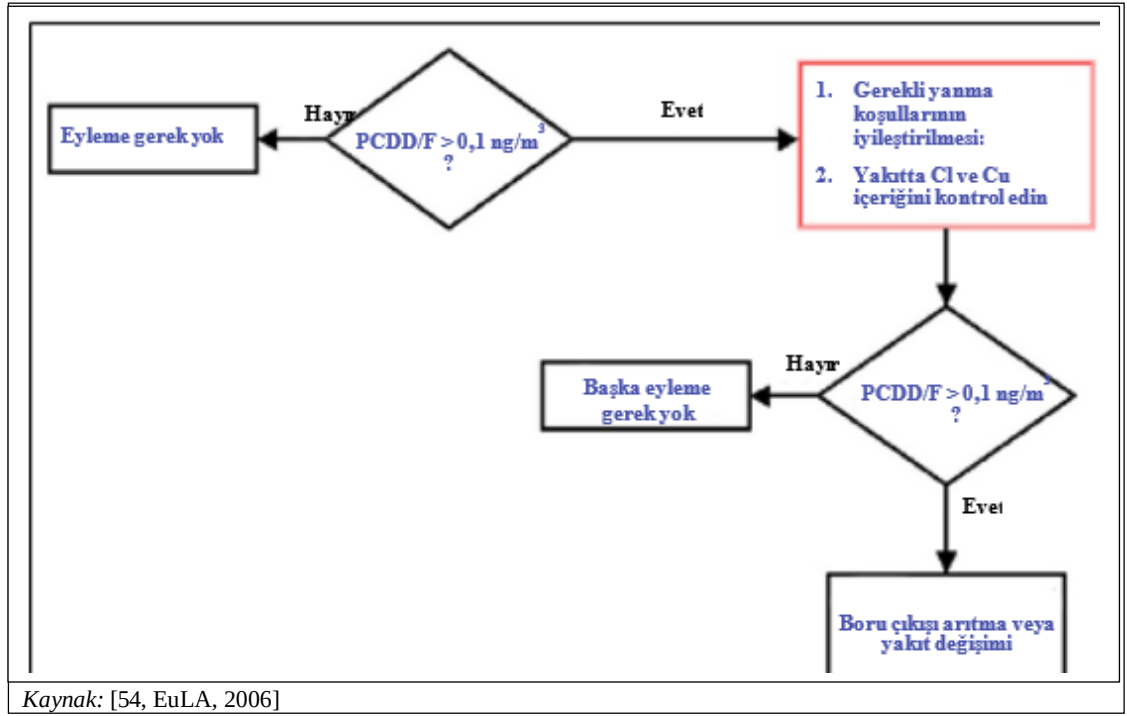
Klorür içeren ham maddeler veya yakıtlar, sıcaklıkların 300 ila 450 °C arasında değiştiği herhangi bir proses bölgesinde PCDD ve PCDF oluşumuna neden olma potansiyeline sahiptir.

Yakıt olarak atık kullanıldığında, yakıtlardaki klor içeriği ve emisyonlar artabilir.

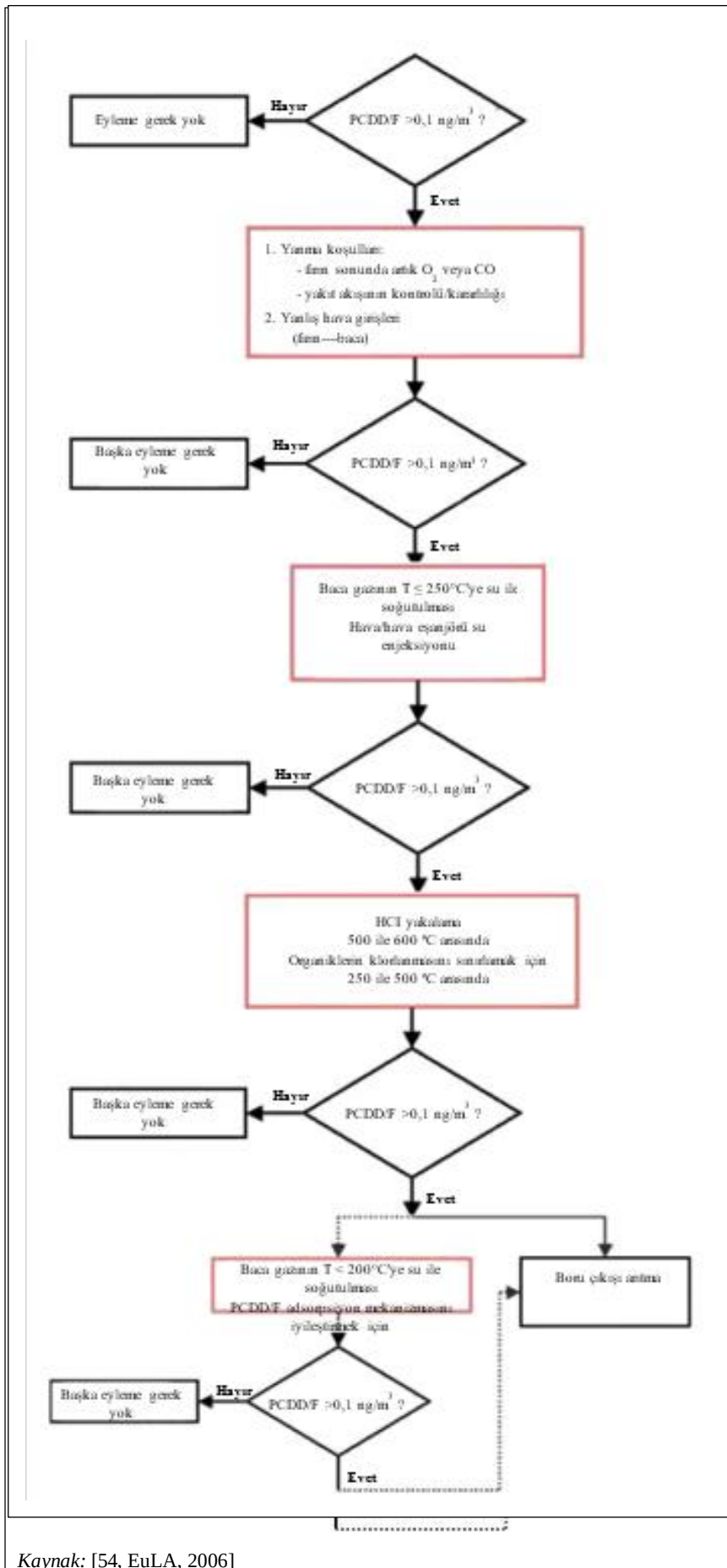
Kireç üretimi ile ilgili literatürden, PCDD/F oluşumuna ilişkin aşağıdaki temel kurallar bilinmektedir:

- ☐ sıcaklığın 300 ila 450 °C arasında olduğu bölgelerde baca gazlarının kalma süresini sınırlayın
- ☐ bu bölgelerdeki oksijen içeriğini sınırlayın
- ☐ PCDD/F sentezindeki katalitik özellikleri nedeniyle yakıttan bakır girişini sınırlandırın.

Bu kurallardan hareketle Şekil 2.51 ve Şekil 2.52'de gösterilen akış şemasına göre bir eylem planı tasarlanabilir.



Şekil 2.51: Dikey kireç fırınlarında PCDD/F emisyonları için akış şeması



Şekil 2.52: Dikey kireç fırınlarında (LRK, RPK) PCDD/F emisyonları için akış şeması

Ortamlar arası etkiler

Atık kullanımı, yakıtlardaki klor içeriğini etkileyebilir ve emisyonlar artabilir.

İşletim verileri

0,005 ve 0,07 ng I-TEQ/Nm³ aralığında PCDD/F emisyon verileri, farklı tür kireç fırınlarından bildirilmiştir (bkz. Bölüm 2.3.3.6). Sağlanan verilerden gözlemlendiği kadarıyla, AB-27'deki tüm kireç fırınları için ölçülen ortalama PCDD emisyonları 0,1 ng I-TEQ/Nm³'ten azdır. Bu emisyon değeri, atıkların proses için yakıt olarak kullanılmasıyla ilgilidir. Atıkların birlikte yakılması söz konusu olduğunda 2010/75/AB sayılı Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sında yer alan gereksinimlerin yerine getirilmesi gereklidir.

Bununla birlikte, gelecekte nispeten yüksek klor içeriğine sahip yakıtlar kullanıldığında emisyonların daima

0,1 ng I - TEQ/Nm³'ün altında kalmasını sağlamak için kireç fırınlarında PCDD oluşumuna dair anlayışın geliştirilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler, prensipte kireç fırınlarına uygulanabilir.

Yakıt atıklar kullanılmadan önce analiz edilir.

Ekonomik boyut

Veri bulunamamıştır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[54, EuLA, 2006], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.8 Metal emisyonlarının azaltılması**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Fırın sistemi içine uçucu içeriği yüksek olan yakıtları beslemekten kaçınılmalıdır. Ayrıca Hg ve Tl gibi uçucu metal içeriği yüksek olan malzemelerin kullanımı özellikle kontrol edilmelidir.

Fırına giren yakıtların dikkatli seçimiyle ve örneğin kalite güvence sisteminin uygulanmasıyla, kullanılan atık malzemelerin güvence altına alınan özellikleri, emisyonları azaltabilir (bkz. Bölüm 2.4.4). Ayrıca, cıvaya özel dikkat gösterilmelidir. Cıvanın uçuculuğu nedeniyle, önem arz eden nispeten yüksek cıva emisyon seviyeleri meydana gelebilir. Bu nedenle, yakıt atık yoluyla cıva girişi kontrol edilmeli ve gerekirse sınırlandırılmalıdır (bkz. Bölüm 2.3.3.10).

Etkili toz giderimi, yayılan metaller (cıvanın bir kısmı hariç) büyük ölçüde toza bağlı olduğundan metal emisyonlarını azaltır. Ayrıca, aktif karbon üzerinde soğurma da bir seçenektir.

Ortamlar arası etkiler

Toz giderme cihazları, daha yüksek basınç kaybı nedeniyle elektrik enerjisi tüketimini artırır.

İşletim verileri

Tablo 2.28'de gösterildiği gibi (bkz. Bölüm 2.3.3.9), metal emisyon değerleri 0,01 – 0,1 mg/Nm³ aralığındadır. Kurşun ve çinko için, daha yüksek toz emisyonunun olduğu bazı özel durumlarda 0,40 mg/Nm³'e varan değerler gözlemlenebilir.

Atık kullanımı için ölçülen cıva emisyonlarının günlük ortalama değer olarak 0,03 mg/Nm³'ün ve yarım saatlik ortalama değer olarak 0,05 mg/Nm³'ün altında olduğu gözlemlendi. Kadmiyum ve talyum toplamı için, ölçülen emisyonların yarım saatlik ortalama değer olarak 0,05 mg/Nm³'ün altında; arsenik, kobalt, krom, bakır, manganez, kurşun, antimon, kalay ve vanadyum toplamı içinse, ölçülen emisyonların yarım saatlik ortalama değer olarak 0,5 mg/Nm³'ün altında olduğu gözlemlendi (oksijen içeriği % 10) (bkz. Bölüm 2.3.3.10.1) [46, Almanya, 2006].

Uygulanabilirlik

Bu tedbir/teknik kireç endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Etkin toz giderme sayesinde aktif karbon filtreler için yapılan yüksek harcamaların önüne geçilebilir.

Fırına beslenen malzemelerin özelliklerini garanti etmek için gerekli olan kalite güvence sistemi, ek masraflara yol açabilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki kireç tesisleri.

[46, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

2.4.9 Proses kayıpları/atıklar

2.4.9.1 Katı proses kayıplarının/atıklarının hammadde olarak yeniden kullanılmasına ilişkin genel hususlar

Bu kısımda, kireç üretim proseslerinin bazı aşamaları sırasında meydana gelen katı atıkların azaltılmasına yönelik imkanlardan bahsedilmektedir.

Hammaddelerin yükleme, boşaltma, iletme, mekanik taşıma ve işleme süreçlerinde toplanan toz, normal şartlarda hammadde olarak yeniden kullanılabilir. Örneğin hammaddelerin depolanmasında, filtredeki herhangi bir toz doğrudan üretime veya silo üst filtresi ile lokal hava temizliği yapıyorsa siloya geri beslenebilir.

Öğütme tesislerine, eleme tesislerine, öğütme değirmenlerine, hidrat tesislerine veya yüklemeye ait torba filtrelerden toplanan toz, ürünle karıştırılabilen veya çimento tesislerinde, özellikle çimento ve kireç tesislerinin bir arada bulunduğu yerlerde yeniden kullanılabilen yanmış kireçtir [66, Avusturya, 2006].

Baca gazı temizleme sisteminden gelen toz, özellikle atığın yeniden tutuşturulduğu durumlarda yüksek kükürt, flor ve metal derişimleri gibi kirleticiler içerebileceğinden, yalnızca belirli koşullar altında yeniden kullanılabilir. Çoğu durumda, toplanan toz esas olarak kalsiyum karbonattır ve değişen miktarlarda kalsiyum oksit, yakıt külü ve kil içerir. Toplanan tozun kullanım alanları, ticari ürünlere (örneğin, inşaat kireci, toprak stabilizasyonu için kireç, hidratlı kireç ve peletlenmiş ürünler) dahil etmekten düzenli depolamaya kadar uzanır.

Yaş gaz yıkayıcılar kullanılan baca gazı temizliği sırasında meydana gelen süspansiyon birikimi çökeltir; sıvı genellikle geri dönüştürülür ve yaş katılar çoğu durumda depolamaya gönderilir. Bu nedenle, çeşitli çıkış gazı akımlarının ayrı ayrı iletilmesi, tozlu proses atıklarından en iyi şekilde yararlanmayı kolaylaştırır. Baca gazı temizliğinde meydana gelen alçıtaşı kireç üretim sürecinde yeniden kullanılamaz, ancak sertleşme düzenleyici olarak çimento endüstrisinde kullanılır.

Tesiste geri dönüştürülmesi mümkün olmayan malzemeler, diğer sanayilerde kullanılmak veya harici atık geri dönüşüm ya da atık bertaraf tesislerine gönderilmek üzere tesisi terk eder.

2.4.10 Gürültü

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Bu kısımda, kireç üretim proseslerinin bazı aşamaları sırasında meydana gelen gürültünün azaltılmasına yönelik imkanlardan bahsedilmektedir. Kireç tesise genellikle yerleşim bölgelerinin yakınında yer aldığından, gürültünün azaltılması özel önem taşır.

Tekniklerin doğrudan gürültünün kaynağında uygulanmasıyla gürültü emisyonlarının azalması sağlanabilir. Gürültü kaynakları örneğin kireçtaşının çıkartılması ve işlenmesinin yanı sıra kireç üretimi, kaçınılmaz olarak kırma üniteleri, öğütme ve hazırlama üniteleri, kireç fırınlarının kendileri, besleme sistemleri fırınları, bant konveyörler, filtre üniteleri, fırın soğutma sistemleri vb.dir.

Mahalle koruması için gürültü seviyelerini azaltmaya yönelik olarak çeşitli gürültü azaltma teknikleri kireç tesislerinde uygulanabilir. En etkili teknik kombinasyonunun, her bir tesis veya üretim sahası özelinde belirlenmesi gerekir.

Kireç endüstrisinde aşağıdaki teknikler uygulanmaktadır:

- ☐ gürültülü işlemler için uygun yer seçimi
- ☐ gürültülü işlemlerin muhafazası, örn. fırın besleme, kireç boşaltma, ürün sevkiyatı
- ☐ gürültü bariyerlerinin montajı ve gürültüden koruma duvarlarının oluşturulması, örn. doker yükleme tesisinde
- ☐ oluklarda dayanıklı malzemeden yapılmış iç ve dış astar kullanımı
- ☐ malzeme dönüştürme teçhizatını ilgilendiren işlemlerin yer aldığı binaların ses geçirmez hale getirilmesi
- ☐ makine binalarında ses yalıtımı
- ☐ duvar aralıklarının ses yalıtımı, örn. bant konveyörün girişine bir set kurarak
- ☐ hava çıkışlarına ses emicilerin montajı, örn. tozsuzlaştırma ünitelerinin temiz gaz çıkışı
- ☐ kanallardaki akış hızlarının azaltılması
- ☐ kanallarda ses yalıtımı
- ☐ dışa atım bacaları için çıkış susturucuları
- ☐ ses yalıtımlı binalarda yer alan kanalların ve son olarak fanların yalıtımı
- ☐ gürültü kaynaklarının ve rezonant potansiyeli olan bileşenlerin (örn. kompresörler ve kanallar) ayrı yerleşimi

Mevcut veya daha eski tesisler, ulusal mevzuat gerekliliklerine uyacak şekilde yükseltilir, ancak eski tasarımlar, kaplamaları yerleştirecek alanın eksikliği, bakım amaçlı erişim sağlamanın düşünülməsi vb. zorluklar içerebilir.

Yukarıda belirtilen gürültüden koruma teknikleri uygulanamıyorsa ve gürültülü ünitelerin bir bina içerisine taşınması mümkün değilse (örn. fırınların boyutları ve kurulumları nedeniyle), örneğin korunan alan ile gürültülü faaliyet arasında (örn. fırın veya depolama alanı) büyüyen ağaçlar ve çalıların yerleştirilmesi veya binaların inşa edilmesi olabilen ikincil koruma tekniklerinin uygulanması gerekir. Gürültülü işlemler sırasında kapalı alanların kapı ve pencereleri kapalı tutulmalıdır.

Gürültü azaltma planları

Kireç tesislerinden kaynaklanan gürültü emisyonlarını azaltmaya yönelik bir uygulama, üretim sahasındaki tüm gürültü kaynakları, gürültü azaltma maliyetleri, yasal gereklilikler ve civar halkının endişeleri dikkate alınarak tüm saha için bir gürültü azaltma planı geliştirmektir.

En etkili gürültü azaltma planının mutlaka en gürültülü üniteye gürültü azaltma tekniğine yer vermesi gerekli değildir. Çünkü kaynaktan uzaklaştıkça gürültü seviyeleri önemli ölçüde azalır. Bundan yola çıkarak, etkilenen alanlara yakın gürültü kaynaklarında bir dizi tekniğin birlikte kullanılması daha verimli olabilir. Bazı durumlarda, gece faaliyetlerini azaltmak gibi organizasyon teknikleri, civardaki rahatsızlığı azaltmak ve yasal gerekliliklere uymak için yeterli olabilir.

Bir gürültü azaltma planının geliştirilmesi genellikle aşağıdaki adımları içerir:

- ☐ tüm ana ses kaynaklarının listelenmesi ve ses basınç seviyelerinin belirlenmesi
- ☐ etkilenen alanların belirlenmesi, örn. konut alanları
- ☐ gürültü yayılımının bilgisayar tabanlı hesaplanması (saha ve çevresinin üç boyutlu modellemesine dayalı olarak)
- ☐ gürültü kaynaklarının etkilenen her alan özelinde önemlerine göre sıralanması (gündüz ve gece için ayrı ayrı)
- ☐ etkilenen alanlardaki gürültü seviyesi ve tahmini maliyetler açısından gürültü azaltma tekniklerinin değerlendirilmesi
- ☐ yasal gerekliliklere uyumun yanı sıra civar halkının rızasını sağlayan tekniklerin en maliyet etkin kombinasyonunun belirlenmesi [46, Almanya, 2006].

Ortamlar arası etkiler

Gürültüden koruma teknikleri nedeniyle ek yatırım ve bakım maliyetleri meydana gelebilir.

İşletim verileri

Veri bulunamamıştır.

Uygulanabilirlik

Gürültü azaltma teknikleri prensipte kireç endüstrisine uygulanabilir (bkz. Bölüm 2.3.6).

Ekonomik boyut

Gürültüden koruma teknikleri nedeniyle ek yatırım maliyetleri meydana gelebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Almanya'daki kireç fabrikaları, AB-27'deki kireç fabrikaları [46, Almanya, 2006].

2.4.11 Kokulara ilişkin genel hususlar

Üretilen hidrojen sülfür (H_2S) emisyonları nedeniyle karışık besleme şaft fırınlar kullanılan kireç tesislerinde kokular meydana gelebilir. Bu, H_2S emisyonlarına yol açabilecek, kükürtün indirgenmiş veya elemental kükürt formlarına bağlıdır. Baca gazı akışında H_2S azaltımı için bir rejeneratif uç boru yakıcısının kullanılması başarılı sonuçlar verebilir. 2008'de Avrupa'da sadece bir kireç tesisi, H_2S emisyonlarını azaltmak üzere bir uç boru yakıcısı ile donatıldı; ancak bu sadece 6 aylık bir çalışma dönemi içindi. Avrupa kireç endüstrisinde faaliyete giren başka rejeneratif uç boru yakıcısı olmamıştır.

Koku emisyonlarını azaltmak için yakıtlardaki kükürt içeriğinin azaltılması mümkün olabilir.

Kokular, yakıt olarak kullanılan atıklardan da kaynaklanabilir. Atık malzemelerin depolanma yerleri kapatılabilir veya atık depolama sistemleri kullanılabilir.

2.4.12 Çevre yönetimi araçları

Çevre yönetimi araçları, bu belgede Bölüm 1.4.12'deki çimento bölümünde açıklanmıştır.

2.5 Kireç endüstrisinde geliştirilmekte olan teknikler

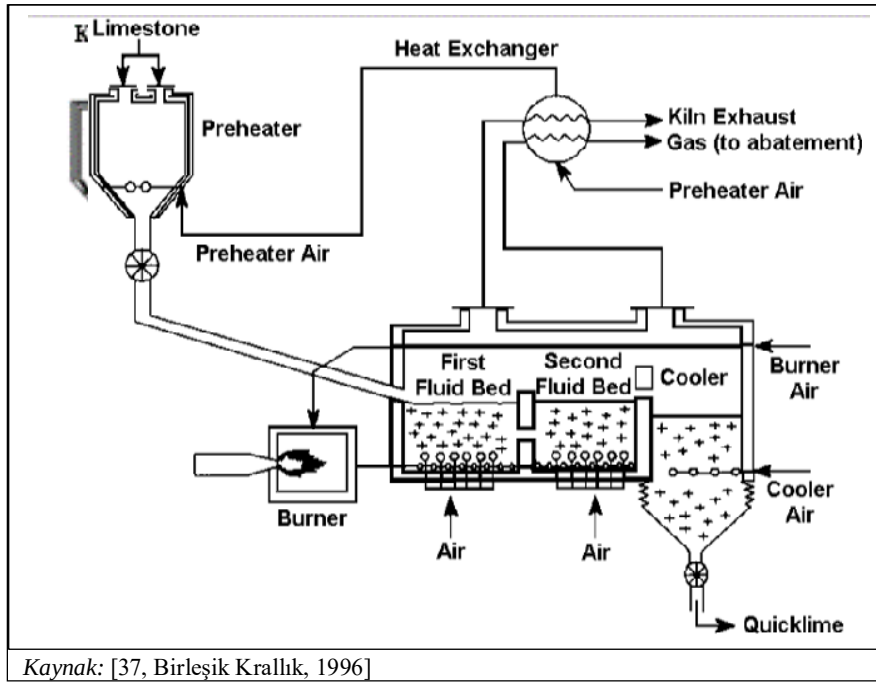
2.5.1 Akışkan yataklı kalsinasyon

Akışkan bir yatakta ince bölünmüş kireçtaşının kalsinasyonu, nispeten küçük bir ölçekte uzun yıllardır uygulanmaktadır. Aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli potansiyel avantajlara sahiptir:

- ☐ fazla miktarda ince kireçtaşı kullanımı
- ☐ düşük NO_x emisyonları ve
- ☐ yüksek kükürtlü yakıtlar kullanıldığında düşük SO₂ emisyonları.

Bununla birlikte, tekniğin özgül ısı kullanımı pek düşük değildir, ince bölünmüş ürünler birçok uygulama için uygunsuzdur ve kalıntı kalsiyum karbonat seviyesi nispeten yüksektir. Günde 150 tondan fazla üretim kapasitesine sahip fırınlarda tekniğin uygulanmasına ilişkin ilk başta çıkan sorunlar çözülmüş görünmektedir.

Şekil 2.53, akışkan yataklı fırının şematik bir diyagramını göstermektedir. İnce kireçtaşı, bir eşanjör aracılığıyla fırın dışı atım gazı tarafından ısıtılan hava kullanılarak ön ısıtıcı kabına beslenir. Önceden ısıtılmış kireçtaşı daha sonra sıcaklığın arttığı ve kireçtaşının kireçlenmeye başladığı ilk akışkan yataklı kaba girer. Kireç taşı kalsine edildiğinde, daha hafif olan sönmemiş kireç bent duvarı üzerinden kalsinasyonun tamamlandığı bir sonraki akışkan yataklı kaba akar. Sönmemiş kireç daha sonra ortam havası ile soğutulduğu soğutucudan geçer.



Şekil 2.53: Akışkan yataklı fırın

Akışkan yatak tekniği, diğer kireç fırını tekniklerine göre daha düşük kirletici salınımı sunabilmesine rağmen, kendini pek kanıtlamamıştır ve yalnızca yüksek reaktiviteye sahip ince kireç üretebilir.

2.5.2 Flaş kalsinatör/süspansiyon ön ısıtıcı

Çimento endüstrisinde, ince bölünmüş kireçtaşının süspansiyon ön ısıtıcısı aracılığıyla bir flaş kalsinatöre beslenmesi tekniği geliştirilmiştir. Ancak bu yalnızca sınırlı sayıda kireçtaşı kalitesi için uygundur ve çok az sayıda kurulumda kullanılmıştır. Avustralya'da

bu tekniği kullanan iki fırın faaliyettedir. Birinde, flaş kalsinatörden gelen ürün kısa bir döner fırından geçirilir. Döner bölüm, CaCO_3 yüzdesini ve kirecin reaktivitesini müşteri spesifikasyonları dahilinde kontrol etmek için tasarlanmıştır.

Flaş kalsinasyon fırını 0 – 2 mm aralığında besleme taşını kabul ettiğinden, teknik özellikle "kumlu" kireçtaşı için uygundur. Kullanımını nispeten yüksek çıktı seviyeleriyle (örneğin yaklaşık 500 ton/gün) sınırlayan, yüksek sermaye maliyetlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

2.5.3 Seramik filtreler

2008 yılında kireç fırınlarında seramik filtre kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, çok yüksek sıcaklıklarda gazlardan tozu verimli bir şekilde uzaklaştırabilirler ve sinterli dolomit üreten döner fırınlar gibi fırınlarda, yüksek sıcaklıktaki gazların tozdan arındırılması, belirli ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanabilir olmasını sağlayabilir.

2.5.4 Karışık beslemeli şaft fırınlardan çıkan baca gazlarının yakılma sonrası

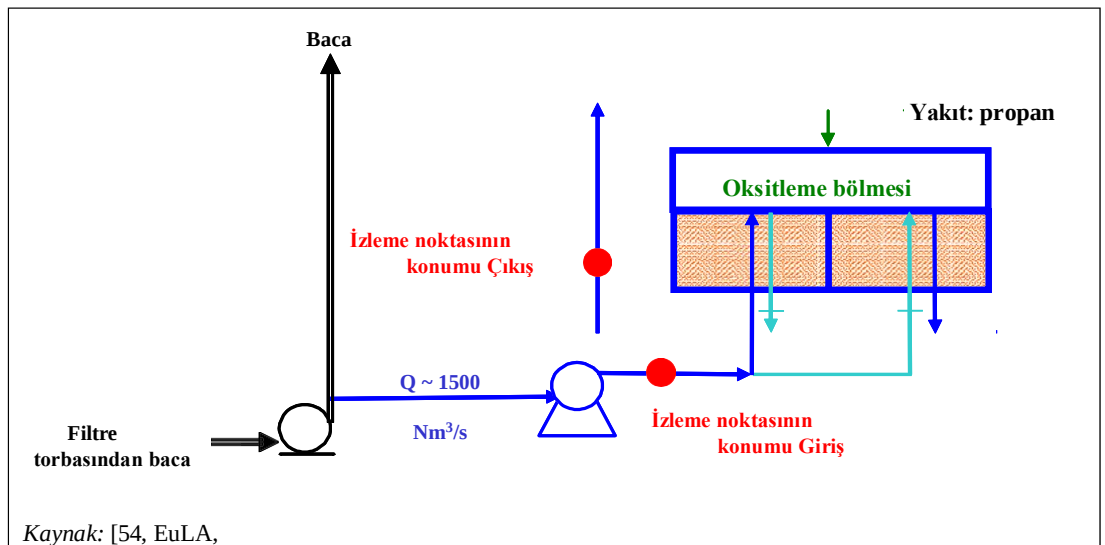
Karışık besleme şaft fırınlardan çıkan baca gazlarının arıtılması için değerlendirilebilecek iki ana azaltma tekniği vardır:

□ reküperatif termal oksitleyici:

Bu tekniğin ana teknik avantajı, 30 mg/ Nm^3 'e varan toz derişimlerine karşı nispeten düşük olan hassasiyetidir. Ayrıca oksitleyicide mevcut yüksek sıcaklıklar nedeniyle tıkanma ve korozyon sorunlarına yol açan amonyum tuzları oluşamaz. Bununla birlikte, en iyi çalışma koşulları altında bile, bu teknik önemli bir ek enerji girdisi (0,85 GJ/t çıktıya kadar) gerektirir. Kirlenici azaltma verimliliği ve bu tür teçhizatın işletme maliyetlerine dair pratik deneyim, 2008 yılında kireç endüstrisinde mevcut değildi.

□ rejeneratif termal oksitleyici:

Küçük bir rejeneratif oksitleyicinin kullanıldığı pilot testler, farklı katı yakıtları yakan karışık besleme şaft fırınlarla donatılmış birkaç tesiste gerçekleştirilmiştir. Oksitleyici, Şekil 2.54'te gösterildiği gibi torba filtre ile baca arasında, ana baca gazı akışından ayrılan kısmi bir baca gazı (baca gazı akışı: $Q < 1500 \text{ Nm}^3/\text{s}$) içine yerleştirildi.



Şekil 2.54: Bir yanma sonrası tekniğinin örnek akış şeması

Oksitleyicinin girişindeki ve çıkışındaki baca gazı bileşimleri, birkaç saat boyunca yakından izlendi. Bu testlerin ana sonuçları özetlenmiş ve Tablo 2.41'de gösterilmiştir.

Tablo 2.41: Birkaç saat süreyle baca gazı bileşimi izlemesi

	Madde	Giriş ortalama derişimi (kuru) (mg/Nm ³)	Çıkış ortalama derişimi (kuru) (mg/Nm ³)
Vaka 1	CO	4 900	35
	TOK	32	0,1
	H ₂ S	<0,8	<0,7
Vaka 2	CO	14 650	95
	TOK	120	0,4
	H ₂ S	2	<0,8
Vaka 3	CO	6 270	51
	TOK	338	1,3
	H ₂ S	1,4	<1,2
Vaka 4	CO	10 810	95
	TOK	37	0,2
	H ₂ S	/	/
Vaka 5	CO	14 230	128
	TOK	34	0,3
	H ₂ S	20	<0,9
Vaka 6	CO	14 450	115
	TOK	53	0,5
	H ₂ S	33	<0,5
Kaynak: [54, EuLA, 2006].			

Bu testlerden yola çıkarak, iyi tasarlanmış bir oksitleyicinin, baca gazında arıtma öncesi CO derişiminin %1,5 ila 2 aralığını geçmesi durumunda ototermal koşullarda (ek enerjiye ihtiyaç duymadan) çalışabileceği sonucuna varılabilir. Bu durumda, karbon monoksit, TOK ve hidrojen sülfür için genellikle %98'lik bir azaltma verimliliği elde edilebilir. Temiz gazdaki CO emisyon derişimi her zaman <100 mg/Nm³'tür [142, EnvNGO/Tebert, 2007]. Ancak, geri kazanımlı sistemin aksine, bu teçhizat baca gazında çok düşük toz derişimleri gerektirir (genellikle 5 mg/Nm³'ün altında). Çıkıştaki sıcaklıklar çok düşükse (örn. 200 °C'nin altında), amonyum tuzları oluşabilir. Borularda korozyon ve/veya kontrolsüz toz emisyonları beklenebilir. Testler ayrıca, CO seviyeleri %2 ila 3 aralığını aşarsa, kirleticilerin oksitlenmesiyle oksitleyicide çok fazla enerji üretildiğini göstermiştir. Bu, teçhizatın gün içinde çalışması sırasında ciddi sorunlara yol açabilir.

Hangi tekniğin kullanılması gerektiğine ilişkin karar, aşağıdaki kriterler listesine (tamamen kapsayıcı değildir) dayanmalıdır:

- ☐ baca gazının özellikleri (örneğin akış hızı, oksijen, karbon monoksit ve TOK içerikleri, sıcaklık)
- ☐ bu parametrelerin zaman içindeki değişkenliği
- ☐ tozsuzlaştırma sisteminin özellikleri

Bu nedenle, en iyi çözüm yerel koşullara bağlıdır [54, EuLA, 2006].

3 MAGNEZYUM OKSİT ENDÜSTRİSİ (ÇIKARILMIŞ DOĞAL MANYEZİTE DAYANAN KURU İŞLEME GÜZERGAHI)

3.1 Genel Bilgiler

3.1.1 Giriş

Magnezyum oksit, ana uygulama alanı çelik ve refrakter endüstrisi olmak üzere en önemli endüstriyel magnezyum bileşiğidir. Aynı zamanda, gıda ve hayvan yemi endüstrileri dahil olmak üzere diğer birçok endüstriyel sektörde de büyük ölçekte kullanılmaktadır. Magnezyum oksit üretimi için ham maddeler, hem doğal magnezyum karbonat hem de deniz suyu ve tuzlu sulardan elde edilen brusit veya magnezyum klorürdür.

Magnezyum oksit (MgO /manyezi) üretimi için iki genel üretim süreci güzergahı kullanılır:

- magnezyum karbonattan başlayarak yüksek sıcaklıkta dekarbonizasyon reaksiyonu ile, magnezyum karbonatın kendisi manyezit madenlerinden elde edilebilir (doğal veya kuru işleme güzergahı)
- magnezyum klorürden başlayarak, yüksek sıcaklıkta hidroliz reaksiyonu ve magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) çökeltme gibi çeşitli işlemler yoluyla. Magnezyum klorür tuzlu sulardan, magnezyum açısından zengin minerallerin hidroklorik asit (HCl) ile çözündürülmesi ve deniz suyundan (sentetik veya yaş işleme güzergahı) elde edilebilir [108, Avrupa Komisyonu, 2006].

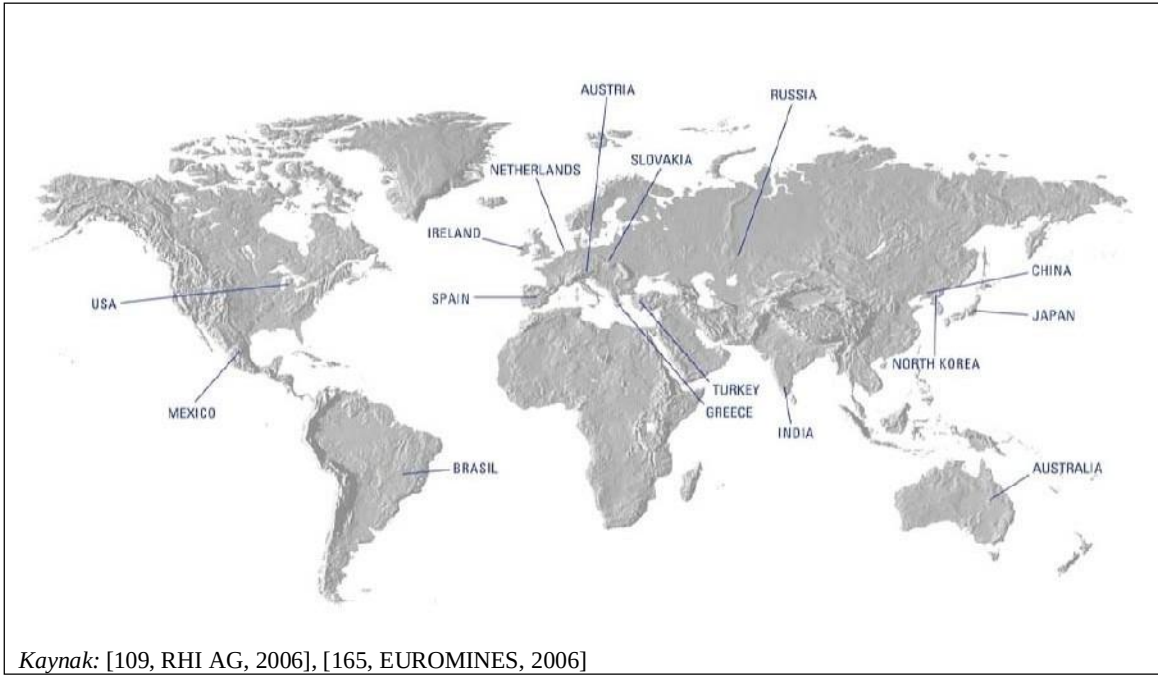
Yukarıda bahsedilen magnezyum klorürden başlayan işleme güzergahının (yaş işleme güzergahı) kullanımı azalmaktadır çünkü enerji gereksinimleri magnezyum karbonattan başlayan magnezyum oksit üretim prosesinden (kuru işleme güzergahı) üç kat daha fazladır. Yaş işleme güzergahı ile ilgili daha fazla bilgi, magnezyum oksit üretimine yönelik bu yaş sürecin açıklandığı Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) için Mevcut En İyi Tekniklere İlişkin Referans Belgesinde bulunabilir [108, Avrupa Komisyonu, 2006].

Bu bölüm, çıkarılmış doğal manyezite (magnezyum karbonat $MgCO_3$) dayalı kuru işleme güzergahıyla üretilen, farklı türleri olan (DBM, CCM, FM (bkz. Bölüm 3.1.2.1.1)) olan magnezyum oksitin (MgO /manyezi) üretimini kapsar. Avrupa'da, magnezyum oksit üretimi için brusit kullanılmaz; ancak gerekli üretim adımları ve yanma koşulları tamamen aynıdır. Başlangıç malzemesi olarak magnezyum klorürün kullanıldığı yaş işleme güzergahı, proses yapısının, tekniklerin ve hammaddelerin kullanımındaki farklılıklar nedeniyle bu belgede ele alınmamıştır.

Ancak bazı durumlarda, örneğin piyasaya bağlı nedenlerden dolayı, bu iki manyezi ürünü birbirinden ayrı tutulamaz. Bu tür durumların meydana gelmesi halinde, bu belgede uygun şekilde açıklaması verilmiştir.

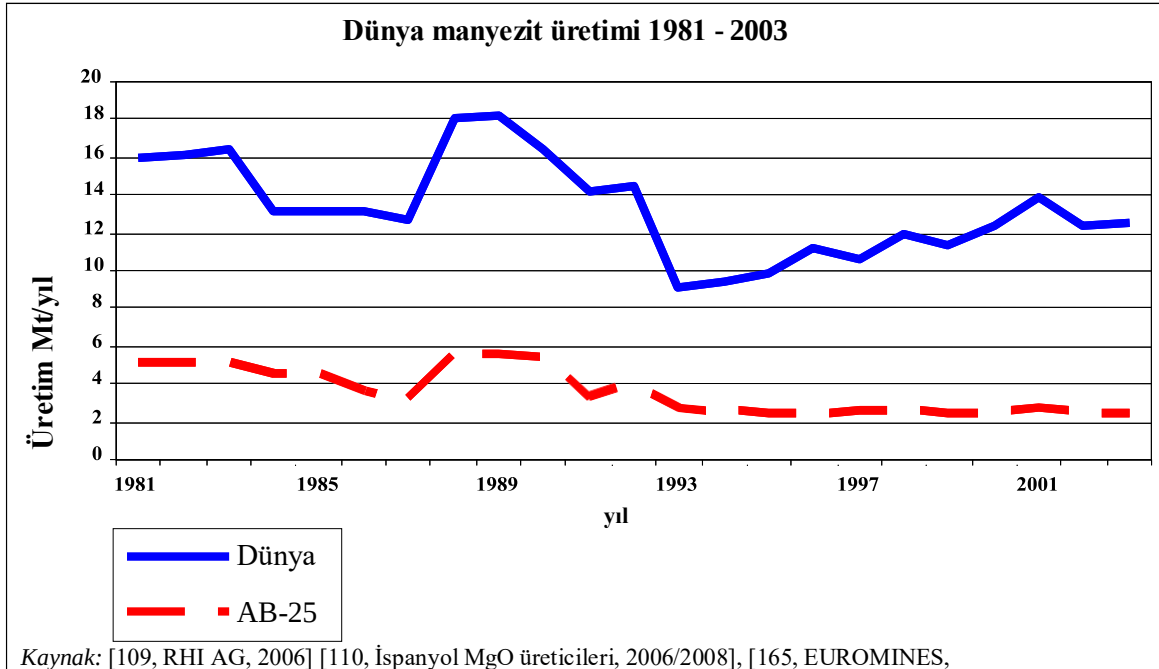
3.1.2 Dünya çapında ve Avrupa'da manyezit endüstrisi

Sinter manyezinin (DBM), kostik kalsine (CCM) ve ergitilmiş manyezi (FM) ile beraber üretimi ve dünya çapında ticareti yapılır. Şekil 3.1, dünya çapındaki kaynaklara ve magnezyum oksit üreticilerine genel bir bakış sunar.



Şekil 3.1: Küresel magnezyum oksit kaynakları ve üretici ülkeler

Şekil 3.2, 1981 ile 2003 arası AB-25’te kuru işleme güzergahı kullanımı için üretim rakamlarını ve dünya çapında ham manyezit üretim rakamlarını göstermektedir.



Şekil 3.2: AB-25 ve dünya çapında ham manyezit üretimi

Tablo 3.1, üretici ülkelerle ilgili olarak 2000'den 2005'e kadar dünya çapındaki bu üretim verilerini göstermektedir.

Tablo 3.1: 2000'den 2005'e kadar dünya çapında ham manyezit (magnezyum karbonat) üretimi

Ülke	Ham manyezit üretimi (t)					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Arnavutluk ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-
Avustralya	349 933	540 000	540 000	553 847	586 393	590 000
Avusturya	725 832	680 534	728 235	766 525	715 459	693 754
Brezilya	300 000	265 749	310 000	330 000	350 000	386 759
Kanada	270 000	300 000	200 000	150 000	140 000	120 000
Çin	4 230 000	4 300 000	4 400 000	4 500 000	4 650 000	4 800 000
BDT – Asya	250 000	260 000	150 000	120 000	-	-
BDT – Avrupa	2 250 000	2 340 000	1 350 000	1 080 000	-	-
Kolombiya	7 100	7 000	6 900	6 700	6 500	6 300
Çek Cumhuriyeti ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-
Kuzey Kore	650 000	650 000	450 000	580 000	-	-
Yunanistan	492 780	483 296	558 057	549 049	499 474	500 000
Guatemala ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-
Hindistan	340 000	330 000	280 000	300 000	320 000	380 000
İran	140 000	133 778	128 565	91 700	91 700	120 000
Kenya ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	-
Güney Kore	650 000	650 000	450 000	580 000	600 000	800 000
Meksika ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-
Nepal ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	-
Pakistan	3 610	3 000	4 430	4 700	4 900	3 029
Filipinler ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-
Polonya	54 830	23 000	24 000	33 000	35 000	37 000
Rusya (Avrupa)	1 400 000	1 380 000	1 350 000	1 080 000	900 000	885 000
Rusya (Asya)	140 000	138 000	150 000	120 000	100 000	95 000
Sırbistan ve Karadağ	0	0	0	73 000	70 000	60 000
Slovakya	1 535 200	1 537 000	1 464 500	1 640 900	965 900	1 555 000
Güney Afrika	97 446	98 000	99 000	100 000	120 000	130 000
İspanya	423 605	438 194	462 200	468 900	-	-
Tayland ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-
Türkiye	2 672 089	2 738 086	2 800 000	3 224 278	-	-
SSCB ⁽⁹⁾	-	-	-	-	-	-
ABD ⁽¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-
Yugoslavya	80 000	78 000	75 000	73 000	0	0
Zimbabve	5 800	6 000	6 200	6 400	6 500	6 800
Çeşitli ülkeler için veriler yalnızca aşağıdaki dönemlerde mevcuttur: (1) 1988 – 1994 verileri (2) 1981 – 1994 verileri (3) 1984 – 1992 verileri (4) 1984 – 1992 verileri (5) 1988 – 1994 verileri (6) 1983 – 1992 verileri			(7) 1984 – 1994 verileri (8) 1988 – 1992 verileri (9) 1981 – 1994 verileri (10) 1981 – 1983 verileri -: mevcut veri yok <i>Kaynak:</i> [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]			

Dünya manyezit üretimi 2003 yılında 12,5 milyon ton civarındaydı. AB-27'de 2003 yılında dünya üretiminin %18,4'üne karşılık gelen yaklaşık 2,3 milyon ton üretim yapılmıştır. 2003 yılında dünyada kuru işleme güzergahının kullanıldığı magnezyum oksit (magnezi) üretimi 5,8 milyon ton civarındaydı. Avrupa'daki ülkelerin hala dünya üretiminin % 32'sini karşıladığı 1981 yılına kıyasla, AB

3. Bölüm

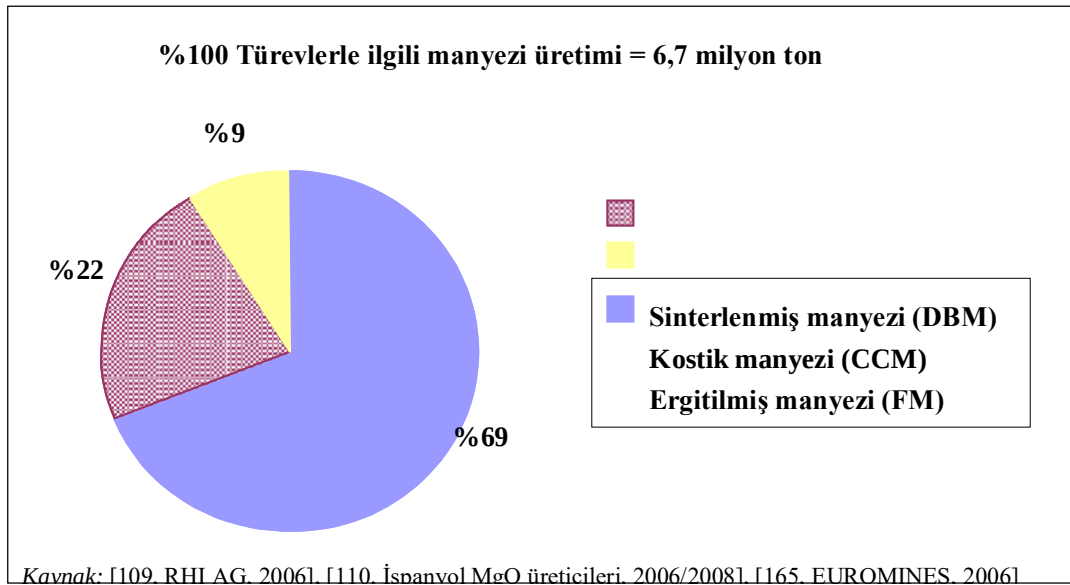
üretiminin dünya üretimindeki bu payı önemli ölçüde azalmıştır. Bu nedenle, 1995 ve 2005 yıllarında, Avrupa Komisyonu, Avrupa Topluluğu üyesi olmayan ülkelere yapılan dumpingli ithalatlara karşı korumaya ilişkin Konsey Yönetmeliklerini yayınlamış ve magnezyum oksit ithalatına belirleyici bir anti-dumping vergisi uygulamıştır [166, Avrupa Birliği, 1995], [167, Avrupa Birliği, 2005].

2003 yılı için tahmini sinterlenmiş magnezyum oksit/manyezi üretimi Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: 2003 yılında dünya çapında sinterlenmiş magnezyum oksit/manyezi üretimi

Üretilen magnezyum oksit türü	Tahmini magnezyum oksit üretimi (milyon t)
Doğal magnezyum oksit	5,8 (¹)
Sentetik magnezyum oksit	0,6 (²)
Toplam magnezyum oksit üretimi	6,4 (³)
(1) Kuru işleme güzergahının kullanıldığı magnezyum oksit üretimi (2) Yaş proses güzergahı (3) Σ toplam üretim kuru ve yaş proses güzergahı Kaynak: [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]	

Sinter (DBM), kostik kalsine (CCM) ve ergitilmiş manyezi (FM) gibi farklı magnezyum oksit (manyezi) türevlerinin 2003 yılında dünya çapında üretimine ilişkin tahminler, istatistiksel hatalara bağlı olarak 6,4 ila 6,7 milyon ton arasında değişim göstermekteydi. Şekil 3.3, 2003 yılında dünya çapında üretilen farklı magnezyum oksit (magnezyum) türevlerinin/türlerinin üretim dağılımına genel bakış sağlamaktadır. Toplam üretim 6,7 milyon tondur.



Şekil 3.3: 2003 yılında dünya çapında magnezyum oksit türevleri üretimi

AB-27'de az sayıda magnezyum oksit üreticisi mevcuttur, sinterlenmiş manyezi üreten tesislerin sayısı da buna bağlı olarak düşüktür ve bunlar Tablo 3.3'te gösterilmektedir. AB-27'de bilinen yalnızca dokuz üretici olup 14 tesis kullanılmaktadır. Tek tesiste sekiz fırınla çalışan bir üretici dışında, tesis başına ortalama fırın sayısı bir ila üç arasındadır. Magnezyum oksit endüstrisinin ekonomik faaliyetleri küçük bir alanla sınırlıdır.

Tablo 3.3: AB-27 sinterlenmiş manyezi üreticileri

Ülke	Üretici sayısı	Tesis sayısı
Yunanistan	1	1
İspanya	2	2
Avusturya	2	5
Polonya	1	1 ⁽¹⁾
Slovakya	3	5
Toplam	9	14
⁽¹⁾ Varsayım Kaynak: [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]		

Tablo 3.4, 2003 yılında AB-25'te madenlerden ham manyezit üretimini ve kuru işleme güzergahının kullanıldığı manyezi üretimini göstermektedir. Çıkarılan manyezitin %98'den fazlası, farklı manyezi ürünleri DBM, CCM ve FM'nin üretimi için kullanılmaktadır.

Tablo 3.4: 2003 yılında AB-25'te kuru işleme güzergahıyla manyezit ve manyezi üretimi

Ülke	2003 yılında manyezit ⁽¹⁾ üretimi (t)	2003 yılında kt/yıl cinsinden manyezi üretim kapasitesi		
		Sinter manyezi (DBM)	Kostik kalsine manyezi (CCM)	Ergitilmiş manyezi (FM)
AB-25	2 398 574			
Yunanistan	549 049	84 635	92 350	
İspanya	468 900	60 000	150 000	
Avusturya	766 525			6 000
Polonya	33 000			
Slovakya	900 000			
⁽¹⁾ Madenden çıkarılan ham cevher, magnezyum oksit üretiminin hammaddesi Kaynak: [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]				

Ham manyezit sadece küçük ölçekte alınıp satılmaktadır. Seramik ve çelik endüstrisinde ve diğer magnezyum bileşiklerinin üretimi için bir magnezyum kaynağı olarak özel kalite sınıfları kullanılmaktadır. 2003 yılında, bu pazarlar söz konusu manyezit üretiminin yaklaşık % 2'sini temsil ediyordu [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.1.2.1 Magnezyum oksit (manyezi) ürün türleri

3.1.2.1.1 Manyezi

Manyezi, 'periklaz' olarak da bilinen kimyasal olarak saf magnezyum oksittir (MgO). Manyezinin erime noktası yaklaşık 2 800 °C'dir. Bu yüksek erime noktası, manyezinin çelik, çimento, kireç, cam ve demir dışı metal endüstrilerinde yüksek sıcaklık proseslerinde kullanılan refrakter ürünlerin hammaddesi olarak tercih edilmesinin nedenidir.

Manyezi aşağıdaki gibi üretilir ve türetilir:

- ☐ sinter manyezi (DBM)
- ☐ kostik kalsine manyezi (CCM)
- ☐ ergitilmiş manyezi (FM)

Bu tip manyezi ürünlerindeki farklılıklar fiziko-kimyasal özelliklerde kendini gösterir. Üretilen farklı manyezi dereceleri kimyasal saflıkla tanımlanır. Kaynağına bağlı olarak, manyezi genellikle %55 – 98 aralığında magnezyum oksit (MgO) içerir. Oluşan en önemli safsızlıklar SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO ve Al_2O_3 bileşikleridir. Bu safsızlıklar, manyezi ürününün kalitesini etkiler. Kostik kalsine manyezi söz konusu olduğunda, önemli miktarda CO_2 üründe kalır [67, Avusturya, 2006],[109, RHI AG, 2006],[110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.1.2.1.1.1 Sinter manyezi (DBM)

Sinter manyezi (MgO = sinter manyezi: DBM), 1 600 – 2200 °C sıcaklık aralığında sinter yakma prosesiyle üretilir. Farklı türler, hammaddedeki % < 2 – 35 kireç içeriği aralığı ve genel olarak düşük olması gereken SiO_2 içeriği üzerinden tanımlanır. Özel kullanımlar ayrıca çok düşük demir içeriği gerektirir. Ürün, kural olarak 3,05 – 3,45 g/cm³ aralığında görünür yoğunluğa ve 30 – 200 µm aralığında kristal boyutlarına sahip kübik kristal bir yapı ile karakterize edilir. Sinter manyezi, taneler veya briketler halinde üretilir.

3.1.2.1.1.2 Kostik kalsine manyezi (CCM)

Kostik kalsine manyezi (MgO = kostik kalsine manyezi: CCM) kısmen asidi giderilmiş manyezit veya kalsine $\text{Mg}(\text{OH})_2$, burada orijinal kristal modifikasyonu korunur, örneğin orijinal maddenin kristal yapısı kalsinasyon sırasında, 600 ve 800 °C arasındaki bozunma sıcaklığında korunur ve CO_2 tutma noktaları müsaittir (kristal yapı sistemindeki boşluklar). Bundan dolayı CCM geniş özgül yüzeye sahiptir, bu da DBM veya FM'ye kıyasla kostik kalsine manyezinin oldukça reaktif davranış göstermesine neden olur. CCM genellikle toz halinde (ince, gözenekli) veya çok gevşek topraklar halinde parçalar olarak bulunur. Çeşitli CCM sınıflarının üretimi için 1 300 °C'ye varan sıcaklıklarda kalsinasyon kullanılır.

3.1.2.1.1.3 Ergitilmiş manyezi (FM)

Ergitilmiş manyezi, elektrik arkı fırınında 2800 °C civarı sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir ergitme işlemiyle üretilir. Sinterlenmiş ve ergitilmiş manyezi arasındaki fark, bir taraftan görünen yoğunlukta (ergitilmiş manyezi, sinterlenmiş manyeziden 3,43 – 3,54 g/cm³ daha yüksek bir yoğunluğa sahiptir) ve diğer taraftan 200 ila 2 000 µm aralığında değişen kristal boyutunda kendini gösterir. Ergitilmiş manyezi, refrakter malzeme olarak ve nükleer reaktörler gibi bazı özel uygulamalar için kullanılır. Avrupa'da ergitilmiş manyezi çok küçük miktarlarda üretilir. Bu nedenle, ergitilmiş manyezi üretimi bu belgede ayrıntılı olarak açıklanmamıştır.

3.1.3 Manyezinin kullanım alanları

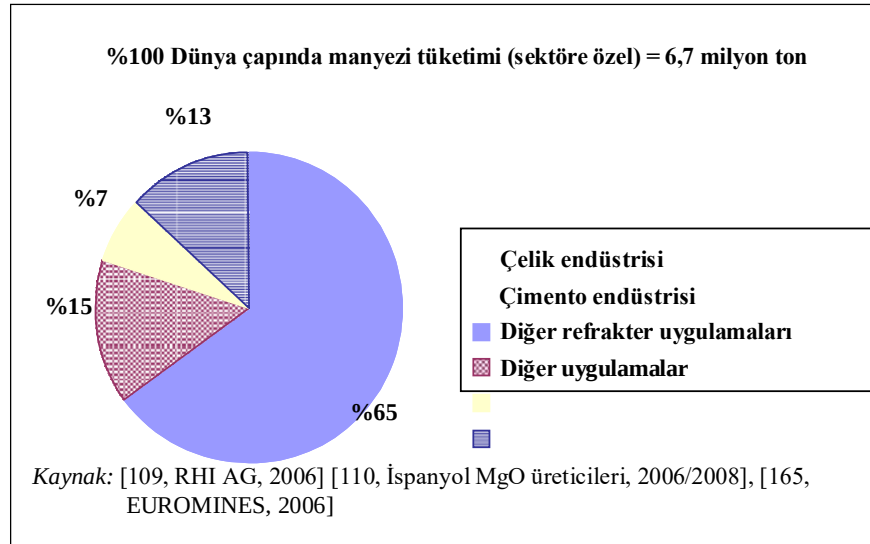
Sinter manyezi esas olarak refrakter endüstrisinde kullanılır. Manyezi kullanan refrakter ürünler için örnek uygulama alanları şunlardır:

- ☐ çelik endüstrisi, örn. elektrik ark ocakları, temel oksijen ocakları veya diğer ocaklar, çelik dönüştürücüler, sıcak metal taşıma ve makineler için
- ☐ çimento endüstrisi, örn. ön ısıtıcıların, çimento fırınlarının ve soğutucuların girişleri için
- ☐ demir dışı metal endüstrileri, örn. fırınlar için
- ☐ kireç endüstrisi, örn. kireç fırınlarının girişleri için
- ☐ cam endüstrisi, örn. eritme fırınları, rejeneratör odaları için.

Kostik kalsine manyezi için ana uygulamalar aşağıdaki alanlarda olabilir:

- ☐ tarım endüstrisinde yem veya gübre olarak
- ☐ çelik üretim endüstrisinde cüruf şartlandırıcı olarak
- ☐ inşaat sektöründe zemin kaplaması ve yalıtımı için
- ☐ selüloz, kağıt, kimyasallar, ilaçlar, aleve dayanıklı ve süpürücü malzemelerin imalatı
- ☐ çevre koruma endüstrisi.

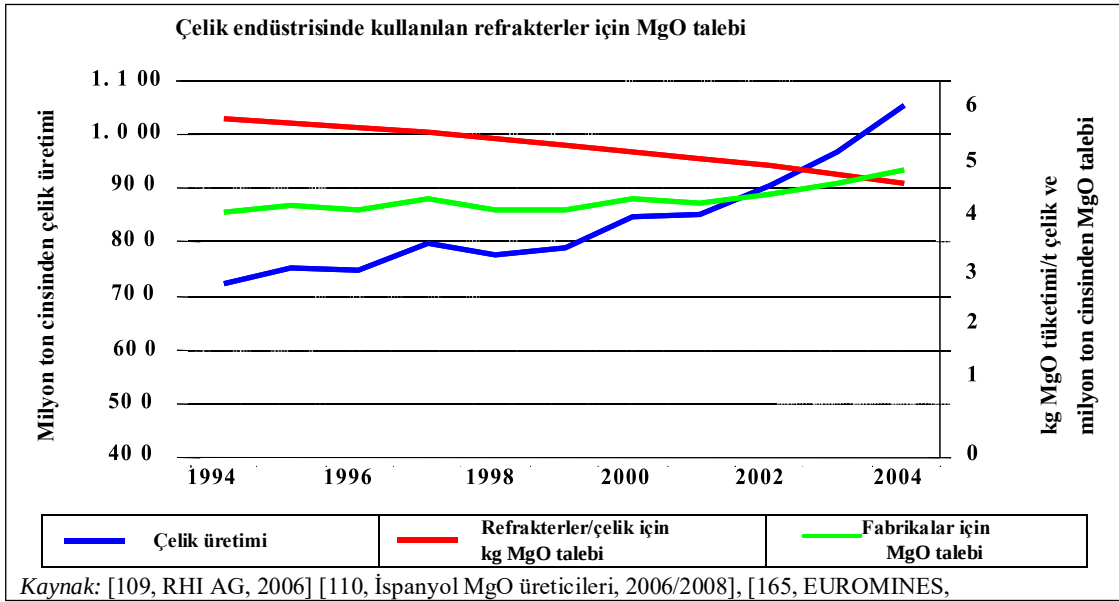
2003 yılında dünya çapında manyezi üretimi 6,7 milyon ton alınarak Şekil 3.4, sentetik manyezi endüstrisi de dahil olmak üzere farklı endüstrilerde sektöre özgü manyezi tüketimini göstermektedir. Manyezi esas olarak refrakter ürünlerin üretimi için kullanılır. Refrakterlerde kullanılan manyezinin %65'i çelik endüstrisinde, %15'i çimento endüstrisinde, %7'si ise demir dışı metal endüstrileri veya cam endüstrisi gibi diğer refrakter uygulamalarında kullanılmak üzere üretilmekte, toplam üretimin kalan %13'üyse diğer uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu diğer uygulamalar çok çeşitli olup, çoğunluğu CCM için olan bilinen toplam 80 uygulama vardır. Tarımda yem veya gübre olarak, inşaatta zemin kaplama ve yalıtım olarak, selüloz, kağıt, kimyasallar, ilaçlar, aleve dayanıklı ve süpürücü malzemelerin imalatının yanı sıra çevre korumada kullanım başlıca uygulamaları oluşturur.



Şekil 3.4: 2003 yılında dünya çapında sektöre özel manyezi tüketimi

Doğal manyezi dağılımını ve kullanımını gösteren hiçbir istatistik/değerlendirme mevcut değildir. Bununla birlikte, sentetik manyezi için önemli bir fark olmadığı varsayılabilir.

Dünya çapında, manyezi içeren refrakter ürünlerin özgül kullanımı azalmaktadır; bununla birlikte küresel olarak bakıldığında dünya çapında çelik üretiminde gözlemlenen artış, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi magnezyum içeren refrakter ürünlere olan talebin artmaya devam etmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu rakama ayrıca cüruflandırma için kullanılan manyezi (MgO) da dahildir (toplam MgO tüketiminin %10'u).



Şekil 3.5: Çelik endüstrisinde kullanılan refrakter üretimine yönelik dünya çapında manyezi talebi

1994 yılında dünya çapındaki ham çelik üretimi 700 milyon ton civarındayken, 2005 yılında çelik üretim kapasitesi 1000 milyon tonun üzerindedir. Aynı dönemde, özgül manyezi talebi yaklaşık 5'ten

4,2 kg/t çeliğe olmak üzere sürekli olarak azalma göstermiştir (1994 ve 2004 arasında %-24). Bununla birlikte, küresel olarak ve dünya çapında artan çelik üretimi ile birlikte bakıldığında, manyezi ve manyezit gereksinimlerinin sürekli arttığı görülebilir. Çelik endüstrisindeki artan manyezi kullanımına paralel olarak, manyezit üretimi de Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yılda 9,4'ten (1994) 12,5 (2003) milyon tona yükselmiştir [67, Avusturya, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

3.2 Uygulanan proses ve teknikler

3.2.1 Hammaddeler ve hazırlama

Manyezi ürünlerinin (DBM, CCM, FM) üretimi için en önemli hammaddeler şunlardır:

- ☐ manyezit (magnezyum karbonat) = $MgCO_3$ (kuru işleme)
- ☐ brüsit (magnezyum karbonat) = $Mg(OH)_2$ (kuru işleme)
- ☐ bişofit (magnezyum klorür) = $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ (yaş işleme)
- ☐ deniz suyu ve dolomit (yaş işleme).

Magnezyum hidroksit (brüsit) kullanımı çok sınırlı bir role sahip olduğundan, bu belge yalnızca manyezitten sinter manyezi üretimi için kuru süreç güzergahını kapsamaktadır. Magnezyum klorür bazlı üretim süreci, yani yaş işleme güzergahı, bu belgede ele alınmayacaktır. Yaş işleme güzergahı ile ilgili daha fazla bilgi, magnezyum oksit üretimine yönelik bu sürecin açıklandığı Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) için Mevcut En İyi Tekniklere İlişkin Referans Belgesinde bulunabilir [108, Avrupa Komisyonu, 2006].

Hammaddeler açık ocak ve yer altı madenlerinden çıkarılmakta ve maden faaliyeti sırasında ilk boyut küçültme ve ön arıtma gerçekleşmektedir. Kırma, öğütme veya öğütme ve eleme tesisleri gibi hammadde hazırlığı için standart işleme üniteleri kullanılmaktadır. Kayacın doğasına, örneğin sertliğine ve ebatına bağlı olarak çeşitli tipte birincil ve ikincil kırıcılar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, taşların boyutu çok küçük olmamalı ve ortaya çıkan inceler az miktarda olmalıdır.

Manyezit hazırlığında için bazen ağır çamur hazırlama kullanılır. Hammaddeler kimi zaman safsızlıkları atmak üzere yıkanır. Ayrıca, manyetik hazırlama işleri için kalıcı mıknatıslı ayırıcılar kullanılmaktadır.

Sinter manyezi genellikle öğütülür ve pişirme prosesini takiben bir nebze manyetik olarak işlenir. Kostik kalsine manyezi, genellikle pişirme prosesinin ardından öğütülür ve ardından bitmiş ürün haline gelir. Öğütme işleminde farklı tipte, örneğin bilyalı değirmenler, valsli değirmenler, sallamalı değirmenler ve yüksek basınçlı öğütme valsleri gibi makineler kullanılabilir. Briket presleri genellikle koster briket üretimi için kullanılır (iki fazlı ısıtma işlemi).

Madencilik süreci bu belgede ele alınmamıştır. Madencilik/taş ocakçılığı ile ilgili yararlı bilgiler Madencilik Faaliyetlerinde Maden Atıkları ve Atık-Kayaç Yönetimi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [47, Avrupa Komisyonu, 2004].

3.2.1.1 Manyezit

'Manyezit' terimi, doğal magnezyum karbonatı ($MgCO_3$) ifade eder. Manyezit kısmen kaya oluşum malzemelerinden elde edilir, çoğunlukla dolomit ile birlikte oluşur ve meydana gelen yataklar genellikle çok yaşlıdır (> 400 milyon yıl). Avrupa'da manyezit birçok yerde bulunabilir; bununla birlikte, üretici ve ticari değere sahip yatakların sayısı azdır. Bilinen en büyük yataklardan biri, 'Alp' dağlarındaki gri kumtaşı bölgesinde ('Grauwacken bölgesi') yer alır. Genel olarak bakıldığında, temelde demir içeriğinde farklılık gösteren iki tip ayrıtılabilir:

- ☐ spatik manyezit (Veitsch tipi, demirce zengin % 4 – 6)
- ☐ jel manyezit (demir içeriği düşük, < %0,5 olan Kraubath tipi).

Spatik manyezit, kristal veya yüzey kristal oluşumları (makrokristalin tip) ile karakterize edilir ve demir içeriği tipik olarak yüksektir. Fe_2O_3 içeriği genellikle % 5 ila % 8 arasında değişir. Oluşum genellikle metasomatiktir, yani bir mineral erimeden yerini diğerine bırakır ve kimyasal bileşim sıvı etkileşimleriyle değişir. Avusturya, Slovakya, Kuzey Kore, Brezilya, BDT ülkelerinin Asya'da yer alan kısımları ve Çin'de önemli yataklar bulunur ve burada hammadde de bir dereceye kadar, düşük miktarda Fe_2O_3 içerir.

Jel manyezit makroskopik bir yapıya sahip değildir (mikrokristalin veya kriptokristalin tip). Oluşumu, magnezyum açısından zengin kayalarda (büyük ölçüde serpantin) meydana gelen değişikliklerin bir sonucudur. Demir içeriği % 1'den daha az olmak üzere çok düşüktür. Türkiye, Yunanistan ve Avustralya'da önemli yataklar bulunur.

3.2.2 Yakıtlar

2007'de, pişirme sürecinde esas olarak aşağıdaki farklı yakıt türleri kullanıldı:

- ☐ doğal gaz
- ☐ petrokok
- ☐ ağır fuel oil.

Ancak mevcudiyet ve ekonomik boyuta bağlı olarak antrasit veya kömür gibi başka yakıtlar da kullanılır. Petrol kokunun verimliliği ile fiyatı arasında iyi bir ilişki vardır (ayrıca bkz. Bölüm 3.4.5 ve Şekil 3.13). Ancak, yüksek termal enerji talebi ve üretim süreci için gereken yüksek sıcaklıklar nedeniyle, bazı durumlarda diğer yanıcı maddelerin eklenmesi gerekmektedir.

Yanma prosesine genellikle hava eklenir. Sinter işlemi için yüksek sıcaklıklar gerektiğinde, yanma havası teknik olarak saf oksijenle zenginleştirilebilir.

2007 yılında, üründe veya dışa atım gazlarında bulunabilecek safsızlıklar nedeniyle atık malzeme yakıt olarak kullanılmamıştır. Ürünlerin çoğu, herhangi bir safsızlığa yer vermeyecek şekilde saf ve temiz olmalıdır. Refrakter tuğlalarda kullanılacak olan sinter manyezinin refrakter özelliklerinde zayıflamaya neden olacağından, atık kullanımının ürün kalitesi üzerinde kaçınılması gereken etkileri olabilir. Bununla birlikte geleceğe yönelik olarak, atık malzemelerin birlikte yakılmasına ilişkin yeni teknikler ve bazı manyezi ürünleri sayesinde, magnezyum oksit endüstrisi örneğin plastik veya odun gibi farklı tür atıkların kullanımını değerlendirmektedir. Bu bağlamda, hem çimento hem de kireç sektörlerinde atık kullanımına ilişkin genel ve kalite kontrol hususları bu belgenin sırasıyla Bölüm 1.2.4 ve 2.2.5'inde bulunabilir.

3.2.3 Manyezitten manyezi üretim sürecinin genel açıklaması (doğal yollarla sinterlenmiş manyezi)

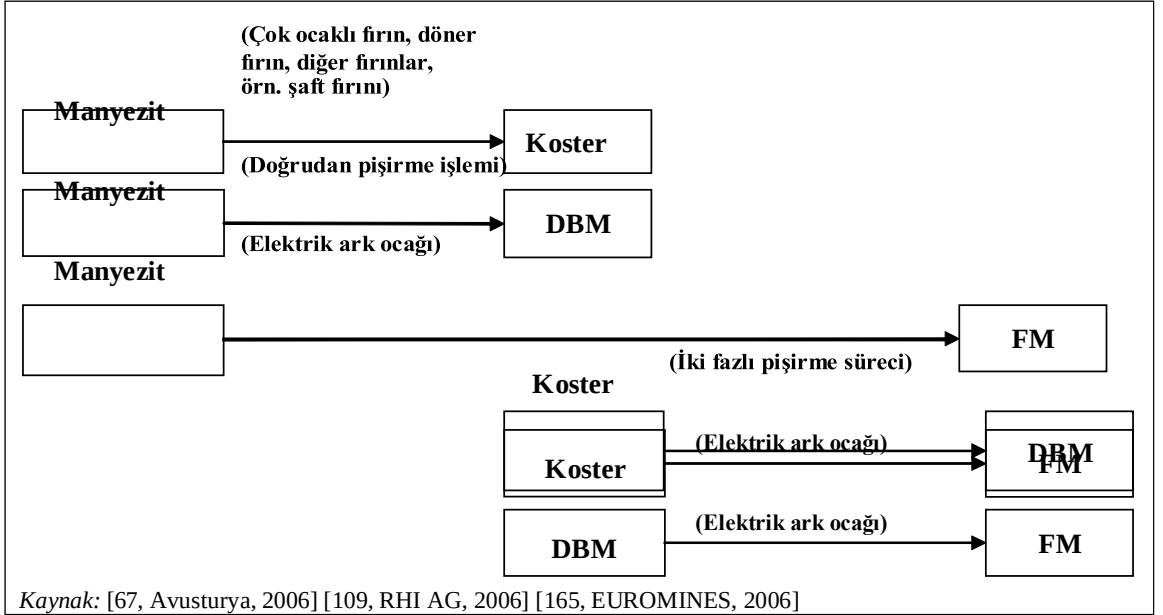
Manyezi, işlenmiş ve hazırlanmış doğal taş hammaddesinin bir çok ocaklı fırında (MHF), şaft fırınında veya döner sinterleme fırınında ateşlenmesiyle üretilir. Kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibi ifade edilebilir:



Kimyasal reaksiyon endotermiktir, yüksek pişirme sıcaklığına ihtiyaç duyar ve oldukça enerji yoğunudur. Enerji girişi yüksektir ($nH = + 113 \text{ kJ/mol MgO}$). Proses, manyezitin asitten arındırıldığı ve karbondioksitin salındığı yaklaşık $550 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında başlar. Bu reaksiyonun sonucunda kostik kalsine manyezi (CCM) ürünü meydana gelir. Bir sonraki proses adımında, CCM 1600 ve $2200 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda bir veya iki fazda sinter manyeziye dönüştürülmek üzere ek ısı işleme tabi tutulur (pişirilir). İşlem süresi ile birlikte sıcaklıklar, iyi kristalize edilmiş ve yüksek yoğunluğa ulaşabilen bir

ürün elde etmede belirleyici kontrol faktörleridir. Bu işlemde manyezitin kristal sistemi (üçgensel) kübik bir yapıya dönüşür ve yoğunlukta yüksek bir artış sağlanır.

Farklı manyezi türlerinin üretiminin doğal yolunun süreç şeması Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Manyezi üretimi için doğal güzergahın süreç şeması

3.2.3.1 Pişirme prosesleri

3.2.3.1.1 Doğrudan fırınlama prosesi (tek fazlı pişirme)

Ham manyezit, şaft veya döner sinterleme fırınları kullanılarak tek çevrimde sinter manyezi oluşturmak üzere pişirilir. Bu işlemin avantajı, enerji ihtiyacının iki fazlı ısıtma işlemine göre daha düşük olmasıdır. Bununla birlikte sinter ürününün özellikleri hammaddeye bağlıdır ve zirkonyum dioksit veya krom oksit gibi farklı malzemelerin ilave edilmesiyle değiştirilemez.

İlk işlem genellikle hammaddenin partiler halinde analiz edilmesi ve daha sonra kalite sınıflarında ayrıştırılması ve depolanması ile gerçekleştirilir. Hammaddelerden farklı kalite sınıfları karıştırılarak bir şarj döngüsü oluşturulur. Bu hammadde karışımı daha sonra şaft veya döner sinterleme fırınında 1 450 ile 2 200 °C arasındaki sıcaklıklarda fırınlanır. Ürün 'ham sinter' olarak adlandırılır. Bu pişirme işleminden sonra, ham sinter manyezinin ek işlemleri yapılabilir.

3.2.3.1.1.1 'Ham sinterin' hazırlanması

Çoğu durumda, 'ham sinter'in hazırlanması ve işlenmesi gereklidir. Demirce zengin manyezi iki aşamada hazırlanır ve işlenir:

- ☐ kırma ve öğütme (yoğunluk, kromatik, flotasyon; fırında yakma prosesinden önce işlem)
- ☐ manyetik hazırlık (fırın yakma işleminden sonra arıtma).

Son olarak, soğutulmuş ham sinter, ortam sıcaklığında manyetik olarak işlenebilir. Sinter malzemesinin kireç içeriği ayırıcı özelliktir. Sinter malzemede düşük kireç

içeriği, kalıp refrakter ürünlerin (tuğlaların) üretimi için bir gerekliliktir. Manyetik ayırma, bir kalıcı mıknatıslı ayırıcı veya bir elektromanyetik ayırıcı kullanılarak gerçekleştirilir. Manyezi ferrit (MgFe_2O_4), mıknatıslayıcı taşıyıcı olarak kullanılan ve manyezi 1200'den 900 °C'ye soğutulduğunda oluşan bir mineral fazıdır.

Prosesin kilit ilkesi, soğutma işleminin hızıyla, oluşan manyezi ferrit miktarının birlikte artmasıdır. Böylelikle manyetik hazırlama süreci iyileştirilir, yani daha fazla manyezi ferrit olduğunda daha iyi sonuçlar elde edilir.

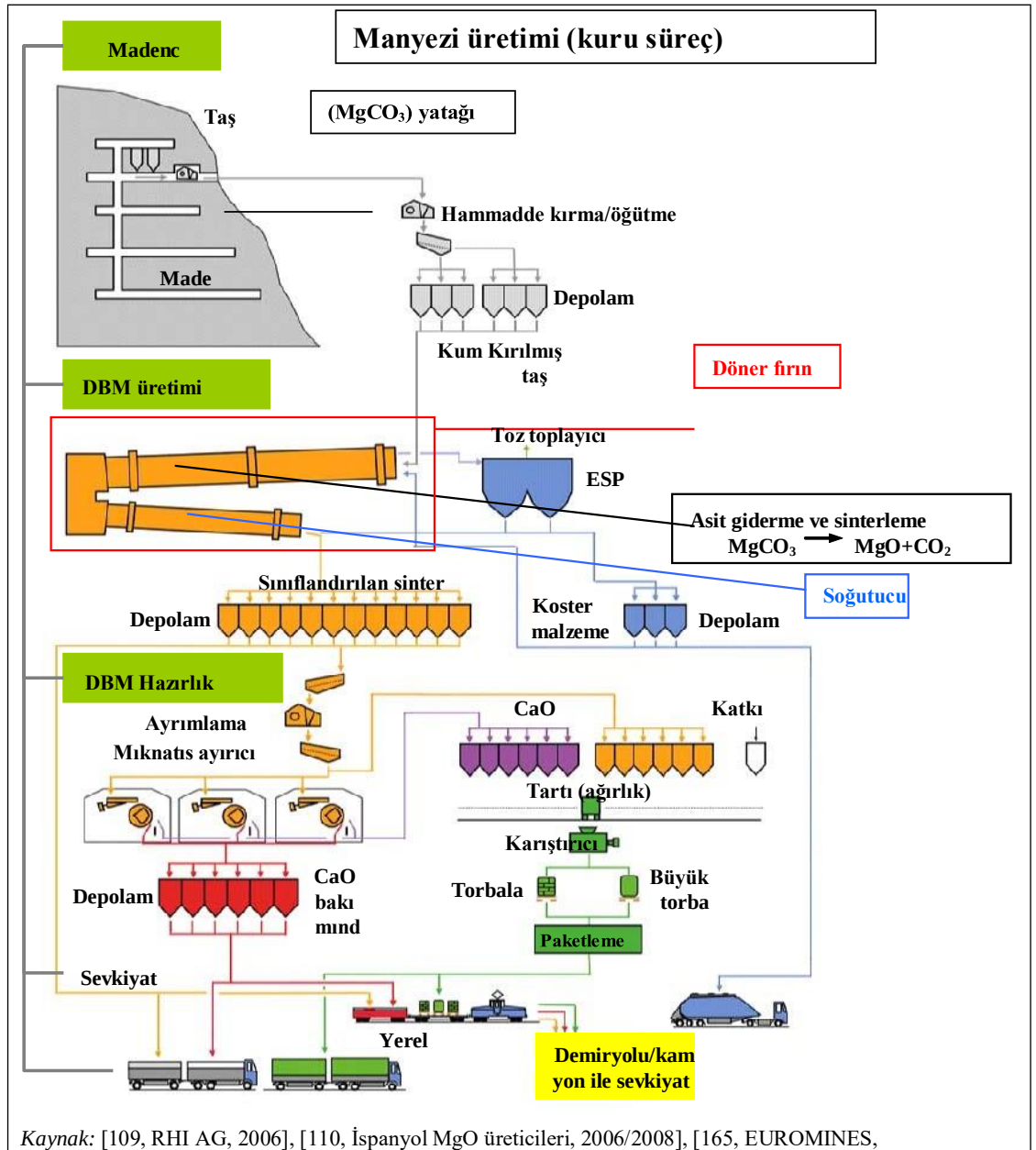
CaO içeriği düşük malzemenin, CaO bakımından zengin malzemeye göre daha fazla manyezi ferritin oluşmasını sağlayan bir fiziksel özelliği mevcuttur. Ayırma, manyezi ferritin nispi oranı ile yapılır. Bu nedenle, CaO bakımından fakir parçacıklar, CaO bakımından zengin parçacıklara göre daha güçlü şekilde manyetize edilebilir ve manyetik tambura daha iyi yapışabilirler.

Bu manyetik sinter hazırlığının sonuçları şunlardır:

- ☐ CaO içeriği düşük sinterlenmiş manyezi (manyezi ferrit bakımından zengin ve daha iyi manyetizasyon özelliklerine sahip) ve
- ☐ CaO açısından zengin sinterlenmiş manyezi (zayıf mıknatıslama özellikleriyle daha yüksek CaO içeriğine sahip).

Çıktı, ham sinter yüküne ve ayırıcının tambur boşaltımındaki konumuna bağlı olarak önemli ölçüde değişir.

Şekil 3.7, kuru işleme güzergahının kullanıldığı manyezi üretiminin örnek süreç diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.7: Kuru işleme güzergahının kullanıldığı manyezi üretiminin bir DBM tesisinden alınan örnek işlem diyagramı

3.2.3.1.2 İki fazlı pişirme süreci

Sürecin ilk adımında, üst yatak tipi fırınlar, şaft veya döner sinterleme fırınları, çok ocaklı fırınlar (MHF) ve özellikle kostik kalsine manyezi (CCM) üretmek üzere inşa edilmiş fırın türleri gibi çeşitli ünite ve fırın türleri kullanılması mümkündür.

İlk olarak, ham manyezit, 1 000 °C'ye bir fırında varan sıcaklıklarda asitten arındırılır. Kostik kalsine malzeme (CCM) daha sonra öğütülebilir. Yüksek yoğunluklu bir DBM elde etmek için öğütme çok önemlidir. Bu öğütülmüş malzeme, daha sonra bir döner veya şaft fırında sinter manyezi (DBM) oluşturmak üzere yakılan briketlere dönüştürülür.

Tek fazlı pişirme prosesinin aksine, sinterlenmiş malzemenin özellikleri, örneğin 'katkılama maddeleri' olarak adlandırılan krom oksit, zirkonyum oksit gibi çeşitli malzemelerin eklenmesiyle kristal boyutunda ve işlenmemiş yoğunlukta önemli ölçüde etkilenebilir.

3.2.3.2 Fırın türleri – teknikler ve tasarım

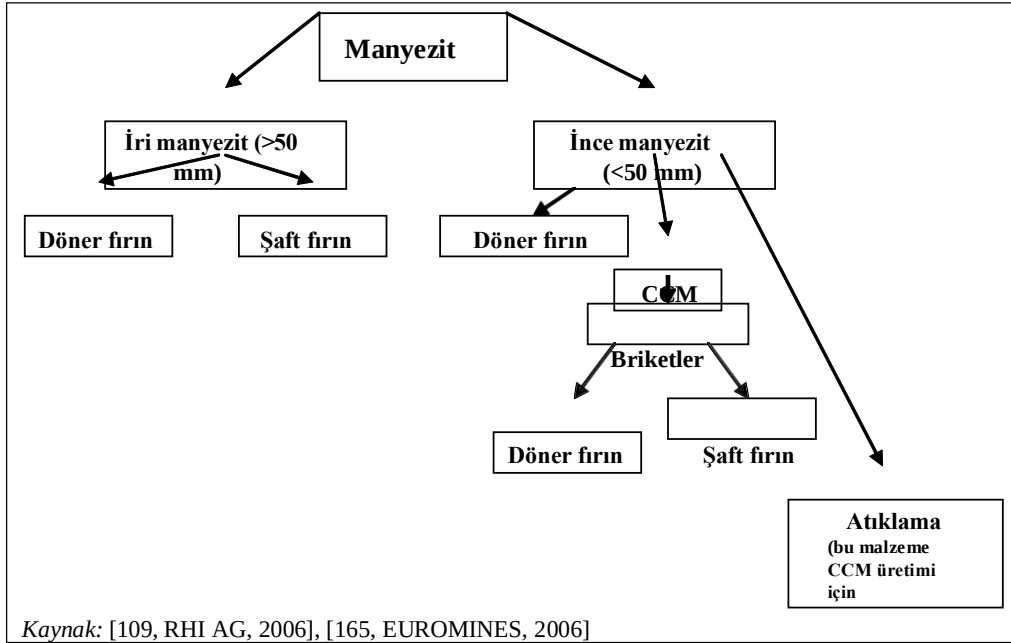
Çeşitli maden yatakları, bir düzeye kadar çok çeşitli üretim yöntemleri gerektirir. Manyezitten manyezi üretimi (doğal süreç) için standart bir fırın ünitesinin olmadığına dikkat edilmelidir. Ayrıca, kullanılan proses ve tekniklerde de standardizasyon mevcut değildir. Bununla birlikte, manyezi üretimi için çok çeşitli prosesler, teknikler ve fırınlar kullanılmaktadır.

Kullanılacak fırın tipi, aşağıdakiler gibi farklı parametrelere göre belirlenir:

- ☐ sahada mevcut manyezitin özellikleri
- ☐ üretilen ürünün tipi (sinterlenmiş manyezi, ergitilmiş manyezi, kostik manyezi)
- ☐ ürünün kalitesi ve özellikleri, örn. yoğunluk, saflık, kristal boyutu
- ☐ besleme stokunun fiyatı ve mevcudiyeti;

Fırın tipi genellikle hammaddenin kendisine ve üretim kapasitelerine özeldir, ürünün kalitesi büyük ölçüde fırın tipine ve proses tipine bağlıdır. Farklı tipte fırınlar kullanılabilir, ancak döner veya şaft fırınlar en yaygın kullanılan fırınlardır. Sinterlenmiş manyezinin tek aşamalı ısıtılması için şaft veya döner sinterleme fırınları (uzun döner fırınlar, Lepol fırınları) kullanılmaktadır. İlk aşamada sinterlenmiş manyezi üretimi için iki aşamalı bir proses kullanılarak, saf kostik üretiminde şaft veya döner sinterleme fırınları gibi aynı tip fırınların kullanılması sağlanır. Takip eden sinterleme prosesi için şaft veya döner fırınlar kullanılmaktadır. Kostik kalsine manyezi üretimi için döner fırınlar, üst yataklı tip fırınlar ve özellikle yapıli fırın tipleri kullanılmaktadır. Ergitilmiş manyezi üretimi için elektrikli ark ocakları kullanılmaktadır. Bu fırın kurulumları (elektrik ark fırınları ve özellikle inşa fırın türleri hariç), yüksek enerji verimliliği elde etmek için ters akış prensibini kullanır.

Şaft fırınlarda, genellikle tane boyutu 50 mm'den büyük olan kaba kırık manyezit veya CCM briketleri kullanılabilir. İnce taneli manyezit, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi döner fırınlarda pişirilir veya koster edilir, briket haline getirilir, ardından şaft fırınlarında ya da döner fırında pişirilir veya boşaltılır.

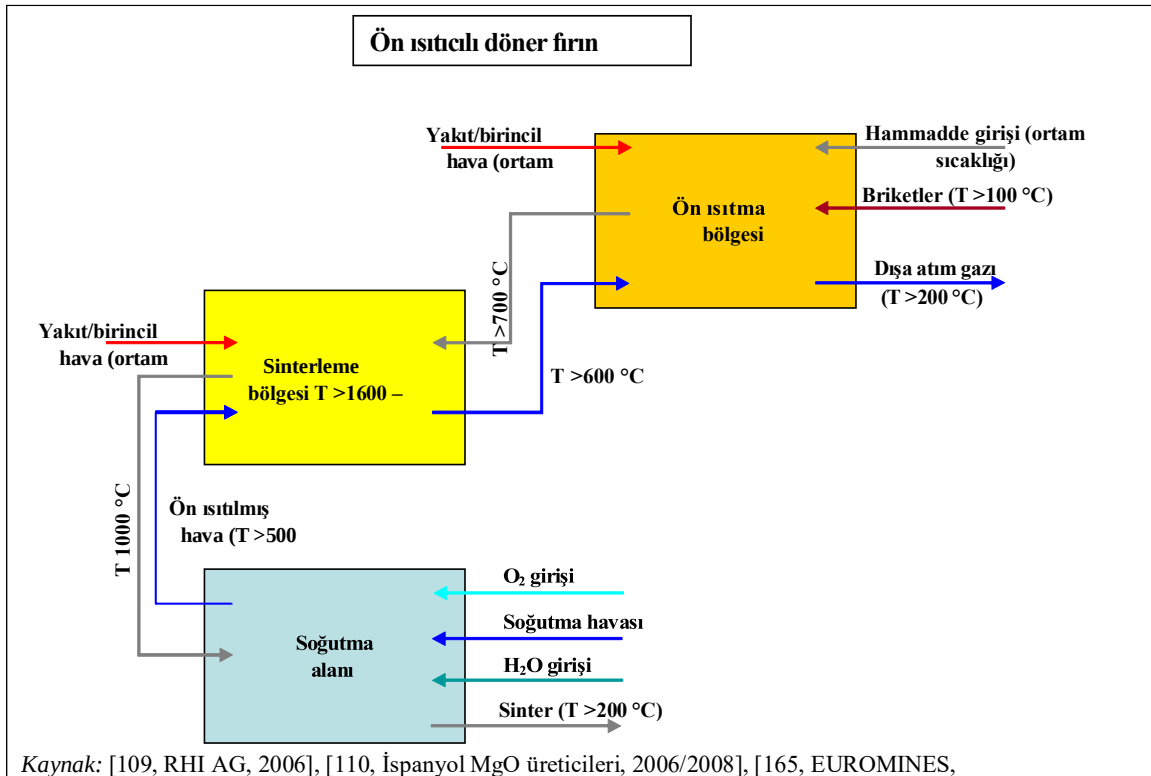


Şekil 3.8: Manyezi üretimi için kaba ve ince manyezit yolu

3.2.3.2.1 Döner fırınlar

3.2.3.2.1.1 Ön ısıtıcı döner fırınlar

Ön ısıtıcı döner fırınlarda (Lepol fırın) hammaddeler bir ön ısıtma ızgarası vasıtasıyla fırının besleme ve ön ısıtma bölgesine beslenir. İlk olarak, hammaddeler önceden ısıtılır ve ters akış ilkesi ile sıcak dışa atım gazları tarafından kısmen asitleri giderilir. Kısmen asidi giderilmiş manyezit, asit giderme işleminin fırının yanma bölgesinden önce tamamlandığı fırına taşınır. Ön ısıtma aşaması sırasında, ince taneli MgO kosteri şeklindeki hammadde kısımları Lepol ızgarasından düşer ve daha sonra doğrudan fırının yanma bölgesine beslenir. Yanma bölgesinde malzemeler 1600 ile 2200 °C arasındaki sıcaklıklarda sinterlenir. Fırın döngü süresi 8 ile 16 saat arasındadır. Sinterlenmiş malzeme takip eden işlemler için fırının soğutma bölgesinde 200 °C'ye soğutulur. Manyezi üretiminin kuru süreci için kullanılan ön ısıtıcı döner fırının çalışma ilkesi Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Sinter manyezi (DBM) üretimi için kullanılan ön ısıtıcı döner fırınlar 60 ila 80 m uzunluğa ve 2 ila 4 m çapa sahiptir [67, Avusturya, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [109, RHI AG, 2006], [165, EUROMINES, 2006].



Şekil 3.9: Manyezi üretiminde kullanılan ön ısıtıcı döner fırınların çalışma ilkesi

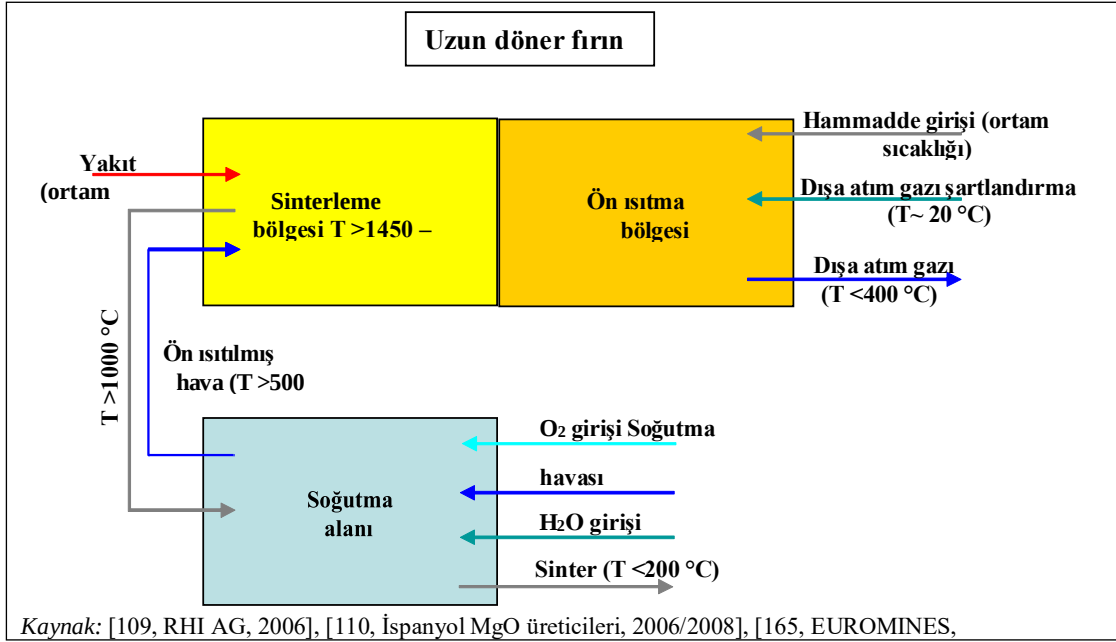
3.2.3.2.1.2 Uzun döner fırınlar

Uzun döner fırınlarda ön ısıtma, asit giderme ve sinterleme tamamen fırın içinde gerçekleşir. Bu fırın tipinin ön ısıtıcı döner fırınlardan önemli ölçüde daha uzun olmasının nedeni büyük ölçüde budur. DBM üretimi için kullanılan uzun döner fırınların boyları 80 ile 120 m, çapları ise 2 ile 4 m arasındadır.

Fırının dönmesi ve yatay eğimi sayesinde fırın içerisindeki malzemeler sinterleme bölgesine aktarılır ve sinterleme bölgesine giderken dışa atım gazı sıcaklık profilinden dolayı ön ısıtmaları gerçekleşir ve asitleri giderilir. Sinterleme işlemi, uzun döner fırının sinterleme bölgesinde, 1600 ile 2200 °C arasındaki sıcaklıklarda, manyezi sinter malzemesinin

gerekli yoğunluğa ulaştığı yerde gerçekleşir. Fırın çıkışında ürün, soğutma tüpüne taşınır. Soğutma, ters akış ilkesiyle emilen bir ikincil hava akımı kullanılarak gerçekleştirilir. Soğutucudan gelen bu önceden ısıtılmış hava daha sonra tekrar yanma havası olarak kullanılır. Şekil 3.10, manyezi üretimini kuru süreci için kullanılan bir uzun döner sinterleme fırınının çalışma ilkesini göstermektedir.

Soğutulmuş sinterlenmiş ürün, taşıma konveyörü ile takip eden işlemlere taşınır.



Şekil 3.10: Manyezi üretiminde kullanılan uzun döner fırınların çalışma ilkesi

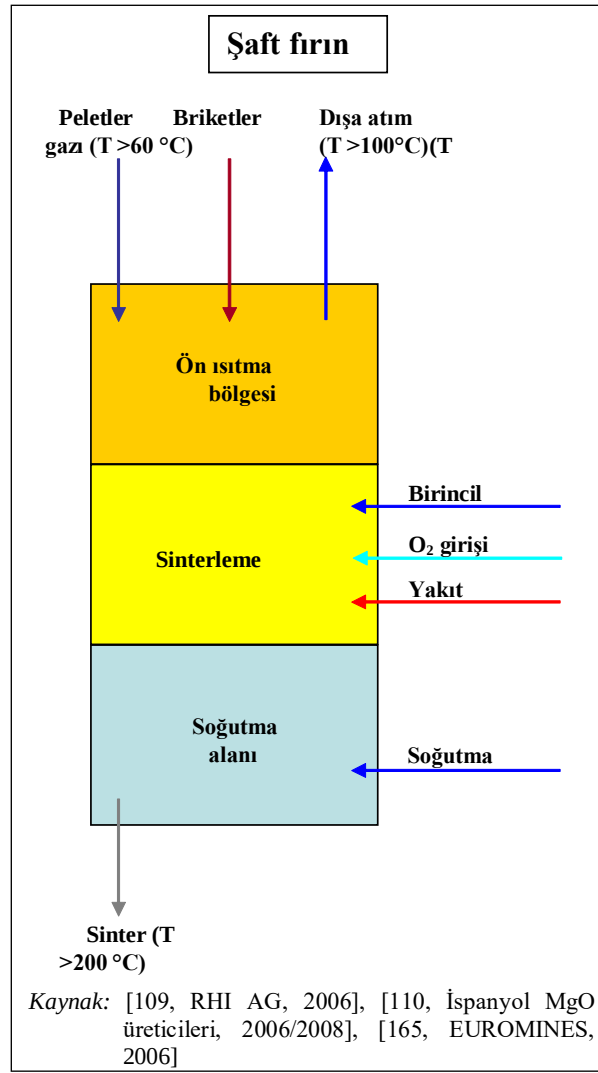
3.2.3.2.2 Şaft fırınlar

Manyezi üretimi için çeşitli şaft fırınlar tipleri kullanılabilir.

3.2.3.2.2.1 Döner plakalı şaft fırınlar

Bleirli karışımlar halinde hazırlanan ince öğütülmüş refrakter hammadde, su ilavesiyle pelet haline getirilmek (Ø 20 – 30 mm) üzere dönen peletleme tamburuna yerleştirilir. Peletler, şaft fırında yaklaşık 1 750 °C sıcaklığa kadar pişirilmeden önce bir sürekli akış sürecinde kurutulur. Sinter ürünü, dönen bir plaka aracılığıyla boşaltılır ve takip eden işlemlerden önce bir ara depoda depolanır. Manyezi üretiminde kullanılan şaft fırının çalışma ilkesi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Ayrıca 20 ile 200 mm arası büyüklükte bir doğal manyezit kaya bu işlemle yakılabilir.



Şekil 3.11: Manyezi üretiminde kullanılan şaft fırınların çalışma ilkesi

3.2.3.2.2.2 Döner ızgaralı şaft fırınlar

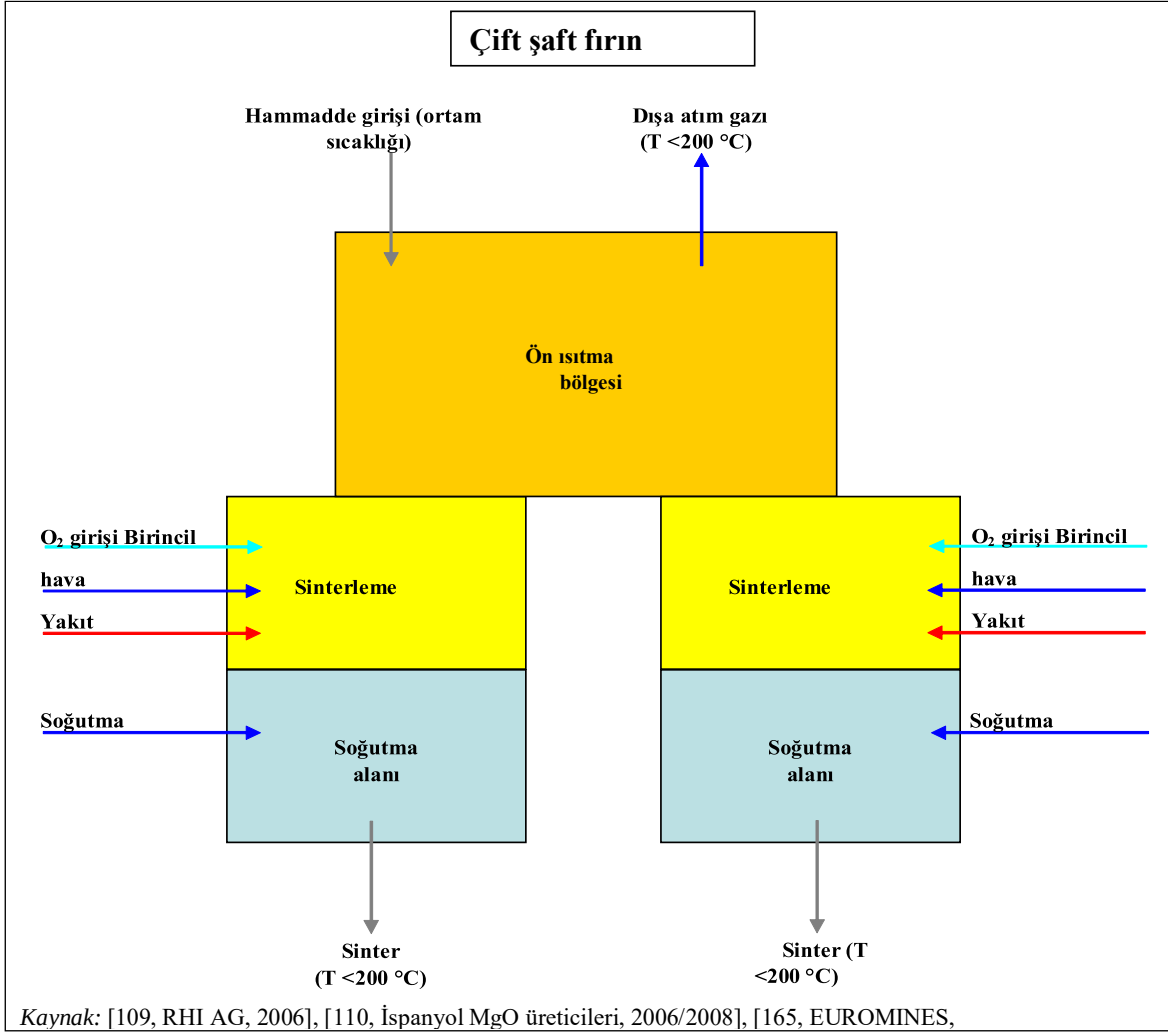
Bu tip şaft fırının kullanımıyla özel bir briket tipi üretilir. Briketler, kavrulmuş manyezit ve krom cevheri bileşimine sahiptir ve bağlayıcı olarak su eklenmesiyle bir valsli tuğlalama prosesinde preslenir. Bu tip fırınlarda istenilen sinter kalitesinin elde edilebilmesi için $2\ 200\text{ °C}$ civarı sıcaklıklar kullanılmaktadır. Ayrıca, bu amaç doğrultusunda oksijenle zenginleştirilmiş yanma havası üfürümü gereklidir. Fırında, kompakt malzeme kolonu dönen bir tahliye ile taşınır ve ardından fırından tahliye edilir.

Refrakter ürünlere dönüştürülmeden önce bu sinter ürününün ince öğütülmesi ve elenmesi gerçekleştirilir.

3.2.3.2.2.3 Çift şaft fırın

Bu fırın tipi kullanıldığında, ham manyezit fırının üst kısmında yer alan, ham manyezitin önceden ısıtıldığı ve asidik hale getirildiği ve 'ön ısıtma şaftı' olarak adlandırılan bir şafta yerleştirilir. Ön ısıtma bölgesini takiben şaft, sinterleme ve soğutma işlemlerinin gerçekleştiği iki bölüme ayrılır, buna çift şaft denir. Ön ısıtma bölgesinden geçtikten sonra ham manyezit $1\ 600 - 2\ 200\text{ °C}$ sıcaklık aralığında sinterlenir. Çift şaft fırının alt kısmındaki soğutma bölgelerinde, sinterlenmiş manyezi ürünü, soğutma havası kullanılarak 200 °C 'nin altındaki sıcaklıklara

soğutulur. Soğutulmuş sinterlenmiş manyezi ürünü ardından fırından boşaltılır. Şekil 3.12, manyezi üretiminde kullanılan bir çift şaft fırının çalışma ilkesini göstermektedir.



Şekil 3.12: Manyezi üretiminde kullanılan çift şaft fırınların çalışma ilkesi

3.2.4 Ergitilmiş manyezi üretimi

Ergitilmiş manyezi, kesikli olarak çalışan özel elektrik arkı fırınlarında üretilmektedir. Prensipte fırın, fırın çıkışının (kesik gövde) yerleştirildiği bir açık vagondan meydana gelir.

Hammadde, iki grafit elektrot arasında ateşlenen bir elektrik arkıyla bu fırın çıkışının içinde ergitilir. Ergitme işlemi aşağıdan yukarıya olmak üzere dikeydir. Ergitme işlemi sırasında, hammadde, fırına üstten partiler halinde beslenir. Herhangi bir döküm yapılmaz. Ergitilmiş malzeme, soğutma işleminin de gerçekleştiği kesik gövde içinde açık vagonda kalır. Ergitmeden sonra vagon elektrotlardan hareket ettirilir ve sonraki döngüye hazır hale getirilir. Genellikle ürün bloğu başına yaklaşık 5 ila 8 ton ergitilmiş manyezi elde edilir. Ham taş, kostik kalsine veya sinter manyezi karıştırılabilir ve proses hammaddesi olarak kullanılabilir. Soğutma işlemi sırasında kenarlarda (kabukta) safsızlıklar oluştuğuna ve kimyasal olarak en saf parçaların ergitilmiş ürün bloğunun merkezinde bulunduğu dikkat edilmelidir.

Soğutulduktan sonra ürün bloğu devrilir, öğütülerek boyutu küçültülür ve genellikle manuel olarak sınıflandırılır. Ana üretici ülke Çin'dir. Bununla birlikte Avrupa Birliği içinde de birkaç üretim yeri bulunmaktadır, ancak üretim miktarları çok düşük olduğundan, ergitilmiş manyezi üretimi ile ilgili ayrıntılar bu belgede ele alınmamıştır [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.3 Güncel tüketim ve emisyon seviyeleri

Farklı manyezi türlerinin üretimine ilişkin ana çevresel hususlar, enerji kullanımı ve havaya emisyonlardır. Manyezinin yanma süreci, başlıca enerji kullanıcısı ve ana emisyon kaynağıdır. İkincil öğütme prosesinin yanı sıra yardımcı işlemler (kıрма, eleme, taşıma, depolama ve boşaltma gibi) de önemli olabilir.

Bu belgede aksi belirtilmedikçe, magnezyum oksit endüstrisi ile ilgili bu kısım için, hacim akışlarının ve derişimlerinin ölçülmesine ilişkin standart koşulların, yine Terimler Sözlüğünde belirtilen aşağıdaki tanımlarla ilgili olduğuna dikkat edilmelidir:

m ³ /s	hacimsel akış hızı: bu belgede aksi belirtilmediği sürece, hacimsel akış hızları hacimce % 10 oksijen içeriğini ve standart hali referans alır
mg/m ³	derişim: belgede aksi belirtilmediği sürece, gaz halindeki maddelerin veya madde karışımlarının derişimi, hacimce %10 oksijen ve standart haldeki kuru baca gazını referans alır
standart hal	273 K sıcaklık, 1013 hPa basınç ve kuru gaz anlamına gelir

Buna ek olarak, emisyon aralıkları için referans oksijen seviyesi % 10 olmakla birlikte pişirme prosesindeki fiili oksijen seviyesinin % 10'un çok altında olduğu akılda tutulmalıdır. Emisyon derişimi hesaplama formülü aşağıda gösterilmektedir:

$$E_R = \frac{21 -}{21 -} * \quad *$$

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesindeki emisyon derişimi O_R ; O_R (hacimce %): referans oksijen seviyesi
 E_R (mg/Nm³): ölçülen oksijen seviyesindeki emisyon derişimi O_R ; O_R (hacimce %): ölçülen oksijen seviyesi

İzleme ile ilgili ek yararlı bilgiler İzleme Genel İlkeleri Referans Dokümanında (MON) bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

3.3.1 Hammadde (işlenmemiş manyezit) ve su tüketimi

Yüksek sıcaklıklarda manyezit (MgCO₃) termal olarak manyezi (MgO) ve karbondioksit (CO₂) ayırır. Manyezitin moleküler ağırlığı (84.31 g/mol) baz alınarak, bozunmadan Tablo 3.5'te gösterilen aşağıdaki manyezi ve karbon dioksit miktarları elde edilir:

Tablo 3.5: Ayrışma sonrası manyezi ve karbon dioksit miktarları

Malzeme	Miktar			Toplam miktar (g/mol)
	Mg (g/mol)	C (g/mol)	O (g/mol)	
Manyezit (MgCO ₃)	24,31	12,01	48,00	84,31
Karbondioksit (CO ₂)	-	12,01	32,00	44,01
Manyezi (MgO)	24,31	-	16,00	40,30
Kaynak: [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]				

Bu sonuç, Tablo 3.6'da gösterildiği gibi manyezitten malzeme payı/bileşimi olarak nispi terimlerle de sunulabilir.

Tablo 3.6: Manyezitte manyezi ve karbon oksit verimi

Malzeme	Manyezitte pay (MgCO_3) (%)
Manyezi (MgO)	47,80
Karbondiyoksit (CO_2)	52,20
Toplam	100,00
<i>Kaynak:</i> [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]	

1 kg manyezitin bozunmasıyla yaklaşık 522 g karbondiyoksit ve 478 g manyezi oluşur. Bu, ton manyezi (MgO) üretimi için, 1,092 ton karbondiyoksitin karbonat ayrışmasından kaynaklandığı anlamına gelir. Ancak manyezitin SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 gibi farklı safsızlıkları olduğundan dolayı bu teorik bir husustur. Genel kural olarak, manyezit cevherine, üretilen kaliteye ve kullanılan fırın tipine bağlı olarak ton manyezi üretimi için 2,1 ila 2,4 ton arasında manyezite ihtiyaç duyulduğu belirtilmelidir [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Su tüketimi

Sadece az miktarda su kullanıldığından proses suyu kullanımı düşüktür; su örneğin safsızlıkları atmak üzere hammaddenin yıkanmasında, fırının soğutma bölümünde manyezi ürününün soğutulmasında ve ağır ortam ayırma prosesinde kullanılır. Ancak dışa atım gazı yıkama sistemleri ile yapılan bazı işlemler mevcut olup emisyon gazlarının yıkaması su ile gerçekleştirilir. İhtiyaç duyulan su, ton manyezi ürünü başına 5 – 12 m^3 miktarındadır. [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM , 2007].

3.3.2 Enerji tüketimi

Özellikle DBM olmak üzere manyezi çok yüksek sıcaklıklarda üretildiğinden manyezi üretimi (kuru süreç) oldukça enerji yoğunudur.

Manyezit (MgCO_3) manyezi (MgO) ve karbon dioksit (CO_2) ısı olarak ayrışır. Proses oldukça endotermiktir ve teorik reaksiyon entalpisi 2803 MJ/kg MgO seviyesindedir. Manyezitin ayrışması 550 °C sıcaklıkta başlar ve önemli başka karbonat miktarları içeriyorsa 800 °C'nin altında sıcaklıkta tamamlanır.

Yakma işlemi için doğal gaz, petrokok ve fuel oil kullanılmaktadır. Tablo 3.7, ton sinterlenmiş manyezinin doğrudan ısı işlemi kullanımıyla üretimi için yakıt gereksinimini göstermektedir. Bu tabloda belirtilen değerlerden yüksek olanları, sinter manyezi üretimi için gereklidir.

Tablo 3.7: Ton manyezi (MgO) üretimi için yakıt gereksinimleri

Yakıtlar	Asgari	Azami
Doğalgaz	176 Nm^3/t	310 Nm^3/t
Petrokok	240 kg/t	393 kg/t
Fuel oil	190 kg/t	330 kg/t
<i>Kaynak:</i> [109, RHI AG, 2006] [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008] [165, EUROMINES, 2006]		

Manyezi üretimi için enerji talebi 6 ila 12 GJ/t MgO arasında değişmekte olup ham manyezitin özellikleri ve nem içeriği (ıslak veya çok kuru) gibi çeşitli faktörler belirleyicidir.

Gerekli olan 2000 °C üzerindeki çok yüksek yanma sıcaklığına ulaşmak için oksijen de kullanılabilir. Gerekli oksijen miktarı 15 ila 150 Nm³/t sinterlenmiş manyezi aralığındadır. Çok yüksek saflık seviyelerine veya büyük kristal boyutlarına sahip özel sinterlenmiş manyezi türleri üretilecekse, değerlerin önemli ölçüde, 150 Nm³/t'a varacak kadar daha yüksek olabileceğine dikkat edilmelidir.

Elektrik enerjisi mekanik makineler için kullanılır, örneğin havalandırma sistemi, briket prosesi ve pompalar için. Elektrik genellikle elektrik sağlayıcılarından (ulusal şebeke) satın alınır. Elektrik gereksinimi, kullanılan makineye bağlı olarak değişebilir ve tipik olarak 75 ila 180 kWs/t (270 – 648 MJ/t) sinterlenmiş manyezi aralığındadır. Kostik manyezi üretiminde de benzer değerler gözlenir.

Ergitilmiş manyezi üretimi için 3500 – 4500 kWs/t aralığında, önemli ölçüde daha fazla elektrik enerjisi (elektrik ark ocakları) gereklidir. Bununla birlikte, çok saf manyezi sınıfı üretimi için, enerji gereksinimi değeri iki katına, hatta bunun da üzerine çıkabilir [109, RHI AG, 2006], [165, EUROMINES, 2006].

3.3.3 Emisyonlar

Kuru işleme güzergahının kullanıldığı magnezyum oksit/manyezi üretimi sırasında havaya, suya ve toprağa emisyonların (proses kayıpları/atık) yanı sıra gürültü emisyonları ortaya çıkar. Bu kısımda, püskürtmeli kurutma ve pişirme proses adımlarıyla ilişkili hava kirleticilerinin emisyon aralıkları sunulmuştur.

3.3.3.1 Havaya emisyonlar

Pişirme prosesinden havaya toz, NO_x, SO_x ve CO gibi önemli emisyonlar gerçekleşir. Bu emisyonlar kısmen hammadde olarak kullanılan manyezitten ve kısmen de kullanılan yakıtlardan kaynaklanmaktadır.

Fırındaki yüksek pişirme sıcaklıkları nedeniyle, yakıtlardan kaynaklanan SO₂ normalde ürünle kaplanmaz. Ancak, fırında pişirme için daha düşük pişirme sıcaklıkları kullanıldığında, SO₂ ürün tarafından yalnızca kısmen emilir ve pişirme prosesinden kaynaklanan tozla kaplanır (bkz. Bölüm 3.4.7.3). Hammaddeden (manyezi) kaynaklanan SO₂ emisyonları, hammaddedeki kükürt içeriğine bağlıdır. Hammaddelerin çoğunda düşük olan SO₂ içeriği nedeniyle prensipte düşük seviyededirler. Ancak bazı durumlarda ham maddelerden kaynaklanan SO₂ emisyonları toplam SO₂ emisyonlarının %50'sine ulaşabilir. Ayrıca, hammaddedeki kükürt içeriği, hammaddenin partikül veya tane boyutu ile ilgilidir. Tablo 3.8'de, hammaddelerde tane boyutu ve kükürt içeriği arasındaki ilişkiye örnekler verilmektedir.

Tablo 3.8: Hammaddelerde tane boyutu ve kükürt içeriği arasındaki ilişkiye örnekler

Hammaddelerin tane boyutu (mm)	Hammaddelerdeki kükürt içeriği (%)
>1	0,04
0,02 – 1	0,19
<0,02	1,80
Kaynak: [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [168, TÇG CLM, 2007]	

EUR/GJ cinsinden çizgü maliyetlere dayalı olarak farklı enerji kaynaklarının karşılaştırılması ve bu yakıtlardan gelen kükürt içeriğı Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Petrokokun içerdiği kükürt miktarı en yüksek olup, bunu taş kömürü ve antrasit takip eder.

'CO₂ proses emisyonları' manyezitin (MgCO₃) manyeziye (MgO) ayrışmasından kaynaklanır ve ton manyezi başına yaklaşık 1 t CO₂ oluşabilir. Ayrıca, CO₂ emisyonları da örneğın doğal gaz veya petrokok kullanarak yakıt yakma işleminden kaynaklanır. Yakıt yakılan işlemler CO₂ emisyonlarına yaklaşık 0,4 ila 1,3 t CO₂/t sinterlenmiş manyezi katkı sağlar.

Havaya emisyonlar pişirme işlemi birlikte, üretimin diğer adımlarında da ortaya çıkar, örneğın:

- hammaddelerin, yakıtların veya ürünlerin depolanması ve taşınması – toz emisyonları ortaya çıkabilir
- ▮ öğütme işlemleri – toz emisyonları meydana gelebilir.

Difüz toz emisyon kaynakları ağırlıklı olarak hammaddelerin, yakıtların depolanması ve taşınması ile tesiste kullanılan araçlardan kaynaklanır. Manyezi ürününün paketlenmesi ve gönderilmesinden kaynaklanan toz emisyonları da önemli olabilir. Olası difüz toz kaynaklarını en aza indirmek için basit ve lineer saha yerleşimlerinin yanı sıra organizasyonel teknikler tavsiye edilir [67, Avusturya, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008] [165, EUROMINES, 2006].

4000 ila 12000 m³/t sinterlenmiş manyezi aralığındaki tipik dışa atım gazı hacimlerine sahip sinterleme işleminden kaynaklanan farklı hava emisyonlarının değerleri Tablo 3.9'da gösterilmektedir. Tablo 3.9'da gösterilen tüm emisyon derişimlerinin standart koşullara işaret etmediğine dikkat edilmelidir, çünkü bazı veriler için referans koşullar sağlanmamıştır.

Tablo 3.9: AB-27'deki magnezyum oksit endüstrisinden kaynaklanan emisyon bileşenlerinin derişimleri

Emisyon bileşeni	Birim	Ortalama derişim ⁽¹⁾	Azami derişimler ⁽²⁾
Toz	mg/Nm ³	20 – 118	400
NO _x	mg/Nm ³	650 – 2 500 ⁽⁵⁾	5 000 ⁽⁵⁾
SO ₂	mg/Nm ³	10 ⁽⁴⁾ – 3 350 ⁽³⁾	5 000 ⁽³⁾
CO	mg/Nm ³	33 – 1 000	1 323
CO ₂	g/Nm ³	165 – 350	360

(1) Yılda bir kez bir hafta süreyle ölçülen, uzun bir gözlem periyodu boyunca elde edilen ortalama derişimler
(2) Kısa vadeli pik değerleri
(3) Daha yüksek değerler, kükürt bakımından zengin yakıtlar ve en az sayıda kurulu azaltma tekniklerine sahip tesislerle ilişkilidir.
(4) Doğal gaz kullanımı
(5) Daha yüksek değerler yüksek sıcaklıklı DBM prosesi içindir
Kaynak: [67, Avusturya, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

Proseste kullanılan yakıtın tipine bağlı olarak, kükürt dioksitin %50'ye kadarı yakıtlardan kaynaklanabilir (yakıtlardaki kükürt içeriğı için ayrıca bkz. Bölüm 3.4.5 ve Şekil 3.13). Kostik manyezinin döner fırında üretilmesiyle, yakıttan kaynaklanan kükürt dioksitin yaklaşık %40 – 50'si, özellikle filtre tozundan olmak üzere geri kazanılır. Baca gazı akışına reaktif MgO sınıflarının enjeksiyonunun, 3000 mg/Nm³lük bir başlangıç SO₂ değeri için SO₂ emisyonlarını 1500 mg/Nm³ün altına düşürdüğü bildirilmiştir [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.3.3.2 Proses kayıpları/atıklar

Manyezi üretiminden kaynaklanan proses kayıpları/atıklar, çıkış gazı temizleme ünitelerinde, örneğın toz tutucularda ayrılan farklı magnezyum karbonat tuzu türleridir. Toz türleri, örneğın çeşitli oranlarda kostik kalsine edilmiş ve sinterli manyezit içeren magnezyum

karbonat. Paketleme aşamasında ortaya çıkan atıklar (plastik, odun, metal, kağıt, vb).

Bazı toz türleri proses içinde geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir. Ayrıca toplanan toz, örneğin endüstriyel atık su arıtma, atıklardan metalin çıkarılması gibi diğer çevresel uygulamalarda da kullanılabilir. Atık bertaraf tesislerinde tozlar ve diğer atıklar için kullanılan teknikler, satılabilir ürünlerde yeniden kullanım ve geri dönüşümden bertarafa kadar uzanmaktadır.

Islak yıkama için kullanılan yıkama sıvıları, katı maddelerin ayrılması için bir aşamalı çökeltme işleminden geçer. Bu süreçte elde edilen katılar proste daha sonra kullanılmak üzere bir ara depolama sahasında depolanırken, su yeniden kullanılır ve sisteme geri verilir.

Baca gazı kükürt giderme yaş prosesinden kaynaklanan çamur (çökeltme ve/veya filtreleme yöntemleri; Avusturya'da bir tesis mevcuttur) proste veya diğer sektörlerde yeniden kullanılabilir.

3.3.3.3 Suyu emisyonlar

Su, prosesin çeşitli aşamalarında kullanılır. Hammaddelerin (manyezit) yıkanması ve ağır ortam ayırma işlemi için su, çamur dekantasyonu ve arıtılmasından sonra proste yeniden kullanılmaktadır. Ayrıca fırının soğutma bölgesinde ürünü soğutmak için de su kullanılmaktadır. Ancak bu su, yüksek proses sıcaklıkları nedeniyle buharlaşır. Su aynı zamanda dışa atım gazı yıkama sistemlerini içeren, emisyon gazlarının su ile yıkandığı bazı işlemlerde kullanılır.

Kuru işleme güzergahının kullanıldığı manyezi üretim proseslerinde atık su oluşmaz. Baca gazı kükürt giderme yaş prosesinde (Avusturya'da bir tesis mevcut) atık su üretilmektedir. Bu atık su, sülfat/sülfat çamurunu ayırmak için çöktürme ve/veya filtreleme yöntemleri ile arıtılmalıdır. Bu çamur proste veya diğer sektörlerde yeniden kullanılabilir.

3.3.3.4 Gürültü

Manyezinin üretiminin yanı sıra ham maddenin çıkarılması ve işlenmesinde gürültülü işlemler kaçınılmazdır. Büyük ve ağır makineler ile büyük fanların çalışması gürültüye ve/veya titreşim emisyonlarına neden olabilir.

Gürültü emisyonlarını azaltmak için ofis binaları, duvarlar, ağaçlar veya çalılar gibi doğal gürültü bariyerleri kullanılabilir. Tesisler ulusal mevzuat uyarınca azaltım standartlarına uymakla yükümlüdür.

3.3.4 İzleme

Fırın prosesini kontrol edebilmek amacıyla aşağıda belirtilen parametrelerin sürekli olarak ölçülmesi tavsiye edilir:

- ☐ sıcaklık
- ☐ basınç
- ☐ O₂ içeriği
- ☐ CO içeriği.

Ek olarak, aşağıdaki parametreler için sürekli ölçüm yapılması uygun olabilir:

- ☐ NO_x içeriği
- ☐ SO₂
- ☐ toz.

Emisyonları belirlemek ve doğru şekilde ölçmek için aşağıdaki parametrelerin periyodik ölçümleri raporlanır:

- ☐ NO_x içeriği
- ☐ toz
- ☐ SO₂
- ☐ (CO₂ – genellikle hesaplanır).

İzlemeye ilişkin ek yararlı bilgiler İzleme Genel İlkeleri Referans Dokümanında bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003].

3.4 MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek teknikler

Bu kısımda, bu belge kapsamındaki faaliyetlerde yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama potansiyeline sahip olduğu düşünülen teknikler (veya bunların kombinasyonları) ve ilgili izleme çalışmaları açıklanmaktadır. Açıklanan teknikler hem kullanılan teknolojiyi, hem de tesisin tasarımının, inşasının, bakımının, işletiminin ve hizmetten çıkarılmasının nasıl gerçekleştirildiğini içermektedir.

Çevre yönetim sistemlerini, prosese entegre teknikleri ve boru çıkışı tedbirlerini kapsar. Atıkların en aza indirilmesi ve geri dönüşüm prosedürleri dahil olmak üzere atık önleme ve yönetiminin yanı sıra, kullanımı ve yeniden kullanımı optimize ederek hammadde, su ve enerji tüketimini azaltan teknikler de dikkate alınmaktadır.

Direktifin Ek III kısmında MET'i belirlemek için bir dizi kriter sıralanmış olup bu bölümdeki bilgiler kapsamında bu hususlar ele alınacaktır. Mümkün olduğunca, Direktifte yer alan MET tanımına göre tekniklerin karşılaştırılması ve bir değerlendirme yapılması amacıyla her bir teknik hakkındaki bilgilerin özetlenmesi için Tablo 3.10'da yer alan standart yapı kullanılmaktadır.

Bu kısımda listelenen tekniklerin, sektörde uygulanabilecek bütün teknikleri kapsadığı düşünülmemelidir. Tesis özelinde MET'in belirlenmesinde dikkate alınabilecek başka teknikler mevcut olabilir veya geliştirilebilir.

Tablo 3.10: Her tekniğe ilişkin bilgiler

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
Tanım	Kimyasal denklemlerin veya diğer denklemlerin, resimlerin, diyagramların ve akış şemalarının uygun şekilde kullanıldığı, tekniğin kısa bir açıklaması.
Elde edilen çevresel faydalar	Tekniğin uygulanmasıyla elde edilecek başlıca potansiyel çevresel faydalar (enerji tüketiminin düşürülmesi, suya, havaya ve toprağa salınan emisyonların azaltılması, ham madde tasarrufu, üretim veriminde artış, atık miktarının azaltılması vb.).
Ortamlar arası etkiler	Tekniğin uygulanmasıyla ilişkili çevre üzerindeki olumsuz etkiler, çevre üzerindeki etkinin bir bütün olarak değerlendirilmesi için teknikler arasında karşılaştırma yapılmasına imkan sağlar. Bu, aşağıdaki gibi konuları içerebilir: ☐ hammadde ve su tüketimi ve özellikleri ☐ enerji tüketimi ve iklim değişikliğine katkısı ☐ stratosferik ozon tüketme potansiyeli ☐ fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli ☐ havaya salınan emisyonlardan kaynaklanan asitleşme ☐ ortam havasında partikül maddelerin varlığı (mikro partiküller ve metaller dahil); ☐ havaya veya suya emisyonlardan kaynaklanan kara ve su ötrofikasyonu ☐ sudaki oksijeni tüketme potansiyeli ☐ kalıcı/toksik/biyobirikimli bileşenler (metaller dahil) ☐ kalıntı/atık oluşumu ☐ kalıntıları/atıkları yeniden kullanma veya geri dönüştürme imkanına getirilen sınırlar ☐ gürültü ve/veya koku oluşumu ☐ artan kaza riski. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkilere İlişkin Referans Belge (ECM) dikkate alınmalıdır.
İşletim verileri	Gerçek ve tesise özgü performans verileri (hammadde, su, enerjiden kaynaklanan emisyon ve tüketim seviyeleri, üretilen

Ele alınan bilginin türü	Verilen bilginin türü
	kalıntı/atık miktarları dahil). Aşağıdakilerle ilgili diğer yararlı bilgiler: ☐ tekniğin nasıl tasarlanacağı, çalıştırılacağı, sürdürüleceği, kontrol edileceği ve hizmet dışı bırakılacağı ☐ tekniğin kullanımına ilişkin emisyonların izlenmesine dair hususlar ☐ tekniğin hassasiyeti ve dayanıklılığı ☐ kazaların önlenmesi ile ilgili konular.
Uygulanabilirlik	Tekniğin, sektör genelinde uygulanıp uygulanamayacağı belirtilir. Aksi takdirde, söz konusu tekniğin sektör içinde kullanımına ilişkin ana genel teknik kısıtlamalar belirtilir. Örneğin: ☐ sektördeki tekniğin uygulanamayacağı tesislerin veya proseslerin türü; ☐ bazı genel durumlarda uygulamaya dair kısıtlılıklar; örneğin: ☐ güçlendirme ile ilgili faktörleri (örneğin alan müsaitliği) ve halihazırda kullanılan tekniklerle etkileşimleri dikkate alarak, yeni veya mevcut bir tesisle ilgili olup olmadığı ☐ ☐ kullanılan yakıt veya ham madde türü. Bu kısıtlamalar, nedenleri ile birlikte belirtilmiştir. Bu kısıtlamaların, tesis özelinde tekniğin uygulanabilirliğini etkileyebilecek olası yerel koşulların bir listesi olması amaçlanmamıştır.
Ekonomik boyut	Maliyetler (sermaye/yatırım, bu maliyetlerin nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere bakım ve işletme maliyetleri) ve olası tasarruflar (örn. azaltılmış hammadde veya enerji tüketimi, atık ücretleri, diğer tekniklere nazaran kısa geri ödeme süresi) veya nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar dahil olmak üzere gelirler ya da diğer faydalar hakkında bilgi. Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler Referans Belgesi (ECM) ve Genel İzleme İlkeleri (MON) Referans Belgesi, sırasıyla ekonomik boyutlar ve izleme maliyetleri açısından dikkate alınır.
Uygulamanın itici gücü	Uygulanabilir olduğunda, bugüne kadar tekniğin uygulanmasını sağlayan ya da teşvik eden özel yerel koşullar, gereklilikler (örneğin mevzuat, güvenlik tedbirleri) veya çevresel olmayan tetikleyiciler (örneğin verimin artması, ürün kalitesinin iyileşmesi, sübvansiyonlar ve vergi indirimleri gibi ekonomik teşvikler) sunulur.
Örnek tesisler	Tekniğin uygulandığı ve bilgilerin toplandığı ve ilgili kısmın yazılmasında kullanılan tesise (tesislere) atıf. Tekniğin AB'de veya dünya genelinde ne kadar kullanıldığının bir göstergesi.
Referans literatür	İlgili kısım yazılırken kullanılan ve teknikle ilgili daha ayrıntılı bilgiler içeren literatür veya diğer referans materyal (örn. kitaplar, raporlar, çalışmalar). Referans materyalin çok sayıda sayfadan oluştuğu durumlarda, ilgili sayfaya (sayfalara) ya da bölüme (bölümlere) atıfta bulunulacaktır.

3.4.1 Hammadde tüketimine ilişkin genel hususlar

İnce taneli malzemelerin geri dönüşümü ve/veya yeniden kullanımı (şaft fırınlarda ve döner fırınlarla birlikte uygulama), proses kayıplarının/atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmesi toplam hammadde tüketimini azaltır.

3.4.2 Suya ilişkin genel hususlar

Islak yıkama için kullanılan yıkama sıvıları, katı maddelerin ayrılması için bir aşamalı çökeltme işleminden geçer. Su yeniden kullanılır ve tatlı su devresine geri beslenir.

3.4.3 Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)

Tanım

İyileştirilmiş fırın tasarımı, proses optimizasyonu ve fırınlardan ve soğutuculardan gelen fazla ısınn en üst düzeyde geri kazanılması ve yeniden kullanılması, enerji ve yakıt tüketimini azaltabilir. Ek olarak, pişirme prosesi için oksijenin (oksijenle zenginleştirilmiş yanma havası) kullanılması, pişirme prosesinin verimliliğini artırarak fırının etkinliğini önemli ölçüde iyileştirir. Bu, hava gereksiniminde ve dolayısıyla fırında N₂ balastında azalmaya birlikte gelir. Enerji ihtiyacı bu yolla sürdürülebilir şekilde azaltılabilir.

Yakıt enerjisi kullanımını en aza indirmek üzere manyezitin ön ısıtması için dışa atım gazlarından ısı geri kazanımı kullanılır. Fırından kaynaklanan ısı kayıpları yakıtların, hammaddelerin ve bazı ambalaj malzemelerinin kurutulması için kullanılabilir.

Yüksek enerji verimliliğine sahip elektrikli teçhizat kullanılarak elektrik enerjisi kullanımı en aza indirilmiştir.

Elde edilen çevresel faydalar

Enerji kullanımının azaltılması ve enerji verimliliğinde artış. Bir yan etki olarak, proses daha verimli hale geldikçe yakıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonları azalır.

Ortamlar arası etkiler

Yanma prosesinde daha yüksek alev sıcaklığı kullanılması NO_x emisyonlarında artışa neden olabilir.

İşletim verileri

6 ila 12 GJ/t arasında özgül enerji tüketimi rapor edilmiştir. Bu oldukça endotermik prosesin teorik reaksiyon entalpisi 2803 MJ/kg MgO seviyesindedir (bkz. Bölüm 3.3.2).

Uygulanabilirlik

Enerji tüketiminin azaltılması, manyezi endüstrisi için prensipte geçerlidir.

Ekonomik boyut

Enerji maliyetleri toplam maliyetlerin %35 – 40'ını oluşturabilir.

Enerji tüketiminin azaltılması toplam maliyetleri ve CO₂ emisyonlarını azaltabilir.

Oksijen kullanıldığında, genel enerji maliyetleri ve enerji dengesi dikkate alınmalıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Enerji gereksinimi ve maliyetlerinin azaltılması.

CO₂ emisyonlarının azaltılması.

Maliyetlerin azaltılması.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

Bu bağlamda Enerji Verimliliği Teknikleri referans belgesinde (ENE) de faydalı bilgiler bulunabilir. [67, Avusturya, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.4 Proses kontrol optimizasyonu

Tanım

Stokiyometrik hava ihtiyacına yakın çalışan, sorunsuz ve istikrarlı bir fırın prosesi tüm fırın emisyonları ve enerji kullanımı açısından yararlıdır. Genellikle pratikte, gerekli ürün kalitesini elde etmek ve optimum yanma sağlamak için meydana gelen oksijen fazlalığı yaklaşık % 1 – 3'tür. Bu, proses kontrol optimizasyonu uygulanarak elde edilebilir. Pişirme işlemi, ısı tüketimini azaltmak ve düşük özgül enerji tüketimi ve düşük özgül emisyon elde edilerek sinterlenmiş, kostik kalsine veya ergitilmiş manyezinin ürün kalitesini iyileştirmek/korumak üzere optimize edilmiştir. Genel olarak fırınlar, tüm süreci merkezi bir noktadan izlemek ve kontrol etmek üzere bir proses kontrol sistemi ile donatılmıştır. Enerji tüketimi, sıcaklık ve bazen NO_x gibi bazı proses parametreleri sürekli olarak kaydedilir. CO, NO_x, SO₂ ve toz gibi emisyonların azaltılması bu optimizasyonun ikincil etkileri olabilir.

Aynı fırında genellikle birkaç farklı ürün üretildiğinden, fırının çalışma özelliklerinin bu ürünlerle uyumlu olması gerekir. Bir fırın ünitesinin çalışma koşulları, yüklere ve gereken kaliteye bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir.

Elde edilen çevresel faydalar

CO, NO_x, SO₂ ve toz gibi emisyonların azaltılması mümkün olabilir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

Veri gönderilmedi.

Uygulanabilirlik

Proses kontrol optimizasyonu, manyezi endüstrisinde kullanılan tüm fırın tiplerine uygulanabilir. Ancak, yüksek gelişmişlik düzeyine sahip bir proses kontrol sistemi gerekli olabilir.

Ekonomik boyut

Bir sinter tesisi veya kalsinasyon tesisi için eksiksiz bir proses kontrol sistemi, yaklaşık 1 milyon avroluk yatırım maliyeti getirir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.4.5 Yakıt seçimi

Açıklama ve işletimsel veriler

Manyezi üretimi, kuru işlem güzergahının kullanıldığı enerji yoğun bir endüstridir (bkz. Bölüm 3.3.2). AB'de ağırlıklı olarak kullanılan yakıtlar doğal gaz, fuel oil ve petrokoktur. Ancak pişirme prosesinde kömür (antrasit ve linyit) de kullanılabilir.

Fırına giren maddelerin dikkatli bir şekilde seçilmesi ve kontrol edilmesi gerekli olup özellikle SO₂ olmak üzere emisyonları etkileyebilir ve azaltabilir. Bu nedenle, yakıt makul fiyatlarda mevcutsa, kükürt içeriği düşük yakıtlar seçilmelidir.

Elde edilen çevresel faydalar

SO₂ emisyonlarının azaltılması

Ortamlar arası etkiler

Ateşleme için petrokok ve taş kömürü kullanılması, doğal gaz ve/veya fuel oil kullanımına kıyasla SO₂ emisyonlarını artırabilir (bkz. Şekil 3.13). Doğal gaz, daha yüksek alev sıcaklıkları nedeniyle daha yüksek NO_x emisyonları üretebilir; bununla birlikte, doğal gazın kok veya kömüre kıyasla daha düşük olan C:O oranı nedeniyle CO₂ emisyonları daha düşüktür.

İşletim giderleri

Üretim maliyetlerinin %35 – 40'ı enerji maliyetleri ile ilgilidir.

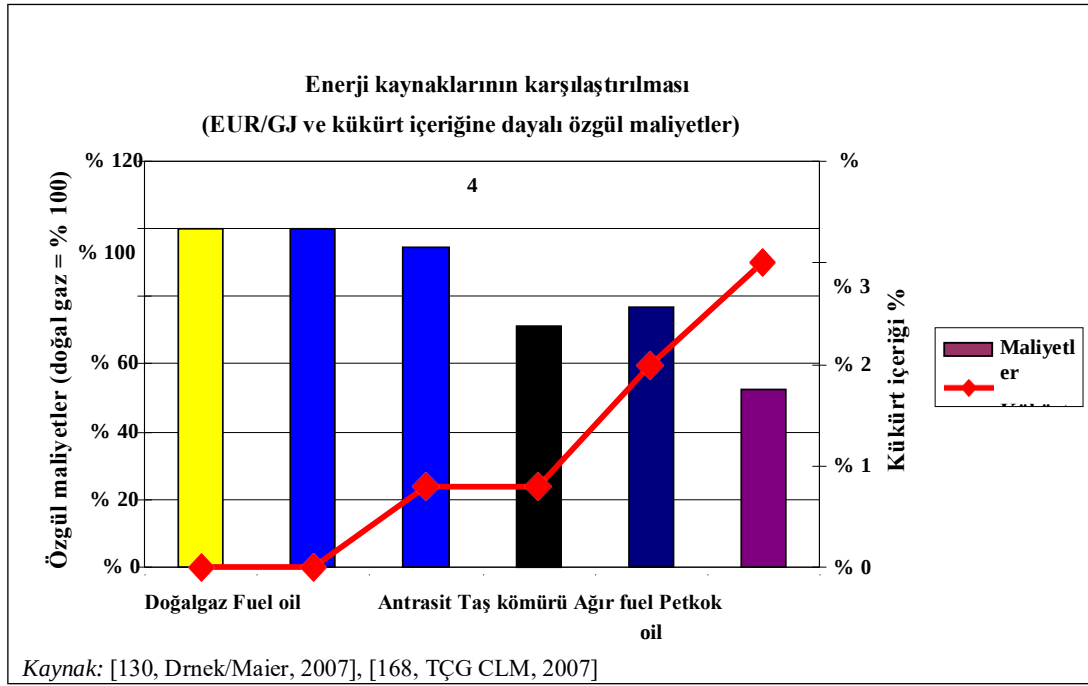
Uygulanabilirlik

Yakıtların esas kullanımı manyezi üretimi için kullanılan fırınlardadır. Bununla birlikte, örneğin doğal gaz gibi bazı yakıtlar tüm bölgelerde bulunmayabilir ve bu nedenle bu teknikler yalnızca imkan olan yerlerde uygulanabilir. Fırınlara ayrıca yakıtla özgül yakma tekniği veya borularla donatılmalıdır. Ancak, petrokok gibi katı yakıtlar, Bölüm 3.2.3.2.2.1 ve Bölüm 3.2.3.2.2.2'de açıklandığı gibi döner plakalı veya döner ızgaralı şaft fırınlar için geçerli değildir.

2007 yılında atık maddeler, ürüne dahil olan safsızlıklar nedeniyle yakıt olarak kullanılmamıştır. Ürünler herhangi bir safsızlığa yer vermeyecek şekilde saf ve temiz olmalıdır. Bununla birlikte geleceğe yönelik olarak, atık malzemelerin birlikte yakılmasına ilişkin yeni teknikler ve bazı manyezi ürünleri sayesinde, manyezi endüstrisi örneğin plastik veya odun gibi farklı tür atıkların kullanımını değerlendirmektedir. Bu bağlamda, hem çimento hem de kireç üretim endüstrilerinde atık kullanımına ilişkin genel hususlar ve kalite kontrol hususları bu belgenin sırasıyla Bölüm 1.2.4 ve 2.2.5'te bulunabilir.

Ekonomik boyut

EUR/GJ cinsinden çizgi maliyetlere dayalı olarak farklı enerji kaynaklarının karşılaştırılması ve bu yakıtlardan gelen kükürt içeriği Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Petrokokun içerdiği kükürt miktarı en yüksek olup, bunu ağır fuel oil ve ardından taş kömürü ve antrasit takip eder.



Şekil 3.13: Özgül maliyetler ve kükürt içeriği açısından yakıt karşılaştırması

Petrol kokunun verimliliği ile fiyatı arasında iyi bir ilişki vardır (bkz. Şekil 3.13). Ancak enerji maliyetleri %35 – 40 arasında yüksek bir düzeye ulaşmıştır ve ekonomik faktörün dikkate alınması gerekmektedir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

SO₂ azaltımı.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

[168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.6 Toz emisyonları (partikül madde)

3.4.6.1 Tozlu işlemlere yönelik teknikler

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Difüz toz emisyon kaynakları ağırlıklı olarak hammaddelerin, yakıtların depolanması ve taşınması ile tesisteki araçlardan kaynaklanır. Ürünün paketlenmesi ve gönderilmesinden kaynaklanan partikül salımları da önemli olabilir. Olası difüz toz kaynaklarını azaltmak ve en aza indirmek için basit ve lineer saha yerleşimlerinin yanı sıra organizasyonel teknikler tavsiye edilir.

Burada, ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilecek olan çeşitli teknikler sunulmuştur (bkz. Bölüm 3.3.3.1):

- ☐ tesisatın düzgün ve eksiksiz bakımının yanı sıra binaların ve yolların iyi temizlenmesi
- ☐ hammadde yığınlarının sulanması
- ☐ öğütme ve eleme gibi tozlu işlemlerin etrafının kapatılması
- ☐ toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen konveyörler ve asansörlerin etrafının kapatılması

- ☐ doldurma işlemleri sırasında yer değiştiren tozlu havayı idare etmek için filtrelerle donatılmış, yeterli kapasiteye sahip depolama siloları
- ☐ pnömatik aktarım sistemleri için dolaşım süreci tercih edilir
- ☐ hava sızıntı ve kaçak noktalarının azaltılması
- ☐ otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı
- ☐ sürekli sorunsuz işlemlerin kullanımı.

Ortamlar arası etkiler

Filtre sistemlerinin kullanılması enerji tüketimini artırır. Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir. Gürültünün azaltılması makinelerin etrafının kapatılması ile de mümkündür.

İşletim verileri

Veri gönderilmedi.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte manyezi endüstrisinde uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Durum özelinde söz konusu olan tedbir/teknığe bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

İşyeri sağlık ve güvenlik gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.4.6.2 Kanalize toz emisyonlarının azaltılması

Toz emisyonları, yalnızca pişirme prosesinde değil, hammadde ve yakıtların (örneğin konveyörler veya asansörler) depolanması ve taşınmasının yanı sıra öğütme işlemlerinden de meydana gelir.

Aşağıdaki toz giderme cihazları tek tek veya kombinasyon halinde uygulanabilir:

- ☐ elektrostatik toz tutucular (ESP)
- ☐ siklonlar
- ☐ yağ toz ayırıcıları
- ☐ torba filtreler.

Eleme ve öğütme ünitelerinde ürünü toplamak ve taşıma havasının tozunu almak için torba filtreler kullanılmaktadır.

Manyezi endüstrisinde kullanılan fırınlar genellikle fırın ateşlemesinden kaynaklanan nispeten yüksek dışa atım gazı sıcaklıkları dikkate alınarak toz azaltma teknikleri ile donatılmıştır. Bu fırınlardan birkaçı, nispeten yüksek dışa atım gazı sıcaklıkları nedeniyle elektrostatik toz tutucular, siklon ve yağ gaz yıkayıcı tekniklerinin bir kombinasyonu ile donatılmıştır. Ayrıca toz emisyonlarının azaltılmasında oldukça verimli olan torba filtreler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, torba filtrelerin kullanımı için baca gazının yüksek sıcaklığı çok önemlidir ve kullanılan filtre malzemesine bağlı olarak, daha yüksek sıcaklıklarda alev alma riskinden dolayı kritik önem arz edebilir.

3.4.6.2.1 Elektrostatik toz tutucular (ESP)

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Elektrostatik toz tutucular (ESP'ler), çiy noktasının üzerindeki ve 370 – 400 °C'ye kadar olan dışa atım gazı sıcaklıklarında toz emme için kullanılabilir. Patlama riskleri nedeniyle CO aşımından kaçınılmalıdır. CO, proses kontrolü ve güvenlik nedenleriyle sürekli olarak ölçülür. Hızlı yanıt veren ölçüm ve düzenleme cihazları ile modern proses kontrol sistemleri kullanılarak CO aşımının sıklığı azaltılabilir. CO aşımının kontrolü ile ilgili bilgiler ve kılavuz bu belgenin çimento bölümünde, Bölüm 1.4.5.3 ve Bölüm 6.2.6'da bulunabilir.

ESP'lerin çalışması hakkında daha fazla teknik bilgi ve açıklama çimento bölümünde 1.4.4.3.1'de ve kireç bölümünde 2.4.5.3.1'de bulunabilir. Bununla birlikte manyezi endüstrisinde kullanılan ESP'lere ilişkin işletimsel veriler aşağıda gösterilmektedir.

Ortamlar arası etkiler

Özellikle kuru ESP sistemleri uygulanıyorsa patlama riski ortaya çıkar.

ESP'nin çalışması nedeniyle, örneğin siklon kullanımından kaynaklı olarak enerji tüketimi artar. Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Baca gazlarının yaklaşık 400 °C olan ESP'ye giriş sıcaklığında, 75 mg/Nm³'lük toz emisyonları gözlemlenmiştir. Bu emisyonlar süresiz olarak, yılda bir haftanın ortalama değerini vermek üzere ölçülmüştür. Ancak ESP'ler, çalışma moduna bağlı olarak 10 mg/Nm³'ten daha düşük toz emisyon seviyelerine ulaşabilir.

Uygulanabilirlik

ESP'ler esas olarak döner fırınlarda kullanılır.

Çiy noktasının üzerindeki ve 370 – 400 °C'ye kadar olan dışa atım gazı sıcaklıklarında kullanılabilirler.

Ekonomik boyut

ESP kullanılacaksa nispeten yüksek işletme maliyetlerinin göz önünde bulundurulması gerekir.

Uygulamanın itici gücü

Proses gereklilikleri.

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki iki tesis.

[67, Avusturya, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.6.2.2 Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Siklonlar, partikül maddeyi gaz akışından ayırmak için merkezkaç kuvveti kullanır. Sağlamdırlar ve düşük enerji gereksinimi ile geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptirler [86, EURITS, 2006].

Santrifüjlü ayırıcıda, çıkış gazı akışından giderilecek toz partikülleri merkezkaç eylemiyle ünitenin dış duvarına itilir ve ünitenin altındaki bir açıklıktan atılır. Merkezkaç kuvveti, gaz akışını aşağı doğru spiral bir hareketle silindirik şeklinde bir kaba yönlendirerek (siklonlu ayırıcılar) veya üniteye dönen bir pervane takılarak (mekanik santrifüjlü ayırıcılar) oluşturulabilir.

Ortamlar arası etkiler

Santrifüjlü ayırıcıların çalıştırılması, önemli bir gürültü kaynağıdır. Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Kireç endüstrisi gibi diğer sektörlerde santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar ön ayırıcı/ürün ayırıcısı olarak kullanılmaktadır. Tipik olarak yalnızca 150 mg/Nm³'ün biraz altında toz emisyon değerlerine ulaşabilirler (bkz. Bölüm 2.4.5.3.4). Çimento endüstrisinde siklonlar sıcaklık düşürmeye yönelik bir hava ısı eşanjörü ve toz giderimi için (örneğin dışa atım gazı soğutmasından) torba filtreyle birlikte kullanılır. Bir siklon, toz derişimini %70 oranında azaltabilir. Bir hava ısı eşanjörü ve torba filtre ile birlikte, 5 - 7 mg/Nm³'lük düşük emisyon değerlerinin yanı sıra % 99,99'a varan yüksek temizlik verimliliği elde edilebilir. Bu değerler, Güney Afrika'da yer alan bir çimento tesisinden bildirilmiştir (bkz. Bölüm 1.4.4.3.2).

Santrifüjlü ayırıcılar, cihaz tıkanmadığı sürece, kirletici yükleri arttıkça daha verimli performans gösterir.

Uygulanabilirlik

Düşük tane boyutuna sahip parçacıklar, santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar tarafından etkin bir şekilde tutulamaz. Sisteme bağlı olan sınırlı ayırma düzeyi nedeniyle, siklonlar esas olarak kaba toz ve dışa atım gazları için ön ayırıcılar olarak kullanılır.

Ekonomik boyut

Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar nispeten ucuzdur ve işletimi kolaydır.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Proses gereklilikleri.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

[86, EURITS, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.6.2.3 Yaş toz ayırıcıları**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

Yaş toz ayırıcılarında, toz çıkış gazı akışlarından giderilir. Yaş toz ayırıcıları (yaş gaz yıkayıcıları olarak da bilinir), tasarımları ve çalışma prensiplerine göre örneğin venturi tipi gibi çeşitli türlere ayrılabilir. Bu tip yaş toz ayırıcılar, gazın venturi tüpünün en dar bölümünde 'venturi boğazından' yönlendirildiği ve 60 ila 120 m/s arasında gaz hızlarına ulaşıldığı durumlar dahil olmak üzere, manyezi endüstrisinde bir dizi uygulama alanına sahiptir. Venturi boğazına beslenen yıkama sıvıları, çok ince damlacıklardan oluşan bir buğu halinde yayılır ve gazla yoğun bir şekilde karışır. Su damlacıkları üzerinde ayrılan parçacıklar daha ağır hale gelir ve venturi tipi yaş toz ayırıcıya takılan bir damla ayırıcı kullanılarak kolaylıkla çekilebilir.

Ortamlar arası etkiler

Yaş ayırma tekniğinde, kirleticiler havadan suya aktarıldığından ıslak atık ürünü (süspansiyon) temizlemek için ikinci bir kurulum gereklidir; dolayısıyla ek enerji tüketimi ihtimal dahilindedir.

İşletim verileri

Modern çok kademeli yaş gaz yıkayıcılar verimli çalıştırdıklarında 10 ila 20 mg/Nm³ arasında temiz gaz derişimleri elde edilebilir (bkz. Bölüm 2.4.5.3.3).

Uygulanabilirlik

Venturi tipi yaş toz ayırıcı, dışa atım gazı akımından HCl, SO₂, toz ve uçucu maddeleri uzaklaştırır. Tekniğin uygulanmasının neden olduğu herhangi bir yan etki veya dezavantaj yoktur.

Ekonomik boyut

İşletim maliyetleri konusunda, hem yıkama sıvısının hem proses atık suyunun temizlenmesi göz önüne alınmalıdır.

Uygulamanın itici gücü

Proses gereklilikleri.
Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki iki tesis.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].
[168, TÇG CLM, 2007].

3.4.6.2.4 Torba filtreler

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Torba filtrede çıkış gazı, toz parçacıkları bir filtre torbasından geçirilir ve filtre keki olarak filtrenin yüzeyinde toplanır. Torba filtre kullanan tesislerde partikül tutma oranı yüksek olup, partikül büyüklüğüne bağlı olarak, tipik olarak %98-99'a kadar çıkar. Bu teknik, manyezi endüstrisinde kullanılan diğer toz azaltma tekniklerine kıyasla en iyi partikül toplama verimliliğini sunar. Ancak fırın dışa atım gazlarının yüksek sıcaklıkları nedeniyle yüksek sıcaklıkları tolere edebilen özel filtre malzemelerinin kullanılması gerekmektedir.

Ortamlar arası etkiler

Özellikle basınçlı darbe rejenerasyonlu torba filtrelerin kullanımı, gürültü emisyonlarına sebep olabilir ve yüksek basınç düşüşü nedeniyle elektrik tüketimi artabilir. Bakım sırasında fazladan atık ortaya çıkabilir.

İşletim verileri

Farklı dokuma filtre tiplerinde torba filtreler mevcuttur. Bunlardan bazıları oldukça yüksek sıcaklıkları tolere edebilir ve çalışmayı sürdürebilir. Farklı kumaş türlerinin teknik uygulaması hakkında bilgi bu belgenin 1.4.4.3.2 (çimento bölümü) kısmında bulunabilir.

Diğer sektörlerde fırında pişirme prosesi dışındaki tozlu işlemlerden kaynaklanan toz emisyonlarının, torba filtreler kullanılarak 5 – 10 mg/Nm³'ten daha düşük olması sağlanabilir. Kireç endüstrisinde iyi tasarlanmış, çalıştırılan ve bakımı yapılan torba filtreler için (filtre torbalarının sürekli olarak tozdan arındırılması), 10 mg/Nm³'ün altında toz emisyonlarına ulaşılabilir (bkz. 2.4.5.3.2). Ayırma verimliliği %99,9'dan daha yüksek olabilir ve bu nedenle çimento endüstrisinde 5 mg/Nm³'ün altında emisyonlar (kuru gaz, 273 K, % 10 O₂) elde edilebilir (bkz. 1.4.4.3.2). Ayrıca magnezyum oksit endüstrisinde, torba filtreler kullanılarak gerçekleştirilen fırında pişirme proseslerinde 20 mg/Nm³'ten daha düşük toz emisyon seviyeleri rapor edilmiştir [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008].

Uygulanabilirlik

Çıkış gazlarından toz gidermeye yönelik torba filtreler prensipte, magnezyum oksit üretim sürecindeki tüm birim işlemler, özellikle tozlu işlemler, eleme ve öğütme için uygulanabilir. Çiy noktasının üzerindeki ve 280 °C'ye kadar olan dışa atım gazı sıcaklıkları için kullanılabilirler.

Dışa atım gazlarının 250 ila 400 °C aralığındaki yüksek sıcaklıklarına ek olarak kostik kalsine manyezi (CCM) ve sinter manyezi üretimine yönelik fırında pişirme işleminden çıkan dışa atım gazlarının yüksek hacmi ve korozyif doğası nedeniyle (DBM), yüksek sıcaklığa dayanıklı filtre malzemesine sahip özel torba filtreler kullanılmalıdır.

Ancak DBM üreten manyezi endüstrisinden elde edilen deneyimler, manyezi üretiminde yaklaşık 400 °C olan dışa atım gazı sıcaklıkları için uygun ekipmanın olmadığını (örn. filtre malzemesi gibi) göstermektedir.

DBM imalatında PTFE (Teflon) filtre malzemesi gibi 250 °C'ye varan sıcaklıklarda çalışan filtre malzemeleri kullanılmaktadır. Bu filtre malzemesi asitlere veya alkalilere karşı iyi direnç gösterir ve birçok korozyon sorunu çözülmüştür [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008].

Ekonomik boyut

Yüksek baca gazı sıcaklıklarını tolere eden filtre malzemelerinin yatırım maliyetleri, diğer filtre malzemelerine kıyasla nispeten yüksektir. Filtre malzemelerinin daha yüksek basınç düşüşü nedeniyle, torba filtreler için işletme maliyetleri ESP'lere göre daha yüksektir. Farklı kumaş türlerinin teknik uygulaması ve maliyetleri hakkında bilgi bu belgenin 1.4.4.3.2 (çimento bölümü) kısmında bulunabilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki üç tesis.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]. [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.7 Gaz halindeki bileşikler

3.4.7.1 NO_x emisyonlarının azaltılması

Tanım

NO_x emisyonlarını etkileyen önemli faktör, manyezi endüstrisindeki pişirme işlemi için gerekli olan pişirme sıcaklığıdır. Genel olarak, bunun üretilen sinter manyezinin kalitesiyle doğrudan ilişkisi vardır. Bu pişirme sıcaklığı genellikle aynı ünitenin diğer uygulamalarına göre çok yüksektir. Ancak pişirme sıcaklıkları ürüne göre değişiklik göstermektedir. Üretilmesi gereken ürünün özellikleri ve ürün ile pişirme sıcaklığı arasındaki doğrudan ilişki nedeniyle bu pişirme sıcaklığı düşürülemez.

NO_x oluşumunun bir adet kaynağı mevcuttur:

- ☐ termal NO_x, yanma havasındaki N₂ ve O₂ arasında yüksek sıcaklıklardaki reaksiyondan kaynaklanır.

Termal NO_x, 1 000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, yani sıcaklıkların yeterince yüksek olduğu fırın yanma bölgesinde meydana gelir. Üretilen termal NO_x miktarı, yanma bölgesinde sıcaklık ve oksijen içeriğiyle birlikte artar.

NO_x emisyonlarını azaltmak için birincil veya ikincil teknikler veya her ikisinin kombinasyonu gibi farklı teknikler kullanılabilir. Birincil teknikler NO_x oluşumunu azaltırken ikincil teknikler azot oksidi yok eder ve onları N₂ oluşturmak üzere indirger.

Birincil teknikler prosese entegre tekniklerdir ve özellikle şunları ilgilendirir:

- ☐ proses optimizasyonu
- ☐ geliştirilmiş pişirme tekniği
- ☐ kademeli yakma/hava kademelendirme
- ☐ brülör tasarımı.

2007 yılında magnezyum oksit endüstrisinde kademeli yakma kullanılmamıştır. NO_x azaltımına yönelik ikincil teknikler aşağıdakileri içerir:

- ☐ Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)
- ☐ Seçici katalitik indirgeme (SCR)

2007 yılında, magnezyum oksit endüstrisinde NO_x azaltımı için hiçbir ikincil teknik kullanılmamıştır.

Elde edilen çevresel faydalar

NO_x emisyonlarının azaltılması.

Ortamlar arası etkiler

Bölüm 1.4.5.1.7'de ve Bölüm 2.4.6.1.4'te (çimento bölümü) gösterildiği gibi, SNCR kullanımı düşünülyorsa, amonyak kayması da dikkate alınmalıdır. Sıcaklık, NH₃ kayması ve NO_x azaltımı arasındaki ilişki Şekil 2.50'de gösterilmektedir (kireç bölümünün 2.4.6.1.4'üne göz atın) [46, Almanya, 2006]. Ancak, 2008 yılı itibariyle, manyezi endüstrisinde SNCR tekniğinin kullanıldığı herhangi bir durum yoktur (uygulanabilirlik kısmına göz atın).

İşletim verileri

Bkz. Bölüm 3.3.3.1 ve Tablo 3.9. Yalnızca birincil NO_x azaltım teknikleri kullanılarak, 2006 yılında 650 – 2 500 mg/Nm³ aralığında NO_x emisyonları rapor edilmiştir. Ancak daha yüksek olan değerler, yüksek sıcaklıklı DBM süreciyle ilişkilidir.

Uygulanabilirlik

Birincil teknikler

Birincil teknikler prensipte, manyezi üretiminde kullanılan çoğu fırın tipine uygulanabilir.

Ancak, düşük NO_x brülörleri ve alevle soğutma gibi, diğer endüstrilerde kullanılan bazı birincil teknikler, manyezi endüstrisinde kullanılamaz. DBM üretimi için gerekli olan yüksek pişirme sıcaklığı nedeniyle düşük NO_x brülörleri kullanı(l)a(maz. Bu tip brülör en fazla 1 600 °C sıcaklıkta çalışır ve DBM üretimi için ateşleme sıcaklığı 2 200 °C'ye ulaşır. Bu yüksek sıcaklıklar nedeniyle alevle soğutma da kullanı(l)a(maz.

Kademeli yanma/hava evreleme, manyezi endüstrisinde kullanılmak üzere daha da geliştirilmelidir. 2007 yılında magnezyum oksit endüstrisinde kademeli yakma kullanılmamıştır.

İkincil teknikler

AB-27'de 2008 yılı itibariyle manyezi endüstrisinde NO_x azaltımına yönelik olarak *seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)* kullanılmamaktaydı, çünkü SNCR tekniği 800 – 1000 °C sıcaklık aralığında çalışırken DBM üretim prosesi bu sıcaklık aralığına ulaşmayan endotermik bir prosestir. Malzemenin asitten arındırıldığı işlem sırasında sıcaklık 500 ile 800 °C arasındadır. SNCR tekniğinin çalıştığı sıcaklığa ulaşmak için ek olarak kullanılması gereken yüksek miktarda enerji olmadan 800 °C'nin üzerinde kararlı sıcaklık elde edilemez. Diğer faktörlerin yanı sıra, ek enerji maliyetlerinde önemli bir artış ortaya çıkacaktır.

1990'ların sonlarında yapılan değerlendirme çalışmasında, DBM endüstrisinde NO_x azaltımına yönelik *seçici katalitik indirgemenin (SCR)* ekonomik yönden olduğu kadar teknik açıdan da belirsiz bir noktada olduğu görüldü. Bunun başlıca nedeni, katalizörlerin yaşam süresindeki belirsizlik ve çıkış gazlarının güçlü kirleticisi doğasıydı [108, Avrupa Komisyonu, 2006].

SCR tekniği 300 ile 400 °C arasındaki bir sıcaklık penceresinde çalışır. NO ve NO₂, NH₃ ve bir katalizör kullanımıyla N₂ oluşturmak üzere indirgenir. Proses, baca gazlarının ve indirgeyici maddenin iyi bir şekilde karıştırılmasını,

enjeksiyon sıcaklığının optimize edilmesini ve optimum sıcaklık penceresinde yeterli kalma süresini gerektirir.

2008 yılında AB-27'de, NO_x azaltımı için SCR tekniği manyezi endüstrisinde kullanılmamıştır. Katalizörler manyeziye karşı çok hassastır. Yüksek toz yükü nedeniyle dışa atım gazının tozunun alınması gerekir, örneğin SCR katalizörlerinden geçişin öncesinde torba filtreler kullanarak. Ancak gerekli olan yüksek sıcaklık nedeniyle dışa atım gazının, özel torba filtreler ile tozdan arındırılmadan önce 250 °C'lik azami değere kadar soğutulması gerekmektedir. SCR tekniğinin kullanımı için dışa atım gazının daha sonra SCR'nin çalıştığı 300 ila 400 °C aralığındaki sıcaklık penceresine kadar yeniden ısıtılması gerekir. Bu, ek enerji ihtiyacından dolayı ek emisyonlara neden olabilir (örn. CO₂).

Ekonomik boyut

Katalitik prosesler genellikle yüksek yatırım maliyetleri getirir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

NO_x emisyonlarının azaltılması için birincil teknikleri kullanan AB-27 manyezi tesisleri. [46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [108, Avrupa Komisyonu, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.7.2 CO emisyonlarının azaltılması

Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar

Mümkünse organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin seçimi de CO emisyonlarını azaltır. Ateşleme sıcaklığının sürekli kontrolü ve kontrollü yakıt ilavesi de CO emisyonlarını etkileyebilir, örneğin:

- ☐ petrokoks besleme için ağırlık besleyicileri ve hassas döner vanalar kullanmak ve/veya
- ☐ fırın brülörüne ağır petrol veya gaz beslemenin regülasyonu için akış ölçerler ve hassas vanalar kullanmak.

CO emisyonlarını azaltmak için tam ve doğru bir yanma şarttır. Yanma sırasında oksijen seviyesini % 1 (sinter) ila 1,5 (kostik) arasında tutmak için soğutucudan gelen hava beslemesi ve birincil hava, ayrıca baca fanının çekişi kontrol edilebilir. Periyodik baca gazı analizi, yüksek CO derişimlerini (150 mg/Nm³) tespit edebilirken, hava ve yakıt şarjındaki bir değişiklik bu emisyonları azaltabilir.

Ayrıca, brülörün derinliği değiştirilerek CO emisyonları azaltılabilir [108, Avrupa Komisyonu, 2006]. CO emisyonları, prosesi optimize etmek (proses optimizasyonu) ve yakıtların yanmasını (% 100 yanma) kontrol etmek üzere ölçülür.

Bazı durumlarda ve belirli koşullar altında, ESP'lerle donatılmış çimento fırınları için geliştirilen CO aşım yönetim tedbiri/tekniki, manyezi endüstrisi için de geçerli olabilir. CO aşımalarının kontrolü ile ilgili bilgiler ve kılavuz bu belgenin çimento bölümünde, Bölüm 1.4.5.3 ve Bölüm 6.2.6'da bulunabilir.

Ortamlar arası etkiler

Sorun yoktur.

İşletim verileri

33 ile 1000 mg/Nm³ arasında CO emisyonları rapor edilmiştir.

Ton MgO ürünü başına toplam CO₂, proses kaynaklı CO₂ ve yakıt kaynaklı CO₂ toplamıdır. Yakıttan kaynaklanan CO₂ oranı ürüne bağlı olarak, gaz için 0,35 – 0,59 tCO₂/tMgO aralığında ve ‘OECD karışımı’ için yaklaşık 0,813 tCO₂/tMgO seviyesindedir. Prosesten kaynaklanan CO₂ oranı 1 tCO₂/tMgO seviyesindedir (manyezitin magnezyum okside kalsinasyonu).

Uygulanabilirlik

Bu tedbir/teknik, prensipte manyezi endüstrisine uygulanabilir.

Ekonomik boyut

Veri gönderilmedi.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

AB-27'deki manyezi tesisleri.

[46, Almanya, 2006], [54, EuLA, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [108, Avrupa Komisyonu, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.7.3 SO₂ emisyonlarının azaltılması

Tanım

SO₂ emisyonları esas olarak yakıttaki kükürt içeriğine bağlıdır. Hammaddeden (manyazit) kaynaklanan kükürt emisyonları, hammaddedeki kükürt içeriğine bağlıdır. Hammaddelerin çoğunda düşük olan kükürt içeriği nedeniyle prensipte düşük seviyededirler. Ancak bazı durumlarda ham maddelerden kaynaklanan SO₂ emisyonları toplam SO₂ emisyonlarının %50 ila % 100'üne ulaşabilir.

Manyezi endüstrisinde, SO₂ azaltımı için farklı baca gazı kükürt giderme teknikleri kullanılır, örneğin:

- ☐ yaş toz ayırıcı
- ☐ püskürtmeli kuru yıkayıcı
- ☐ emici enjeksiyon prosesi (baca gazı akışına katı veya sıvı yüzetutanların enjeksiyonu)
- ☐ rejeneratif prosesi.

Yaş gaz yıkayıcıların çalışması hakkında teknik bilgi ve açıklama çimento bölümünde 1.4.5.2.2'de bulunabilir.

Emici enjeksiyon prosesinde, enjeksiyon noktası ve toz toplayıcı arasında yeterli gaz kalma süresinin sağlanması, soğurmanın yüksek verimli olması açısından çok önemlidir. Reaktif MgO sınıfları halihazırda diğer sektörlerde, örneğin termik santrallerde SO₂ için verimli emiciler olarak kullanılmaktadır. Diğer tekniklere kıyasla daha düşük verimliliğine karşılık, bu tedbirin/teknikğin manyezi endüstrisinde kullanımı, daha düşük yatırım maliyetleri ve filtre tozunun diğer maddelerle kirlenmemesi olmak üzere iki avantaj sunar. Toplanan filtre tozu daha sonra yeniden kullanılabilir ve atık oluşumunu en aza indirmek üzere ürünlere ilave edilebilir.

Ayrıca, diğer sektörlerdeki emici enjeksiyon prosesi (yüzetutan ilavesi) hakkında teknik bilgi ve açıklamalar, bu belgenin 1.4.5.2.1 çimento bölümünde ve 2.4.6.2 kireç bölümünde bulunabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

SO₂ emisyonlarının azaltılması Bir venturi yıkayıcıya sahip yaş toz ayırıcılar kullanılarak HCl ve SO₂ emisyonları ile birlikte uçucu madde ve toz emisyonları azaltılabilir.

Ortamlar arası etkiler

Atık oluşumunun en aza indirilmesi (filtre tozunun yeniden kullanımı).

Yaş toz ayırıcılar (yaş gaz yıkayıcılar) kullanıldığında, su emisyonları meydana gelebilir.

İşletim verileri

SO₂ azaltımı için petrokok gibi kükürt bakımından zengin yakıtlar ve bir yaş gaz yıkayıcı kullanımıyla, spot ölçümlerde 17,1 – 50 mg/Nm³ aralığında SO₂ emisyonları gözlemlenmektedir. Doğal gaz kullanılarak 10 mg/Nm³'lük SO₂ emisyon seviyelerine ulaşılmıştır [109, RHI AG, 2006].

Kostik manyezinin döner fırında üretilmesiyle, yakıttan kaynaklanan kükürt dioksitin yaklaşık %40'ı, özellikle filtre tozundan olmak üzere geri kazanılır.

Uygulanabilirlik

Bu teknikler prensipte manyezi endüstrisinde uygulanabilir. Bölüm 3.4.6.2.3'te anlatıldığı gibi bir venturi yıkayıcıya sahip yaş toz ayırıcılar HCl ve SO₂ emisyonları ile birlikte uçucu madde ve toz emisyonlarını giderir. Bu tedbir/teknik diğer sektörlerde verimli olarak değerlendirilmektedir.

Soğurmanın yüksek verimli olması için emici enjeksiyon prosesinde, enjeksiyon noktası ve toz toplayıcı arasında yeterli gaz kalma süresinin sağlanması çok önemlidir.

Ekonomik boyut

MgO endüstrisinde, bir yaş gaz yıkayıcının kurulumu, yaklaşık 2 milyon – 3 milyon avro arasında yatırım maliyeti gerektirebilir. Ayrıca, çimento endüstrisindeki SO_x azaltma tedbir/teknikleri için örnek maliyet verileri bu belgenin Bölüm 1.4.5.2 ve 1.4.8.3'ünde bulunabilir.

Kullanılan tedbir/teknığe bağlı olarak, baca gazı kükürt giderme prosesleri yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki tesisler.

[109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].
[168, TÇG CLM, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

3.4.8 Proses kayıplarına/atığına ilişkin genel hususlar

Toplanan çeşitli magnezyum karbonat tozları gibi proses kayıpları, uygun olduğunda üretim proseslerine geri dönüştürülmeli veya satılabilir ürünlerde yeniden kullanılmalıdır. Ayrıca, baca gazı kükürt giderme yaş prosesinden kaynaklanan çamur (çökeltme ve/veya filtreleme yöntemleri) proseste veya diğer sektörlerde, ürün şartları imkan tanıdığı ölçüde yeniden kullanılmalıdır.

Geri dönüştürülemeyen malzemeler, örneğin ambalaj atığı malzemeleri veya belirli kurulum cihazlarının bakımından kaynaklanan atıklar için alternatif kullanımlar bulunabilir.

3.4.9 Gürültü**Açıklama ve elde edilen çevresel faydalar**

DBM üretiminin yanı sıra hammaddenin çıkarılması ve işlenmesinde gürültülü işlemler kaçınılmazdır. Gürültü emisyonları, kırma ve öğütme üniteleri, öğütme ve hazırlama üniteleri, fırınlardan ve fırınların besleme sistemleri, bantlı konveyörler, filtre üniteleri,

soğutma sistemleri gibi süreç genelinde farklı aşamalarda meydana gelebilir. Büyük ve ağır makineler ile büyük fanların çalışması gürültüye ve/veya titreşim emisyonlarına neden olabilir. Tekniklerin doğrudan gürültünün kaynağında uygulanmasıyla gürültü emisyonlarının azalması sağlanabilir, örneğin:

- ☐ gürültülü ünitenin muhafazası
- ☐ ses geçirmez binalar kullanarak gürültüyü en aza indirmek
- ☐ ses yalıtımlı binalarda yer alan kanalların ve son olarak fanların yalıtımı
- ☐ gürültüden koruma duvarları
- ☐ dışa atım bacaları için çıkış susturucuları
- ☐ filtre fanlarında susturucular
- ☐ teknik cihazlar için ses geçirmez modüllerin kullanımı (örn. kompresörler)
- ☐ değirmenler için kauçuk kalkanların kullanılması (metalin metalle temasından kaçınmak için).

Yukarıda belirtilen gürültüden koruma teknikleri uygulanamıyorsa ve gürültülü ünitelerin bir bina içerisine taşınması mümkün değilse (örn. fırınların boyutları ve kurulumları nedeniyle), örneğin korunan alan ile gürültülü faaliyet arasında (fırın veya depolama alanı) büyüyen ağaçlar ve çalılar yerleştirilmesi veya binaların inşa edilmesi olabilen ikincil koruma tekniklerinin uygulanması gerekir. Gürültülü işlemler sırasında kapalı alanların kapı ve pencereleri kapalı tutulmalıdır.

Gürültü emisyonlarını azaltmak için ofis binaları, duvarlar, ağaçlar veya çalılar gibi doğal gürültü bariyerleri kullanılabilir. Tesisler ulusal mevzuat uyarınca gürültü azaltım standartlarına uymakla yükümlüdür.

Gürültü azaltma ve gürültü azaltma planı hakkında daha fazla bilgi bu belgenin Bölüm 2.4.10'unda bulunabilir.

Ortamlar arası etkiler

Gürültüden koruma teknikleri nedeniyle ek yatırım ve bakım maliyetleri meydana gelebilir.

İşletim verileri

Veri bulunamamıştır.

Uygulanabilirlik

Gürültü azaltma teknikleri prensipte manyezi endüstrisine uygulanabilir (bkz. Bölüm 3.3.3.4).

Ekonomik boyut

Gürültüden koruma teknikleri nedeniyle ek yatırım maliyetleri meydana gelebilir.

Uygulamanın itici gücü

Hukuki gereklilikler.

Örnek fabrikalar ve referans literatür

Avusturya, İspanya ve AB-27'deki magnezyum oksit (manyezi) tesisleri.

Gürültü azaltma ve gürültü azaltma planı hakkında daha fazla bilgi kireç bölümünde Bölüm 2.4.10'da bulunabilir.

[45, Schorcht, 2006] [109, RHI AG, 2006], [110, İspanyol MgO üreticileri, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

3.4.10 Çevre yönetimi araçları

Çevre yönetimi araçları, bu belgede Bölüm 1.4.12'deki çimento bölümünde açıklanmıştır.

3.5 Geliştirilmekte olan teknikler

Kuru işleme güzergahını kullanan magnezyum oksit endüstrisi için geliştirilmekte olan tekniklere ilişkin bilgi henüz sağlanmamıştır.

4 MET SONUÇLARI

KAPSAM

Bu MET sonuçları, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I'inin 3.1 Bölümünde belirtilen aşağıdaki endüstriyel faaliyetlerle ilgilidir, yani:

şunları içeren '3.1. Çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi':

- (a) günlük üretim kapasitesi 500 tonu aşan döner fırınlarda veya günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan diğer fırınlarda çimento klinkeri üretimi;
- (b) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda kireç üretimi;
- (c) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda magnezyum oksit üretimi.

Yukarıdaki madde 3.1(c) ile ilgili olarak, bu MET sonuçları yalnızca çıkarılmış doğal manyezite (magnezyum karbonat - $MgCO_3$) dayalı kuru işleme güzergahıyla MgO üretimini ele alır.

Özellikle yukarıda adı geçen faaliyetlerle ilgili olarak, bu MET sonuçları aşağıdakileri kapsar:

- ☐ çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi (kuru işleme güzergahı)
- ☐ hammaddeler – depolama ve hazırlama
- ☐ yakıtlar – depolama ve hazırlama
- ☐ atıkların hammadde ve/veya yakıt olarak kullanımı – kalite gereksinimleri, kontrol ve hazırlama
- ☐ ürünler – depolama ve hazırlama
- ☐ paketlenme ve sevkiyat.

Bu MET sonuçları aşağıdaki faaliyetleri ele almamaktadır:

- ☐ Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Belgesi (LVIC-S) kapsamında, başlangıç malzemesi olarak magnezyum klorürün kullanıldığı yaş işleme güzergahıyla magnezyum oksit üretimi
- ☐ ultra düşük karbonlu dolim üretimi (dolomitin ($CaCO_3.MgCO_3$) karbondan neredeyse tamamen arındırılmasıyla üretilen bir kalsiyum ve magnezyum oksitler karışımı). Ürünün artık CO_2 içeriği %0,25'in altında ve yığın yoğunluğu $3,05 \text{ g/cm}^3$ 'ün oldukça altındadır.
- ☐ çimento klinker üretimine yönelik şaft fırınlar
- ☐ taş ocakçılığı gibi birincil faaliyetle doğrudan ilişkili olmayan faaliyetler.

Bu MET sonuçlarının kapsamına giren faaliyetlerle ilgili olabilecek diğer referans belgeler ise şunlardır:

Referans belgeler	Faaliyet
Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (EFS)	Hammadde ve ürün depolama, ambalaj ve sevk
Genel İzleme İlkeleri (MON)	Emisyon ve tüketim izleme
Atık Arıtma Endüstrileri (WT)	Atık arıtma
Enerji Verimliliği (ENE)	Genel enerji verimliliği
Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler (ECM)	Tekniklerin ekonomisi ve ortamlar arası etkileri

4. Bölüm

Bu MET sonuçlarında listelenen ve açıklanan teknikler normatif değildir ve bütün olası tekniklerin kapsam altında olduğu düşünülmemelidir. En azından eşdeğer bir çevre koruma düzeyi sağlayan diğer teknikler de kullanılabilir.

Bu MET sonuçlarının kombine atık yakma tesislerini ele aldığı durumlarda, bu, 2010/75/AB Direktifinin IV. Bölümü ve Ek VI'sının hükümlerine halel getirmez.

Bu MET sonuçlarının enerji verimliliğini ele aldığı durumlarda, bu, Enerji Verimliliğine ilişkin 2012/27/AB sayılı yeni Direktifin hükümlerine halel getirmez.

BİLGİ ALIŞVERİŞİNE İLİŞKİN NOT

Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit sektörleri için MET üzerine bilgi alışverişi 2008 yılında sona ermiştir. Magnezyum oksit üretiminden kaynaklanan emisyonlarla ilgili ek bilgilerle tamamlanan mevcut bilgiler, bu MET sonuçlarına ulaşmak için kullanılmıştır.

TANIMLAR

Bu MET sonuçları kapsamında aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

Kullanılan terim	Tanım
Yeni tesis	Kuruluma ait saha üzerine, bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından kurulan bir tesis veya kurulumun mevcut temelleri üzerinde bulunan ve yine bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından tamamen değiştirilen bir tesis
Mevcut tesis	Yeni olmayan bir tesis
Geniş çaplı yükseltme	Fırın gereksinimlerinde veya teknolojisinde ciddi bir değişiklik getiren veya fırının değiştirilmesini içeren bir tesis/fırın yükseltmesi
'Atığın yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılması'	Terim aşağıdakilerin kullanımını kapsar: ☐ önemli ısı değere sahip yakıt atıklar; ve ☐ önemli ısı değeri olmayan ancak ara ürün klinkerine katkıda bulunan hammadde niteliğinde mineral bileşenlere sahip atık malzemeler; ve ☐ hem önemli ısı değere hem de mineral bileşenlere sahip atık malzemeler

Belirli ürünler için tanımlar

Kullanılan terim	Tanım
Beyaz çimento	Aşağıdaki PRODCOM 2007 kodunun kapsamına giren çimento: 26.51.12.10 – Beyaz Portland çimentosu
Özel çimento	Aşağıdaki PRODCOM 2007 kodları kapsamına giren özel çimentolar: ☐ 26.51.12.50 – Alüminyumlu çimento ☐ 26.51.12.90 – Diğer hidrolik çimentolar
Dolim veya kalsine dolim	Artık CO ₂ içeriği % 0,25'in üstünde ve ticari ürününün yığın yoğunluğu 3,05 g/cm ³ 'ün oldukça altında olan, dolomitin (CaCO ₃ .MgCO ₃) karbondan arındırılmasıyla üretilen bir kalsiyum ve magnezyum oksitler karışımı. MgO olarak serbest içerik genellikle % 25 ile 40 arasındadır.
Sinterlenmiş dolim	Yalnızca refrakter tuğlaların ve diğer refrakter ürünlerin üretiminde kullanılan, minimum kütle yoğunluğu 3,05 g/cm ³ olan bir kalsiyum ve magnezyum oksit karışımı

Bazı hava kirleticilerinin tanımları

Kullanılan terim	Tanım
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	NO ₂ olarak ifade edilen azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO ₂) toplamı
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	SO ₂ olarak ifade edilen kükürt dioksit (SO ₂) ve kükürt trioksit (SO ₃) toplamı
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	HCl olarak ifade edilen gaz halindeki tüm klorürler
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	HF olarak ifade edilen gaz halindeki tüm florürler

Kısaltmalar

ASK	Dairesel şaft fırın
DBM	Sinter manyezi
I-TEQ	Uluslararası toksik eş değerlik faktörü
LRK	Uzun döner fırın
MFSK	Karışık beslemeli şaft fırın
OK	Diğer fırınlar Kireç endüstrisi için bu kapsamda şunlar yer alır: ☐ çift eğimli şaft fırınlar ☐ çok hazneli şaft fırınlar ☐ merkezi brülörlü şaft fırınlar ☐ dış hazneli şaft fırınlar ☐ merkezi brülörlü şaft fırınlar ☐ iç arklı şaft fırınlar ☐ hareketli ızgaralı fırınlar ☐ Chisaki fırınları ☐ flaş kalsinatör fırınları ☐ döner ocaklı fırınlar
OSK	Diğer şaft fırınlar (ASK ve MFSK hariç şaft fırınlar)
PCDD	Poliklorlu dibenzo-p-dioksin.
PCDF	Poliklorlu dibenzofuran
PFRK	Paralel akış rejeneratif fırın
PRK	Ön ısıtıcılı döner fırın

GENEL HUSUSLAR

Havaya emisyonlar için ortalama alma süreleri ve referans koşullar

Bu MET sonuçlarında verilen mevcut en iyi tekniklerle ilişkili emisyon seviyeleri (MET-İES'ler) standart koşulları referans alır: 273 K sıcaklık ve 1013 hPa basınç altında kuru gaz.

Derişimlerde verilen değerler aşağıdaki referans koşullar altında geçerlidir:

Faaliyetler		Referans koşullar
Fırın faaliyetleri	Çimento endüstrisi	hacimce % 10 oksijen
	Kireç endüstrisi ⁽¹⁾	hacimce % 11 oksijen
	Magnezyum oksit endüstrisi (kuru işleme güzergahı) ⁽²⁾	hacimce % 10 oksijen
Fırın dışı faaliyetler	Tüm prosesler	Oksijen için düzeltme yok
	Kireç söndürme tesisleri	Salındığı gibi (oksijen ve kuru gaz için düzeltme yok)
(1) Oksijen düzeltmesi, 'çift geçişli işlem' ile üretilen sinterlenmiş dolim için geçerli değildir. (2) Oksijen düzeltmesi, 'çift geçişli işlem' ile üretilen sinter manyezi (DBM) için geçerli değildir.		

Ortalama alma dönemleri için aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

Günlük ortalama değer	Emisyonların sürekli izlenmesiyle ölçülen, 24 saatlik süre boyunca ortalama değer
Örnekleme süresi için ortalama	Aksi belirtilmedikçe, her biri en az 30 dakikalık spot ölçümlerin (periyodik) ortalama değeri

Referans oksijen derişimine dönüştürme

Referans oksijen seviyesinde emisyon derişimi hesaplama formülü aşağıda gösterilmiştir:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

Burada:

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesindeki emisyon derişimi

O_R ; O_R (hacimce %): referans oksijen seviyesi

E_R (mg/Nm³): ölçülen oksijen seviyesindeki emisyon derişimi

O_R ; O_R (hacimce %): ölçülen oksijen seviyesi

4.1 Genel MET sonuçları

Bu bölümde bahsi geçen MET, bu MET sonuçlarının kapsadığı tüm tesisler için geçerlidir (çimento, kireç ve magnezyum oksit endüstrisi).

4.2 ila 4.4 kısımlarında yer alan prosese özel MET, bu bölümde bahsedilen genel MET'e ek olarak geçerlidir.

4.1.1 Çevre yönetim sistemleri (ÇYS)

1. Çimento, kireç ve magnezyum oksit üreten tesislerin genel çevresel performansını iyileştirmek için üretim MET'i, aşağıdaki özelliklerin tümünü içeren bir çevre yönetim sistemini (ÇYS) uygulamaya koymak ve bu sisteme bağlı kalmaktır:

- i. üst yönetim de dahil olmak üzere, yönetimin bağlılığı;
- ii. tesisin sürekli iyileştirilmesini içeren bir çevre politikasının yönetim tarafından tanımlanması;
- iii. finansal planlama ve yatırım ile bağlantılı olarak gerekli prosedürlerin, amaçların ve hedeflerin planlanması ve oluşturulması;
- iv. prosedürlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) yapı ve sorumluluk
 - (b) eğitim, farkındalık ve yetkinlik
 - (c) iletişim
 - (d) çalışan katılımı
 - (e) belgeleme
 - (f) verimli proses kontrolü
 - (g) bakım programları
 - (h) acil duruma hazırlık ve müdahale
 - (i) çevre mevzuatına uyumun gözetilmesi;
- v. performansın kontrolü ve düzeltici eylemlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) izleme ve ölçme (ayrıca bkz. İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belge)
 - (b) düzeltici ve önleyici eylemler
 - (c) kayıtların tutulması
 - (d) ÇYS'nin planlanan düzenlemelerle uyumlu olup olmadığını belirlemek ve doğru şekilde uygulandığından ve sürdürüldüğünden emin olmak üzere, iç ve dış denetimlerin, mümkün olduğu ölçüde bağımsız olarak gerçekleştirilmesi;
- vi. ÇYS'nin ve uygunluğunun, yeterliliğinin ve etkililiğinin, süreklilik açısından üst yönetim tarafından gözden geçirilmesi;
- vii. daha temiz teknolojilerin gelişiminin takip edilmesi;
- viii. yeni bir tesisin tasarlanma aşamasında ve işletme ömrü boyunca, tesisin nihayetinde hizmetten çıkarılmasıyla meydana gelecek çevresel etkilerin dikkate alınması;
- ix. düzenli olarak sektörel kıyaslama çalışmalarının uygulanması.

Uygulanabilirlik

ÇYS'nin kapsamı (örn. detaylılık düzeyi) ve niteliği (örn. standardize veya değil), genel olarak tesisin özellikleri, ölçeği ve karmaşıklığının yanı sıra muhtemel çevresel etki yelpazesi ile ilişkilendirilebilir.

4.1.2 Gürültü

2. Çimento, kireç ve magnezyum oksit için üretim süreçleri sırasında gürültü emisyonlarını azaltmak/en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin bir kombinasyonunu kullanmaktır:

	Teknik
a	Gürültülü işlemler için uygun yer seçimi
b	Gürültülü işlemlerin/ünitelerin çevrenmesi
c	İşlemlerin/birimlerin titreşim yalıtımının kullanımı
d	Darbe emici malzemeden yapılmış iç ve dış astarın kullanımı
e	Malzeme dönüştürme teçhizatını ilgilendiren gürültülü işlemlerin ses geçirmez binalarda barındırılması
f	Gürültü bariyer duvarları ve/veya doğal gürültü bariyerlerinin kullanımı
g	Çıkış bacalarında çıkış susturucularının kullanımı
h	Ses yalıtımlı binalarda yer alan kanalların ve son olarak fanların yalıtımı
i	Kapalı alanların kapılarının ve pencerelerinin kapatılması
j	Makine binalarında ses yalıtımı
k	Duvar aralıklarında ses yalıtım kullanımı, örn. bant konveyörün girişine bir set kurarak
l	Hava çıkışlarına ses emicilerin montajı, örn. tozsuzlaştırma ünitelerinin temiz gaz çıkışı
m	Kanallardaki akış hızlarının azaltılması
n	Kanallarda ses yalıtımı
o	Gürültü kaynaklarının ve rezonant potansiyeli olan bileşenlerin (örn. kompresörler ve kanallar) ayrı yerleşiminin uygulanması
p	Filtre fanlarında susturucu kullanımı
q	Teknik cihazlar için ses geçirmez modüllerin kullanımı (örn. kompresörler)
r	Değirmenler için kauçuk kalkanların kullanılması (metalın metalle temasından kaçınmak için).
s	Korunan alan ile gürültülü faaliyet arasında binalar inşa edilmesi veya ağaç ve çalıların yetiştirilmesi

4.2 Çimento endüstrisi için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları çimento endüstrisindeki tüm kurulumlara uygulanabilir.

4.2.1 Genel birincil teknikler

3. Fırından çıkan emisyonları azaltmak ve enerjiyi verimli kullanmak için MET, aşağıdaki teknikleri kullanarak sorunsuz ve istikrarlı, proses parametresi ayar noktalarına yakın çalışan bir fırın süreci elde etmektir:

	Teknik
a	Bilgisayar temelli otomatik kontrol dahil olmak üzere proses kontrol optimizasyonu
b	Modern, ağırlıksal katı yakıt besleme sistemlerinin kullanımı

4. Emisyonları önlemek ve/veya azaltmak için MET, fırına giren hammaddelerin dikkatli bir seçimini ve kontrolünü yapmaktır.

Tanım

Fırına giren tüm maddelerin dikkatlice seçilmesi ve kontrol edilmesi emisyonların azalmasını sağlayabilir. Maddelerin kimyasal bileşimi ve fırına beslenme şekli seçim sırasında dikkate alınması gereken faktörlerdir. Dikkat edilmesi gereken maddeler, MET 11'de ve MET 24 ila 28'de belirtilen maddeleri içerebilir.

4.2.2 İzleme

5. MET, proses parametrelerinin ve emisyonların düzenli izlemesini ve ölçümelerini gerçekleştirmek, emisyonların ilgili EN standartlarına veya EN standartları mevcut değilse; aşağıdakiler de dahil olmak üzere elde edilen verilerin eşdeğer bilimsel kaliteye sahip olmasını sağlayan ISO, ulusal veya diğer uluslararası standartlara uygun olarak izlenmesini sağlamaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Sıcaklık, O ₂ içeriği, basınç ve akış hızı gibi proses istikrarını gösteren proses parametrelerinin sürekli ölçümleri	Genel olarak uygulanabilir
b	Kritik proses parametrelerinin izlenmesi ve stabilizasyonu (yani homojen hammadde karışımı ve yakıt beslemesi, düzenli dozaj ve fazla oksijen)	Genel olarak uygulanabilir
c	SNCR uygulandığında sürekli NH ₃ ölçümleri	Genel olarak uygulanabilir
d	Sürekli toz, NO _x , SO _x ve CO emisyon ölçümleri	Fırın prosesleri için uygulanabilir
e	PCDD/F Metal emisyonlarının periyodik emisyon ölçümleri ve	
f	Sürekli veya periyodik HCl, HF ve TOK emisyon ölçümleri	
g	Sürekli veya periyodik toz ölçümleri	Fırın dışı faaliyetlere uygulanabilir. Soğutma ve ana öğütme işlemleri dışındaki tozlu işlemlerden kaynaklanan küçük kaynaklar (<10 000 Nm ³ /s) için, ölçümlerin veya performans kontrollerinin sıklığı bir bakım yönetim sistemine dayalı olmalıdır.

Tanım

MET 5 (f)'de belirtilen sürekli veya periyodik ölçümler arasında yapılacak seçim, emisyon kaynağına ve beklenen kirletici türüne bağlıdır.

4.2.3 Enerji tüketimi ve proses seçimi

4.2.3.1 Proses seçimi

6. Enerji tüketimini azaltmak için MET, çok kademeli ön ısıtma ve ön kalsinasyonlu bir kuru proses fırını kullanmaktır.

Tanım

Bu tip fırın sisteminde, dışa atım gazları ve soğutucudan geri kazanılan atık ısı, hammadde beslemesinin fırına girmeden önce ön ısıtma ve ön kalsinasyonunu gerçekleştirmek için kullanılabilir ve bu da enerji tüketiminde önemli tasarruflar sağlar.

Uygulanabilirlik

Hammadde nem içeriğine bağlı olarak yeni tesisler ve geniş çaplı yükseltmeler için geçerlidir.

MET ile ilişkili enerji tüketim seviyeleri

Bkz. Tablo 4.1

Tablo 4.1: Çok kademeli ön ısıtma ve ön kalsinasyonlu kuru proses fırını kullanan yeni tesisler ve geniş çaplı yükseltmeler için MET ile ilişkili enerji tüketim seviyeleri

Proses	Birim	MET ile ilişkili enerji tüketim seviyeleri ⁽¹⁾
Çok kademeli ön ısıtma ve ön kalsinasyonlu kuru proses	MJ/ton klinker	2 900 – 3 300 ⁽²⁾⁽³⁾
(1) Seviyeler, ürün spesifikasyonları doğrultusunda önemli ölçüde daha yüksek proses sıcaklıkları gerektiren özel çimento veya beyaz çimento klinkeri üreten tesisler için geçerli değildir. (2) Normal (örn. çalıştırmalar ve kapatmalar hariç) ve optimize edilmiş çalışma koşulları altında. (3) Üretim kapasitesi enerji ihtiyacını etkiler, daha yüksek kapasitelerde enerji tasarrufları mümkünken küçük kapasitelerde daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Enerji tüketimi aynı zamanda siklon ön ısıtıcı kademelerinin sayısına da bağlıdır ve daha fazla siklon ön ısıtıcı kademesi, fırın prosesinin daha düşük enerji tüketimine yol açar. Siklon ön ısıtıcı kademelerinin uygun sayısı esas olarak hammaddenin nem içeriği uyarınca tespit edilir.		

4.2.3.2 Enerji tüketimi

7. Termal enerji tüketimini azaltmak/en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin bir kombinasyonunu kullanmaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Proses parametreleri ayar noktalarına yakın çalışan, sorunsuz ve istikrarlı fırın prosesi ile iyileştirilmiş ve optimize edilmiş fırın sistemlerinin, aşağıdakiler yoluyla uygulanması: I. bilgisayar bazlı otomatik kontrol sistemi dahil olmak üzere proses kontrol optimizasyonu II. modern, ağırlıksal katı yakıt besleme sistemleri III. mevcut fırın sistemi konfigürasyonunu göz önüne alarak, mümkün olduğu ölçüde ön ısıtma ve ön kalsinasyon	Genel olarak uygulanabilir. Mevcut fırınlar için ön ısıtma ve ön kalsinasyon uygulanabilirliği fırın sistem konfigürasyonuna bağlıdır.
b	Özellikle soğutma alanlarından olmak üzere, fırınlardan çıkan fazla ısının geri kazanımı. Özellikle soğutma alanından veya ön ısıtıcıdan çıkan fırın kaynaklı fazla ısı (sıcak hava), hammadde kurutmasında kullanılabilir	Çimento endüstrisinde genel olarak uygulanabilir. Soğutma bölgesinden fazla ısı geri kazanımı ızgaralı soğutucular kullanıldığında uygulanabilir. Döner soğutucularda sınırlı geri kazanım verimliliği elde edilebilir
c	Kullanılan hammadde ve yakıtların özellikleri ve özellikleri ile ilgili olarak uygun sayıda siklon aşamasının uygulanması	Siklon ön ısıtıcı aşamaları, yeni tesislere ve geniş çaplı yükseltmelere uygulanabilir.
d	Termal enerji tüketimi üzerinde olumlu etkisi olan özelliklere sahip yakıtların kullanımı	Teknik genellikle uygun yakıt mevcudiyetine bağlı olarak çimento fırınlarına ve yakıtın fırına enjekte edilmesine yönelik teknik imkanlara bağlı olarak mevcut fırınlara uygulanabilir
e	Genelleşmiş yakıtları yakıt atıklarla ikame ederken, atık yakma için optimize edilmiş ve uygun çimento fırını sistemleri sağlamak	Genellikle tüm fırın türleri için uygulanabilir.
f	Baypas akışlarını en aza indirme	Çimento endüstrisinde genel olarak uygulanabilir.

Tanım

Örneğin; nem içeriği, yanabilirlik, değişik özelliklere sahip yakıtların kullanımı ve gaz baypas sistemi kullanımı gibi hammadde özellikleri olmak üzere çeşitli faktörler, modern fırın sistemlerinin enerji tüketimini etkiler. Ayrıca fırının üretim kapasitesinin enerji ihtiyacı üzerinde etkisi vardır.

Teknik 7c: uygun siklon kademesi sayısı, iş hacminin yanı sıra, yerel hammaddelerin nem içeriği ve yanabilirlik açısından büyük değişiklikler göstermesi nedeniyle, atık baca gazı ısısı ile kurutulması gereken hammaddelerin ve yakıtların nem içeriğine göre belirlenir.

Teknik 7d: çimento endüstrisinde genelleşmiş ve atık yakıtlar kullanılabilir. Kullanılan yakıtların yeterli ısı değer ve düşük nem içeriği gibi özellikleri, fırının özgül enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Teknik 7f: sıcak hammaddenin ve sıcak gazın giderilmesinin sonucunda, giderilen fırın giriş gazının yüzdesi başına yaklaşık 6 - 12 MJ/ton klinker daha fazla özgül enerji tüketimi meydana gelir. Bu nedenle, gaz baypası kullanımının en aza indirilmesi, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

8. Birincil enerji tüketimini azaltmak için MET, çimento ve çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılmasını değerlendirmektedir.

Tanım

Çimento ve çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılması, ilgili çimento standartlarına uygun olarak, öğütme aşamasında yüksek fırın cürufu, kalker, duman külü ve puzolan gibi dolgu maddeleri ve/veya ilaveler eklenerek sağlanabilir.

Uygulanabilirlik

Dolgu maddelerinin ve/veya katkıların (yerel) mevcudiyetine ve yerel pazar özelliklerine bağlı olarak, çimento endüstrisine genellikle uygulanabilir.

9. Birincil enerji tüketimini azaltmak için MET, kojenerasyon/kombine ısı ve enerji santrallerini dikkate almaktır.

Tanım

Buhar ve elektrik üretimi için kojenerasyon tesislerinin veya kombine ısı ve enerji santrallerinin kullanılması, çimento endüstrisinde klinker soğutucusundan veya fırın baca gazlarından atık ısıнын, genelleşmiş buhar çevrimi prosesleri veya diğer teknikler kullanılarak geri kazanılmasıyla uygulanabilir. Ayrıca, bölgesel ısıtma veya endüstriyel uygulamalar için klinker soğutucusundan veya fırın baca gazlarından fazla ısı geri kazanılabilir.

Uygulanabilirlik

Teknik yeterli ısı fazlası olduğu, uygun proses parametreleri karşılanabildiği ve ekonomik uygunluğun sağlandığı takdirde tüm çimento tesislerine uygulanabilir.

10. Elektrik enerjisi tüketimini azaltmak/en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin biri veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik
a	Güç yönetimi sistemlerinin kullanımı
b	Öğütme teçhizatı ve diğer elektrik bazlı teçhizatların yüksek enerji verimli olanlarının kullanımı
c	İyileştirilmiş izleme sistemlerinin kullanımı
d	Sisteme kaçak hava girişinin azaltılması
e	Proses kontrol optimizasyonu

4.2.4 Atık kullanımı

4.2.4.1 Atık kalite kontrolü

11. Çimento fırınında yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılacak atıkların özelliklerini sağlamak ve emisyonları azaltmak için MET, aşağıdaki teknikleri uygulamaktır:

	Teknik
a	Atıkların özelliklerini sağlamak ve kontrol etmek için kalite güvence sistemlerinin uygulanması ve çimento fırınında hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılacak herhangi bir atığın aşağıdakiler için analiz edilmesi: I. kalite istikrarı II. fiziksel kriterler, örn. emisyon oluşumu, kalınlık, reaktivite, yanabilirlik, ısı değer III. kimyasal kriterler, örn. klor, kükürt, alkali ve fosfat içeriği ve ilgili metal içeriği
b	Hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılacak herhangi bir atık için, klorür, ilgili metaller (örn. kadmiyum, cıva, talyum), kükürt, toplam halojen içeriği gibi ilgili parametrelerin miktarının kontrolü
c	Her atık yükü için kalite güvence sistemleri uygulama

Tanım

Çimento üretiminde birincil hammaddelerin ve/veya fosil yakıtların yerine değişik türde atık maddeler kullanılabilir ve bu durum doğal kaynakların tasarrufuna katkıda bulunur.

4.2.4.2 Fırına atık besleme

12. Fırında yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılan atıkların uygun şekilde arıtılmasını sağlamak için MET aşağıdaki tekniklerin kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Fırın tasarımına ve fırın çalışmasına bağlı olarak, atıkları fırına beslemek için sıcaklık ve kalış süresi açısından uygun noktaların kullanımı
b	Kalsine etme bölgesinin öncesinde önce uçucu hale gelebilecek organik bileşenler içeren atık malzemeleri, fırın sisteminin yeterince yüksek sıcaklığa sahip bölgelerine beslemek
c	Atıkların birlikte yakılması sonucu ortaya çıkan gaz sıcaklığının en olumsuz koşullarda bile kontrollü ve homojen bir şekilde 2 saniyeliğine 850 °C'ye yükseltileceği şekilde çalıştırılması
d	%1'den fazla klor olarak ifade edilen halojenli organik madde içeriğine sahip tehlikeli atıkların birlikte yakılması halinde sıcaklığın 1 100 ° C'ye çıkarılması
e	Fırına atıkların sürekli ve daimi olarak beslenmesi
f	Yukarıdaki a) ve d) maddelerinde belirtilen uygun sıcaklıklara ve bekleme sürelerine ulaşamadığında çalıştırma ve/veya kapatma gibi işlemler için kombine atık yakımının bekletilmesi veya durdurulması

4.2.4.3 Tehlikeli atık maddelerin kullanımına yönelik güvenlik yönetimi

13. MET, taşınacak atıkların etiketlenmesi, kontrol edilmesi, örneklenmesi ve test edilmesi için atık kaynağına ve türüne göre risk temelli yaklaşım kullanmak gibi, tehlikeli atık malzemelerin depolanması, taşınması ve beslenmesine yönelik güvenlik yönetimi uygulamaktır.

4.2.5 Toz emisyonları

4.2.5.1 Difüz toz emisyonları

14. Tozlu işlemlerden kaynaklanan difüz toz emisyonlarını en aza indirmek/önlemek için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Tesis için basit ve lineer bir saha düzeninin kullanılması	Yalnızca yeni tesislere uygulanabilir.
b	Öğütme, eleme ve karıştırma gibi tozlu işlemlerin muhafaza edilmesi/etrafının kapatılması	Genel olarak uygulanabilir
c	Difüz toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen konveyörler ve asansörlerin etrafının kapatılması	
d	Hava sızıntı ve kaçak noktalarının azaltılması	
e	Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı	
f	Sorunsuz işletimin sağlanması	
g	Seyyar ve sabit toz emme kullanarak tesisin doğru ve eksiksiz bakımının sağlanması. a) Bakım işlemleri sırasında veya taşıma sistemlerinde bir sorun oluştuğunda malzemelerin dökülmesi gerçekleşebilir. Çıkarma işlemleri sırasında difüz toz emisyonlarının oluşmasının engellenmesi için vakum sistemleri kullanılabilir. Yeni binalara sabit toz emme boruları kolayca kurulabilir, mevcut binalarda ise hareketli sistemler ve esnek bağlantılar kurulması daha iyi olacaktır ☐ Bazı durumlarda, pnömatik aktarım sistemleri için bir dolaşım süreci faydalı olabilir	
h	Torba filtrelerde tozun havalandırılması ve toplanması: ☐ Tüm malzeme taşıma işlemleri mümkün olduğu kadar negatif basınç altında tutulan kapalı sistemlerde yapılmalıdır. Bu amaçla kullanılan emiş havasının tozu daha sonra havaya salınmadan önce bir torba filtre vasıtasıyla giderilir.	
i	Otomatik taşıma sistemi ile kapalı depolama kullanımı: ☐ Klinker siloları ve kapalı tam otomatik hammadde depolama alanları yüksek hacimli stokların oluşturduğu difüz toz sorununa en etkili çözüm olarak kabul edilir. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında difüz toz oluşumunu önlemek için bu tür depolar bir veya daha fazla torba filtre ile donatılır. ☐ Yeterli kapasiteye sahip depolama silolarının ve doldurma işlemi sırasında çıkan tozlu havayı idare etmeye yönelik devre kesici anahtarlı ve filtreli düzey göstergelerinin kullanımı	
j	Sevk ve yükleme işlemleri için, çimento yükleme yönelik toz giderme sistemi ile donatılmış ve kamyonun yükleme zeminine doğru konumlandırılmış olan esnek doldurma borularının kullanımı.	

- 15. Yığın depolama alanlarından kaynaklanan difüz toz emisyonlarını en aza indirmek/önlemek için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:**

	Teknik
a	Yığın depolama alanlarının veya depo yığınlarının perdeleme, duvar veya dikey yeşillikten oluşan bir bariyer ile çevrelenmesi (açıktaki yığının rüzgardan korunması için yapay veya doğal rüzgar bariyerleri)
b	Açık stok rüzgar koruması kullanımı: b) Tozlu malzemelerin açık havada depolanmasından kaçınılmalıdır, ancak bu mümkün olmadığında da uygun şekilde tasarlanmış rüzgar bariyerleri kullanarak difüz tozu azaltmak mümkündür
c	Su püskürtme ve kimyasal toz bastırıcıların kullanımı: Difüz tozun noktasal kaynağı iyi bir konumda yer aldığından, bir su püskürtme enjeksiyon sistemi kurulabilir. Toz parçacıklarının nemlendirilmesi toplama ve böylece tozun çökmesine yardımcı olur. Su püskürtmenin genel verimliliğini artırmak için çok çeşitli maddeler mevcuttur
d	Asfaltlama, yol ıslatma ve temizliğin sağlanması: d) Kamyonların kullandığı alanlar mümkün olduğunca asfaltlanmalı ve yüzey mümkün olduğunca temiz tutulmalıdır. Yolları ıslatmak, özellikle kuru havalarda difüz toz emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca yol süpürme makineleri de temizlik için kullanılabilir. Difüz toz emisyonlarını en alt seviyede tutmak için iyi temizlik uygulamaları kullanılmalıdır.
e	Stokların nemlendirilmesinin sağlanması: e) Stoklardaki difüz toz emisyonları, yükleme ve boşaltma noktalarının yeterli nemlendirilmesi ve yüksekliği ayarlanabilir konveyör bantları kullanılarak azaltılabilir
f	Depolama alanlarının yükleme veya boşaltım noktalarından gerçekleşen difüz toz emisyonları önlenemediğinde; boşaltım noktasının yüksekliğinin, yığının değişken yüksekliğine mümkünse otomatik olarak uydurulması veya yükün boşaltım hızının azaltılması

4.2.5.2 Tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları

Bu kısım, fırında pişirme, soğutma ve ana öğütme işlemleri dışındaki tozlu işlemlerden kaynaklanan toz emisyonlarıyla ilgilidir. Bu, hammaddelerin kırılması; hammadde konveyörleri ve asansörleri; hammadde, klinker ve çimentonun depolanması; yakıtların depolanması ve çimento sevkiyatı gibi süreçleri içerir.

- 16. Kanalize toz emisyonlarını azaltmak için MET, fırında pişirme, soğutma ve ana öğütme işlemleri dışındaki tozlu işlemlere uygulanan filtrelerin performansını özellikle ele alan bir bakım yönetim sistemi uygulamaktır. Bu yönetim sistemini dikkate alarak MET, filtreli kuru baca gazı temizliği kullanmaktır.**

Tanım

Tozlu işlemler için bir filtre ile kuru baca gazı temizliği genellikle bir torba filtreyle gerçekleştirilir. Torba filtrelerin bir açıklaması Bölüm 4.5.1'de verilmiştir.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Tozlu işlemlerden (fırında pişirme, soğutma ve ana öğütme işlemlerinden kaynaklananlar hariç) kaynaklanan kanalize toz emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca ortalama olarak $<10 \text{ mg/Nm}^3$ tür (en az yarım saat süren spot ölçüm).

Küçük kaynaklar ($<10 \text{ 000 Nm}^3/\text{s}$) için, filtre performansının kontrol sıklığına ilişkin olarak, bakım yönetim sistemine dayanan bir öncelikli yaklaşımın dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır (ayrıca bkz. MET 5).

4.2.5.3 Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları

17. Fırında pişirme işlemlerinden çıkan baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için MET, filtreyle kuru baca gazı temizliği yapılmasıdır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
a. Elektrostatik toz tutucular (ESP)	Tüm fırın sistemleri için uygulanabilir
b. Torba filtreler	
c. Hibrit filtreler	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.5.1 kısmında verilmiştir.	

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırın ateşleme işlemlerinin baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES, günlük ortalama değer olarak $<10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ tür. Daha düşük olan seviye, torba filtreler veya yeni ya da yükseltilmiş ESP'lerin uygulanmasıyla elde edilir.

4.2.5.4 Soğutma ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları

18. Soğutma ve öğütme işlemlerinden çıkan baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için MET, filtreyle kuru baca gazı temizliği yapılmasıdır.

	Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
a	Elektrostatik toz tutucular (ESP)	Genellikle klinker soğutucuları ve çimento değirmenlerine uygulanabilir.
b	Torba filtreler	Genellikle klinker soğutucuları ve değirmenlere uygulanabilir.
c	Hibrit filtreler	Klinker soğutucuları ve çimento değirmenlerine uygulanabilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.5.1 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Soğutma ve öğütme işlemlerinden meydana gelen baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak $<10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ tür (en az yarım saat süren spot ölçümler). Daha düşük olan seviye, torba filtreler veya yeni ya da yükseltilmiş ESP'lerin uygulanmasıyla elde edilir.

4.2.6 Gaz halindeki bileşikler

4.2.6.1 NO_x emisyonları

19. Fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
a	Birincil teknikler	
	I. Alev soğutma	Çimento imalatında kullanılan her türlü fırın için uygulanabilir. Uygulanabilirlik derecesi, ürün kalite gereksinimleri ve proses istikrarı üzerindeki potansiyel etkiler yönünden kısıtlı olabilir
	II. Düşük NO _x brülörleri	Tüm döner fırınlarda ana fırına ve ön kalsinatöre uygulanabilir
	III. Fırın ortasında pişirme	Genellikle uzun döner fırınlara uygulanabilir
	IV. Farinin yanabilirliğini iyileştirmek için mineralleştiricilerin eklenmesi (mineralize klinker)	Son ürün kalite gereksinimlerine tabi olmak üzere döner fırınlara genellikle uygulanabilir
	V. Proses optimizasyonu	Genel olarak tüm fırınlarda uygulanabilir
b	Kademeli yanma (genelleşmiş yakıt veya yakıt atıklar), aynı zamanda ön kalsinatör ile birlikte ve optimize edilmiş yakıt karışımı kullanarak	Genelde sadece ön kalsinasyon tertibatı olan fırınlarda uygulanabilir. Ön kalsinatörü olmayan siklon ön ısıtıcı sistemlerinde önemli tesis tadilatları gereklidir. Ön kalsinatörsüz fırınlarda, kontrollü bir indirgen atmosfer üretme ve ilgili CO emisyonlarını kontrol etme yeteneğine bağlı olarak, parça yakıtların ateşlenmesi NO _x azaltımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir.
c	Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	Prensipte tüm döner çimento fırınları için uygulanabilir. Enjeksiyon bölgeleri, fırın prosesinin türüne göre değişir. Uzun yaş ve kuru proses fırınlarında, gereken doğru sıcaklık ve kalma süresini elde etmek zor olabilir. Ayrıca bkz. MET 20
d	Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Uygulanabilirlik, çimento endüstrisinde uygun katalizör ve proses gelişimine tabidir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 0 bölümünde verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.2.

Tablo 4.2: Çimento üretiminde fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinden kaynaklanan baca gazlarında MET ile ilişkili NO_x emisyon seviyeleri

Fırın tipi	Birim	MET-İES (günlük ortalama değer)
Ön ısıtıcı fırınlar	mg/Nm ³	<200 – 450 ⁽¹⁾ ⁽²⁾
Lepol ve uzun döner fırınlar	mg/Nm ³	400 – 800 ⁽³⁾
(1) Eğer birincil tekniklerden sonra başlangıç NO_x seviyesi > 1 000 mg/Nm³ ise, MET-İES aralığının üst seviyesi 500 mg/Nm³tür. (2) Mevcut fırın sistemi tasarımı, atık ve hammadde yanabilirliği (örn. özel çimento veya beyaz çimento klinkeri) dahil olmak üzere yakıt karışımı özellikleri, aralığı yakalama yetisini etkileyebilir. SNCR kullanıldığında uygun koşullara sahip fırınlarda 350 mg/Nm³ün altında seviyelere ulaşılır. 2008'de, 200 mg/Nm³lük düşük değer, SNCR kullanan üç tesis (kolay yanma karışımı kullanılan) tarafından aylık ortalama olarak bildirilmiştir. (3) Başlangıç seviyelerine ve NH₃ kaymasına bağlıdır.		

20. SNCR kullanıldığında MET, aşağıdaki tekniği kullanarak amonyak kaymasını mümkün olduğunca düşük tutarken verimli NO_x azaltımı elde etmektir:

	Teknik
a	Stabil bir çalışma süreci ile birlikte uygun ve yeterli bir NO _x indirgeme verimliliğinin uygulanması
b	NO _x indirgenmesinde en yüksek verimliliği elde etmek ve NH ₃ kaymasını azaltmak için iyi bir stokiometrik amonyak dağılımının uygulanması
c	NO _x azaltma verimliliği ile NH ₃ kayması arasındaki korelasyonu hesaba katarak baca gazlarından NH ₃ kayması emisyonlarını (reaksiyona girmemiş amonyak) mümkün olduğunca düşük tutmak

Uygulanabilirlik

SNCR genellikle tüm döner çimento fırınları için uygulanabilir. Enjeksiyon bölgeleri, fırın prosesinin türüne göre değişir. Uzun yaş ve kuru proses fırınlarında, gereken doğru sıcaklık ve kalma süresini elde etmek zor olabilir. Ayrıca bkz. MET 19

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.3.

Tablo 4.3: SNCR uygulandığında baca gazlarında NH₃ kayması için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Parametre	Birim	MET-İES (günlük ortalama değer)
NH ₃ kayması	mg/Nm ³	<30 – 50 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Amonyak kayması, başlangıç NO _x düzeyine ve NO _x azaltma verimliliğine bağlıdır. Lepol ve uzun döner fırınlar için seviye daha da yüksek olabilir.		

4.2.6.2 SO_x emisyonları

21. Fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmak/en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin kullanılmalıdır:

	Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
a	Soğurucu ilavesi	Soğurucu ilavesi prensipte tüm fırın sistemlerine uygulanabilir, ancak en çok süspansiyon ön ısıtıcılarda kullanılmaktadır. Fırın besleme malzemesine kireç ilave edilmesi granüllerin/nodüllerin kalitesini düşürür ve Lepol fırınlarında akış sorunları yaratır. Ön ısıtıcı fırınlarında sönmüş kirecin doğrudan baca gazına enjekte edilmesinin sönmüş kirecin fırın besleme malzemesine ilave edilmesinden daha az etkili olduğu tespit edilmiştir
b	Yaş gaz yıkayıcı	Alçıtaşı üretmek için uygun (yeterli) SO ₂ seviyelerine sahip her türlü çimento fırınına kurulabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.5.3 kısmında verilmiştir.		

Tanım

Hammaddelere ve yakıt kalitesine bağlı olarak, SO_x emisyon seviyeleri bir azaltma tekniğinin kullanılmasını gerektirmeden düşük tutulabilir.

Gerekirse, SO_x emisyonlarını azaltmak için emici ilavesi veya yaş gaz yıkayıcı gibi birincil teknikler ve/veya azaltma teknikleri kullanılabilir.

Yaş gaz yıkayıcılar, başlangıçta azaltılmamış SO_x seviyeleri 800 – 1 000 mg/Nm³'ten yüksek olan tesislerde halihazırda işletilmiştir.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.4.

Tablo 4.4: Çimento üretiminde fırında pişirme ve/veya ön ısıtma/ön kalsinasyon proseslerinden kaynaklanan baca gazlarında MET ile ilişkili NO_x emisyon seviyeleri

Parametre	Birim	MET-İES ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (günlük ortalama değer)
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	mg/Nm ³	<50 – 400
(1) Aralık, hammaddelerdeki kükürt içeriğini hesaba katar. (2) Beyaz çimento ve özel çimento klinker üretimi için, klinkerin yakıt kükürtünü tutma kabiliyeti önemli ölçüde daha düşük olabilir ve bu da daha yüksek SO _x emisyonlarına yol açar.		

22. Fırından çıkan SO₂ emisyonlarını azaltmak için MET, ham öğütme süreçlerini optimize etmektir.

Tanım

Teknik, farin değirmeninin fırın için SO₂ azaltımı işlevi görecektir şekilde çalıştırılabilmesi amacıyla ham öğütme sürecini optimize etmekten ibarettir. Bu, aşağıdaki gibi faktörleri ayarlayarak başarılabılır:

- f) hammadde nemi
- g) değirmen sıcaklığı
- h) değirmende tutma süresi
- i) zemin malzemesinin inceliği.

Uygulanabilirlik

Bileşik modda kuru öğütme işlemi kullanılıyorsa geçerlidir.

4.2.6.3 CO emisyonları ve CO aşımaları

4.2.6.3.1 CO aşımalarının azaltılması

23. Elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) veya hibrit filtreler kullanılırken CO aşımalarının sıklığını en aza indirmek ve toplam sürelerini yıllık 30 dakikanın altında tutmak için MET, aşağıdaki tekniklerin bir arada kullanımınıdır:

	Teknik
a	ESP durma süresini azaltmak için CO aşımalarının yönetimi
b	CO kaynağına yakın konumlandırılan, kısa tepki süresine sahip teçhizatla CO emisyonlarının sürekli otomatik izlenmesi

Tanım

Patlama risklerinden dolayı güvenlik nedenleriyle, baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin kapatılmasını gerektirecektir. Aşağıdaki teknikler CO aşımalarını önler ve böylelikle ESP kapatma sürelerini azaltır:

- ☐ yanma işleminin kontrolü
- ☐ hammadde organik yükünün kontrolü
- ☐ yakıtların ve yakıt besleme sisteminin kalitesinin kontrolü.

4. Bölüm

Kesintiler ağırlıklı olarak çalıştırma işlemi aşamasında meydana gelir. Güvenli çalışma için, ESP korumasına yönelik gaz analizörlerinin tüm çalışma aşamalarında devrede olması gerekir. ESP aksama süresi, çalışır durumda olan bir yedek izleme sistemi kullanılarak azaltılabilir.

Sürekli CO izleme sisteminin aksiyon süresi bakımından optimize edilmesi gerekir ve örneğin ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaş fırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi, CO kaynağına yakın bir yerde konumlandırılmalıdır.

Hibrit filtreler kullanıldığında, torba destek kafesinin hücre plakasına bağlanarak topraklanması tavsiye edilmektedir.

4.2.6.4 Toplam organik karbon emisyonları (TOK)

24. Fırın pişirme proseslerinin baca gazlarından TOK emisyonlarını düşük tutmak için MET, hammadde besleme yolu aracılığıyla fırın sistemine, yüksek miktarda uçucu organik bileşik (UOB) içeren hammaddelerin beslenmesini önlemektir.

4.2.6.5 Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları

25. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan HCl emisyonlarını önlemek/azaltmak için MET, aşağıdaki birincil tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Düşük klor içeriğine sahip yakıtların ve hammaddelerin kullanılması
b	Çimento fırınında yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılacak her türlü atık için klor içeriği miktarının sınırlandırılması

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

HCl emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak <10 mg/Nm³tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

26. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan HF emisyonlarını önlemek/azaltmak için MET, aşağıdaki birincil tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Düşük flor içeriğine sahip yakıtların ve hammaddelerin kullanılması
b	Çimento fırınında yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılacak her türlü atık için flor içeriği miktarının sınırlandırılması

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

HF emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak <1 mg/Nm³tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

4.2.7 PCDD/F emisyonları

27. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan PCDD/F emisyonlarını önlemek veya düşük tutmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Fırın girdilerinin (hammaddelerin) özenle seçilmesi ve kontrol edilmesi, yani klor, bakır ve uçucu organik bileşikler açısından	Genel olarak uygulanabilir
b	Fırın girdilerinin (yakıt) özenle seçilmesi ve kontrol edilmesi, yani klor ve bakır açısından	Genel olarak uygulanabilir
c	Klorlu organik maddeler içeren atıkların kullanımının sınırlandırılması/önlenmesi	Genel olarak uygulanabilir
d	Halojen içeriği (örn. klor) yüksek yakıtların ikincil ateşlemede kullanımından kaçınılması	Genel olarak uygulanabilir
e	Fırın baca gazlarının 200 ° C altına hızlı soğutması ve sıcaklıkların 300 ile 450 ° C arasında değiştiği bölgelerde baca gazlarının ve oksijen içeriğinin kalma süresinin en aza indirilmesi	Ön ısıtmasız uzun yaş fırınlara ve uzun kuru fırınlara uygulanabilir. Modern ön ısıtıcılı ve ön kalsinatörlü fırınlar halihazırda bu özelliğe sahip olarak tasarlanmaktadır
f	Çalıştırma ve/veya kapatma gibi işlemler için atıkların birlikte yakılmasının durdurulması	Genel olarak uygulanabilir

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırın ateşleme proseslerinin baca gazlarından PCDD/F emisyonları için MET-İES, örnekleme periyodu (6 – 8 saat) boyunca ortalama olarak <0,05 – 0,1 ng PCDD/F I-TEQ/Nm³tür.

4.2.8 Metal emisyonları

28. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan metal emisyonlarını en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Düşük önemli metal içeriğine sahip malzemelerin seçilmesi ve malzemelerdeki önemli metallerin içeriğinin, özellikle cıvanın sınırlandırılması
b	Kullanılan atık malzemelerin gerekli özelliklerini sağlamak için bir kalite güvence sistemi kullanılması
c	MET 17'de belirtilen etkili toz giderme tekniklerinin kullanılması

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.5.

Tablo 4.5: Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında metallerin MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Metaller	Birim	MET-İES (örnekleme süresi için ortalama (en az yarım saat süren spot ölçümler))
Hg	mg/Nm ³	<0,05 (²)
Σ (Cd, Tl)	mg/Nm ³	<0,05 (¹)
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	mg/Nm ³	<0,5 (¹)
(1) Hammadde ve yakıtların kalitesine bağlı olarak düşük seviyeler rapor edilmiştir. (2) Hammadde ve yakıtların kalitesine bağlı olarak düşük seviyeler rapor edilmiştir. 0,03 mg/Nm ³ 'ten yüksek değerler daha fazla araştırma gerektirmektedir. 0,05 mg/Nm ³ 'e yakın değerler, ek tekniklerin (örneğin baca gazı sıcaklığının düşürülmesi, aktif karbon) dikkate alınmasını gerektirir.		

4.2.9 Proses kayıpları/atıklar**29. Hammadde tasarrufu ile birlikte çimento üretim sürecinden kaynaklanan katı atıkları azaltmak için MET:**

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Mümkün olan her yerde toplanan tozların proseste kullanılmasıdır	Genel olarak uygulanabilir ancak toz kimyasal bileşimine tabidir
b	Mümkün olduğunda bu tozların diğer ticari ürünlerde kullanılmasıdır	Tozların diğer ticari ürünlerde kullanılması işletmecinin kontrolünün dışında bir husus olabilir

Tanım

Toplanan toz, uygulanabilir olduğunda üretim süreçlerine geri döndürülebilir. Bu geri dönüşüm doğrudan fırının veya fırın besleme malzemesinin içinde (alkali metal içeriği kısıtlayıcı faktördür) ya da mamul çimento ürünleri ile karıştırılmak suretiyle gerçekleşir. Toplanan tozların üretim proseslerine geri dönüşümü söz konusu olduğunda bir kalite güvence prosedürü gerekli olabilir. Geri dönüştürülemeyen malzemeler için alternatif kullanımlar bulunabilir (örneğin, yakma tesislerinde baca gazı kükürt giderimi için katkı maddesi).

4.3 Kireç endüstrisi için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları kireç endüstrisindeki tüm kurulumlara uygulanabilir.

4.3.1 Genel birincil teknikler

- 30. Tüm fırın emisyonlarını azaltmak ve enerjiyi verimli kullanmak için MET, aşağıdaki teknikleri kullanarak sorunsuz ve istikrarlı, proses parametresi ayar noktalarına yakın çalışan bir fırın süreci elde etmektir:**

	Teknik
a	Bilgisayar temelli otomatik kontrol dahil olmak üzere proses kontrol optimizasyonu
b	Modern, ağırlıksal katı yakıt besleme sistemlerinin ve/veya gaz akışı ölçerlerinin kullanımı

Uygulanabilirlik

Proses kontrol optimizasyonu tüm kireç tesislerinde, değişen düzeylerde uygulanabilir. Tam proses otomasyonu, kireçtaşı kalitesi gibi kontrol edilemeyen değişkenler nedeniyle genellikle mümkün değildir.

- 31. Emisyonları önlemek ve/veya azaltmak için MET, fırına giren hammaddelerin dikkatli bir seçimini ve kontrolünü yapmaktır.**

Tanım

Fırına giren hammaddeler, safsızlık içeriklerinden dolayı hava emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; bu nedenle, dikkatli hammadde seçimi bu emisyonları kaynağında azaltabilir. Örneğin kireçtaşı/dolomit içindeki kükürt ve klor içeriğindeki değişiklikler SO₂ ve HCl emisyonlarının aralığı üzerinde etkiye sahiptir, organik maddenin mevcudiyeti ise, TOK ve CO emisyonlarını etkiler.

Uygulanabilirlik

Uygulanabilirlik, düşük safsızlık içeriğine sahip hammaddelerin (yerel) mevcudiyetine bağlıdır. Son ürünün ve kullanılan fırın tipi ek kısıtlamalar getirebilir.

4.3.2 İzleme

32. MET, proses parametrelerinin ve emisyonların düzenli izlemesini ve ölçümlerini gerçekleştirmek, emisyonların ilgili EN standartlarına veya EN standartları mevcut değilse; aşağıdakiler de dahil olmak üzere elde edilen verilerin eşdeğer bilimsel kaliteye sahip olmasını sağlayan ISO, ulusal veya diğer uluslararası standartlara uygun olarak izlenmesini sağlamaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Sıcaklık, O ₂ içeriği, CO emisyonları basınç ve akış hızı gibi proses istikrarını gösteren proses parametrelerinin sürekli ölçümleri	Fırın prosesleri için uygulanabilir
b	Kritik proses parametrelerinin izlenmesi ve stabilize edilmesi, örn. yakıt beslemesi, düzenli dozaj ve fazla oksijen	
c	SNCR uygulandığında toz, NO _x , SO _x , CO emisyonları ve NH ₃ emisyonlarının sürekli veya periyodik ölçümleri	Fırın prosesleri için uygulanabilir
d	Atıkların birlikte yakılması durumunda HCl ve HF emisyonlarının sürekli veya periyodik ölçümleri	Fırın prosesleri için uygulanabilir
e	TOK emisyonlarının sürekli veya periyodik ölçümleri veya atıkların birlikte yakılması durumunda sürekli ölçümler	Fırın prosesleri için uygulanabilir
f	PCDD/F ve metal emisyonlarının periyodik ölçümleri	Fırın prosesleri için uygulanabilir
g	Sürekli veya periyodik toz emisyon ölçümleri	Fırın dışı prosesler için uygulanabilir Küçük kaynaklar için (<10 000 Nm ³ /s) ölçümlerin sıklığı bir bakım yönetim sistemine dayalı olmalıdır

Tanım

MET 32 (c) ila 32(f)'de belirtilen sürekli veya periyodik ölçümler arasında yapılacak seçim, emisyon kaynağına ve beklenen kirletici türüne bağlıdır.

Toz, NO_x, SO_x ve CO emisyonlarının periyodik ölçümleri için, kılavuz olarak normal çalışma koşullarında ayda bir ve yılda bir defaya kadar olan sıklıklar verilmiştir.

PCDD/F, TOK, HCl, HF, metal emisyonlarının periyodik ölçümleri için proseste kullanılan hammadde ve yakıtlara uygun bir sıklık uygulanmalıdır.

4.3.3 Enerji tüketimi

33. Termal enerji tüketimini azaltmak/en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin bir kombinasyonunu kullanmaktır:

	Teknik	Tanım	Uygulanabilirlik
a	Proses parametreleri ayar noktalarına yakın çalışan, sorunsuz ve istikrarlı fırın prosesi ile iyileştirilmiş ve optimize edilmiş fırın sistemlerinin, aşağıdakiler yoluyla uygulanması: I. proses kontrol optimizasyonu II. baca gazlarından ısı geri kazanımı (örneğin, kireçtaşı öğütme gibi diğer prosesler için kireç taşı kurutmada döner fırından çıkan fazla ısının kullanılması) III. modern, ağırlıksal katı yakıt besleme sistemleri IV. teçhizatın bakımı (örneğin hava sızdırmazlığı, refrakter erozyonu) V. optimize edilmiş taş tane boyutu kullanımı	Fırın kontrol parametrelerinin optimum değerlere yakın tutulması, kapatmalarının ve arıza koşullarının meydana gelmesinin azaltılması başta olmak üzere birtakım nedenlerden dolayı tüm tüketim ve emisyon parametrelerini düşürme etkisine sahiptir. Optimize edilmiş taş tane boyutu kullanımı, hammadde mevcudiyetine bağlıdır	Teknik (a) II sadece uzun döner fırınlara (LRK) uygulanabilir
b	Termal enerji tüketimi üzerinde olumlu etkisi olan özelliklere sahip yakıtların kullanımı	Yakıtların özellikleri, örneğin yüksek ısı değeri ve düşük nem içeriği, termal enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir	Uygulanabilirlik, seçilen yakıtın teknik olarak fırına beslenme imkanına ve Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek olan uygun yakıt (örn. yüksek ısı değeri ve düşük nem) mevcudiyetine bağlıdır
c	Fazla havanın sınırlandırılması	Yanma için kullanılan fazla havanın azalması, yakıt tüketimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir; çünkü yüksek hava yüzdeleri, buna bağlı olarak artan hacmin ısıtılması için daha fazla termal enerji gerektirir. Sadece LRK ve PRK'de fazla havanın sınırlandırılmasının termal enerji tüketimi üzerinde etkisi vardır. Teknik, TOK ve CO emisyonunu artırma potansiyeline sahiptir.	Fırındaki bazı alanların olası aşırı ısınması ve buna bağlı olarak refrakter ömrünün kısılması gibi sınırlamalarla birlikte LRK ve PRK için geçerlidir.

MET ile ilişkili tüketim seviyeleri

Bkz. Tablo 4.6.

Tablo 4.6: Kireç ve dolim endüstrisinde MET ile ilişkili ısı enerji tüketimi seviyeleri

Fırın tipi	Termal enerji tüketimi (¹) GJ/ton ürün
Uzun döner fırınlar (LRK)	6,0 – 9,2
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)	5,1 – 7,8
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	3,2 – 4,2
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	3,3 – 4,9
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	3,4 – 4,7
Diğer fırınlar (OK)	3,5 – 7,0
(¹) Enerji tüketimi, ürün tipine, ürün kalitesine, proses koşullarına ve hammaddelere bağlıdır.	

34. Elektrik enerjisi tüketimini en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin biri veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik
a	Güç yönetimi sistemlerinin kullanımı
b	Optimize edilmiş tane boyutundaki kireçtaşı kullanımı
c	Öğütme teçhizatı ve diğer elektrik bazlı teçhizatların yüksek enerji verimli olanlarının kullanımı

Açıklama – Teknik (b)

Dikey fırınlar genellikle sadece kaba kireçtaşı çakıllarını yakabilir. Bununla birlikte, daha yüksek enerji tüketimine sahip döner fırınlar, küçük fraksiyonları da değerlendirebilir ve yeni dikey fırınlar genellikle, en küçük 10 mm olmak üzere küçük granülleri yakabilmektedir. Daha büyük fırın besleme taşı granülleri, döner fırınlardan çok dikey fırınlarda kullanılmaktadır.

4.3.4 Kireçtaşı tüketimi

35. Kireçtaşı tüketimini en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin biri veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Kireçtaşının özel çıkarması, kırılması ve iyi yönetilen kullanımı (kalite, tane boyutu)	Kireç endüstrisinde genel olarak uygulanabilir; bununla birlikte, taş işleme kireçtaşı kalitesine bağlıdır
b	Ocaktan çıkarılan kireçtaşından optimum düzeyde yararlanmak için daha geniş bir kireçtaşı tane boyutu yelpazesıyla çalışmaya izin veren optimize edilmiş teknikleri uygulayan fırınların seçilmesi	Mevcut fırınlarda geniş çaplı yükseltmelere ve yeni tesislere uygulanabilir. Dikey fırınlar genellikle sadece kaba kireçtaşı çakıllarını yakabilir. İnce kireç PFRK ve/veya döner fırınlar daha küçük kireçtaşı tane boyutlarıyla çalışabilir

4.3.5 Yakıt seçimi

36. Emisyonları önlemek ve/veya azaltmak için MET, fırına giren yakıtların dikkatli bir seçimini ve kontrolünü yapmaktır.

Tanım

Fırına giren yakıtlar, safsızlık içeriklerinden dolayı hava emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Kükürt (özellikle uzun döner fırınlar için), azot ve klor içeriği, baca gazındaki SO_x, NO_x ve HCl emisyonlarının aralığını etkiler. Yakıtın kimyasal bileşimine ve kullanılan fırın tipine bağlı olarak, uygun yakıtların veya yakıt karışımının seçimi, emisyonların azalmasına neden olabilir.

Uygulanabilirlik

Karışık beslemeli şaft fırınlar hariç tüm fırın türleri, Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek yakıt mevcudiyetine bağlı olarak her tür yakıt ve yakıt karışımı ile çalışabilir. Yakıt seçimi ayrıca son ürünün istenen kalitesine, yakıtın seçilen fırına besleme için teknik imkanına ve ekonomik hususlara da bağlıdır.

4.3.5.1 Yakıt atık kullanımı

4.3.5.1.1 Atık kalite kontrolü

37. Kireç fırınında yakıt olarak kullanılacak atıkların gerekli özelliklerini sağlamak için MET, aşağıdaki teknikleri uygulamaktır:

	Teknik
a	Atıkların özelliklerini sağlamak ve kontrol etmek için kalite güvence sistemleri uygulanması ve fırında yakıt olarak kullanılacak olan herhangi bir atığın aşağıdakiler için analiz edilmesi: I. kalite istikrarı II. fiziksel kriterler, örn. emisyon oluşumu, kalınlık, reaktivite, yanabilirlik, ısı değer III. Kimyasal kriterler, örn. klor içeriği, kükürt, alkali ve fosfat içeriği ve ilgili metal (ör. toplam krom, kurşun, kadmiyum, cıva, talyum) içeriği
b	Yakıt olarak kullanılacak herhangi bir atık için, toplam halojen içeriği, metaller (ör. toplam krom, kurşun, kadmiyum, cıva, talyum) ve kükürt gibi ilgili bileşenlerin miktarının kontrol edilmesi

4.3.5.1.2 Fırına atık besleme

38. Fırın içerisine yakıt atık kullanımından kaynaklanan emisyonları önlemek/azaltmak için MET aşağıdaki teknikleri kullanmaktır:

	Teknik
a	Fırın tasarımına ve işleyişine bağlı olarak uygun atıkların beslemesinde uygun brülörler kullanmak
b	Atıkların birlikte yakılması sonucu ortaya çıkan gaz sıcaklığının en olumsuz koşullarda bile kontrollü ve homojen bir şekilde 2 saniyelik 850 °C'ye yükseltileceği şekilde çalıştırılması
c	% 1'den fazla klor olarak ifade edilen halojenli organik madde içeriğine sahip tehlikeli atıkların birlikte yakılması halinde sıcaklığın 1 100 ° C'ye çıkarılması
d	Fırına atıkların sürekli ve daimi olarak beslenmesi
e	Yukarıdaki b) ve c) maddelerinde belirtilen uygun sıcaklıklara ve bekleme sürelerine ulaşılmadığında çalıştırma ve/veya kapatma gibi işlemler için atık beslemenin durdurulması

4.3.5.1.3 Tehlikeli atık maddelerin kullanımına yönelik güvenlik yönetimi

39. Kazara meydana gelen emisyonları önlemek için MET, tehlikeli atık maddelerin depolanması, taşınması ve fırına beslenmesi için güvenlik yönetimi kullanmaktır.

Tanım

Tehlikeli atık malzemelerin depolanması, taşınması ve beslenmesine yönelik güvenlik yönetimi uygulaması, taşınacak atıkların etiketlenmesi, kontrol edilmesi, örneklenmesi ve test edilmesi için atık kaynağına ve türüne göre risk temelli yaklaşım kullanmayı içerir.

4.3.6 Toz emisyonları

4.3.6.1 Difüz toz emisyonları

40. Tozlu işlemlerden kaynaklanan difüz toz emisyonlarını en aza indirmek/önlemek için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik
a	Öğütme, eleme ve karıştırma gibi tozlu işlemlerin etrafının kapatılması
b	Toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen etraflı kapalı konveyörler ve asansörlerin kullanılması
c	Yeterli kapasiteye sahip depolama siloları ve doldurma işlemi sırasında çıkan tozlu havayı idare etmek için kesme anahtarlı ve filtreli düzey göstergelerinin kullanımı
d	Pnömatik aktarım sistemleri için faydalı olacak dolaşım sisteminin kullanımı
e	Malzeme taşımanın negatif basınç altında kapalı sistemlerde yürütülmesi ve emiş havasının havaya salınmadan önce bir torba filtre ile tozunun giderilmesi
f	Hava kaçakları ve sıçrama noktalarının azaltılması, kurulumun tamamlanması
g	Kurulumun doğru ve eksiksiz bakımı
h	Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı
i	Sürekli sorunsuz işlemlerin kullanımı
j	Kamyonun yükleme katında konumlandırılmış, kireç yüklemek için toz ayırma sistemi ile donatılmış esnek boruların kullanılması

Uygulanabilirlik

Kırma ve eleme gibi hammadde hazırlama işlemlerinde, hammaddenin nem içeriği nedeniyle toz ayırmaya normalde ihtiyaç duyulmaz.

- 41. Yığın depolama alanlarından kaynaklanan difüz toz emisyonlarını en aza indirmek/önmek için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:**

	Teknik
a	Perdeleme, duvar veya dikey yeşillik kullanarak depolama konumlarının çevrelenmesi (açık yığın rüzgar koruması için yapay veya doğal rüzgar bariyerleri)
b	Ürün siloları ve kapalı, tam otomatik hammadde depolarının kullanılması. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında difüz toz oluşumunu önlemek için bu tür depolar bir veya daha fazla torba filtre ile donatılır.
c	Depo yığını yükleme ve boşaltma noktalarının yeterli nemlendirilmesi ve yüksekliği ayarlanabilir konveyör bantları kullanılarak stoklardaki difüz toz emisyonlarının azaltılması. Nemlendirme veya püskürtme tedbirleri/teknikleri kullanıldığında, zemin kapatılabilir ve fazla su toplanabilir, ayrıca gerekirse bu fazla su artırılabilir ve kapalı döngülerde kullanılabilir.
d	Depolama alanlarının yükleme veya boşaltım noktalarından gerçekleşen difüz toz emisyonları önlenemiyorsa; boşaltım noktasının yüksekliğinin, yığının değişken yüksekliğine mümkünse otomatik olarak uyandırılması veya yükün boşaltım hızının düşürülmesi ile bu emisyonların azaltılması.
e	Püskürtme cihazları kullanarak yerlerin, özellikle kuru alanların ıslak tutulması ve temizleme araçlarıyla temizlenmesi
f	Giderim işlemleri sırasında vakum sistemlerinin kullanılması. Yeni binalara sabit toz emme sistemleri kolayca kurulabilir, mevcut binalarda ise hareketli sistemler ve esnek bağlantılar kurulması daha iyi olacaktır.
g	Kamyonların kullandığı alanların mümkün olduğunda asfaltlanması ve yüzeyin mümkün olduğunca temiz tutulmasıyla bu alanlardaki difüz toz emisyonlarının azaltılması. Yolları ıslatmak, özellikle kuru havalarda difüz toz emisyonlarını azaltabilir. Difüz toz emisyonlarını en alt seviyede tutmak için iyi temizlik uygulamaları kullanılabilir.

4.3.6.2 Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları

- 42. Fırın ateşleme prosesleri dışındaki tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonlarını azaltmak için MET, filtrelerin performansını özel olarak ele alan bir bakım yönetim sistemi ve aşağıdaki tekniklerden herhangi birini uygulamaktır:**

	Teknik (1) (2)	Uygulanabilirlik
a	Torba filtre	Kireç endüstrisindeki öğütme tesislerine ve yardımcı süreçlere genel olarak uygulanabilir; örneğin malzeme taşımacılığı ve depolama ve yükleme tesisleri. Kireç söndürme tesislerinde torba filtrelerin uygulanabilirliği, baca gazlarının yüksek nemi ve düşük sıcaklığı nedeniyle kısıtlı olabilir
b	Yaş gaz yıkayıcılar	Esas olarak kireç söndürme tesislerine uygulanabilir
(1) Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.6.1 kısmında verilmiştir. (2) Gerekirse, baca gazlarının ön arıtımı için santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar kullanılabilir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.7.

Tablo 4.7: Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonlarının MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Teknik	Birim	MET-İES (günlük veya örnekleme süresi için ortalama (en az yarım saat süren spot ölçümler))
Torba filtre	mg/Nm ³	<10
Yaş gaz yıkayıcı	mg/Nm ³	<10 – 20

4. Bölüm

Küçük kaynaklar ($<10000 \text{ Nm}^3/\text{s}$) için, filtre performansının kontrol sıklığına ilişkin olarak, önceliklendirme yaklaşımının dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır (ayrıca bkz. MET 32).

4.3.6.3 Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları

43. Fırında pişirme işlemlerinden çıkan baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için MET, filtreyle baca gazı temizliği yapılmasıdır. Aşağıdaki tekniklerin biri veya birkaçı kullanılabilir:

	Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
a	ESP	Tüm fırın sistemleri için uygulanabilir
b	Torba filtre	Tüm fırın sistemleri için uygulanabilir
c	Yaş toz ayırıcısı	Tüm fırın sistemleri için uygulanabilir
d	Santrifüjlü ayırıcı/siklon	Santrifüjlü ayırıcılar sadece ön ayırıcı olarak uygundur ve tüm fırın sistemlerinden gelen baca gazlarının ön temizliğinde kullanılabilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.6.1 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.8.

Tablo 4.8: Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında toz emisyonlarının MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Teknik	Birim	MET-İES (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
Torba filtre	mg/Nm^3	<10
ESP veya diğer filtreler	mg/Nm^3	$<20^*$
(*) Toz direncinin yüksek olduğu istisnai durumlarda, MET-İES günlük ortalama olarak $30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 'e varan değerlerde olabilir.		

4.3.7 Gaz halindeki bileşikler

4.3.7.1 Gaz halindeki bileşiklerin emisyonlarını azaltmaya yönelik birincil teknikler

44. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan gaz bileşikleri (NO_x , SO_x , HCl , CO , TOK/UOB , uçucu metaller) emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Fırına giren maddelerin dikkatli seçimi ve kontrolü	Genel olarak uygulanabilir
b	Yakıtlarda ve mümkünse hammaddelerde bulunan öncül kirleticilerin azaltılması, yani I. düşük kükürt (özellikle uzun döner fırınlar için), azot ve klor içeriğine sahip yakıtların seçilmesi II. mümkünse düşük organik madde içeriğine sahip hammadde seçilmesi III. proses ve brülörler için uygun atık yakıtların seçilmesi	Hammadde ve yakıtların yerel mevcudiyetine, kullanılan fırın tipine, istenen ürün kalitelerine ve yakıtların seçilen fırına beslenmesinin teknik imkanına bağlı olarak kireç endüstrisinde genel olarak uygulanabilir
c	Kükürt dioksitin verimli bir şekilde emilmesini sağlamak için proses optimizasyon tekniklerinin kullanılması (örn. fırın gazları ve sönmemiş kireç arasında verimli temas)	Tüm kireç tesisleri için uygulanabilir. Genellikle tam proses otomasyonu, kireçtaşı kalitesi gibi kontrol edilemeyen değişkenler nedeniyle mümkün değildir.

4.3.7.2 NO_x emisyonları

45. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Birincil teknikler	
	I. Yakıttaki azot içeriğinin sınırlanması ile birlikte uygun yakıt seçimi	Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek yakıt mevcudiyetine ve belirli bir yakıt türünün seçili fırına beslenmesinin teknik imkanına bağlı olarak kireç endüstrisinde genel olarak uygulanabilir
	II. Alev şekillendirme ve sıcaklık profili dahil proses optimizasyonu	Kireç üretiminde proses optimizasyonu ve proses kontrolü uygulanabilir ancak bu son ürün kalitesine bağlıdır
	III. Brülör tasarımı (düşük NO_x brülörleri) ⁽¹⁾	Düşük NO_x brülörleri, yüksek birincil hava koşulları sunan döner fırınlara ve dairesel şaft fırınlara uygulanabilir. PFRK ve diğer şaft fırınlar alevsiz yanmaya sahiptir, bu nedenle düşük NO_x brülörleri bu fırın tipine uygulanamaz.
	IV. Hava kademelendirme ⁽¹⁾	Şaft fırınlarda uygulanamaz. Yalnızca PRK için, çok yanmış kireç üretimi söz konusu olmadığı sürece uygulanabilir. Uygulanabilirlik, fırının bazı bölgelerinde olası aşırı ısınma ve buna bağlı olarak refrakter astarın bozulması nedeniyle, son ürünün tipinin getirdiği kısıtlamalarla sınırlı olabilir
b	SNCR ⁽¹⁾	Lepol döner fırınlara uygulanabilir. Ayrıca bkz. MET 46
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.6.2 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.9.

Tablo 4.9: Kireç üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili NO_x emisyonu seviyeleri

Fırın tipi	Birim	MET-İES (NO ₂ olarak ifade edilen, günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
PFRK, ASK, MFSK, OSK	mg/Nm ³	100 – 350 ⁽¹⁾ ⁽³⁾
LRK, PRK	mg/Nm ³	<200 – 500 ⁽¹⁾ ⁽²⁾
(1) Aralıkların üst kısımları, dolim ve çok yanmış kireç üretimi ile ilgilidir. Aralığın tepe noktasından daha yüksek seviyeler, sinterlenmiş dolimin üretimi ile ilgili olabilir. (2) Çok yanmış kireç üreten şaftlı LRK ve PRK için üst seviye 800 mg/Nm ³ 'e ulaşır (3) MET 45 (a)'de belirtilen birincil tekniklerin bu seviyeye ulaşmak için yeterli olmadığı ve NO _x emisyonlarını 350 mg/Nm ³ 'e düşürmek için ikincil tekniklerin uygulanmadığı durumlarda, özellikle çok yanmış kireç ve yakıt olarak biyokütle kullanımı için üst seviye 500 mg/Nm ³ 'tür.		

46. SNCR kullanıldığında MET, aşağıdaki tekniği kullanarak amonyak kaymasını mümkün olduğunca düşük tutarken verimli NO_x azaltımı elde etmektir:

	Teknik
a	Stabil bir çalışma süreci ile birlikte uygun ve yeterli bir indirgeme verimliliği uygulamak
b	NO _x indirgenmesinde en yüksek verimliliği elde etmek ve amonya kaymasını azaltmak için iyi bir stokiyometrik oran ve amonyak dağılımını uygulamak
c	NO _x azaltma verimliliği ile NH ₃ kayması arasındaki korelasyonu hesaba katarak baca gazlarından NH ₃ kayması emisyonlarını (reaksiyona girmemiş amonyak) mümkün olduğunca düşük tutmak.

Uygulanabilirlik

Yalnızca ideal sıcaklık aralığı olan 850 ila 1 020 °C'nin erişilebilir olduğu Lepol döner fırınları için geçerlidir. Ayrıca bkz. MET 45, teknik (b).

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Baca gazlarından NH₃ kayması emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak <30 mg/Nm³'tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

4.3.7.3 SO_x emisyonları**47. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan SO_x emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:**

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Kükürt dioksitin verimli bir şekilde emilmesini sağlamak için proses optimizasyonu (örn. fırın gazları ve sönmemiş kireç arasında verimli temas)	Proses kontrol optimizasyonu tüm kireç tesislerinde uygulanabilir
b	Düşük kükürt içeriğine sahip yakıtların tercih edilmesi	Yüksek SO _x emisyonları nedeniyle özellikle uzun döner fırınlarda (LRK) kullanım için uygun yakıt mevcudiyetine bağlı olarak genel olarak uygulanabilir
c	Soğurucu ilavesi tekniklerinin kullanımı (örneğin, emici ilavesi, bir filtre, yaş gaz yıkayıcı veya aktif karbon enjeksiyonu ile kuru baca gazı temizleme) ⁽¹⁾	Soğurucu ilavesi teknikleri prensipte kireç endüstrisinde uygulanabilir; ancak bu teknik 2007 yılında kireç sektöründe henüz uygulanmamıştı. Özellikle döner kireç fırınları için uygulanabilirliği değerlendirmek amacıyla daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.6.3 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.10.

Tablo 4.10: Kireç üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili SO_x emisyonu seviyeleri

Fırın tipi	Birim	MET-İES ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler), SO _x SO ₂ olarak ifade edilir)
PFRK, ASK, MFSK, OSK, PRK	mg/Nm ³	<50 – 200
LRK	mg/Nm ³	<50 – 400
(1) Seviye, baca gazındaki başlangıç SO _x seviyesine ve kullanılan azaltma tekniğine bağlıdır. (2) 'Çift geçişli süreç' kullanılarak sinterlenmiş dolim üretimi için, SO _x emisyonları aralığın üst sınırından daha yüksek olabilir.		

4.3.7.4 CO emisyonları ve CO aşımaları**4.3.7.4.1 CO emisyonları**

48. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan CO emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmalıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Düşük organik madde içeriğine sahip hammaddelerin seçilmesi	Hammaddelerin yerel mevcudiyeti ve bileşimi, kullanılan fırın tipi ve son ürün kalitesi gibi kısıtlamalar dahilinde kireç endüstrisine genel olarak uygulanabilir
b	Stabil ve eksiksiz yakma elde etmek için proses optimizasyon tekniklerinin kullanılması	Tüm kireç tesisleri için uygulanabilir. Genellikle tam proses otomasyonu, kireçtaşı kalitesi gibi kontrol edilemeyen değişkenler nedeniyle mümkün değildir.

Bu bağlamda ayrıca Bölüm 4.3.1'deki MET 30 ve 31'e ve Bölüm 4.3.2'deki MET 32'ye göz atın.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.11.

Tablo 4.11: Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında CO için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırın tipi	Birim	MET-İES ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
PFRK, OSK, LRK, PRK	mg/Nm ³	<500
(1) Kullanılan ham maddelere ve/veya üretilen kirecin (örn. hidrolik kireç) türüne bağlı olarak emisyonlar daha yüksek olabilir. (2) MET-İES, MFSK ve ASK için geçerli değildir.		

4.3.7.4.2 CO aşımalarının azaltılması

49. MET, elektrostatik toz tutucular (ESP) kullanırken CO aşımalarının sıklığını en aza indirmek için aşağıdaki teknikleri uygulamaktır:

	Teknik
a	ESP durma süresini azaltmak için CO aşımalarının yönetimi
b	CO kaynağına yakın konumlandırılan, kısa tepki süresine sahip teçhizatla CO emisyonlarının sürekli otomatik izlenmesi

Tanım

Patlama risklerinden dolayı güvenlik nedenleriyle, baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin kapatılmasını gerektirecektir. Aşağıdaki teknikler CO aşımalarını önler ve böylelikle ESP kapatma sürelerini azaltır:

- ☐ yanma işleminin kontrolü
- ☐ hammadde organik yükünün kontrolü
- ☐ yakıtların ve yakıt besleme sisteminin kalitesinin kontrolü.

Kesintiler ağırlıklı olarak çalıştırma işlemi aşamasında meydana gelir. Güvenli çalışma için, ESP korumasına yönelik gaz analizörlerinin tüm çalışma aşamalarında devrede olması gerekir. ESP aksama süresi, çalışır durumda olan bir yedek izleme sistemi kullanılarak azaltılabilir.

Sürekli CO izleme sisteminin aksiyon süresi bakımından optimize edilmesi gerekir ve örneğin ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaş fırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi, CO kaynağına yakın bir yerde konumlandırılmalıdır.

Uygulanabilirlik

Genel olarak elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) ile donatılmış döner fırınlara uygulanabilir.

4.3.7.5 Toplam organik karbon emisyonları (TOK)

50. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan TOK emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Genel birincil tekniklerin uygulanması ve izleme (ayrıca bkz. Bölüm 4.3.1'deki MET 30 ve 31'e ve Bölüm 4.3.2'deki MET 32)
b	Fırın sistemine yüksek oranda uçucu organik bileşik içeriğine sahip hammaddeleri beslemekten kaçınılması (hidrolik kireç üretimi hariç)

Uygulanabilirlik

Genel birincil tekniklerin ve izlemenin uygulanabilirliği için bkz. Bölüm 4.3.1'deki MET 30 ve 31 ve Bölüm 4.3.2'deki MET 32.

Teknik (b), yerel hammadde mevcudiyetine ve/veya üretilen kirecin türüne bağlı olarak, genel olarak kireç endüstrisine uygulanabilir.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.12.

Tablo 4.12: Fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında TOK için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırın tipi	Birim	MET-İES ⁽¹⁾ (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
LRK, PRK	mg/Nm ³	<10
ASK, MFSK ⁽²⁾ , PFRK ⁽²⁾	mg/Nm ³	<30

(1) Özellikle doğal hidrolik kireç üretimi için kullanılan hammaddelerin organik madde içeriğine ve/veya üretilen kirecin türüne bağlı olarak seviye daha yüksek olabilir.
(2) İstisnai durumlarda, seviye daha yüksek olabilir.

4.3.7.6 Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları

51. Atık kullanıldığı zaman fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki birincil tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Düşük klor ve flor içerikli genelleşmiş yakıtların kullanılması
b	Kireç fırınında yakıt olarak kullanılacak her türlü atık için klor ve flor içeriği miktarının sınırlandırılması

Uygulanabilirlik

Teknikler genellikle kireç endüstrisinde uygulanabilir ancak uygun yakıtın yerel mevcudiyetine bağlıdır.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.13.

Tablo 4.13: Atık kullanılan durumlarda, fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında HCl ve HF emisyonları için MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Emisyon	Birim	MET-İES (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
HCl	mg/Nm ³	<10
HF	mg/Nm ³	<1

4.3.8 PCDD/F emisyonları

52. Fırında pişirme proseslerinin baca gazından kaynaklanan PCDD/F emisyonlarını önlemek veya azaltmak için MET, aşağıdaki birincil tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik
a	Düşük klor içeriğine sahip yakıtların seçilmesi
b	Yakıttan bakır girişini sınırlandırmak
c	Sıcaklıkların 300 ile 450 °C arasında değiştiği bölgelerde baca gazlarının ve oksijen içeriğinin kalma süresinin minimuma indirilmesi

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

MET-İES'ler, örnekleme periyodu (6 – 8 saat) boyunca ortalama <0,05 – 0,1 ng PCDD/F I-TEQ/Nm³ aralığındadır.

4.3.9 Metal emisyonları

53. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan metal emisyonlarını en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmalıdır:

	Teknik
a	Düşük metal içerikli yakıtların seçilmesi
b	Kullanılan yakıt atıkların gerekli özelliklerini sağlamak için bir kalite güvence sisteminin kullanılması
c	Malzemelerdeki ilgili metallerin, özellikle cıva içeriğinin sınırlandırılması
d	MET 43'te belirtilen toz giderme tekniklerinin biri veya birkaçının kullanılması

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.14.

Tablo 4.14: Atık kullanılan durumlarda, fırında pişirme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarında metallerin MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Metaller	Birim	MET-İES (örnekleme süresi için ortalama (en az yarım saat süren spot ölçümler))
Hg	mg/Nm ³	<0,05
Σ (Cd, Tl)	mg/Nm ³	<0,05
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	mg/Nm ³	<0,5
Not: MET 53 (a) – (d)'de belirtilen teknikler uygulanırken düşük seviyeler rapor edilmiştir.		

Bu bağlamda ayrıca MET 37 (Bölüm 4.3.5.1.1) ve MET 38'e (Bölüm 4.3.5.1.2) göz atın.

4.3.10 Proses kayıpları/atıklar

54. Kireç üretim proseslerinde katı atıkları azaltmak ve hammadde tasarrufu yapmak için MET aşağıdaki teknikleri kullanmaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Toplanan toz veya diğer partikül maddenin (örn. kum, çakıl) proste yeniden kullanımı	Mümkün olduğu her durumda genel olarak uygulanabilir
b	Seçilmiş ticari ürünlerde toz, spesifikasyon dışı sönmemiş kireç ve spesifikasyon dışı sönmüş kireç kullanımı	Mümkün olduğunda, genellikle seçilmiş farklı türde ticari ürünlerde kullanılır

4.4 Magnezyum oksit endüstrisi için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları magnezyum oksit endüstrisindeki (kuru işleme güzergahı) tüm kurulumlara uygulanabilir.

4.4.1 İzleme

55. MET, proses parametrelerinin ve emisyonların düzenli izlemesini ve ölçümelerini gerçekleştirmek, emisyonların ilgili EN standartlarına veya EN standartları mevcut değilse; aşağıdakiler de dahil olmak üzere elde edilen verilerin eşdeğer bilimsel kaliteye sahip olmasını sağlayan ISO, ulusal veya diğer uluslararası standartlara uygun olarak izlenmesini sağlamaktır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Sıcaklık, O ₂ içeriği, basınç ve akış hızı gibi proses istikrarını gösteren proses parametrelerinin sürekli ölçümleri	Genellikle fırın prosesleri için uygulanabilir
b	Kritik proses parametrelerinin izlenmesi ve stabilizasyonu (hammadde ve yakıt beslemesi, düzenli dozaj ve oksijen fazlası)	
c	Toz, NO _x , SO _x ve CO emisyonlarının sürekli veya periyodik ölçümleri	Genellikle fırın prosesleri için uygulanabilir
d	Sürekli veya periyodik toz emisyon ölçümleri	Fırın dışı prosesler için uygulanabilir. Küçük kaynaklar için (<10 000 Nm ³ /s) ölçümlerin veya performans kontrolünün sıklığı bir bakım yönetim sistemine dayalı olmalıdır

Tanım

MET 55 (c)'de belirtilen sürekli veya periyodik ölçümler arasında yapılacak seçim, emisyon kaynağına ve beklenen kirletici türüne bağlıdır.

Fırın proseslerinden toz, NO_x, SO_x ve CO emisyonlarının periyodik ölçümleri için, kılavuz olarak normal çalışma koşullarında ayda bir ve yılda bir defaya kadar olan sıklıklar verilmiştir.

4.4.2 Enerji tüketimi

56. Termal enerji tüketimini azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerin bir kombinasyonunu kullanmaktır:

	Teknik	Tanım	Uygulanabilirlik
a	Aşağıdakileri uygulayarak, sorunsuz ve stabil fırın prosesi ile iyileştirilmiş ve optimize edilmiş fırın sisteminin uygulanması: I. proses kontrol optimizasyonu II. fırın ve soğutuculardan çıkan baca gazlarından ısı geri kazanımı	Yakıt enerjisi kullanımını azaltmak üzere manyezitin ön ısıtması için baca gazlarından ısı geri kazanımı kullanılabilir. Fırından geri kazanılan ısı yakıtların, hammaddelerin ve bazı ambalaj malzemelerinin kurutulması için kullanılabilir	Proses kontrol optimizasyonu, manyezi endüstrisinde kullanılan tüm fırın tiplerine uygulanabilir.
b	Termal enerji tüketimi üzerinde olumlu etkisi olan özelliklere sahip yakıtların kullanımı	Yakıtların özellikleri, örneğin yüksek ısı değeri ve düşük nem içeriği, termal enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir	Uygun yakıt mevcudiyetine, kullanılan fırınların türüne, istenen ürün özelliklerine ve yakıtların fırına enjeksiyonuna ilişkin teknik imkanlara bağlı olarak genellikle uygulanabilir.
c	Fazla havanın sınırlandırılması	Genellikle pratikte, gerekli ürün kalitesini elde etmek ve optimum yanma sağlamak için meydana gelen oksijen fazlalığı seviyesi yaklaşık % 1 – 3'tür.	Genel olarak uygulanabilir

MET ile ilişkili tüketim seviyeleri

MET ile ilişkili termal enerji tüketimi, prosese ve ürünlere bağlı olarak 6 – 12 GJ/tondur (¹).

57. Elektrik enerjisi tüketimini en aza indirmek için MET, aşağıdaki tekniklerin biri veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik
a	Güç yönetimi sistemlerinin kullanımı
b	Öğütme teçhizatı ve diğer elektrik bazlı teçhizatların yüksek enerji verimli olanlarının kullanımı

¹ Bu aralık yalnızca MET-Ref'in magnezyum oksit bölümü için sağlanan bilgileri yansıtır. Üretilen ürünlere göre en iyi performans gösteren tekniklere ilişkin daha spesifik bilgi verilmemiştir.

4.4.3 Toz emisyonları

4.4.3.1 Difüz toz emisyonları

58. Tozlu işlemlerden kaynaklanan difüz toz emisyonlarını en aza indirmek/önlemek için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:

	Teknik
a	Basit ve lineer bir saha düzeni
b	tesisatın düzgün ve eksiksiz bakımının yanı sıra binaların ve yolların iyi temizlenmesi
c	Hammadde yığınlarının sulanması
d	Öğütme ve eleme gibi tozlu işlemlerin etrafının kapatılması
e	Toz emisyonlarının açığa çıkmasının muhtemel olduğu durumda kapalı sistemler olarak inşa edilen etrafı kapalı konveyörler ve asansörlerin kullanılması
f	Doldurma işlemleri sırasında yer değiştiren tozlu havayı idare etmek için yeterli kapasiteye sahip depolama silolarının kullanılması ve filtrelerle donatılması
g	Pnömatik aktarım sistemleri için dolaşım süreci tercih edilir
h	Hava sızıntı ve kaçak noktalarının azaltılması
i	Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanımı
k	Sürekli sorunsuz işlemlerin kullanımı

4.4.3.2 Fırında pişirme harici tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları

59. Fırın ateşleme prosesleri dışındaki tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonlarını azaltmak için MET, tekniklerin performansını özel olarak ele alan bir bakım yönetim sistemi ve aşağıdaki tekniklerden herhangi biri ve birkaçı yoluyla filtreyle baca gazı temizliği uygulamaktır:

	Teknik (¹)	Uygulanabilirlik
a	Torba filtreler	Magnezyum oksit üretim sürecindeki tüm birim işlemler, özellikle tozlu işlemler, eleme ve öğütme için genel olarak uygulanabilir.
b	Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar	Sisteme bağlı olan sınırlı ayırma düzeyi nedeniyle, siklonlar esas olarak kaba toz ve baca gazları için ön ayırıcılar olarak uygulanabilir.
c	Yaş toz ayırıcıları	Genel olarak uygulanabilir
(¹) Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.7.1 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırında pişirme işlemleri hariç tozlu işlemlerden kaynaklanan kanalize toz emisyonları için MET-İES, günlük veya örnekleme dönemi için ortalama olarak $<10 \text{ mg/Nm}^3$ tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

Küçük kaynaklar ($<10000 \text{ Nm}^3/\text{s}$) için, filtre performansının kontrol sıklığına ilişkin olarak, bakım yönetim sistemine dayanan bir öncelikli yaklaşımın dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır (ayrıca bkz. MET 55).

4.4.3.3 Fırında pişirme işleminden kaynaklanan toz emisyonları

60. Fırında pişirme işlemlerinden çıkan baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için MET, filtreyle baca gazı temizliğinin, aşağıda verilen tekniklerden biri veya birkaçı uygulanarak yapılmasıdır:

	Teknik (¹)	Uygulanabilirlik
a	Elektrostatik toz tutucular (ESP)	ESP'ler esas olarak döner fırınlarda uygulanabilir. Çiy noktasının üzerindeki ve 370 – 400 °C'ye kadar olan baca gazı sıcaklıkları için uygulanabilirler.
b	Torba filtreler	Baca gazlarından toz gidermeye yönelik torba filtreler prensipte, magnezyum oksit üretim sürecindeki tüm birim işlemler için uygulanabilir. Çiy noktasının üzerindeki ve 280 °C'ye kadar olan baca gazı sıcaklıkları için kullanılabilirler. Kostik kalsine manyezi (CCM) ve sinter manyezi üretimi için, fırında pişirme işleminden çıkan baca gazlarının korozyif doğası ve yüksek hacmi nedeniyle (DBM), yüksek sıcaklığa dayanıklı filtre malzemesine sahip özel torba filtreler kullanılmalıdır. Ancak DBM üreten manyezi endüstrisinden elde edilen deneyimler, manyezi üretiminde yaklaşık 400 °C olan baca gazı sıcaklıkları için uygun ekipmanın olmadığını göstermektedir.
c	Santrifüjlü ayırıcılar/siklonlar	Sisteme bağlı olan sınırlı ayırma düzeyi nedeniyle, siklonlar esas olarak kaba toz ve baca gazları için ön ayırıcılar olarak uygulanabilir.
d	Yaş toz ayırıcıları	Genel olarak uygulanabilir
(¹) Tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.7.1 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırında pişirme işlemlerinden meydana gelen baca gazlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak <20 – 35 mg/Nm³tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

4.4.4 Gaz halindeki bileşikler

4.4.4.1 Gaz halindeki bileşiklerin emisyonlarını azaltmaya yönelik birincil teknikler

61. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan gaz bileşikleri (NO_x , SO_x , HCl , CO) emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki birincil tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Kirletici öncüllerini azaltmak için fırına giren maddelerin dikkatli seçimi ve kontrolü: I. düşük kükürt (varsa), azot ve klor içerikli yakıtların seçilmesi II. düşük organik madde içeriğine sahip hammaddelerin seçilmesi III. proses ve brülörler için uygun atık yakıtların seçilmesi	Hammadde ve yakıtların mevcudiyetine, kullanılan fırın tipine, istenen ürün kalitelerine ve yakıtların seçilen fırına enjeksiyonunun teknik imkanına bağlı olarak genellikle uygulanabilir. Atık maddelerin manyezi endüstrisinde yakıt olarak kullanımı mümkündür ancak 2007 itibarıyla manyezi endüstrisinde uygulaması henüz mevcut değildir.
b	Stokiyometrik gerekli havaya yakın çalışan, sorunsuz ve stabil bir fırın prosesi için proses optimizasyon tedbirlerinin/tekniklerinin kullanılması	Proses kontrol optimizasyonu, manyezi endüstrisinde kullanılan tüm fırın tiplerine uygulanabilir. Ancak, gelişmişlik düzeyi yüksek bir proses kontrol sistemi gerekli olabilir.

4.4.4.2 NO_x emisyonları

62. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Yakıttaki azot içeriğinin sınırlanması ile birlikte uygun yakıt seçimi	Uygun yakıtların mevcudiyetine bağlı olarak genel olarak uygulanabilir
b	Proses optimizasyonu ve iyileştirilmiş ateşleme tekniği	Manyezi endüstrisinde genel olarak uygulanabilir

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırında pişirme işlemlerinden meydana gelen baca gazlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için NO_2 olarak ifade edilen MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak $<500 - 1500 \text{ mg/Nm}^3$ tür (en az yarım saat süren spot ölçümler). Daha yüksek olan değerler, yüksek sıcaklıklı DBM süreciyle ilişkilidir.

4.4.4.3 CO emisyonları ve CO aşırımları

4.4.4.3.1 CO emisyonları

63. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan CO emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki tekniklerden birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Tanım
a	Düşük organik madde içeriğine sahip hammaddelerin seçilmesi	CO emisyonlarının bir kısmı hammaddelerin organik içeriğinden kaynaklanmaktadır, bu nedenle düşük organik içerikli hammaddelerin seçimi CO emisyonlarını azaltabilir
b	Proses kontrol optimizasyonu	CO emisyonlarını azaltmak için tam ve doğru bir yanma şarttır. Yanma sırasında oksijen seviyesini % 1 (sinter) ila 1,5 (kostik) arasında tutmak için soğutucudan gelen hava beslemesi ve birincil hava, ayrıca baca fanının çekişi kontrol edilebilir. Hava ve yakıt şarjının değiştirilmesi CO emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca, brülörün derinliği değiştirilerek CO emisyonları azaltılabilir.
c	Sürekli ve daimi olarak kontrol edilen yakıtların verilmesi	Kontrollü yakıt verme örneğin şunları içerir: ☐ petrokoks besleme için ağırlık besleyicileri ve hassas döner vanalar kullanmak ve/veya ☐ fırın brülörüne ağır petrol veya gaz beslemenin regülasyonu için akış ölçerler ve hassas vanalar kullanmak

Uygulanabilirlik

CO emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknikler genellikle manyezi endüstrisine uygulanabilir. Organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin seçimi hammadde mevcudiyetine bağlıdır.

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Fırında pişirme işlemlerinden meydana gelen baca gazlarından kaynaklanan CO emisyonları için MET-İES, örnekleme dönemi boyunca veya günlük ortalama olarak <50 – 1 000 mg/Nm³tür (en az yarım saat süren spot ölçümler).

4.4.4.3.2 CO aşırımlarının azaltılması

64. ESP uygulamasına CO aşımı sayısını en aza indirmek için MET, aşağıdaki teknikleri kullanmaktır:

	Teknik
a	ESP durma süresini azaltmak için CO aşırımlarının yönetimi
b	CO kaynağına yakın konumlandırılan, kısa tepki süresine sahip teçhizatla CO emisyonlarının sürekli otomatik izlenmesi

Tanım

Patlama risklerinden dolayı güvenlik nedenleriyle, baca gazlarında meydana gelen yüksek CO seviyeleri ESP'lerin kapatılmasını gerektirecektir. Aşağıdaki teknikler CO aşırımlarını önler ve böylelikle ESP kapatma sürelerini azaltır:

- ☐ yanma işleminin kontrolü
- ☐ hammadde organik yükünün kontrolü
- ☐ yakıtların ve yakıt besleme sisteminin kalitesinin kontrolü.

Kesintiler ağırlıklı olarak çalıştırma işlemi aşamasında meydana gelir. Güvenli çalışma için, ESP korumasına yönelik gaz analizörlerinin tüm çalışma aşamalarında devrede olması gerekir. ESP aksama süresi, çalışır durumda olan bir yedek izleme sistemi kullanılarak azaltılabilir.

Sürekli CO izleme sisteminin aksiyon süresi bakımından optimize edilmesi gerekir ve örneğin ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaş fırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi, CO kaynağına yakın bir yerde konumlandırılmalıdır.

Uygulanabilirlik

Genel olarak elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) ile donatılmış fırınlara uygulanabilir.

4.4.4.4 SO_x emisyonları

65. Fırında pişirme proseslerinin baca gazlarından kaynaklanan SO_x emisyonlarını azaltmak için MET, aşağıdaki birincil ve ikincil tekniklerden birkaçının kullanılmasıdır:

	Teknik	Uygulanabilirlik
a	Proses optimizasyon teknikleri	Genel olarak uygulanabilir
b	Düşük kükürt içeriğine sahip yakıtların tercih edilmesi	Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek, düşük kükürtlü yakıt türlerinin mevcudiyetine bağlı olarak genellikle uygulanabilir. Yakıt seçimi ayrıca son ürünün istenen kalitesine, teknik imkanlara ve ekonomik hususlara da bağlıdır
c	Bir filtre ile birlikte ⁽¹⁾ baca gazı akışına kuru soğurucu ilavesi tekniği (örneğin reaktif MgO dereceleri, sönmüş kireç, aktive karbon, vb. gibi baca gazı akımına soğurucu ilavesi)	Genel olarak uygulanabilir
d	Yaş gaz yıkayıcı ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik, gerekli olan büyük su miktarı, atık su arıtma ihtiyacı ve ilgili ortamlar arası etkiler nedeniyle kurak alanlarda sınırlı olabilir.
⁽¹⁾ Tedbir/tekniklerin bir açıklaması belgenin 4.7.2 kısmında verilmiştir.		

MET ile ilişkili emisyon seviyeleri

Bkz. Tablo 4.15.

Tablo 4.15: Manyezi üretiminde fırında pişirme proseslerinden kaynaklanan baca gazları için MET ile ilişkili SO_x emisyonu seviyeleri

Parametre	Birim	MET-İES ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (günlük veya örnekleme süresi için ortalama değer (en az yarım saat süren spot ölçümler))
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	mg/Nm ³	<50 – 400 ⁽³⁾
(1) MET-İES'ler, hammaddelerdeki ve yakıtlardaki kükürt içeriğine bağlıdır. Aralığın alt sınırı, düşük kükürt içeriğine sahip hammaddelerin kullanımı ve doğal gaz kullanımı ile ilişkilidir; aralığın üst sınırı, nispeten yüksek kükürt içerikli hammaddelerin kullanımı ve/veya kükürt içeren yakıtların kullanımı ile ilişkilidir. (2) SO_x emisyonlarını azaltmak için en iyi MET kombinasyonunu değerlendirmek üzere ortamlar arası etkiler dikkate alınmalıdır. (3) Yaş gaz yıkayıcının uygulanmadığı durumlarda MET-İES'ler, hammaddelerin ve yakıtların kükürt içeriğine bağlıdır. Bu durumda, en az % 60'lık SO_x emisyon giderme verimliliği sağlandığında MET-İES <1 500 mg/Nm³'tür.		

4.4.5 Proses kayıpları/atıklar

66. Proses kayıplarını/israfını azaltmak/en aza indirmek için MET, çeşitli tür toplanmış magnezyum karbonat tozlarını proseste yeniden kullanmaktır.

Uygulanabilirlik

Genel olarak uygulanabilir, toz kimyasal bileşimine tabidir.

67. Proses kayıplarını/israfını azaltmak/en aza indirmek için MET, geri dönüştürülemez olduklarında diğer satılabilir ürünlerden toplanan çeşitli magnezyum karbonat tozlarını kullanmaktır.

Uygulanabilirlik

Magnezyum karbonat tozlarının diğer satılabilir ürünlerde kullanılması işletmecinin kontrolünün dışında bir husus olabilir.

68. Proses kayıplarını/israfını azaltmak/en aza indirmek için MET, baca gazı kükürt giderme yaşı prosesinden kaynaklanan çamuru proseste veya diğer sektörlerde yeniden kullanmaktır.

Uygulanabilirlik

Baca gazı kükürt giderme yaşı prosesinden kaynaklanan çamurun diğer sektörlerde kullanılması işletmecinin kontrolü dahilinde olmayabilir.

4.4.6 Atıkların yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılması

69. Magnezyum oksit fırınlarında yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılacak atıkların gerekli özelliklerini sağlamak için MET aşağıdaki teknikleri uygulamaktır:

	Teknik
a	Proses ve brülör için uygun atıklar seçmek
b	Atıkların gerekli özelliklerini sağlamak ve kontrol etmek için kalite güvence sistemleri uygulanması ve herhangi bir atığı (kullanılacak olan) aşağıdakiler için analiz etmek: I. mevcudiyet II. kalite istikrarı III. fiziksel kriterler, örn. emisyon oluşumu, kalınlık, reaktivite, yanabilirlik, ısı değeri IV. kimyasal kriterler, örn. klor, kükürt, alkali ve fosfat içeriği ve ilgili metal (örn. toplam krom, kurşun, kadmiyum, cıva, talyum) içeriği
c	Kullanılacak herhangi bir atık için, toplam halojen içeriği, metaller (örn. toplam krom, kurşun, kadmiyum, cıva, talyum) ve kükürt gibi ilgili parametrelerin miktarını kontrol etmek

Uygulanabilirlik

Atıklar, mevcudiyet, kullanılan fırın tipi, istenen ürün nitelikleri ve fırına yakıt beslemenin teknik imkanına bağlı olarak manyezi endüstrisinde yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılabilir, bununla birlikte 2007 yılı itibarıyla manyezi endüstrisinde henüz uygulamaları yoktur.

TEKNİKLERİN AÇIKLAMALARI

4.5 Çimento endüstrisi için tekniklerin açıklamaları

4.5.1 Toz emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Elektrostatik toz tutucular	Elektrostatik toz tutucular (ESP'ler) partikül maddelerin hava akımı içinde izlediği yol boyunca bir elektrostatik alan oluşturur. Partiküller negatif yüklü hale gelirler ve pozitif yüklü toplama plakalarına doğru hareketlenirler. Toplama plakaları periyodik olarak sallanarak veya titretilerek materyalin yerinden oynaması ve altta bulunan toplama hunilerine düşmesi sağlanır. Partiküllerin yeniden yakalanmalarını, böylelikle baca gazı görünürlüğünü etkileme potansiyelini en aza indirmek amacıyla ESP'lerin sallanma döngülerinin optimize edilmesi önemlidir. ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve yüksek nem şartlarında çalışabilmeleridir. Bu tekniğin en büyük dezavantajı yüksek klor ve kükürt girişleri yüzünden oluşabilecek yalıtım tabakası ve materyal birikimi nedeniyle verimliliklerinin düşmesidir. ESP'lerin genel performansı bakımından CO aşımlarından kaçınmak önemlidir. Çimento endüstrisindeki çeşitli proseslerde ESP'lerin uygulanabilirliği konusunda herhangi bir teknik kısıtlama olmamasına rağmen, yatırım maliyetleri ve çalıştırma ve kapatma sırasındaki verimin düzeyi (emisyonlar nispeten yüksektir) nedeniyle çimento değirmeni toz giderimi için genelde tercih edilmezler.
b	Torba filtreler	Torba filtreler verimli toz toplayıcılardır. Torbalı filtrelemenin temel prensibi, gazı geçirecek ancak tozu tutacak kumaş membranının kullanılmasıdır. Filtre ortamı geometrik olarak düzenlenmiştir. Başlangıçta toz hem yüzeydeki lifler üzerinde hem de kumaşın derinlerinde birikir, ancak yüzey tabakası oluştuğunda tozun kendisi baskın filtre ortamı haline gelir. Çıkan gaz torbanın içinden dışarıya doğru veya dışından içeriye doğru akabilir. Toz keki kalınlaştıkça gaz akışına karşı direnç artar. Bu nedenle filtre boyunca gaz basıncı düşüşünü kontrol etmek için filtre ortamının periyodik olarak temizlenmesi gereklidir. Torba filtrede, herhangi bir torba arızası sırasında bireysel olarak izole edilebilen birden fazla bölme olmalı ve bunların sayısı herhangi bir bölme devre dışı bırakıldığında yeterli performansı sağlamaya yeterli olmalıdır. Her bölmede, torbanın patlaması halinde bakıma ihtiyaç olduğunu belirten 'patlak torba detektörleri' bulunmalıdır. Filtre torbaları, çeşitli dokuma ve dokuma olmayan kumaşlardan yapılmaktadır. Modern sentetik kumaşlar 280 °C 'ye varan oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Torba filtrelerin performansı, esas olarak filtre ortamının baca gazı ve tozunun özellikleri ile uyumluluğu, hidroliz, asit ve alkali gibi termal, fiziksel ve kimyasal direnç için uygun özellikler ile oksidasyon ve proses sıcaklığı gibi farklı parametrelerden etkilenir. Tekniğin seçiminde baca gazlarının nemi ve sıcaklığının dikkate alınması gerekir.
c	Hibrit filtreler	Hibrit filtreler ESP'lerin ve torba filtrelerin aynı cihazda birleştirilmiş halidir. Bunlar genellikle mevcut ESP'lerin dönüştürülmesi yoluyla oluşturulurlar. Eski teçhizatın kısmen tekrar kullanımına olanak sağlarlar.

4.5.2 NO_x emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Birincil tedbir/teknikler	
	I Alev soğutma	Bir akışkanın (sıvı) veya iki akışkanın (sıvı ve sıkıştırılmış hava veya katılar) enjeksiyonu gibi farklı enjeksiyon yöntemleri kullanılarak yakıtı veya doğrudan alev su eklenmesi ya da yüksek su içeriğine sahip katı/sıvı atıkların kullanılması, sıcaklığı düşürür ve hidroksil radikallerinin derişimini artırır. Bu, yanma bölgesindeki NO _x azaltımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir.
	II Düşük NO _x brülörleri	Düşük NO _x brülörlerinin (dolaylı pişirme) tasarımlarının detayları değişiklik gösterebilir, ancak temelde yakıt ve hava fırına konsentrik borular vasıtasıyla enjekte edilir. Birincil hava oranı stokiyometrik yanma için gerekli olan havanın % 6 – 10'una indirilir (geleneksel brülörlerde genellikle % 10 – 15). Eksenel hava dış kanala yüksek momentumla enjekte edilir. Kömür merkezi boru veya orta kanal vasıtasıyla üflenebilir. Üçüncü bir kanal hava girdabı için kullanılır, girdap, pişirme borusunun çıkışında veya arkasında bulunan kanatçıklar tarafından oluşturulur. Bu brülör tasarımının net etkisi, özellikle yakıtın içinde bulunan uçucu bileşiklerin oksijen açısından yetersiz atmosferde çok erken ateşlenmelerini sağlamak olup, bu durum NO _x oluşumunun azaltmasına yol açar. Düşük NO _x brülörleri uygulandığında NO _x emisyonlarında her zaman azalma gerçekleşmez. Brülörün kurulumunun optimize edilmesi gerekir
	III Fırın ortasında pişirme	Uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda parça yakıt atıkların yakılması nedeniyle oluşan indirgeyici bölge NO _x emisyonlarını azaltabilir. Uzun fırınların genelde 900-1000 °C sıcaklık aralığına erişememeleri nedeniyle ana brülörden geçemeyen, örneğin lastikler gibi yakıt atıkların kullanılmasını sağlamak için fırın ortası pişirme sistemleri kurulabilir. Yakıtların yanma hızı kritik öneme sahip olabilir. Çok yavaş olduğu takdirde yanma bölgesinde ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyebilecek indirgen koşullar oluşabilir. Çok hızlı olduğu takdirde fırının zincir bölümü aşırı derecede ısınabilir ve bunun sonucunda zincirler yanabilir. 1100 °C'nin altında sıcaklık aralığı, % 1'den fazla klor içeriği olan tehlikeli maddelerin kullanımı ihtimalini ortadan kaldırır
	IV Farinin yanabilirliğini iyileştirmek için mineralleştiricilerin eklenmesi (mineralize klinker)	Florin gibi mineralleştiricilerin hammaddeye eklenmesi klinker kalitesini ayarlamak ve sinterleme bölgesinin sıcaklığını azaltmak için uygulanan bir tekniktir. Pişirme sıcaklığını azaltmak/düşürmek suretiyle NO _x oluşumu da azaltılmış olur
	V Proses optimizasyonu	Fırın işletme ve pişirme koşullarının düzeltilmesi ve optimize edilmesi, fırın işletim kontrolünün ve/veya yakıt besleme homojenizasyonunun optimize edilmesi gibi proses optimizasyonu süreçleri, NO _x emisyonlarının azaltılmasında uygulanabilir. İyileştirilmiş dolaylı pişirme tedbiri/tekniki, optimize edilmiş soğutucu bağlantıları ve yakıt seçimi ve optimize edilmiş oksijen seviyeleri, proses kontrol tedbirleri/teknikleri gibi genel birincil optimizasyon teknikleri uygulanmıştır.

	Teknik	Tanım
b	Kademeli yanma (genelleşmiş yakıt veya yakıt atıklar), aynı zamanda ön kalsinatör ile birlikte ve optimize edilmiş yakıt karışımı kullanarak	Özel olarak tasarlanmış ön kalsinatöre sahip çimento fırınlarında kademeli yakma uygulanmaktadır. Birinci yanma kademesi döner fırında klinker pişirme prosesi için optimum koşullar altında meydana gelir. İkinci yanma kademesi fırın girişinde yer alan bir brülördür ve sinterleme bölgesinde oluşan azot oksitlerin bir bölümünü ayrıştıran indirgeyici atmosferi oluşturur. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık özellikle NO_x unsurlarını yeniden element azota dönüştüren reaksiyon için çok uygundur. Üçüncü yanma kademesinde kalsinasyon yakıtı bir miktar üçüncül hava ile kalsinatöre beslenir ve orada da bir indirgeyici atmosfer oluşturur. Bu sistem yakıttan NO_x oluşumunu ve aynı zamanda fırından NO_x çıktısını da azaltır. Dördüncü ve son yanma kademesinde geriye kalan üçüncül hava artıkları, yakılmak üzere sisteme 'üst hava' olarak beslenir
c	SNCR	Seçici katalik olmayan indirgemede (SNCR) N_2 oluşturmak üzere NO indirgemek için yanma gazına amonyak suyu (% 25'e kadar NH_3), amonyak öncül bileşikler veya üre çözeltisi enjekte edilir. Reaksiyon yaklaşık 830 ila 1 050 °C sıcaklık penceresinde optimum etkiye sahiptir ve enjekte edilen maddelerin NO ile reaksiyona girebilmeleri için yeterli tutma süresi sağlanmalıdır.
d	SCR	SCR, yaklaşık 300 – 400 °C sıcaklık aralığında NH_3 ve bir katalizör yardımıyla N_2 oluşturmak üzere NO ve NO_2 indirger. Bu teknik, diğer endüstrilerde (kömürle çalışan elektrik santralleri, atık yakma fırınları) NO_x azaltımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimento endüstrisinde temel olarak iki sistem göz önünde bulundurulur: toz giderme ünitesi ile baca arasında düşük toz konfigürasyonu ve ön ısıtıcı ile toz giderme ünitesi arasında yüksek toz konfigürasyonu. Düşük tozlu baca gazı sistemleri, toz gidermeden sonra baca gazlarının yeniden ısıtılmasını gerektirir, bu da ek enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir. Teknik ve ekonomik nedenlerle yüksek tozlu sistemler tercih edilir görülmektedir. Bu sistemler yeniden ısıtma gerektirmez, çünkü ön ısıtma sisteminin çıkışındaki atık gaz sıcaklığı genellikle SCR çalışması için doğru sıcaklık aralığındadır.

4.5.3 SO_x emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Soğurucu ilavesi	Emici ham maddelere eklenir (örn. sönmüş kireç ilavesi) veya gaz akımına enjekte edilir (örn. sönmüş kireç (Ca(OH)₂), sönmemiş kireç (CaO), yüksek CaO içerikli aktif duman külü veya sodyum bikarbonat (NaHCO₃)). Sönmüş kireç farin değirmeni hammadde bileşenleri ile birlikte verilebilir veya doğrudan fırın beslemesine ilave edilebilir. Sönmüş kireç ilavesinin bir avantajı, kalsiyum içeren katkı maddesinin doğrudan klinker yakma prosesine katılabilen reaksiyon ürünlerini oluşturmaktır. Gaz akımına soğurucu enjeksiyonu, kuru veya yaş olarak (yarı kuru yıkama) uygulanabilir. Soğurucu, suyun çığırma noktasına yakın sıcaklıklarda, baca gazının geçiş yoluna enjekte edilir ve böylelikle SO₂ tutulması için daha uygun koşullar oluşur. Çimento fırın sistemlerinde bu sıcaklık aralığı farin değirmeni ile toz toplayıcının arasındaki alanda sıklıkla meydana gelmektedir.
b	Yaş gaz yıkayıcı	Yaş gaz yıkayıcı, kömürle çalışan enerji santrallerinde baca gazı kükürt giderimi için en yaygın kullanılan tekniktir. Çimento üretim prosesleri için, SO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik yaş proses alışıldık bir tekniktir. Yaş yıkama aşağıdaki kimyasal reaksiyona dayanmaktadır: $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ SO_x, bir püskürtme kulesine püskürtülen bir sıvı/bulamaç tarafından emilir. Soğurucu genellikle kalsiyum karbonattır. Yaş yıkama sistemleri, tüm baca gazı kükürt giderme (FGD) yöntemleri arasında çözünür asit gazlarının giderilmesinde en yüksek verimliliği, stokiyometrik faktör aşırımları ve katı atık üretim oranı en düşük olacak şekilde sağlar. Teknik, belirli miktarlarda su gerektirir ve bunun sonucunda atık su arıtmaya ihtiyaç duyulur.

4.6 Kireç endüstrisine yönelik tekniklerin açıklamaları

4.6.1 Toz emisyonları

	Teknik	Tanım
a	ESP	ESP'lerin genel bir açıklaması belgenin 1.5.1 kısmında verilmiştir. ESP'ler çiy noktasının üzerindeki ve 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklar için kullanıma uygundur. Ayrıca, çiy noktasına yakın veya altında sıcaklıklarda da ESP kullanımı mümkündür. Yüksek hacimli akışlar ve nispeten yüksek toz yükleri nedeniyle, esas olarak ön ısıtıcısız döner fırınların yanı sıra ön ısıtıcılı döner fırınlar da ESP'lerle donatılmıştır. Söndürme kulesi ile kombinasyon durumunda mükemmel performans elde edilebilir
b	Torba filtre	Torba filtrelerin genel bir açıklaması Bölüm 1.5.1'de verilmiştir. Torba filtreler kireçtaşının yanı sıra sönmemiş kirece yönelik fırınlar, öğütme tesisleri için, aynı zamanda kireç söndürme tesisleri, malzeme taşımacılığı, depolama ve yükleme tesisleri için oldukça uygundurlar. Siklon ön filtrelerle beraber kullanım çoğu zaman faydalıdır. Torba filtrelerin çalışması, sıcaklık, nem, toz yükü ve kimyasal bileşim gibi baca gazı koşulları yönünden kısıtlıdır. Bu koşullara yanıt vermek için mekanik, termal ve kimyasal aşınmaya direnç gösterebilecek çeşitli kumaş malzemeleri mevcuttur.
c	Yaş toz ayırıcısı	Yaş toz ayırıcıları ile, gaz akışının yıkama sıvısı (genellikle su) ile yakın teması sağlanır, böylece toz partikülleri sıvıda tutulur ve durulanabilir, bu sayede çıkış gazı akımlarından kaynaklanan toz ortadan kaldırılır. Toz giderme için bir dizi farklı yaş gaz yıkayıcı tipi mevcuttur. Kireç fırınlarında kullanılan başlıca türler çok aşamalı yaş gaz yıkayıcılar, dinamik yaş gaz yıkayıcılar ve venturi yaş gaz yıkayıcılarıdır. Kireç fırınlarında kullanılan yaş gaz yıkayıcıların çoğu çok kademeli yaş gaz yıkayıcılarıdır. Yaş gaz yıkayıcılar, baca gazı sıcaklıkları çiy noktasına yakın veya altında olduğunda tercih edilir. Bu, alanın sınırlı olduğu durumlarda da geçerli olabilir. Yaş gaz yıkayıcılar bazen daha yüksek sıcaklıktaki gazlarla kullanılır, bu durumda su gazları soğutur ve hacimlerini azaltır
d	Santrifüjlü ayırıcı/siklon	Siklon/santrifüjlü ayırıcıda, çıkış gazı akışından gelen toz partikülleri merkezkaç eylemiyle ünitenin dış duvarına itilir ve ünitenin dibindeki bir açıklıktan atılır. Merkezkaç kuvveti, gaz akışını aşağı doğru spiral bir hareketle silindirik şeklinde bir kaba yönlendirerek (siklonlu ayırıcılar) veya üniteye dönen bir pervane takılarak (mekanik santrifüjlü ayırıcılar) oluşturulabilir. Ancak, sınırlı partikül giderme verimleri nedeniyle yalnızca ön ayırıcı olarak uygundurlar. ESP'leri ve torba filtreleri fazla toz yükünden kurtarır ve aşınma sorunlarını azaltırlar

4.6.2 NO_x emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Brülör tasarımı (düşük NO _x brülörleri)	Düşük NO _x brülörleri alev sıcaklığının azaltılmasıyla elde edilen termal (bir düzeye kadar) ve yakıt kaynaklı NO _x azaltımı için faydalıdır. NO _x azaltımı, alev sıcaklığının azaltılması için temiz hava ikmali veya brülörlerin atımlı çalıştırılması ile sağlanır. Düşük NO _x brülörleri, daha düşük NO _x oluşumuna yol açan birincil hava kısmını azaltmak için tasarlanmış olup, yaygın çok kanallı brülörler, toplam yanma havasının %10 ila 18'lik birincil hava bölümü ile çalıştırılır. Birincil havanın daha yüksek olan kısmı, sıcak ikincil hava ve yakıtın erken karıştırılmasıyla kısa ve yoğun bir alev yol açar. Bu, düşük NO _x brülörleri kullanılarak önlenebilecek yüksek miktarda NO _x oluşumuyla birlikte yüksek alev sıcaklıkları ile sonuçlanır
b	Hava kademelendirme	Birincil reaksiyon bölgelerindeki oksijen tedarikinin azaltılmasıyla bir indirgeme bölgesi oluşturulur. Bu bölgedeki yüksek sıcaklıklar özellikle NO _x unsurlarını yeniden element azota dönüştüren reaksiyon için çok uygundur. Takip eden yanma bölgelerinde, oluşan gazları oksitlemek için hava ve oksijen beslemesi artırılır. Hem CO hem NO _x seviyelerinin düşük tutulmasını sağlamak için ateşleme bölgesinde etkili hava/gaz karıştırma gereklidir. 2007 yılında kireç sektöründe hava kademelendirme hiç uygulanmamıştı
c	SNCR	Baca gazlarından gelen azot oksitler (NO ve NO ₂) seçici katalitik olmayan indirgeme ile giderilir ve fırına azot oksitlerle reaksiyona giren bir indirgeyici maddenin enjekte edilmesiyle azot ve suya dönüştürülür. Amonyak veya üre tipik olarak indirgeyici madde olarak kullanılır. Reaksiyonlar, tipik optimum aralık 900 ila 920 °C arasında olmak üzere, 850 ile 1020 °C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir

4.6.3 SO_x emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Soğurucu ilavesi teknikleri	Teknik, SO_x emisyonlarını ortadan kaldırmak üzere doğrudan fırına kuru formda (beslenerek veya enjekte edilerek) veya baca gazlarına kuru ya da ıslak formda soğurucu (örn. sönmüş kireç veya sodyum bikarbonat) eklenmesini içerir. Baca gazlarına soğurucu enjekte edildiğinde, verimli soğurma elde etmek için enjeksiyon noktası ile toz toplayıcı (torba filtre veya ESP) arasında yeterli kalma süresi sağlanmalıdır. Döner fırınlar için soğurma teknikleri şunları içerebilir: ☐ İnce kireçtaşı kullanımı: Dolomit ile beslenen düz bir döner fırında, ya yüksek miktarda ince kırılmış kireçtaşı içeren ya da ısıtıldığında kırılmaya meyilli olan besleme taşları ile SO₂ emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelebilir. İnce kırılmış kireçtaşı kalsinleri, fırın gazlarında sürüklenir ve toz toplayıcıya giderken ve toz toplayıcının içinde SO₂ unsurunu giderir. ☐ Yanma havasına kireç enjeksiyonu: Fırının pişirme başlığına beslenen havaya ince kırılmış sönmüş veya sönmemiş kirecin enjekte edilmesiyle döner fırın kaynaklı SO₂ emisyonlarının azaltılmasını açıklayan bir patentli teknik (EP 0 734 755 A1) mevcuttur

4.7 Manyezi endüstrisine yönelik tekniklerin açıklamaları (kuru işleme güzergahı)

4.7.1 Toz emisyonları

	Tedbir/teknik	Tanım
a	Elektrostatik toz tutucular (ESP)	ESP'lerin genel bir açıklaması belgenin 1.5.1 kısmında verilmiştir
b	Torba filtreler	Torba filtrelerin genel bir açıklaması Bölüm 1.5.1'de verilmiştir Torba filtre kullanan tesislerde partikül tutma oranı yüksek olup, partikül büyüklüğüne bağlı olarak, tipik olarak % 98-99'a kadar çıkar. Bu teknik, manyezi endüstrisinde kullanılan diğer toz azaltma tedbirlerine kıyasla en iyi partikül toplama verimliliğini sunar. Ancak fırın baca gazlarının yüksek sıcaklıkları nedeniyle yüksek sıcaklıkları tolere edebilen özel filtre malzemelerinin kullanılması gerekmektedir. DBM imalatında PTFE (Teflon) filtre malzemesi gibi 250 °C'ye varan sıcaklıklarda çalışan filtre malzemeleri kullanılmaktadır. Bu filtre malzemesi asitlere veya alkalilere karşı iyi direnç gösterir ve birçok korozyon sorunu çözülmüştür
c	Siklonlar (santrifüjlü ayırıcı)	Siklonların genel bir açıklaması belgenin 1.6.1 kısmında verilmiştir. Teçhizat sağlamdır ve düşük enerji gereksinimi ile geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptir. Sisteme bağlı olan sınırlı ayırma düzeyi nedeniyle, siklonlar esas olarak kaba toz ve baca gazları için ön ayırıcılar olarak kullanılır.
d	Yaş toz ayırıcıları	Yaş toz ayırıcılarının (yaş gaz yıkayıcılar olarak da bilinir) genel açıklaması Bölüm 1.6.1'de verilmiştir Yaş toz ayırıcıları, tasarımları ve çalışma prensiplerine göre örneğin venturi tipi gibi çeşitli türlere ayrılabilir. Bu tip yaş toz ayırıcılar, gazın venturi tüpünün en dar bölümünde 'venturi boğazından' yönlendirildiği ve 60 ila 120 m/s arasında gaz hızlarına ulaşıldığı durumlar dahil olmak üzere, manyezi endüstrisinde bir dizi uygulama alanına sahiptir. Venturi boğazına beslenen yıkama sıvıları, çok ince damlacıklardan oluşan bir buğu halinde yayılır ve gazla yoğun bir şekilde karışır. Su damlacıkları üzerinde ayrılan parçacıklar daha ağır hale gelir ve venturi tipi yaş toz ayırıcıya takılan bir damla ayırıcı kullanılarak kolaylıkla çekilebilir.

4.7.2 SO_x emisyonları

	Teknik	Tanım
a	Soğurucu ilavesi tekniği	Teknik, SO _x emisyonlarını gidermek için baca gazlarına kuru veya ıslak formda (yarı kuru temizleme) bir soğurucunun enjeksiyonunu içerir. Enjeksiyon noktası ve toz toplayıcı arasında yeterli gaz kalma süresinin sağlanması, soğurmanın yüksek verimli olması açısından çok önemlidir. Reaktif MgO sınıfları, manyezi endüstrisinde verimli SO ₂ soğurucuları olarak kullanılabilir. Diğer soğuruculara göre daha düşük verimliliğe sahip olmasına rağmen, reaktif MgO sınıflarının kullanımı, azalan yatırım maliyetleri ve filtre tozunun diğer maddelerle kirlenmemesi sayesinde gübre (magnezyum sülfat) olarak veya manyezi üretiminde hammadde ikamesi olarak kullanılabilmesi yönünden avantaj sağlar.
b	Yaş gaz yıkayıcı	Yaş gaz yıkama tekniğinde SO _x , bir püskürtme kulesinde baca gazlarına karşı akışimli olarak püskürtülen bir sıvı/bulamaç tarafından emilir. Teknik, 5 ila 12 m ³ /ton ürün aralığında su gerektirir ve bunun sonucunda atık su arıtmaya ihtiyaç duyulur.

5 SON DEĞERLENDİRMELER VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALARA YÖNELİK ÖNERİLER

CLM MET-Ref gözden geçirme sürecinin zamanlaması ve EED kapsamındaki dönüşüm

Çimento ve kireç MET-Ref belgesinin gözden geçirilmesi için başlangıç toplantısı IPPC Direktifi çerçevesinde Eylül 2005'te yapılmıştır. TÇG, bu belgenin kapsamını genişletmeyi ve kuru işleme güzergahının kullanıldığı magnezyum oksit (MgO/manyezi) üretimine ilişkin olarak, çimento ve kireç MET-Refine ek bir sanayi sektörü eklemeyi kabul etmiştir. Bilgi ve veri toplama döneminden sonra, MET-Ref belgesinin gözden geçirilmesi için kullanılması gereken bilgi ve verilerin doğrulanması ve üzerinde anlaşmaya varılması için Şubat 2007'de ikinci bir TÇG toplantısı yapıldı. TÇG ayrıca, bu belgenin gözden geçirilmesi için, 1 – 4 kısımları üzerine tartışmalar ile çimento, kireç ve magnezyum oksit olmak üzere üç bölümün MET kısımlarını ayırmak üzere prosedür istisnası talep etti.

TÇG talebine dayanarak ve MET-Ref gözden geçirmesi genel takvimini (Aralık 2005) hesaba katarak IEF, 1 – 4 kısımları üzerine tartışmalar ile çimento, kireç ve magnezyum oksit olmak üzere üç bölümün MET kısımlarını ayırmayı kabul etti.

Gözden geçirilmiş ilk CLM MET-Ref taslağı, Eylül 2007'de istişare için yayınlandı. İlk taslağın MET ve MET sonuçlarının belirlenmesinde dikkate alınacak tekniklere ilişkin kısımları içine alan ikinci bölümü, Mayıs 2008'de istişare için yayınlandı. Nihai TÇG toplantısı Eylül 2008'de gerçekleştirildi.

MET-Ref'lerin gözden geçirilmesine yönelik genel programa (Aralık 2005) dayalı olarak çimento ve kireç MET-Ref belgesinin revizyonu, Aralık 2001'de kabul edilen ilk belgenin baştan yazımını gerektirmedi. Bununla birlikte mevcut belge güncellendi ve MET sonuçları üzerinde etkisi olabilecek, gözden geçirilmiş ek bilgi (örneğin tekniklerle ilgili) dahil edildi. Bilgi alışverişi ve veri toplama, TÇG'nin isteklerine ve ikinci TÇG toplantısında (Ocak 2007) kararlaştırılan sonuçlara dayanıyordu.

CLM MET-Ref kabul edildi ve IPPC Direktifi çerçevesinde 2010 yılında yayınlandı (2008/1/AK). Şubat 2012'de Avrupa Komisyonu, CLM MET-Ref'ini, içinde yer alan MET sonuçlarının EED'nin uygulanması için kullanılabileceği bir belgeye dönüştürmeye karar verdi. Şubat 2012'de TÇG'ye danışılmak üzere taslak MET sonuçları yayınlandı. Taslak MET sonuçlarının tartışılması ve bunların IPPC Direktifi çerçevesinde Eylül 2008'de yapılan nihai TÇG toplantısında TÇG tarafından kabul edilen sonuçların teknik içeriğini doğru bir şekilde yansıttığının doğrulanması için Mayıs 2012'de bir TÇG toplantısı düzenlendi. Mevcut belge, 2010/75/AB sayılı Direktif kapsamında kabul edilmek üzere uyarlanmış MET sonuçlarını içermektedir. CLM MET-Ref'in EED hükümlerine uyarlanması sırasında, her üç sektör için MET sonuçları yeni bir Bölüm 4'te ve mevcut son değerlendirmeler yeni bir Bölüm 5'te toplanmıştır.

5.1 Çimento sektörü

Bilgi kaynakları ve bilgi eksiklikleri

Bu gözden geçirilmiş çimento bölümü, pek çok belgenin yanı sıra hem endüstriden hem de Üye Devletlerden bilgi sağlayan 50'den fazla kaynağa dayanmaktadır. Raporlar, Avrupalı çimento üreticilerinin çoğunluğunu temsil eden endüstri birliği CEMBUREAU ile birlikte Üye Devletler Almanya, Avusturya, İsveç, Fransa, Birleşik Krallık, İrlanda, Hollanda, İtalya, Macaristan, Estonya, İspanya, Portekiz, Finlandiya ve Çek Cumhuriyeti tarafından sunulmuştur. Ayrıca, AB'nin tehlikeli atık yakma sektörünün çoğunluğunu temsil eden endüstri birliği EURITS ve Norveç'teki bir teçhizat tedarikçisi tarafından çimento sektörüne ilişkin bilgi sağlandı. Bu belgeler, bu çimento bölümünün revize edilmiş kısımlarının yapı taşları olarak kabul edilebilir.

Birleşik Krallık, Avusturya, Almanya, Belçika, İspanya, Finlandiya ve Macaristan'daki çimento üretim tesisleri ziyaret edilerek ek faydalı bilgiler elde edildi.

Bazı hususlara ilişkin olarak sağlanmış çok faydalı bilgiler ve yorumlara rağmen, bir dizi veri problemi ve çimento bölümü açısından bunların sonuçları üzerinde durulmalıdır:

- ☐ periyodik ölçümlerin durumunda, ölçüm sıklığına ilişkin bilgi eksikliği vardır
- ☐ cıva emisyonlarının yanı sıra, cıva emisyonları ile cıvanın azaltılması için mevcut olan teknik seçenekler arasındaki bağlantı konusunda bilgi eksikliği vardır
- ☐ bir düzeye kadar, emisyonlar (örn. cıva emisyonları) için izleme teknikleri ve ölçüm sistemlerine ilişkin bilgi tutarsızdır
- ☐ aktif karbon kullanımıyla ilgili olarak, bir takım diğer havaya emisyonlara da yönelik bir çoklu kirletici azaltma tekniği olarak görülmektedir, yalnızca SO_x emisyon azaltımı için bilgi ve veri sağlandığı gözlemlenmiştir
- ☐ verilerin tesise özel olmasından dolayı, AB-27'de örneğin karakteristik ve parametreler açısından farklılık gösteren girdi verisi sağlanmıştır. Bu bağlamda sunulan veriler birçok özel detayı göstermekle beraber, bu hususta genel kantitatif ifadelerde bulunmanın zor olduğuna ve karşılık gelen MET sonucunun kalitatif bir yaklaşıma dayalı olduğuna işaret etmektedir
- ☐ gelişmekte olan bir teknik olarak, çimento üretimi için akışkan yatak tekniği açıklanmıştır (bkz. Bölüm 1.5.1); ancak bu tekniğin nasıl geliştirilebileceği/geliştirilmesi gerektiği konusunda TÇG tarafından herhangi bir bilgi verilmedi.

Son CLM TÇG toplantısında, cıva emisyonlarının kaynağı ve olası azaltma teknikleri hakkında ayrıntılı bir tartışma yapıldı. Tartışma şunları gösterdi:

- ☐ cıva emisyonlarının seviyesi esas olarak hammadde bileşiminden etkilenir. Sağlanan emisyon verileriyle ilgili olarak, 0,05 mg/Nm³'ün altındaki seviyelerin elde edilebileceği gösterilmiştir; ancak bu düşük seviyelerin nereden geldiğine dair herhangi bir kanıt mevcut değildi. CEMBUREAU, bu cıva emisyonlarına ve konunun tüm tesisleri ne yönden ilgilendirdiğine dair daha iyi bir anlayış sunmak için bu konuda araştırma yapmayı kabul etti. CEMBUREAU, bu CLM MET-Ref belgesinin bir sonraki revizyonu için bu konuyla ilgili eksiksiz bir veri seti bulmaya çalışacaktır
- ☐ cıva emisyonlarının sürekli izlenmesi, cıvanın sürekli olarak izlenmesine ilişkin yasal olarak bağlayıcı gereklilikler nedeniyle Almanya ve Avusturya'da gerçekleştirilmektedir (Almanya'da 2000'den beri). 2008 yılında Alman çimento endüstrisinde 34 adet cıvaya yönelik CEM (Sürekli Emisyon İzleyicileri) faaliyettedir. İzleme cihazları üzerine araştırma yürütülmekteydi ve 2008'e kadar CEM'lerin performansı genel olarak düzgün çalışma ve güvenilir sonuçlar verme açısından geliştirildi. Genel olarak, bazı durumlarda ek bakımın yapılması gerektiği sonucuna varıldı. Bazı diğer durumlarda ise yetkili merciler bireysel başvuru için piyasada mevcut cihazların uygun hale getirilmek üzere

değiştirilmesini gerektirmekteydi. CEM'lerin uygun şekilde kullanılmadığı durumlar nadirdir (%10). Bu cihazların uzun vadeli istikrarına ilişkin nihai sonuçlar henüz mevcut değildir. CEM'lerin periyodik bakım aralıklarının, gelecekteki deneyimlere göre ayarlanması gerekecektir. Ekim 2007'de Alman UBA, bu cıva ölçüm cihazlarının tedarikçilerine ve sağlayıcılarına deneyimlerini sordu. Sonuç olarak, CEM'lerin çoğunun bakım prosedürleri için gereksinimleri de belirleyen kalite güvence kılavuzları artık mevcuttur. Bununla birlikte, CEM'lerin Avrupa standardı EN 14181'e göre uygun şekilde kalibrasyonu bir zorluk teşkil etmektedir. Cıva CEM'lerinin durumunda bu kalibrasyon prosedürü, örneğin toz veya NO_x gibi diğer emisyonlara yönelik CEM'lerden daha fazla çaba gerektirir. Periyodik kalite güvence prosedürleri yalnızca deneyimli personel tarafından gerçekleştirilmelidir. Devam etmekte olan geliştirme süreci takip edilmelidir. Sonuçlar bu CLM BREF belgesinin bir sonraki revizyonu için dikkate alınmalı ve cıva emisyonlarının sürekli ölçümü hakkında genel kantitatif açıklamalarda bulunmak için bu konuyla ilgili bilgi ve veriler toplanmalıdır.

Devam etmekte olan araştırma süreci takip edilmeli ve iyileştirmeler ve gelişmeler açısından çalışmalar yapılmalıdır. Sonuçlar bu CLM BREF belgesinin bir sonraki revizyonu için dikkate alınmalı ve cıva emisyonlarının sürekli ölçümü hakkında genel kantitatif açıklamalarda bulunmak için bu konuyla ilgili bilgi ve veriler toplanmalıdır.

Bilgi alışverişinde ulaşılan fikir birliğinin düzeyi

Çimento faslına ilişkin çalışmaların sonuçları, Eylül 2008'deki nihai TÇG toplantısında ve Mayıs 2012'deki TÇG toplantısında kararlaştırıldı. Çimento endüstrisi için MET (mevcut en iyi teknikler) sonuçları üzerinde yüksek düzeyde fikir birliği sağlandı ve herhangi bir görüş ayrılığı kaydedilmedi.

Gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler

Çimento endüstrisine yönelik bilgi alışverişi ve bilgi alışverişinin sonucu/çıktısı, yani bu belgenin çimento endüstrisi bölümü, çimento üretimi için entegre kirlilik koruma ve kontrolünün sağlanması amacıyla atılan önemli bir adımı temsil etmektedir. Süreç, aşağıdaki konular üzerine yapılacak olan yeni çalışmalarla devam ettirilebilir:

- ☐ belirli tekniklerin performansının, özellikle potansiyel MET'in tesis düzeyinde değerlendirilmesine olanak sağlamak üzere, verilerin toplanmasına ve MET referans belgelerinin hazırlanmasına ilişkin 2012/119/AB sayılı Komisyon Uygulama Kararındaki rehberliği dikkate alarak veri toplamak
- ☐ proses tipi, kullanılan atık (tip, miktarlar) ve emisyonlar arasındaki ilişki hakkında bilgi toplamak
- ☐ MET'in belirlenmesinde dikkate alınacak tüm tekniklerle ilgili maliyet verilerini (örneğin yatırım, işletme maliyetleri) toplamak
- ☐ azaltma tekniklerinin azaltım verimlilikleri ile birlikte maliyet verilerini toplamak
- ☐ enerji tüketimini en aza indirmek veya enerji verimliliğini arttırmaya yönelik seçeneklerle ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ kullanılan fırın türleriyle ilgili en iyi performans verileriyle birlikte enerji tüketimine ilişkin verileri toplamak
- ☐ NO_x emisyonlarının azaltılmasına ilişkin özellikle SCR ve SNCR tekniği ile ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ NH₃ emisyonları hakkında bilgi toplamak
- ☐ çoklu kirletici azaltma tedbiri/tekniği olarak kabul edilen aktif karbon hakkında daha fazla bilgi toplamak, örn. SO_x emisyonlarının azaltılması için
- ☐ emisyon izleme ve izleme sıklıkları hakkında bilgi toplamak, örn. periyodik ölçümler için, yetkililerin izin yükümlülüklerini/koşullarını kontrol edebilmesini sağlamak üzere
- ☐ İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belgenin revizyonunu ele almak

- ☐ TOK emisyonları hakkında bilgi toplamak
- ☐ metallerin (cıva) azaltılması için kullanılabilecek teknikleri araştırmak ve veri toplamak
- ☐ özellikle cıva ile ilgili tüm proses girdileri hakkında bilgi ve veri toplamak
- ☐ atık için girdi kriterleri ile ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ çimento endüstrisinde kullanılan sürekli cıva emisyonu izleme teknikleri hakkında bilgi toplamak
- ☐ akışkan yataklı çimento üretim tekniğine ilişkin bilgi toplamak
- ☐ çimento endüstrisindeki yarı kuru gaz yıkayıcıların azaltma tekniği hakkında bilgi toplamak
- ☐ çimento endüstrisindeki belirli kirleticilerin izlenmesi için kullanılan standart yöntemleri (ör. EN standartları, ISO standartları) dahil etmek.

Gelecekteki Ar-Ge çalışmaları için önerilen konular

Çimento endüstrisinde NO_x azaltımına yönelik SCR kullanımı için, halen uygun katalizörlerin geliştirilmesi ve sürecin daha da iyileştirilmesine ilişkin daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (bkz. MET 19 d, Bölüm 4.2.6.1).

Özellikle Gelişmekte Olan Teknikler Bölümünde (Bölüm 1.5) açıklanan teknikler konusunda; ileride de Ar-Ge çalışmalarının yapılması gerekli ve faydalı olacaktır, böylece bu teknikler de gelecekte çimento endüstrisinde MET'in belirlenmesinde göz önünde bulundurulabilir.

Komisyon, Araştırma ve Teknolojik Gelişim programları aracılığıyla; temiz teknolojiler, gelişmekte olan atık su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileriyle birlikte yönetim stratejilerine ilişkin bir dizi proje başlatmakta ve bunları desteklemektedir. Bu projeler, gelecekteki MET-Ref incelemelerine faydalı katkılarda bulunabilir. Bu nedenle okuyucuların, bu belgenin kapsamıyla ilgili araştırma sonuçları hakkında Avrupa IPPC Bürosunu bilgilendirmeleri rica olunur (ayrıca bkz. bu belgenin Önsözünün beşinci kısmı).

Bilgi kaynakları ve bilgi eksiklikleri

Bu gözden geçirilmiş çimento bölümü, hem endüstriden hem de Üye Devletlerden bilgi sağlayan 35'ten fazla belgeye dayanmaktadır. Raporlar, Avrupalı kireç üreticilerinin çoğunluğunu temsil eden endüstri birliği CEMBUROU ile birlikte Üye Devletler Almanya, Avusturya, Fransa, Finlandiya, Portekiz, İtalya, İspanya, Macaristan ve Çek Cumhuriyeti tarafından sunulmuştur. Bu raporlar, bu belgenin kireç bölümünün revize edilmiş kısımlarının yapı taşları olarak kabul edilebilir.

Avusturya, Almanya ve Finlandiya'daki kireç üretim tesisleri ziyaret edilerek ek faydalı bilgiler elde edildi.

Bazı hususlara ilişkin olarak sağlanmış çok faydalı bilgiler ve yorumlara rağmen, bir dizi veri problemi ve kireç bölümü açısından bunların karşılık gelen bazı sonuçları üzerinde durulmalıdır:

- ☐ fırın türleri ve farklı ürün türleriyle ilgili en iyi performans verilerinin yanı sıra enerji tüketimi konusunda bilgi eksikliği vardır; bununla birlikte MET sonuçları için enerji tüketimine dair bilgi alınabilmektedir
- ☐ emisyon izleme ve izleme sıklıkları hakkında bilgi eksikliği vardır, örn. periyodik ölçümlerle ilgili
- ☐ NO_x emisyonlarının indirgenmesi ve azaltılması için birincil teknikler kullanılır. 2008'de SNCR sadece Lepol fırınlarına uygulanmıştır (dört fırınlı bir kurulum). Bu SNCR test aşamasında olup toplam 2 yıldır kullanılmaktadır. SNCR'nin kireç endüstrisinde kullanımı için uzun vadeli deneyimlerden kaynaklanan bilgi ve veri eksiktir, örn. azaltma verimliliğiyle birlikte NO_x emisyonu için en iyi performans verileri, NH₃ kayması. 2008'de, NO_x azaltımı için SNCR'nin, Lepol fırınları dışında, kireç üretimi

- için kullanılan diğer döner fırın tiplerine uygulanıp uygulanamayacağı konusunda herhangi bir bilgi mevcut değildi
- ☐ CO emisyonları için, mevcut durumda MET-İES'i aşan emisyonlara sahip olan diğer şaft fırınların (OSK) türleri hakkında bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu şaft fırın tiplerinden bazıları için, spesifik teknik özellikler, CO için mutabık kalınan MET-İES'e ulaşılmasını engelleyebilir. Bu tür teknik özellikler, izin koşulları belirlenirken yetkili makamlar tarafından dikkate alınabilir.
 - ☐ ESP uygulamasında CO aşımının sıklığı ve süresine ilişkin bilgi eksiktir, bu nedenle ilgili MET sonucu kantitatif bir yaklaşıma dayanmaktadır
 - ☐ bir düzeye kadar, metal emisyonları konusunun yanı sıra, metal emisyonları (cıva) ve bunların azaltılması için kullanılabilecek mevcut teknik seçenekler arasındaki bağlantı konusunda bilgi eksikliği vardır
 - ☐ karışık besleme şaftlı fırınlar (MFSK'lar) ile ilgili olarak, TOK emisyonları ve azaltımına ilişkin bilgi eksiktir. Ayrıca, çeşitli faktörlerin etkilediği ve belirleyici olduğu, MFSK'lardan kaynaklanan CO emisyonlarının yaklaşık 2500 mg/Nm³lük yüksek bir seviyede olduğu bildirilmiştir (örneğin Boudouard reaksiyonu, bkz. Şekil 2.40). Önleme zor ve bir dereceye kadar imkansız olabilir. Gelişmekte olan bir teknik olarak, baca gazlarının yanma sonrası tekniği kullanılabilir, ancak bu tekniğin daha fazla geliştirilmesi ve araştırılması gerekmektedir
 - ☐ gelişmekte olan bir teknik olarak, kireç üretimi için akışkan yatak kalsinasyonu açıklanmıştır (bkz. Bölüm 2.5.1); ancak bu tekniğin nasıl geliştirilebileceği konusunda TÇG tarafından herhangi bir bilgi verilmedi.

Nihai TÇG toplantısında fikir birliği düzeyi

Kireç faslına ilişkin çalışmaların sonuçları, Eylül 2008'deki nihai TÇG toplantısında ve Mayıs 2012'deki TÇG toplantısında kararlaştırıldı. Kireç endüstrisi için MET (mevcut en iyi teknikler) sonuçları üzerinde yüksek düzeyde fikir birliği sağlandı ve herhangi görüş ayrılığı kaydedilmedi.

Gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler

Kireç endüstrisine yönelik bilgi alışverişi ve bilgi alışverişinin sonucu/çıktısı, yani bu belgenin kireç endüstrisi bölümü, kireç üretimi için entegre kirlilik koruma ve kontrolünün sağlanması amacıyla atılan önemli bir adımı temsil etmektedir. Süreç, aşağıdaki konular üzerine yapılacak olan yeni çalışmalarla devam ettirilebilir:

- ☐ belirli tekniklerin performansının, özellikle potansiyel MET'in tesis düzeyinde değerlendirilmesine olanak sağlamak üzere, verilerin toplanmasına ve MET referans belgelerinin hazırlanmasına ilişkin 2012/119/AB sayılı Komisyon Uygulama Kararındaki rehberliği dikkate alarak veri toplamak
- ☐ proses tipi, kullanılan atık (tip, miktarlar) ve emisyonlar arasındaki ilişki hakkında bilgi toplamak
- ☐ MET'in belirlenmesinde dikkate alınacak tüm tekniklerle ilgili maliyet verilerini (örneğin yatırım, işletme maliyetleri) toplamak
- ☐ azaltma tekniklerinin azaltım verimlilikleri ile birlikte maliyet verilerini toplamak
- ☐ enerji tüketimini en aza indirmek veya enerji verimliliğini arttırmaya yönelik seçeneklerle ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ kullanılan fırın türleriyle ve üretilen farklı tür ürünlerle ilgili en iyi performans verileriyle birlikte enerji tüketimine ilişkin bilgi toplamak
- ☐ emisyon izleme ve izleme sıklıkları hakkında bilgi toplamak, örn. periyodik ölçümlerin araştırılması, yetkililerin izin yükümlülüklerini/koşullarını kontrol edebilmesini sağlamak üzere
- ☐ İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belgenin revizyonunu ele almak
- ☐ atık kullanımına ilişkin bilgi ve veri toplamak (örn. bileşim, girdi kriterleri)

- ☐ NO_x emisyonlarının azaltılması için kireç endüstrisinde SNCR kullanımına ilişkin bilgi ve veri toplamak, örn. azaltma verimliliği, NH₃ kayması
- ☐ metallerin (cıva) azaltılması için kullanılabilecek teknikleri araştırmak ve metal emisyonlarına ilişkin daha çok ve detaylı veri toplamak
- ☐ ESP uygulamasında CO aşımının sıklığı ve süresi ile ilgili verilerin araştırılması ve toplanması
- ☐ PFRK'ler için, TOK emisyonları sorunuyla başa çıkmak için bir çözüm bulmak üzere daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir
- ☐ MFSK'ler için CO ve TOK emisyonlarına ilişkin daha fazla bilgi toplanmalıdır (özellikle Bölüm 2.5.4'te açıklandığı gibi yanma sonrası tekniğinin gelişimi ile ilgili).
- ☐ akışkan yataklı kireç üretim tekniğine ilişkin bilgi toplamak
- ☐ kireç endüstrisindeki belirli kirleticilerin izlenmesi için kullanılan standart yöntemleri (ör. EN standartları, ISO standartları) dahil etmek.
- ☐ Yakıt olarak biyokütle kullanımıyla, sinterlenmiş dolim ve kireç üretimi hakkında bilgi toplamak (emisyon ve tüketim seviyeleri)

Gelecekteki Ar-Ge çalışmaları için önerilen konular

Özellikle Gelişmekte Olan Teknikler Bölümünde (Bölüm 2.5) açıklanan teknikler konusunda; ileride de Ar-Ge çalışmalarının yapılması gerekli ve faydalı olacaktır, böylece bu teknikler de gelecekte kireç endüstrisinde MET'in belirlenmesinde göz önünde bulundurulabilir.

Komisyon, Araştırma ve Teknolojik Gelişim programları aracılığıyla; temiz teknolojiler, gelişmekte olan atık su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileriyle birlikte yönetim stratejilerine ilişkin bir dizi proje başlatmakta ve bunları desteklemektedir. Bu projeler, gelecekteki MET-Ref incelemelerine faydalı katkılarda bulunabilir. Bu nedenle okuyucuların, bu belgenin kapsamıyla ilgili araştırma sonuçları hakkında Avrupa IPPC Bürosunu bilgilendirmeleri rica olunur (ayrıca bkz. bu belgenin Önsözünün beşinci kısmı).

5.2 Magnezyum oksit sektörü

Bilgi kaynakları ve bilgi eksiklikleri

MgO bölümü sıfırdan geliştirilmiştir ve hem endüstriden hem de bir Üye Devletten alınan altı belgeye ve beş bilgi kaynağına dayanmaktadır. Raporlar, Avrupalı MgO üreticilerini temsil eden endüstri birliği EUROMINES ve Üye Devlet Avusturya tarafından sunulmuştur. Bu belgeler, bu belgenin MgO bölümünün revize edilmiş kısımlarının yapı taşları olarak kabul edilebilir.

Avusturya'daki bir MgO üretim tesisi ziyaret edilerek ek faydalı bilgiler elde edildi.

Mevcut bilgilere dayanarak, 2008'de AB-27'de bilinen yalnızca dokuz magnezyum oksit üreticisi ve 14 tesis bulunduğu, buna bağlı olarak sinterlenmiş magnezyum oksit üreten az sayıda tesis olduğu akıld tutulmalıdır.

Bazı hususlara ilişkin olarak sağlanmış çok faydalı bilgiler ve yorumlara rağmen, bir dizi bilgi ve veri problemi ve MgO bölümü açısından bunların karşılık gelen bazı sonuçları üzerinde durulmalıdır:

- ☐ belirli ürünler ve en iyi performans verileriyle birlikte farklı fırın türleri için enerji tüketimi konusunda bilgi eksikliği mevcuttur. Enerji tüketimine ilişkin MET sonucuyla (MET 56, Bölüm 4.4.2) ilgili olarak, aralık yalnızca bu MET-Ref belgesi için sağlanan bilgileri yansıtmaktadır. Üretilen ürünlere göre en iyi performans gösteren tekniklere ilişkin daha spesifik bilgi verilmemiştir
- ☐ izleme ve izleme sıklıkları hakkında bilgi eksikliği vardır, örn. periyodik ölçümler için
- ☐ NO_x emisyonlarının indirgenmesi ve azaltılması için 2008 yılında yalnızca birincil teknikler kullanılmıştır. İkincil teknikler, örneğin SCR ve SNCR, farklı teknik nedenlerden dolayı MgO endüstrisinde henüz uygulanabilir değildir; ancak bu konu araştırılmalıdır.
- ☐ bir yanda hammadde, diğer yanda yakıtlardan kaynaklanan SO_x emisyonlarına ilişkin bilgi eksikliğine, azaltma teknikleri hakkında eksik bilgi eşlik etmektedir
- ☐ ESP uygulamasında CO aşımalarının sıklığı ve süresine ilişkin bilgi eksiktir, bu nedenle ilgili MET sonucu kantitatif bir yaklaşıma dayanmaktadır
- ☐ geliştirilmekte olan tekniklerle ilgili bilgi mevcut değildir.

Nihai TÇG toplantısında fikir birliği düzeyi

MgO faslına ilişkin çalışmaların sonuçları, Eylül 2008'deki nihai TÇG toplantısında ve Mayıs 2012'deki TÇG toplantısında kararlaştırıldı.

Tartışılan diğer bir nokta ise çok geç, nihai TÇG toplantısı sırasında ve sonrasında elde edilen bilgilerin değerlendirilmesinde karşılaşılan zorluklardan sonuçlar ve tavsiyeler bölümünde bahsedilip bahsedilmeyeceği olmuştur. Bu, özellikle kükürt bakımından zengin petrokokun kullanımı, ilgili başlangıç SO_x emisyonları ve SO_x azaltma tekniklerinin mevcudiyeti ve uygulanabilirliğine ilişkin bilgi ve verileri alakadar etmektedir. TÇG tarafından genel olarak, gaz halindeki bileşiklerin azaltılması için, genel birincil tekniklerin tek başına veya kombinasyon halinde uygulanmasının MET olduğu sonucuna varılmıştır (bkz. Bölüm 4.4.4.1, MET 61). Ayrıca, TÇG tarafından SO_x emisyonlarının azaltılması için birincil ve ikincil tekniklerin bir kombinasyonunun uygulanmasının MET olduğu sonucuna varılmıştır (bkz. Bölüm 4.4.4.4, MET 65).

Son toplantıda, özellikle ham maddede >0,25 kükürt içeriği olması durumunda SO_x emisyonları için MET-İES'ler hakkında ayrıntılı bir tartışma yapıldı (bkz. MET 65, Bölüm 4.4.4.4). Magnezyum oksit endüstrisini temsil eden birkaç TÇG üyesi, genellikle kükürt bakımından zengin yakıtların kullanılmasından kaynaklanan çok yüksek başlangıç SO_x

seviyeleri nedeniyle bu MET-İES'in elde edilemeyeceği görüşündeydi. Bununla birlikte, birincil ve ikincil tekniklerin bir kombinasyonunu kullanarak (bakınız MET 61 ve MET 65), 400 mg/Nm³'lük SO_x emisyonlarının (günlük ortalama değer olarak) özellikle yaş gaz yıkayıcı kullanımıyla elde edilebileceğine dair ayrıntılı ve ikna edici teknik argümanlar sunuldu. TÇG üyeleri tarafından, 400 mg/Nm³'ten daha yüksek bir SO_x MET-İES'ini destekleyen hiçbir gerekçe sunulamamıştır. Ancak, TÇG, istisnai durumlarda, hammadde bileşimleri nedeniyle SO₂ emisyon seviyelerinin 400 mg/Nm³'ten yüksek olabileceği konusunda mutabık kalmıştır. Magnezyum oksit endüstrisini temsil eden TÇG üyeleri, yakıt olarak kükürt bakımından zengin petkok kullanıldığında azaltmadan önce çok yüksek olan başlangıç SO_x seviyelerine atıfta bulundu.

Buna karşılık piyasada çeşitli petkok türlerinin bulunduğu dikkat çekildi. Özgül maliyetler ve kükürt içeriğine ilişkin yakıt karşılaştırması ile birlikte yakıt seçimine ilişkin bilgiler MET-Ref belgesinde mevcuttur (bkz. Bölüm 3.4.5, Şekil 3.13). Ancak, çeşitli miktarlarda kükürt içeren farklı petkok türleri hakkında bilgi verilmedi. Ayrıca, petkok dışında bir yakıt, veya mümkünse en azından daha az kükürt içeren bir petkok türüne geçiş yaparak başlangıç SO_x seviyesi azaltılabilmektedir (bkz. Bölüm 4.4.4.1, MET 61). Ek olarak, MET 65'te belirtildiği gibi birincil ve ikincil tekniklerin bir kombinasyonu uygulanmalıdır (bkz. Bölüm 4.4.4.4). Ayrıca SO_x emisyonlarını azaltmak için en iyi MET kombinasyonunu değerlendirmek üzere ortamlar arası etkiler dikkate alınmalıdır. Endüstriyel Emisyonlar Direktifi'nin (2010/75/AB) 15⁽⁴⁾ Maddesi, izin koşullarını gerekçelendirebilecek yerel hususlarla ilgili olarak kullanılabilir.

Eylül 2008'deki nihai TÇG toplantısında, MgO endüstrisi için MET (mevcut en iyi teknikler) üzerinde yüksek düzeyde fikir birliği sağlandı ve herhangi bir görüş ayrılığı kaydedilmedi.

Ancak, nihai CLM TÇG toplantısından sonra Euromines ve MgO endüstrisi, SO_x emisyonları için MET-İES'ler, mevcut azaltma tekniklerinin uygulanabilirliği ve ilgili ortamlar arası etkiler (genel çevre koruma) hakkındaki endişelerini dile getirdi. Konu, Mayıs 2012'deki CLM TÇG toplantısında ayrıntılı olarak tartışıldı. MgO endüstrisindeki SO_x emisyonları için MET ile ilgili olarak yüksek düzeyde fikir birliği ile nihai sonuca varıldı.

Gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler

Magnezyum oksit endüstrisine yönelik bilgi alışverişi ve bilgi alışverişinin sonucu/çıktısı, yani bu belgenin magnezyum oksit bölümü, magnezyum oksit üretimi için entegre kirlilik koruma ve kontrolünün sağlanması amacıyla atılan önemli bir adımı temsil etmektedir. Süreç, aşağıdaki konular üzerine yapılacak olan yeni çalışmalarla devam ettirilebilir:

- ☐ belirli tekniklerin performansının, özellikle potansiyel MET'in tesis düzeyinde değerlendirilmesine olanak sağlamak üzere, verilerin toplanmasına ve MET referans belgelerinin hazırlanmasına ilişkin 2012/119/AB sayılı Komisyon Uygulama Kararındaki rehberliği dikkate alarak veri toplamak
- ☐ MET'in belirlenmesinde dikkate alınacak tüm tekniklerle ilgili maliyet verilerini (örneğin yatırım, işletme maliyetleri) toplamak
- ☐ azaltma tekniklerinin azaltım verimlilikleri ile birlikte maliyet verilerini toplamak
- ☐ enerji tüketimini en aza indirmek veya enerji verimliliğini arttırmaya yönelik seçeneklerle ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ izleme ve izleme sıklıkları hakkında bilgi toplamak ve daha fazla araştırma yapmak, örn. periyodik ölçümler için, yetkililerin izin yükümlülüklerini/koşullarını kontrol edebilmesini sağlamak üzere
- ☐ İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belgenin revizyonunu ele almak
- ☐ belirli ürünlerle birlikte farklı fırın türleri için enerji tüketimi konusunda bilgi toplamak
- ☐ NO_x azaltımı için birincil teknikler üzerinde araştırma ve daha fazla geliştirme yapmak

- ☐ magnezyum oksit endüstrisinde NO_x emisyonlarının azaltılması için SNCR veya SCR uygulamasına ilişkin araştırma ve geliştirme yapmak ve bu konuyla ilgili bilgi ve veri toplamak
- ☐ ekonomik verilerle birlikte hammadde ve yakıtlardaki kükürt içeriği hakkında bilgi toplamak
- ☐ SO_x azaltma tekniklerinin uygulanabilirliği (birincil ve ikincil teknikler), bunların potansiyel ortamlar arası etkileri, düşük kükürt içerikli yakıtların mevcudiyeti, düşük kükürtlü yakıta geçişin uygulanabilirliği, hakkında daha fazla araştırma yapmak ve bilgi toplamak; kükürt içeriği ve hammaddelerden ve/veya yakıtlardan kaynaklanan SO_x emisyonları hakkında bilgi toplamak
- ☐ ESP uygulamasında CO aşımalarının sıklığı ve süresi ile ilgili verilerin araştırılması ve toplanması
- ☐ geliştirilmekte olan tekniklerin mevcut olup olmadığını araştırmak
- ☐ magnezyum oksit endüstrisindeki belirli kirleticilerin izlenmesi için kullanılan standart yöntemleri (ör. EN standartları, ISO standartları) dahil etmek.

Gelecekteki Ar-Ge çalışmaları için önerilen konular

Bazı Ar-Ge çalışmaları, şu anda sektör için erişilebilir olmayan, geliştirilmekte olan tekniklerin araştırılması magnezyum oksit endüstrisi için faydalı olabilir.

Komisyon, Araştırma ve Teknolojik Gelişim programları aracılığıyla; temiz teknolojiler, gelişmekte olan atık su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileriyle birlikte yönetim stratejilerine ilişkin bir dizi proje başlatmakta ve bunları desteklemektedir. Bu projeler, gelecekteki MET-Ref incelemelerine faydalı katkılarda bulunabilir. Bu nedenle okuyucuların, bu belgenin kapsamıyla ilgili araştırma sonuçları hakkında Avrupa IPPC Bürosunu bilgilendirmeleri rica olunur (ayrıca bkz. bu belgenin Önsözünün beşinci kısmı).

5.3 Forum ile istişare ve MET Sonuçlarının takip eden resmi kabul prosedürü

25 Haziran 2012 tarihinde, bu MET referans belgesi için teklif edilen içerik konusunda Endüstriyel Emisyonlar konulu ve 2010/75/AB sayılı Direktifin (EED) 13. Maddesi uyarınca oluşturulan bilgi alışverişi forumuna (genellikle EED 13. Madde Forumu olarak anılır) danışılmış ve Forum, 13 Eylül 2012 tarihli toplantısında görüşlerini bildirmiştir.

EED 13. Madde Forumunun görüşü, iki farklı grup yorum olarak ayrılmaktadır. Görüşte ilk olarak, forumun nihai MET referans belgesine dahil etmek üzere fikir birliğine vardığı yorumlar listelenir. Ardından, belirli Forum üyelerinin görüşlerini temsil eden ancak nihai MET referans belgesine dahil edilmek için üzerinde fikir birliğine varılmamış yorumlar listelenir.

Forumun tam görüşüne şu adresten ulaşılabilir:

http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article/production_13092012&vm=detailed&sb=Title

Bunu takiben Komisyon, Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit konulu MET sonuçlarını ortaya koyan Komisyon Uygulama Kararı taslağını hazırlarken, EED 13. Madde Forumunun görüşünü dikkate almıştır.

Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) 75. Madde Komitesi, 20 Kasım 2012 tarihli toplantısında taslak Uygulama Kararı hakkında olumlu görüş bildirmiştir.

Bu süreçte belgede önemli bir değişiklik yapılmamıştır.

6 EKLER

6.1 AB-27'de çimento ve kireç üretimi için geçerli olan AT çevre mevzuatı

- Atıklara ilişkin 75/442/AET sayılı Konsey Direktifinin 1(a) Maddesi uyarınca geliştirilen Avrupa Atık Kataloğu (EWC):
 - Atıklarla ilgili 75/442/AET sayılı Konsey Direktifinin 1(a) Maddesi uyarınca bir atık listesi oluşturan 94/3/AK sayılı Kararın yerine geçen 3 Mayıs 2000 tarihli 2000/532/AK sayılı Komisyon Kararı ve tehlikeli atıklara ilişkin 91/689/AET sayılı Konsey Direktifinin 1⁽⁴⁾ Maddesi uyarınca bir tehlikeli atık listesi oluşturan 94/904/AK sayılı Konsey Kararı (C(2000) 1147 belge numarasıyla bildirilmiştir) (EEA ile ilgili metin)
- Entegre enerji piyasasında faydalı ısı talebine dayalı kojenerasyonun teşvik edilmesine ilişkin 2004/8/AK sayılı Konsey Direktifi ve 92/42/AET sayılı Direktifi tadil eden Direktif (11 Şubat 2004).

6.2 Çimento imalatı eki

6.2.1 CEMBUREAU ile EWC arasında yakıt atık gruplandırma karşılaştırması

Tablo 6.1: CEMBUREAU ile EWC arasında yakıt atık gruplandırma karşılaştırması

1. Grup Odun, kağıt, karton		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 02	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işlemeden kaynaklanan atıklar	
02 01 07	Ormancılıktan kaynaklanan atıklar	
Kategori 03	Odun işleme ve panel ve mobilya, kağıt hamuru, kağıt ve karton üretiminden kaynaklanan atıklar	
03 01 04	Tehlikeli maddeler içeren talaş, toz, kıymık odun, sunta ve ince tahta levha	*
03 01 05	03 01 04'te belirtilenler dışında talaş, toz, kıymık, odun, sunta ve ince tahta levha	
03 03 07	Atık kağıt ve karton hamurlaştırmasından mekanik olarak ayrılmış ıskartalar	
Kategori 15	Atık paketlenme; başka yerde belirtilmemiş soğurucular, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler	
15 01 01	Kağıt ve karton ambalaj	
15 01 03	Ahşap paketlenme	
Kategori 17	İnşaat ve yıkım atıkları (bulaşık sahalardan çıkarılan toprak dahil)	
17 02 01	Odun	
Kategori 20	Ayrı toplanan fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	
20 01 01	Kağıt ve karton	
20 01 37	Tehlikeli maddeler içeren ahşap	*
2. Grup Tekstil		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 04	Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar	
04 02	Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıklar	
Kategori 15	Atık paketlenme; başka yerde belirtilmemiş soğurucular, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler	
15 01 09	Tekstil ambalajlama	
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 12 08	Tekstil	
Kategori 20	Ayrı toplanan fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	
20 01 10	Giyim	
3. Grup Plastik		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 02	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işlemeden kaynaklanan atıklar	
02 01 04	Atık plastikler (ambalaj hariç)	
Kategori 12	Metallerin ve plastiklerin şekillendirilmesinden ve fiziksel ve mekanik yüzey işlemlerinden kaynaklanan atıklar	
12 01 05	Talaşlı ve tornalı plastik üretim atıkları	
Kategori 15	Atık paketlenme; başka yerde belirtilmemiş soğurucular, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler	

15 01 02	Plastik ambalaj	
Kategori 20	Ayrı toplanan fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	
4. Grup RDF		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 15	Atık paketlenme; başka yerde belirtilmemiş soğurucular, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler	
15 01 06	Karışık paketlenme	
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 02 10	19 02 08 ve 19 02 09'da belirtilenler dışında yanıcı atıklar	
19 12 10	Yanabilir atık (atıktan türetilmiş yakıt)	
19.12.04	Plastik ve kauçuk	
Kategori 20	Ayrı toplanan fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	
20 03 01	Karışık atık	
5. Grup Kauçuk/lastikler		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 16	Listede başka yerde belirtilmeyen atıklar	
16 01 03	Ömrünü Tamamlamış lastikler	
16 02 16	16 02 15'te belirtilenler dışında atılan teçhizatın çıkarılan bileşenler	
6. Grup Endüstriyel çamurlar (filtre kekleri, santrifüjlü, kurutulmuş vb.)		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 03	Odun işleme ve panel ve mobilya, kağıt hamuru, kağıt ve karton üretiminden kaynaklanan atıklar	
03 03 02	Yeşil sıvı çamurları (pişirme sıvısının geri kazanılmasından)	
Kategori 04	Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar	
04 02 19	Yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan, tehlikeli madde içeren çamurlar	*
04 02 20	04 02 19'da belirtilenler dışında yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
Kategori 05	Petrol rafinasyonundan, doğal gazın arıtılmasından ve kömürün ısıl işleminden kaynaklanan atıklar	
05 01 09	Yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan, tehlikeli madde içeren çamurlar	*
05 01 10	05 01 09'da belirtilenler dışında yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
Kategori 06	İnorganik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar	
06 05	Yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
Kategori 07	Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar	
07 01 11	Yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan, tehlikeli madde içeren çamurlar	*
07 01 12	07 01 11'de belirtilenler dışında yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
Kategori 08	Kaplamaların (boyalar, vernikler ve cımsı emayeler), yapıştırıcıların, sızdırmazlık maddelerinin ve baskı mürekkeplerinin imalatı, formülasyonu, tedariki ve kullanımından (MFSU) kaynaklanan atıklar	
Kategori 10	Termal proseslerden kaynaklanan atıklar	
Kategori 11	Metallerin ve diğer malzemelerin kimyasal yüzey işlemlerinden ve kaplanmasından kaynaklanan atıklar; demir dışı hidrometalurji	
Kategori 12	Metallerin ve plastiklerin şekillendirilmesinden ve fiziksel ve mekanik yüzey işlemlerinden kaynaklanan atıklar	
Kategori 13	Yağ atıkları ve sıvı yakıt atıkları (yenilebilir yağlar ve 05, 12 ve 19'uncu bölümlerdeki hariç)	
Kategori 14	Atık organik çözücüler, soğutucular ve itici gazlar (07 ve 08 hariç)	

7. Grup Belediye kanalizasyon çamurları		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 03 07	19 03 06'da belirtilenler dışında katı atıklar	
19 02 05	Fiziko-kimyasal arıtmadan kaynaklanan, tehlikeli maddeler içeren çamurlar	*
19 02 06	19 02 05'te belirtilenler dışında fiziko-kimyasal arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
19 08 05	Kentsel atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
8. Grup Hayvansal küspe, yağlar		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 02	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işlemeden kaynaklanan atıklar	
02 01 02	Hayvansal doku atıkları	
02 02 02	Hayvansal doku atıkları	
9. Grup Kömür/karbon atığı		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 05	Petrol rafinasyonundan, doğal gazın arıtılmasından ve kömürün ısıtılmasından kaynaklanan atıklar	
05 01 09	Yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan, tehlikeli madde içeren çamurlar	*
05 01 10	05 01 09'da belirtilenler dışında yerinde atık su arıtmadan kaynaklanan çamurlar	
05 01 17	Bitüm	
05 06 01	Asit katranları	*
05 06 03	Diğer katranlar	*
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 01 10	Baca gazı arıtımından kalan kullanılmış aktif karbon	
19 01 17	Tehlikeli maddeler içeren piroliz atıkları	*
19 09 04	Kullanılmış aktif karbon	
10. Grup Zirai atıklar		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 02	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işlemeden kaynaklanan atıklar	
02 01 03	Bitkisel doku atıkları	
02 01 08	Tehlikeli maddeler içeren kimyasal tarım atıkları	*
02 01 09	02 01 08'de belirtilenler dışında kimyasal tarım atıkları	
02 01 07	Ormancılıktan kaynaklanan atıklar	
Kategori 03	Odun işleme ve panel ve mobilya, kağıt hamuru, kağıt ve karton üretiminden kaynaklanan atıklar	
03 01 01	Bıçkı ve şişe mantarı atığı	
03 03 01	Bıçkı ve odun atığı	
11. Grup Katı atık yakıtlar (emdirilmiş talaş)		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 03	Odun işleme ve panel ve mobilya, kağıt hamuru, kağıt ve karton üretiminden kaynaklanan atıklar	
03 01 04	Tehlikeli maddeler içeren talaş, toz, kıymık odun, sunta ve ince tahta levha	*
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 12 11	Tehlikeli maddeler içeren atıkların mekanik işlenmesinden kaynaklanan diğer atıklar (malzeme karışımları dahil)	*

12. Grup Çözücüler ve ilgili atıklar		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 02	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işlemeden kaynaklanan atıklar	
02 03 03	Çözücülü özütlemekten kaynaklanan atık	
Kategori 07	Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar	
07 01 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 01 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
07 03 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 03 07	Halojenli hareketsiz tortular ve reaksiyon artıkları	*
07 03 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
07 04 03	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 04 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 04 07	Halojenli hareketsiz tortular ve reaksiyon artıkları	*
07 04 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
07 05 03	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 05 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 05 07	Halojenli hareketsiz tortular ve reaksiyon artıkları	*
07 05 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
07 06 03	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 06 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 06 07	Halojenli hareketsiz tortular ve reaksiyon artıkları	*
07 06 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
07 07 03	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 07 04	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana sıvılar	*
07 07 07	Halojenli hareketsiz tortular ve reaksiyon artıkları	*
07 07 08	Diğer hareketsiz tortular ve reaksiyon kalıntıları	*
Kategori 08	Kaplamaların (boyalar, vernikler ve camsı emayeler), yapıştırıcıların, sızdırmazlık maddelerinin ve baskı mürekkeplerinin imalatı, formülasyonu, tedariki ve kullanımından (MFSU) kaynaklanan atıklar	
08 01 11	Organik çözücüler veya diğer tehlikeli maddeler içeren atık boya ve vernikler	*
08 01 12	08 01 11’de belirtilenler dışında atık boya ve vernikler	
08 01 21	Atık boya veya vernik sökücü	*
08 03 12	Tehlikeli maddeler içeren atık mürekkep	*
08 03 13	08 03 12’de belirtilenler dışında atık mürekkep	
08 04 09	Organik çözücüler veya diğer tehlikeli maddeler içeren atık yapıştırıcı ve sızdırmazlık maddeleri	*
08 05 01	Atık izosiyanürler	*
Kategori 09	Fotoğraf endüstrisinden kaynaklanan atıklar	
09 01 03	Çözücü tabanlı banyo çözeltileri	*
Kategori 14	Atık organik çözücüler, soğutucular ve itici gazlar (07 ve 08 hariç)	
14 06 02	Diğer halojenli çözücüler ve çözücü karışımları	*
14 06 03	Diğer çözücüler ve çözücü karışımları	*
Kategori 19	Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden atıklar ve insan tüketimine yönelik su ile endüstriyel kullanıma yönelik suyun hazırlanması	
19 02 08	Tehlikeli maddeler içeren sıvı yanabilir atıklar	*
Kategori 20	Ayrı toplanan fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	
20 01 13	Çözücüler	*
20 01 27	Tehlikeli maddeler içeren boyalar, mürekkepler, yapıştırıcılar ve reçineler	*
20 01 28	20 01 27’de belirtilenler dışında boyalar, mürekkepler, yapıştırıcılar ve reçineler	
13. Grup Petrol ve petrol içeren atık		
Atık kategorisi	Atık açıklaması	Tehlikeli
Kategori 01	Madenlerin aranması, çıkarılması, taşocaklığı ve fiziksel ve kimyasal arıtımından kaynaklanan atıklar	
Kategori 04	Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar	

Kategori 05	Petrol rafinasyonundan, doğal gazın arıtılmasından ve kömürün ısıtılmasından kaynaklanan atıklar	
Kategori 12	Metallerin ve plastiklerin şekillendirilmesinden ve fiziksel ve mekanik yüzey işlemlerinden kaynaklanan atıklar	
Kategori 13	Yağ atıkları ve sıvı yakıt atıkları (yenilebilir yağlar ve 05, 12 ve 19'uncu bölümlerdeki hariç)	
13 01 01	PCB içeren hidrolik yağlar	*
13 01 04	Klorlu emülsiyonlar	*
13 01 05	Klorsuz emülsiyonlar	*
13 02 04	Mineral esaslı klorlu motor, şanzıman ve yağlama yağları	*
13 02 05	Mineral esaslı klor içermeyen motor, şanzıman ve yağlama yağları	*
13 02 08	Diğer motor, şanzıman ve yağlama yağları	*
13 03 01	PCB içeren yalıtım veya ısı aktarma yağları	*
13 03 06	13 03 01'de belirtilenler dışında mineral esaslı klorlu yalıtım ve ısı aktarma yağları	*
13 03 07	Mineral esaslı klorsuz yalıtım ve ısı aktarma yağları	*
13 03 08	Sentetik yalıtım ve ısı aktarma yağları	*
13 04 01	İç sularda taşımacılıktan kaynaklanan sintine yağları	*
13 04 02	İskele kanalizasyonlarından gelen sintine yağları	*
13 04 03	Diğer deniz taşımacılığından kaynaklanan sintine yağları	*
13 05 01	Kum tutucularından ve petrol/su ayırıcılarından gelen katılar	*
13 08	Başka yerde belirtilmeyen yağ atıkları	*
Kategori 16	Listede başka yerde belirtilmeyen atıklar	
16 01 13	Fren sıvıları	*
14. Grup Diğer		
Kaynak: [192, CEMBUREAU, 2012]		

6.2.2 Çimento üretimi – tesise özel veriler

6.2.2.1 Kullanılan atık türlerinin örnekleri, emisyon davranışı üzerindeki etkisi ve atık malzemelerdeki maddeler için derişim aralıkları (girdi kriterleri)

Alman çimento fırınlarında kullanılan atık türleri ve miktarlarına ilişkin örnekler Tablo 6.2'de gösterilmektedir. Genellikle bu tür atıklar tehlikeli bileşenler içerir.

Tablo 6.2: 2004 yılında Alman çimento fırınlarında kullanılan atık ve yakıt atıkların türleri ve miktarları

Yakıt atık türü	2004 yılında kullanılan miktar (kt/yıl)
Lastikler/kauçuk	290
Atık yağ	100
Endüstriyel/ticari atıkların işlenmiş fraksiyonları	863
Evsel atıkların işlenmiş fraksiyonları	157
Hayvansal küspe ve yağlar	439
Ahşap hurda	42
Çözücüler	72
Podzol ⁽¹⁾	11
Kanalizasyon çamuru	48
Diğer	20
Toplam	2 042
⁽¹⁾ ağartma kili Kaynak: [76, Almanya, 2006]	

Kullanılan bu farklı katı ve sıvı yakıt atık türleri genellikle Tablo 6.3'te gösterildiği gibi tehlikeli bileşenler de içerir.

Tablo 6.3: Alman çimento endüstrisinde kullanılan farklı tür yakıt atıkların miktarları

Yakıt türleri		Miktar (kt/yıl)	
		2003	2004
Sıvı yakıt atık			
Atık yağ	Harmanlanmış atık (tehlikeli)	116	100
Kullanılmış çözücüler	Harmanlanmış atık, dahil edilen mono atığın atık kodu ile beyan edilmesi gerekir (tehlikeli)	48	72
Katı yakıt atık			
Ömrünü Tamamlamış lastikler	Mono atık	247	290
Odun	Karışık atık, dahil edilen mono atığın atık kodu ile beyan edilmesi gerekir (tehlikeli olabilir)	48	42
Hayvansal küspe	Mono atık	452	439
Kanalizasyon çamuru	Mono atık	4	48
Ağartma toprağı	Mono atık (tehlikeli)	20	11
Üretime özel Atık	Karışık atık, dahil edilen mono atığın atık kodu ile beyan edilmesi gerekir	626	862
Karışık belediye atıklarının ayrılmış fraksiyonları	Kullanılan işleme adımlarına bağlı olarak yakıt kalitesi	155	157
Kaynak: [76, Almanya, 2006]			

2006'da Almanya'daki örnek çimento tesisleri halihazırda % 80'in üzerinde atık ikame oranlarına ulaşmıştı; ve enerji tüketiminin % 100'e kadarı yakıt atıklar tarafından karşılanabiliyordu. Örneğin dört kademeli, iki hatlı ön ısıtıcısı ve planet soğutucuya sahip döner fırından oluşan bir kuru proses fırın sisteminde, yakıt atıklar uzun yıllardır kullanılmaktadır. Esas olarak lastikler, atık yağ, odun, endüstriyel atıkların plastik, kağıt veya tekstil atıkları gibi işlenmiş fraksiyonları ve çözücüler yakıt olarak kullanılır. Tablo 6.4, bu tesiste endüstriyel atık ve çözücü kullanımı için kabul edilen değerleri örnek olarak listelemektedir.

Tablo 6.4: Endüstriyel atık ve çözücü kullanımı için farklı parametrelerin kabul edilen değerlerine örnekler

Parametre	Birim	Endüstriyel atıklarda kabul edilen değerler	Çözücülerde kabul edilen değerler
S	%	2	3 ⁽¹⁾
Cl	%	1	1
Cd	mg/kg	10	10 ⁽²⁾
Tl	mg/kg	1	0,5
Hg	mg/kg	0,5	1
Sb	mg/kg	75	5
As	mg/kg	10	20
Pb	mg/kg	100	700 ⁽³⁾
Cr	mg/kg	100	100
Co	mg/kg	20	300
Cu	mg/kg	300	5
Mn	mg/kg	100	1 000
Ni	mg/kg	100	10
V	mg/kg	25	0,5
Sn	mg/kg	75	1
(1) Yıllık ortalama 1 mg/kg (2) Yıllık ortalama 5 mg/kg (3) Yıllık ortalama 300 mg/kg Kaynak: [76, Almanya, 2006]			

Yıllık emisyon izleme koşulları ve sonuçları Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da gösterilmektedir. Ölçümler sırasında enerjinin % 80'inden fazlasını yakıt atıklar oluşturmuştur. Katı gereksinimleri karşılayan emisyon düzeylerine ulaşılabilir.

Tablo 6.5: Yakıt atık kullanan bir Alman çimento fırınının işletme verileri (üç günlük bir süre için verilerin ortalaması)

Parametre	Birim	Ölçüm sayısı ve periyotları		
		1	2	3
		08:00 – 18:00	08:00 – 18:00	08:00 – 18:00
Fosil yakıtlar				
Ana pişirme (kömür tozu)	T/s	2,9	3,3	2,4
Yakıt atıklar				
Lastikler	T/s	3,4	3,4	3,4
Çözücüler – hat 1	T/s	3,0	3,0	3,0
Çözücüler – hat 2	T/s	3,0	3,0	3,0
Plastik/odun	T/s	6,3	6,3	6,3
Fırın girdisi				
Farin	T/s	200	200	200
Isıl değer				
Kömür	Mj/kg	26,8	26,8	26,8
Lastikler	Mj/kg	26,0	26,0	26,0
Çözücüler – hat 1 ⁽¹⁾	Mj/kg	27,7	27,7	27,7
Çözücüler – hat 2 ⁽²⁾	Mj/kg	26,6	26,6	26,6
Plastik/odun	Mj/kg	19,0	19,0	19,0
Enerji tüketimi yüzdesi				
Kömür	%	17	19	15
Lastikler	%	20	19	20
Çözücüler – hat 1 ⁽¹⁾	%	19	18	19
Çözücüler – hat 2 ⁽²⁾	%	18	17	18
Plastik/odun	%	27	28	27
Yakıt atık toplamı	%	83	81	85
Toplam	%	100	100	100
Ürün				
Klinker	T/s	121	121	121
Kapasite	%	97	97	97
Kaynak: [76, Almanya, 2006]				

Tablo 6.6: Bir Alman çimento fırınında yakıt atık kullanılarak emisyonların izlenmesinden elde edilen sonuçlar

Bileşen	Birim	Sonuçlar ⁽¹⁾	
		Değirmen devrede yken ortalama	Değirmen devrede dışıyken ortalama
Sıcaklık	°C	106	151
Nem	Hacimce %	17	17
Hacimsel akış hızı	m ³ /s	275 900	2 391 000
Toz	mg/Nm ³	3 ⁽²⁾	
NO _x	mg/Nm ³	385 ⁽²⁾	
SO _x	mg/Nm ³	18 ⁽²⁾	
HCl	mg/Nm ³	v.y. ⁽³⁾	v.y. ⁽³⁾
HF	mg/Nm ³	0,09 ⁽⁴⁾	0,06 ⁽⁴⁾
Hg	mg/Nm ³	0,009 ⁽⁴⁾ 0,01 ⁽²⁾	0,033 ⁽⁵⁾ 0,002 ⁽²⁾
Σ (Cd, Ti)	mg/Nm ³	v.y. ⁽³⁾	v.y. ⁽³⁾
Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	mg/Nm ³	0,055 ⁽⁴⁾	0,071 ⁽⁴⁾
Σ (As, Benzo-a-piren, Cd, Co, Cr)	mg/Nm ³	v.y. ⁽³⁾	v.y. ⁽³⁾
TOK	mg/Nm ³	8	9
PCDD/F	ng I-TEQ/Nm ³	v.y. ⁽³⁾	v.y. ⁽³⁾
Benzen	mg/Nm ³	<1 ⁽⁴⁾	

(1) 1 013 hPa ve 273 K'de standart koşullar; su içeriğinin çıkarılmasını takiben ve baca gazındaki hacimce % 10'luk oksijen içeriğiyle

(2) Sürekli ölçümlerden elde edilen yıllık ortalama değer

(3) Tespit edilmedi

(4) 0,5 saatlik örnekleme süresi için ortalama değer

Kaynak: [76, Almanya, 2006]

Estonya'daki bir çimento tesisi örneğinde, kullanılan yakıt atık, sıvı yanıcı tehlikeli atıkların homojen bir karışımıdır ve atık yağ bazlıdır. Böyle bir karışım Tablo 6.7'de gösterilen teknik gereksinimleri karşılıyorsa, karışım özel bir ada sahip yakıt atık olarak değerlendirilir ve yalnızca çimento fırınlarında ek yakıt olarak kullanılması öngörülür. Yakıt atık partisi, belirli koşullarda son kullanıcıya teslim edilmeden önce tek yük olarak işlenen ve bir kalite spesifikasyonu ile tedarik edilen sabit hacimli sıvı yakıt atıktır. Özellik analizinden örnekler Tablo 6.8'de gösterilmektedir. Atıkların kalite gereksinimlerine ilişkin örnekler aşağıdaki Tablo 6.9'da gösterilmektedir.

Tablo 6.7: Estonya'dan yakıt atık için kalite veri sayfası

VA yakıt atık için kalite veri sayfası (¹)				
No.	Unsur	Birim	Sınır değer; açıklamalar	Ölçülen değer
Her partide tedarikçi analizi				
1	Alındığı şekliyle ısı değeri	MJ/kg	>17	
2	Alındığı şekliyle su içeriği	kütlece %	<35; teslimatta atık içindeki serbest su eksik	
3	Kül içeriği	kütlece %	<15	
4	Parlama noktası	°C	>60	
5	VA(¹) yakıtta <5 mm katı parçacıklar	mm	Eksik	
6	15 °C'de yoğunluk	kg/Nm ³	Norm yok	
7	40 °C'de VA(¹) viskozitesi	cSt	Kargoların alıcı sahasında boşaltılması, harici araçlar kullanılmadan garanti edilir	
8	Bitümlü şist ile karıştırma sırasında reaksiyon testi (pıhtılaşma, gazlar, ekzotermik reaksiyon)		Negatif	
Her 500 Nm³ VA(¹) için veya yılda en az bir kez tedarikçi analizi				
8	Kükürt (S)	kütlece %	<2	
9	Toplam halojen içeriği Cl+Br+Fl+I	kütlece %	<1	
10	Metaller: Cd+Tl +Hg Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	ppm	<15 <5 <2 500	
Her 2 000 Nm³ VA için veya yılda en az bir kez tedarikçi analizi				
11	PCB(²)	ppm	<50	
(1) Özel hazırlanmış VA yakıt atık, sıvı yanıcı tehlikeli atıkların homojen bir karışımıdır ve atık yağ bazlıdır (2) Poliklorlu bifeniller Kaynak: [75, EuLA, 2006]				

Tablo 6.8: Estonya’da bir çimento tesisinde özellik analizleri

Yakıt analizleri		
Parametre	Birim	Analizler
Nispeten yüksek ısı değeri	kJ/kg	15 072
Nispeten düşük ısı değeri	kJ/kg	9 211
Katılar ⁽¹⁾	%	24,3 (100)
Kömür ⁽²⁾ (C)	%	24,7
Kükürt (S)	%	5,3
Diğer yanıcı katılar	%	20,6
Kül (yanıcı olmayan)	%	49,4
Sıvılar ⁽³⁾	%	36,6 (100)
Petrol	%	30,3
Yağ	%	69,4
Fenoller	%	0,3
PCB ⁽⁴⁾	%	0,5 ⁽⁵⁾
Su içeriği	%	39,1
Yoğunluk	kg/l	1,15
Parlama noktası	°C	70
Kül (yanıcı olmayan), oksitlenmiş:		
Klor (Cl)	%	eser miktarda
Sodyum (Na+K)	%	2
Potasyum (K)	%	
Kalsiyum (Ca)	%	38,5
Silisyum (Si)	%	28,8
Bakır (Cu)	%	eser miktarda
Manzezi (Mg)	%	6,5
Demir (Fe)	%	6,1
Fosfor (P)	%	0,2
Alüminyum	%	7,7
Kadmiyum (Cd)	%	eser miktarda
Vanadyum (V)	%	eser miktarda
Kurşun (Pb)	%	eser miktarda
Çinko (Zn)	%	eser miktarda
Krom (Cr)	%	eser miktarda
Nikel (Ni)	%	eser miktarda
Kükürt (S)	%	8,7
Titanyum (Ti)	%	0,4
Diğer	%	1,1
(1) Kuru maddeler, a = % 0 (2) Karbon (3) Organik (4) Poliklorlu bifeniller Kaynak: [75, EuLA, 2006]		

Tablo 6.9: Estonya'daki bir çimento tesisinin atıkları için kalite gereksinimleri

Atık kalite gereksinimleri		
Parametre	Birim	Gereksinim
Teslimat sıcaklığı	°C	90
80 °C sıcaklıkta viskozite	cST ⁽¹⁾	5,5 – 6,0
100 °C sıcaklıkta viskozite	cST ⁽¹⁾	3,6 – 4,2
Isıl değer, daha düşük	MJ/kg	26'dan az değil
Yığın ağırlık	kg/m ³	1 130 – 1 140
Açık bir potada parlama noktası	°C	130'dan az değil
Erime sıcaklığı	°C	50'ye kadar
Kül içeriği	%	0,5'e kadar
Mekanik katkılar ⁽²⁾	%	2,0'a kadar
Su içeriği	%	4,0'a kadar
Asit değeri/faktörü	mg KOH ⁽³⁾ /g	260'a kadar
Kimyasal bileşim:		
Kükürt (S)	%	% 0,2'ye kadar
Klor (Cl)	%	0,1'e kadar
Ağır metaller: Na, K, Mn, V, Co, Ni, Cu, Pb, Zn	%	0,005'e kadar
(1) cST = santistok (2) Tane boyutu 3 mm'nin üzerine çıkmaz (3) KOH = potasyum hidroksit Kaynak: [75, EuLA, 2006]		

Tablo 6.10, 2000'den 2005'e kadar Estonya'daki bir çimento tesisinde atık ve yakıt atık kullanımındaki artışı göstermektedir.

Tablo 6.10: Estonya'daki bir çimento tesisinde kullanılan atık yakıtların tüketimi

Yıl	Atıkların yakıt olarak tüketimi (t/yıl)				
	Sıvı				Katı
	Bitümlü şist	Atık yağ	Benzoik asit malzemesi	Toplam	Bitümlü şist yarı kok
2000	-	365	-	365	-
2001	4 415	1 223	-	5 638	9 366
2002	16 809	3 322	-	20 131	10 013
2003	16 304	4 020	-	20 324	27 503
2004	19 921	5 643	1 500	27 064	15 300
2005	19 242	4 552	3 312	27 106	-
Kaynak: [75, EuLA, 2006]					

6.2.2.1.1 Atık malzemelerdeki/atık girdi kriterlerindeki maddeler için derişim aralıklarına örnekler

Tablo 6.11 ila Tablo 6.13, çeşitli ülkelerdeki farklı çimento tesislerinde yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılan uygun atıkların farklı maddeleri için tipik metal derişim aralıklarına ve girdi kriterlerine örnekler göstermektedir.

Tablo 6.11: Kullanılmış atıklar için Avusturya, İsviçre ve Almanya'da farklı izin ve yönetmeliklerdeki sınır değerler

Parametre	Avusturya ^(1,10)			İsviçre ⁽²⁾		Almanya ⁽³⁾	
	Genel olarak yanıcı atık ^(4,9)	Yaygın atıkların plastik, kağıt, tekstil atıkları, odun vb. yüksek ısı değerli fraksiyonları	Çözücüler, kullanılmış yağ, atık cilalar	Genel olarak yanıcı atık ^(5,9)	Bertaraf edilecek diğer atıklar	Yaygın atıkları n plastik, kağıt, tekstil atıkları, odun vb. yüksek ısı değerli fraksiyonları ⁽⁶⁾	Çözücüler, kullanılmış yağ
	Azami değerler (mg/kg)						
As	15	15	20	15	-	13	15
Sb	5	20 (200) ⁽⁷⁾	100	5	800 ⁽⁴⁾	120	20
Be	5	-	-	5	-	2	2
Pb	200	500	800	200	500	400	150
Cd	2	27	20	2	5	9	4
Cr	100	300	300	100	500	250	50
Cu	100	500	500	100	600	700	180
Co	20	100	25	20	60	12	25
Ni	100	200	-	100	80	160	30
Hg	0,5	2	2	0,5	5 ⁽⁸⁾	1,2	1
Tl	3	10	5	3	-	2	2
V	100	-	-	100	-	25	10
Zn	400	-	-	400	-	-	-
Sn	10	70	100	10	-	70	30
Cl (toplam)	% 1	% 2	-	-	-	1,5 %	-
PCB'ler	50	-	100	-	-	-	-

(1) Yetkili makamlar ve ilgili bakanlık ile çimento endüstrisinin gönüllü bağılılığı
(2) BUWAL, İsviçre'den birlikte işleme yönergeleri
(3) Atık endüstrisinin gönüllü bağılılığı ve Hükümet Kuzey Ren Vestfalya (NRW) düzenlemeleri
Almanya
(4) 25 MJ/kg net ısı değer
(5) 18 MJ/kg net ortalama ısı değer
(6) Polietilen tereftalat (PET)
(7) Polietilen tereftalat (PET), polyester
(8) Baca gazı Hg temizliği özel durumu
(9) Genel olarak diğer yanıcı atıklar (seçilen izinli atık kolları için geçerli değildir)
(10) Daha güncel değerler, Avusturya Federal Bakanlığı'nın Avrupa Komisyonu tarafından bildirilen 'Atık Yakıtlar Kılavuzu'nda bulunabilir
Kaynak: [104, HOLCIM/GTZ, 2006], [168, TÇG CLM, 2007]

Tablo 6.12: Bireysel izinlere dayalı olarak farklı ülkeler/bölgeler için yakıt atıklara ilişkin sınır değer örnekleri

Parametre	Birim	İspanya(¹)	Belçika(¹)	Fransa(¹)
Isıl değer	MJ/kg	-	-	-
Halojenler (Cl olarak ifade edilir)	%	2	2	2
Cl	%	-	-	-
F	%	0,20		
S	%	3	3	3
Ba	mg/kg	-	-	-
Ag	mg/kg	-	-	-
Hg	mg/kg	10	5	10
Cd	mg/kg	50/100(²)	70	-
Tl	mg/kg	50/100(²)	30	-
Σ Hg+Cd+Tl	mg/kg	100	-	100
Sb	mg/kg	-	200	-
Σ Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	mg/kg	0,50 %	2 500	2 500
As	mg/kg	-	200	-
Co	mg/kg	-	200	-
Ni	mg/kg	-	1 000	-
Cu	mg/kg	-	1 000	-
Cr	mg/kg	-	1 000	-
V	mg/kg	-	1 000	-
Pb	mg/kg	-	1 000	-
Sn	mg/kg	-	-	-
Mn	mg/kg	-	2 000	-
Be	mg/kg	-	50	-
Se	mg/kg	-	50	-
Te	mg/kg	-	50	-
Zn	mg/kg	-	5 000	-
PCB'ler	mg/kg	30	30	25
PCDD/PCDF	mg/kg	-	-	-
Br+I	mg/kg	-	2 000	-
Siyanür	mg/kg	-	100	-
(1)İspanya, Belçika ve Fransa'daki çimento tesislerinin münferit izinleri için yetkililer tarafından belirlenen sınır değerler (2)Güncelleme İspanya 2007 Kaynak: [104, HOLCIM/GTZ, 2006], [182, TÇG CLM, 2008]				

Tablo 6.13: Farklı ülkeler/bölgelerde hammadde olarak kullanılacak atıklar için sınır değer örnekleri

Parametre	Birim	İspanya ^{a1}	Belçika ⁽¹⁾	Fransa ⁽¹⁾	İsviçre ⁽²⁾
TOK	mg/kg	% 2	5 000	5 000	-
Toplam halojenler (Cl olarak ifade edilir)	%	0,25	0,5	0,5	-
F	%	0,1	-	-	-
S	%	3	1	1	-
Hg	mg/kg	10	-	-	0,5
Cd	mg/kg	100	-	-	0,8
Tl	mg/kg	100	-	-	1
Σ Hg+Cd+Tl	mg/kg	100	-	-	-
Sb	mg/kg	-	-	-	1
Σ Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	mg/kg	0,50 %	-	-	-
As	mg/kg	-	-	-	20
Co	mg/kg	-	-	-	30
Ni	mg/kg	-	-	-	100
Cu	mg/kg	-	-	-	100
Cr	mg/kg	-	-	-	100
V	mg/kg	-	-	-	200
Pb	mg/kg	-	-	-	50
Sn	mg/kg	-	-	-	50
Mn	mg/kg	-	-	-	-
Be	mg/kg	-	-	-	3
Se	mg/kg	-	-	-	1
Te	mg/kg	-	-	-	-
Zn	mg/kg	-	-	-	400
PCB'ler	mg/kg	30	-	-	1
pH	mg/kg	-	-	-	-
Br+I	mg/kg	-	-	-	-
Siyanür	mg/kg	-	-	-	-

(1)İspanya, Belçika ve Fransa'daki çimento tesislerinin münferit izinleri için yetkililer tarafından belirlenen sınır değerler
(2)Hammadde olarak kullanılan atıklar için sınır değerler, BUWAL 1998 (İsviçre), Çimento Tesislerinde Atık Bertarafı Kılavuzu
Kaynak: [104, HOLCIM/GTZ, 2006]

Tablo 6.14 ve Tablo 6.15, Alman çimento tesislerinde kullanılan atıklardaki maddeler için tipik girdi kriterlerine örnekler göstermektedir.

Tablo 6.14: Yakıt atıklardaki metallerin tipik derişim aralıklarına örnekler

Element	Derişim (mg/mJ)
Kurşun	0,09 – 25
Kadmiyum	0,01 – 0,7
Krom	0,09 – 21
Nikel	0,1 – 25
Cıva	0,01 – 0,1
Talyum	0,01 – 0,1
Çinko	0,5 – 625

Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003]

Tablo 6.15: Alman çimento fırınlarında uygulanan uygun atık kullanımına ilişkin girdi kriterlerine örnekler

Parametre	Değişim (mg/kg)
Arsenik	13
Kadmiyum	9
Kobalt	12
Krom	250
Bakır	700 ⁽¹⁾
Cıva	0,5 – 1
Manganez	500
Nikel	100
Kurşun	400
Antimon	120
Talyum	1 – 2
Vanadyum	25
Kalay	70

⁽¹⁾ Örneklerde bireysel bazda daha yüksek değerler oluşabilir
Kaynak: [76, Almanya, 2006]

Tablo 6.16 ve Tablo 6.17, Avusturya çimento tesislerinde kullanılan atık türleri için farklı maddelere ait izin kriterlerini göstermektedir. Bazı durumlarda, yakıt atık türlerinin seçimi ve bunların girdi kriterleri, çimento endüstrisinin bir öz taahhüdü olan 'uygun madde listesine' dayanmaktadır. Ayrıca, bazı durumlarda, yerel makamlar daha katı girdi kriterleri belirlemiştir. Tüm izinler, bazıları ısı değerle, diğerleri yakıt atık türleriyle ilgili olmak üzere azami değerleri içerir. Bir izin, azami değerlere ek olarak, yakıt atık türüne bağlı medyan ve yüzde 80'lik değerleri de içerir. 2005 yılında bir izin verilmiştir.

Tablo 6.16: Avusturya çimento tesislerinde kullanılan atıklardaki maddeler için izin kriterlerine (azami değerler) örnekler

Parametre	Aritma çamuru ⁽³⁾ hariç yakıt atıklar (ısı değeri = 25 MJ/kg)	Kağıt ve kanali zasyon çamuru	Atık yağ, çözücüler, vernik atığı	Plastikler, yüksek ısı değeri sahip fraksiyonlar	Atık odun	Kullanılmış lastikler	Kağıt	Kauçuk	Hayvansal küsp
Azami değerler (mg/kg _{kuru madde})									
As	15	5 – 10	10 – 20	15	15	-	0,5	36	0,3
Sb	200	20	10 – 100	20 – 30 (800 ⁽¹⁾)	20	-	0,5	8,4	1
Pb	150	100 – 500	250 – 800	500	300 – 800	-	500	33,8	2
Cd	5	3 – 5	1 – 20	25 – 27	10 – 15	-	5	8	0,1
Cr	150	100 – 500	50 – 300	300	70	-	300	97	5
Co	50	50 – 60	3 – 25	20 – 100	14	-	60	128	1
Cu	700	350 – 600	500	500	100 – 400	-	600	748	15
Mn	500	700	70 – 100		150	-	300	4 250	30
Ni	100	60	40 – 100	200	100	-	80	200	1,5
Hg	0,5	2 – 3	1 – 2	0,86 – 2	1	-	0,6	0,4	0,2
Tl	3	3	1 – 5	3 – 10	2	-	5	1	0,6
V	100	100	10 – 100	70	60	-	15	40	1
Zn	-	1 000 – 2000	300 – 3 000	-	1 000	20 000	2 000	11 400	150
Sn	50	10 – 50	-	70	-	-	10	20	1,5
Cl	ağ. % 1 ⁽²⁾	ağ. % 0,8	ağ. % 1	ağ. % 2	ağ. % 0,5	-	-	-	-
S	ağ. % 3	-	-	-	-	-	-	-	-

(1)Yalnızca polietilen tereftalat (PET) için
(2)Cl, F
(3)Bir izinden
Kaynak: [161, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [170, Avusturya, 2007]

Tablo 6.17: Avusturya çimento tesislerinde kullanılan atıklardaki maddeler için izin kriterlerine örnekler (ortanca ve yüzde 80 değerler)

Parametre	Kağıt ve kanali zasyon çamuru	Atık yağ	Çözücüler	Plastik	Atık odun	Kağıt	Kauçuk	Hayvansal küsper
Medyan ve yüzde 80'lik değerler (mg/kg _{kuru madde})								
	Medyan	Medyan	Medyan	Yüzde 80	Yüzde 80	Medyan	Medyan	Yüzde 80
As	3,78	12	6	10	10	0,46	16,4	0,2
Sb	4,97	67	6	20	20	0,37	5,72	0,6
Pb	25,5	59	180	150	150	31,85	28	1,5
Cd	1,02	0,5	0,6	15	5	0,63	3,9	0,05
Cr	28	8	30	150	50	12,2	26	3
Co	6,6	1	1,8	15	10	3,6	80	0,4
Cu	160,5	52	300	300	50	10,75	300	12
Mn	350	0,1	42	200	150	287	28,6	25
Ni	22	1	24	100	100	11,1	77	1
Hg	1,2	0,47	0,6	0,6	0,5	0,26	0,02	0,1
Tl	6,69	0,05	0,6	1,5	1	1,11	0,4	0,3
V	16,05	1	6	30	60	6,11	12	0,5
Zn	40,6	390	30	30	20	1,76	10	1
Sn	877	1 000	180	-	-	34,9	8 597	120
Cl	-	ağ. % 0,4	-	-	-	-	-	-
S	-	ağ. % 2	-	-	-	-	-	-
PCB/PCT	-	50	-	-	-	-	-	-
Medyan değer: 50. yüzdelerlik değer Azami değer: 100. yüzdelerlik değer Yüzde 80: 80. yüzdelerlik değer Kaynak: [161, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007], [170, Avusturya, 2007]								

Fransa (asgari ve azami sınır değerler), İspanya ve Polonya'daki çimento tesislerinde kullanılan uygun atıktaki maddeler için girdi kriterlerine örnekler Tablo 6.18 ve Tablo 6.19'da gösterilmektedir.

Tablo 6.18: Fransız izinli çimento tesislerinde kullanılan uygun yakıt atıklardaki maddeler için girdi kriterleri örnekleri

Parametre	Birim	Azami değer	Asgari değer	Açıklama
Hg	ppm	<10	<10	(¹)
Hg+Cd+Tl	ppm	<1 000	<100	(²)
Cr	ppm	<10 000	<250	(3)
Cu	%	<2	<1	
Zn	%	<15	<1	
Co	%	<1	-	
Ni	%	<1	-	
Mn	%	<1	-	
Pb	%	<0,6	<0,1	
Σ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V	ppm	<10 000	<2 500	
Σ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Cu	ppm	-	<3 500	
Σ Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Cd+Tl+Hg	%	-	<1	
Σ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Cu+Zn+Mn	%	-	<2	
Σ Cd+Hg+Cr+Pb+Sn+V+Co+As+Cu+Mn+Mo+Tl+Ni	%	-	<1	
Kükürt	%	<12	<0,5	(4)
PCB/PCB+PCT(⁸)	ppm	<50	<50	(5)
PCP(⁹)	ppm	<50	-	(6)
Toplam klor	%	< 4	<1	(7)
Diğer halojenler (bromür+iyodür+florür)	%	-	<0,5	-
Alkaliler (Na ₂ O+K ₂ O)	%	<15	0,8	(4)
Fosfatlar (P ₂ O ₅)	%	<15	<0,75	(4)

(1) Tüm çimento tesisi izinlerinde cıva için 10 ppm değeri geçerlidir
(2) Pek çok çimento tesisi izninde uçucu izni 100 ppm'dir
(3) Yerel makamlara bağlı olarak durumun kendisine bağlıdır. Üç çimento tesisinin metallere ilişkin herhangi bir sınırlaması yoktur, 10 izin geçmiş AB mevzuatı ile ilgilidir, bazı tesisler metaller için özel listeler veya belirli metallere ilişkin özel sınırlamalar içeren izinler almıştır
(4) Bu parametrede kabul aralığı geniştir
(5) PCB/PCT için yalnızca bir sınır
(6) PCP için yalnızca bir sınır
(7) Bu parametrede kabul aralığı geniştir; fırının kendisine bağlı olarak atık teslimatlarında daha katı kısıtlamalar olabilir
(8) PCB: poliklorlu bifenil; PCT: poliklorlu terfenil
(9) PCP: pentaklorofenol
Kaynak: [168, TÇG CLM, 2007], [174, EUCOPRO, 2007]

Tablo 6.19: İspanya ve Polonya'daki çimento tesislerinde kullanılan uygun yakıt atıklardaki maddeler için girdi kriterleri örnekleri

Parametre	Birim	İspanya			Polonya		
		Ulusal mevzuat	Tesis 1	Tesis 2	Ulusal mevzuat	Tesis 1	Tesis 2
Hg	ppm	ky	10	-	ky	ky	ky
Σ Hg+Cd+Tl	ppm	ky	100	100	ky	ky	ky
Σ Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Ni+Mn+V	ppm	ky	5 000	10 000	ky	ky	ky

ky: girdi kriteri yok
Kaynak: [168, TÇG CLM, 2007], [174, EUCOPRO, 2007]

Tablo 6.20: Atık girdi kriterleri spesifikasyonuna örnek

Parametre	Birim	Azami değer
Kükürt	% a/a	1,5
Klor	% a/a	2,0
Flor	% a/a	0,5
Brom	% a/a	0,5
İyot	% a/a	0,2
Cıva	ppm	10
Σ Kadmiyum+Talyum (toplam)	ppm	30
Antimon	ppm	300
Arsenik	ppm	60
Krom	ppm	200
Kobalt	ppm	100
Bakır	ppm	300
Kurşun	ppm	500
Manganez	ppm	250
Nikel	ppm	500
Kalay	ppm	200
Vanadyum	ppm	50
Poliklorlu bifeniller (PCB'ler)	ppm	10
Pentaklorofenol (PCP)	ppm	20
Katılar	% a/a	15
Kül	% a/a	10
Su	% a/a	20
Kaynak: [168, TÇG CLM, 2007], [174, EUCOPRO, 2007]		

6.2.2.2 Enerji tüketimi örnekleri

Avusturya çimento tesislerinde, termal enerji talebini karşılamak için kullanılan yakıt atıklarının yanı sıra genelleşmiş yakıtların tüketiminin, 1997 ile 2004 yılları arasında Tablo 6.21'de gösterilen artışı kalıcı olmuştur.

Tablo 6.21: Avusturya çimento endüstrisinde yakıt tüketimi

Yakıt	1997 (t/yıl)	1998 (t/yıl)	1999 (t/yıl)	2000 (t/yıl)	2001 (t/yıl)	2002 (t/yıl)	2003 (t/yıl)	2004 (t/yıl)
Kömür	200 241	159 331	131 580	166 965	149 354	76 504	70 523	72 218
Linyit	7 434	4 335	11 774	35 023	38 855	62 908	69 786	62 551
Fuel oil	53 423	46 762	45 081	17 574	11 004	11 714	12 363	14 909
Gaz ⁽¹⁾	12 618	11 595	12 394	13 438	11 343	10 735	8 727	8 528
Petrokok	3 275	11 692	24 021	10 367	8 648	51 882	50 089	57 147
Diğer fosil yakıtlar	0	0	0	0	0	0	82	1 028
Toplam fosil yakıtlar	273 347	233 171	221 271	239 486	215 928	210 643	209 050	213 916
İkincil yakıtlar	101 063	121 719	135 065	169 888	218 048	238 959	267 822	274 032
Toplam yakıtlar	374 411	354 890	356 336	409 374	433 976	449 602	476 872	487 948
⁽¹⁾ 1 000 m ³ (Vn/yıl) Kaynak: [92, Avusturya, 2006]								

6.2.2.3 Emisyon verileri örnekleri

Estonya'daki bir çimento tesisinden alınan 2006 yılına ait emisyon verileri Tablo 6.22'de gösterilmektedir.

Tablo 6.22: İzin verilen emisyon verileriyle karşılaştırıldığında 2006 yılında Estonya'daki bir çimento tesisinden alınan farklı emisyon verilerinin örnekleri

Kirleticinin adı ve kaynağı		İzin verileri (t/yıl)	Gerçek emisyon verileri 2006 (t/yıl)
Toplam toz		542,98	245,5
Meydana gelen toplam toz	Özel rejimde döner fırınlar	420,0	89,84
	Olağan rejimde döner fırınlar	149,60	71,11
	Bitümlü şist değirmenleri	21,60	8,66
	Klinker soğutucuları	178,60	63,23
	Klinker konveyörleri	5,76	1,85
	Kireçtaşı kırıcıları	5,04	0,86
	Çimento değirmenleri	7,56	2,25
	Ayırıcılı çimento değirmenleri	2,52	0,80
	Çimento paketleme makineleri	1,08	0,44
	Kireçtaşı ocağı	50,96	2,5
	Endüstriyel atıklar için atık sahası	4,32	1,02
	Bitümlü şist ocağı	1,44	0,35
	Liman (çeşitli malzemeler)	114,50	2,85
SO ₂		5 762,70	1 696,63
Meydana gelen SO ₂	Döner fırınlar	5 760,00	1 696,63
	Bitümlü şist değirmenleri	2,70	-
NO _x (NO ₂ olarak hesaplanmış)		3 072,6	576,57
Meydana gelen NO _x	Döner fırınlar	2 880,00	534,37
	Bitümlü şist değirmenleri	43,2	15,76
	Elektrik santrali	149,4	26,44
CO		3 072,60	510,43
Meydana gelen CO	Döner fırınlar	4 608,00	460,00
	Bitümlü şist değirmenleri	10,8	7,72
	Elektrik santrali	149,40	42,71
CO ₂		787 333	745 620
Hidrojen klorür		247,60	5,03
Hidrojen florür		12,68	-
UOB		307,44	26,17
Ağır metaller		20,32	0,08
Kaynak: [75, EuLA, 2006]			

İnce toz PM_{10} ve $PM_{2.5}$

İrlanda çimento tesislerinden PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ince toz fraksiyonu salınım örnekleri Tablo 6.23'te gösterilmektedir.

Tablo 6.23: İrlanda'daki çimento tesislerinde ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ince tane emisyonlarına örnekler

Kaynak	PM	Derişimler			Kütle emisyon hızı (kg/s)
		Salındığı gibi (mg/Nm ³)	%10 oksijen düzeltmesi (mg/Nm ³)	Standart koşullar (mg/Nm ³)	
Tesis 1 ⁽⁶⁾	Farin değirmeni (ESP)	PM_{10} 2,67 ⁽¹⁾	2		0,7684
		PM_{10} 2,65 ⁽¹⁾	2		0,7237
	Izgaralı soğutucu (ESP)	PM_{10} 7 ⁽²⁾			1,4782
		PM_{10} 7 ⁽²⁾			1,6866
	Kömür değirmeni (torba filtre)	PM_{10} 9,33 ⁽³⁾	9		0,2979
		PM_{10} 10,1 ⁽³⁾	10		0,3085
	Çimento değirmeni (torba filtre)	PM_{10} 107 ⁽⁴⁾			4,38
		PM_{10} 73 ⁽⁴⁾			3,00
Tesis 2 ⁽⁷⁾	Çimento değirmeni (torba filtre)	PM_{10}		3,33	
		$PM_{2.5}$		1,1	
	Kömür değirmeni (torba filtre)	PM_{10}		3,33	
		$PM_{2.5}$		3,33	
	Farin değirmeni ve çimento değirmeni (ESP)	PM_{10}		2,22	
		$PM_{2.5}$		5,56	
	Fırın beslemesi (torba filtre)	PM_{10}		1,11	
		$PM_{2.5}$		2,22	
	Klinker konveyörü (torba filtre)	PM_{10}		1,11	
		$PM_{2.5}$		1,11	
	Torba filtre	PM_{10}		1,11 – 7,78	
		$PM_{2.5}$		1,11 – 2,22	
	Çimento değirmeni	PM_{10}		5,56 – 3,33	
		$PM_{2.5}$		1,11 – 2,22	
	Silolar	PM_{10}		1,11	
		$PM_{2.5}$		<1,1 – 3,33	
	Kömür değirmeni besleme konveyörü	PM_{10}		4,44	
		$PM_{2.5}$		3,33	
	İkincil kırıcı	PM_{10}		1,11	
		$PM_{2.5}$		1,1	
(1) % 7 oksijen, sıcaklık 139 °C, ortalama gaz akışı 280 397 Nm ³ /s, 3 925 558 Nm ³ /gün (2) % 20,9 oksijen, sıcaklık 216 °C, ortalama gaz akışı 225 272 Nm ³ /s, 2 703 269 Nm ³ /gün (3) % 10 oksijen, sıcaklık 86 °C, ortalama gaz akışı 31 241 Nm ³ /s, 656 063 Nm ³ /gün (4) % 20,9 oksijen, sıcaklık 110 °C, ortalama gaz akışı 40 901 Nm ³ /s, 940 739 Nm ³ /gün (5) % 20,9 oksijen, sıcaklık 86 °C, ortalama gaz akışı 136 940 Nm ³ /s, 2 191 046 Nm ³ /gün (6) 2001 yılından ölçümler (7) 2004 yılından ölçümler Kaynak: [113, İrlanda, 2007], [182, TÇG CLM, 2008]					

Suya emisyonlar

Estonya'da yaş proses kullanan örnek bir tesiste çamur ve yağ toplayıcı için 2005 yılında 602000 m³ su kullanılmıştır. Suya emisyonlar, bulamaç üretiminin teknik sürecinde meydana gelir ve yağ toplayıcıdan kaynaklanır. Estonya çimento tesisinden suya emisyonlar ve atık sudaki kirletici miktarları Tablo 6.24'te gösterilmektedir.

Tablo 6.24: Estonya'daki bir çimento tesisinden gelen atık sudaki kirletici miktarları

Atık sudaki kirletici miktarları			
Kirletici	Birim	Bulamaç ve yağ toplayıcı	
		2004	2005
Biyolojik oksijen ihtiyacı	mg/l	5	7
Askıda katı maddeler	mg/l	8,3	11
Azot toplam	mg/l	1,8	1,4
Fosfor toplam	mg/l	0,08	0,057
Sülfatlar	mg/l	-	
Fenoller I temel	µg/l	0,019	<0,5
Fenoller II temel	µg/l	0,0053	<0,5
Yağ	mg/l	0,03	0,01
Kimyasal oksijen ihtiyacı	mg/l	54	-
Kaynak: [75, EuLA, 2006]			

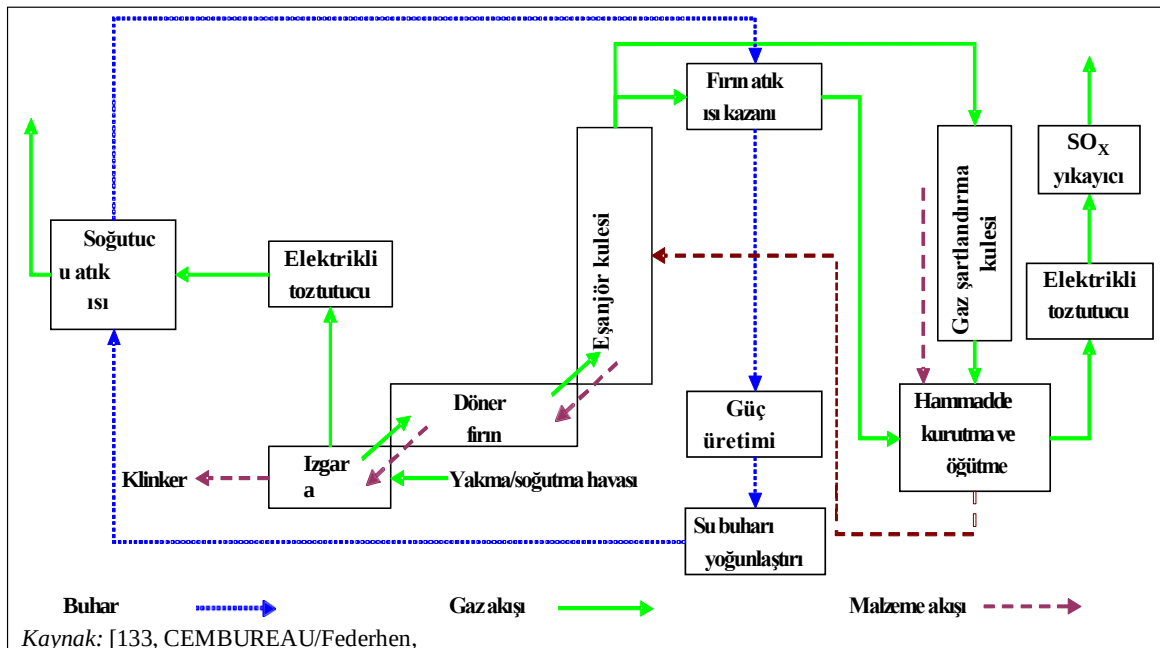
6.2.3 Çimento üretimi – kojenerasyon/fazla ısının geri kazanılması

6.2.3.1 Genelleşmiş buhar döngüsü prosesiyle elektrik enerjisi kojenerasyonu – İsveç'teki Slite çimento tesisi

Başlangıçta 6000 t/gün klinker üretimi için tasarlanan Slite'deki (Gotland Adası/İsveç) çimento tesisi (iki fırın), mevcut durumda toplam 7000 t/gün olan üretimini sürekli artırmıştır. Süspansiyonlu siklon ön ısıtıcı kulesinin çıkış gazı sıcaklığı yaklaşık 440 °C'dir. Ayrıca, tesis % 2 – 3 arasında, düşük ve iyi bir hammadde nemine sahiptir. Kuru öğütme için fırından gelen ısının sadece bir kısmına ihtiyaç vardır.

Geri kazanılabilir ısı, elektrik üretmek için bir buhar türbinini yeniden kullanan bir üçüncü taraf tarafından işletilen ve çimento tesisinin bitişiğinde bulunan mevcut elektrik tesisine gönderilmektedir. Buhar, biri klinker soğutucusunda ve diğeri fırının alt kanalında olmak üzere iki kademeli bir ısı geri kazanım kazan sisteminde oluşturulmaktadır. Şekil 6.1'de gösterilen kurulum ile tesis yeterli kalitede su buharı sağlayabilmektedir:

- atık ısı kaynağı olarak dışa atım gazı kullanan klinker soğutucu (yaklaşık 330 °C)
- klinker soğutucusundaki gaz akımına yönelik elektrikli toz tutucu
- klinker soğutucusunda atık ısı kazanları, su buharı devresiyle
- yüksek toz uygulaması olarak ön ısıtma kulesinin çıkış gazındaki ikinci atık ısı kazanı
- gücün üretildiği türbin ve jeneratör
- su buharının yeniden soğutulmasına yönelik deniz suyuyla çalışan yoğunlaştırıcı.



Şekil 6.1: İsveç'teki Slite çimento tesisinde enerji kojenerasyonuna yönelik iki aşamalı su bazlı ısı geri kazanım sisteminin akış şeması

İlk adım olarak klinker soğutucu atık ısı kazanları beklendiği gibi çalışır. Bununla birlikte, ön ısıtıcı çıkış gazı kazanı, tadilatlardan sonra bile tasarımında belirlenen buhar üretimine ulaşamaz. Bu arıza, eşanjör boruları üzerindeki yalıtkan ince toz tabakasının bir sonucu olarak görülebilir. Kazan verimsizliğinin üstesinden gelmek için daha etkin bir toz üfleme sistemine ihtiyaç vardır. Kurum içinde yapılan bir araştırma, genelleşmiş buharla boru temizleme tekniğinin ekonomik olmadığını gösterdi. Bunun yerine geniş eşanjör yüzeylerine sahip bir atık ısı kazanına ihtiyaç vardır. Ancak bu seçenek, çok daha yüksek bir basınç düşüşü oluşturacak ve dahili güç talebini artıracaktır.

2007 yılında tesis sistemden yaklaşık 30 MW ısı almıştır, başlangıçtaki tasarım değeri 9 MW olup, şimdi optimizasyonun ardından yaklaşık 6 MW sağlamaktadır. 1999'da yapılan hesaplama göre, yatırım maliyetleri kazan ve buhar dağıtım sistemi için 8 x EUR 106 olup, bunun % 25'i sübvansede edilmiştir. Ancak tesis ekonomisine önemli katkılarda bulunmuş olan yeniden kullanıma alınmış mevcut buhar türbini için maliyet hesabı yapılmamıştır. Mevcut durumda yıllık elektrik üretimi yaklaşık 50 GWs olup, tesisin toplam enerji ihtiyacının dörtte birini karşılamaktadır.

6.2.3.2 Organik Rankine Döngüsü (ORC) prosesiyle kojenerasyon – Almanya, Lengfurt'taki çimento tesisi

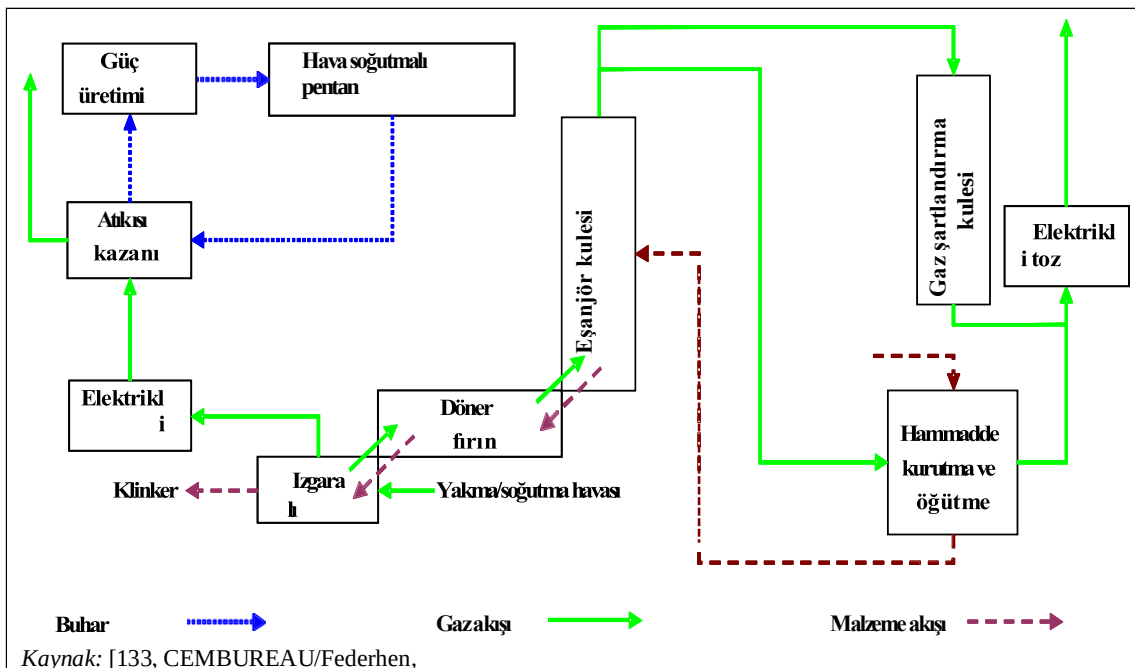
Lengfurt tesisi, düşük sıcaklıkta Organik Rankine Döngüsü (ORC) adı verilen prosesi kullanır. Bu işlem temelde devindirici ortam olarak buhar yerine, sudan çok daha düşük sıcaklıklarda buharlaşan organik bir devindirici ortam (pentan) kullanılmasına dayanmaktadır. Bu tekniğin temel prensipleri soğutma tekniklerinde uzun süredir başarıyla kullanılmaktadır. ORC tekniği esas olarak jeotermal ısı kaynaklarından güç üretmek için kullanılır; ancak bu işlemin bir çimento tesisinde kullanılması dünyada bir ilktir. Şekil 6.2'de, prosesin akış diyagramı gösterilmektedir.

Lengfurt çimento tesisinde düşük sıcaklıkta atık ısıdan güç üretimi, yedi yıllık tecrübenin ardından 2007 yılında, su buharı kullanan güç üretim tesislerine teknik olarak uygun ve hükümet finansmanından dolayı işletme sahibi için ekonomik bir alternatif olarak görülmeye başlanmıştır.

Öne çıkan avantajları ise kararlı ve sağlam işletim, kompakt yapı ve 275 °C'nin altında ısı kaynakları ile nispeten yüksek seviyelerde verimlilik elde edilebilmesidir. Ancak çimento tesisleri için tipik bir proses değildir ve işletme ve bakım personelinin özel eğitime ihtiyacı vardır.

ORC atık ısı enerjisi üretim tesisinin kendisi temelde birkaç alt sistemden oluşur:

- ☐ atık ısı kaynağı olarak dışa atım gazı kullanan bir klinker soğutucu
- ☐ toz emisyonlarını azaltmaya yönelik bir ESP
 - not: torba filtreler, bu tür bir düzenlemede meydana gelen sıcaklık seviyesine uygun değildir
- ☐ pentan devreli bir atık ısı kazanı
- ☐ gücün üretildiği bir türbin ve bir jeneratör
- ☐ pentan devresini yeniden soğutmaya yönelik hava yoğunlaştırıcı tesisi.



Şekil 6.2: Almanya'daki Lengfurt tesisinde enerji kojenerasyonuna yönelik pentan bazlı atık ısı geri kazanım sisteminin akış şeması

Sonuçlar 1,0 MW (net) elektrik gücünün eldeki işletme modunda üretilebileceğini göstermiştir. Elde edilen çalışma sürekliliği, çimento fırınının çalışma süresinin % 97'si kadardı. Klinker soğutucunun, klinker soğutucu dışa atım havası vasıtasıyla 14 MW atık ısı çıktısı ve 300 – 350 °C arasında dışa atım gazı sıcaklığı olup bunun ortalama yaklaşık 9 MW'lık kısmından faydalanılmaktadır.

Bazen fırın ve fırının ızgaralı klinker soğutucusunda meydana gelen çalışma koşulları nedeniyle, türbinin çıkışı başlangıçta tasarlanandan daha düşüktür. 2007’de atık ısı güç üretim tesisi, ihtiyacı % 9’a kadar karşılamaktaydı, ancak gelecekte bu tesis çimento tesisi için gerekli elektrik enerjisinin % 12’sini karşılamayı mümkün kılacaktır. Bu şekilde, güç üretimiyle ilişkili yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonları yaklaşık 3000 ila 7620 ton/yıl aralığına indirilebilir.

Toplam sermaye maliyeti 4 milyon avro idi. Bu toplam maliyetlerden, kurulum maliyetleri de dahil olmak üzere pentan soğutma devresine sahip ORC tesisi 2 milyon avroluk kısma karşılık gelmiştir. Geri kalan kısım atık ısı kazanı, ısı aktarım tesisi, sağlam yapı, elektrik, tasarım mühendisliği, devreye alma, kalan cihazlar ve ücretler arasında dağılmaktadır. Bu, yıllık yaklaşık 4000 EUR/kW (net) veya 1300 EUR/t CO₂ özgül maliyetleriyle sonuçlandı. İşletme maliyetleri yılda 50 000 avro olduğundan, üretilen elektrik gücü yaklaşık 6000 MWh/yıl olmuştur. Ancak, tesisin ileriki yıllarında bir gereklilik haline gelecek olan büyük onarımlar için ayrılması gereken sermaye işletme maliyetlerine dahil edilmemiştir [78, E. Baatz + G. Heidt, 2000], [79, Almanya, 2001], [133, CEMBUREAU/Federhen, 2007].

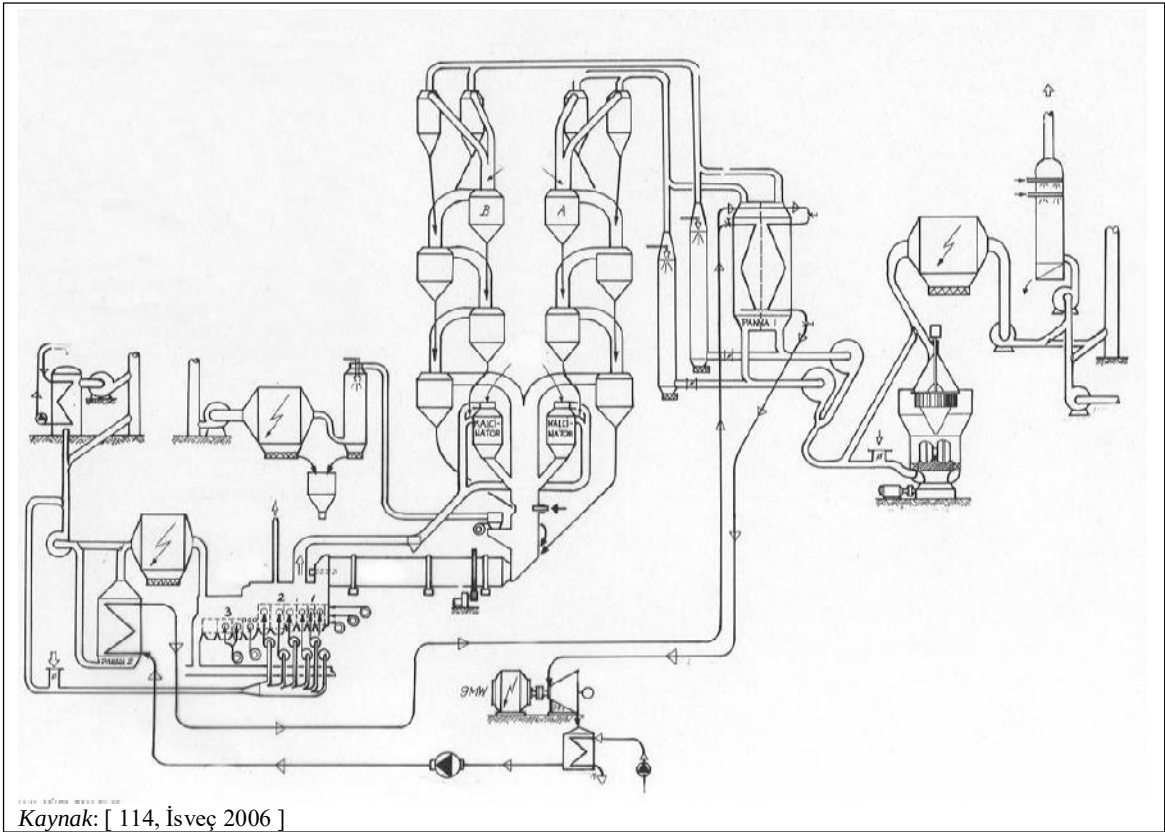
6.2.4 Çimento üretimi – yüksek verimli SNCR tekniğinin kullanıldığı NO_x azaltımı örnekleri

SNCR tekniğinin çimento fırınlarında uygulanması 25 yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. İlk işletimsel denemeler, 900 ile 1 000 °C arasında bir sıcaklık penceresi sağlandığında, döner çimento fırınlarında SNCR'nin uygulanabilirliğini göstermiştir. 1990'larda, testler çeşitli ülkelerdeki pek çok sayıda çimento fırınına uygulandı (Almanya, ABD, Avusturya, İsveç, İsviçre vb.). Çoğu durumda, %50'den fazla NO_x azaltma oranları elde edilebilir. Mevcut durumda SNCR, çimento endüstrisinde NO_x azaltımı için kullanılmaktadır ve Avrupa ve ABD'deki çok sayıda çimento fırınında başarıyla uygulanmaktadır.

6.2.4.1 İsveç'te kullanılan örnek SNCR tekniği

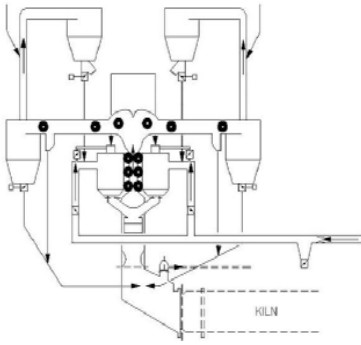
Proses

İsveç'te Cementa AB, 1997'den beri Skövde çimento tesisinde 1900 t/gün fırın kapasitesine sahip üç çimento fırınında (uydu soğutuculu beş aşamalı ön ısıtıcı fırınlar), Slite çimento tesisinde ise 1200 ve 5800 t/gün kapasiteye sahip fırınlarda, NO_x azaltımına yönelik yüksek verimli SNCR işletmektedir. Şekil 6.3, Slite'de uydu soğutuculu bir ön ısıtıcı fırının akış şemasını göstermektedir.



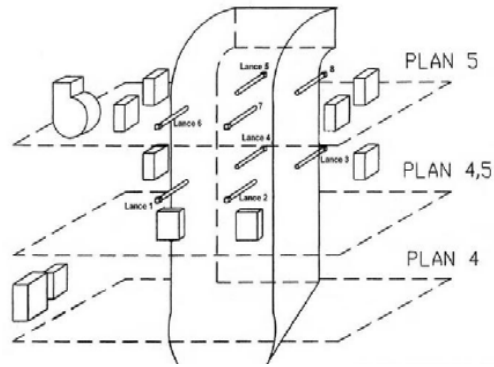
Şekil 6.3: Slite'de (İsveç) çimento üretim sürecinin akış şeması

Gaz akımına amonyak enjeksiyonu için farklı sayıda meme çifti kullanılır. Slite çimento tesisi normalde Şekil 6.4'te gösterildiği gibi üç veya dört çift meme kullanır, Skövde'de amonyak çözeltisi enjeksiyonu memelerinin dağılımının şematik görünümü Şekil 6.5'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4: İsvaç'teki Slite çimento tesisinde SNCR'de NH_3 çözeltisinin enjeksiyonu için akış şeması

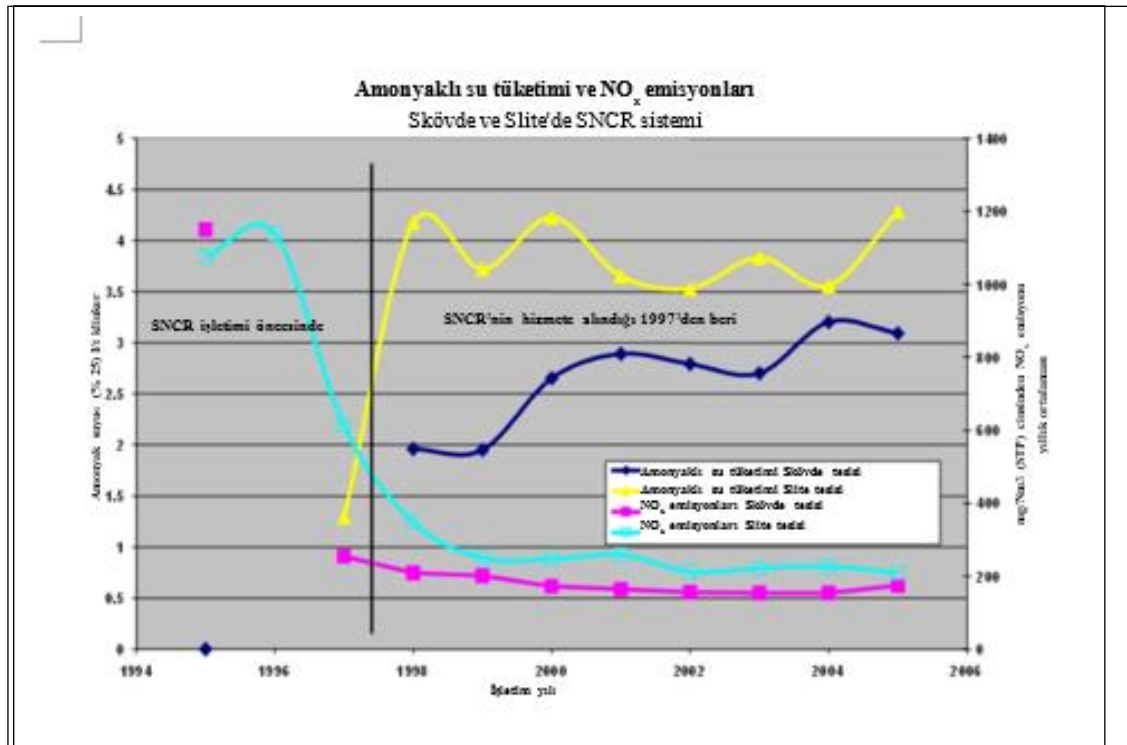
Kaynak: [114, İsvaç 2006]



Şekil 6.5: İsvaç'teki Skövde çimento tesisinde SNCR'de NH_3 çözeltisinin enjeksiyonu için akış şeması ve meme planı

Kaynak: [114, İsvaç 2006]

Her iki tesiste de başlangıç NO_x seviyesi 800 ila 1100 mg/Nm^3 arasındaydı, dolayısıyla azalma oranı başlangıçta düşünüldüğü gibi % 80 civarında kaldı. 1998'den beri, uzun vadede elde edilen, yıllık ortalamalar olarak ölçülen NO_x emisyonları yaklaşık 200 mg/Nm^3 olmuştur, ancak Skövde tesisinde 200 mg/Nm^3 'ten azdır. 1997'den beri, yaklaşık 45000 t NO_x azaltmak için yaklaşık 63500 t amonyak tüketilmiştir. Slite çimento tesisinde amonyaklı su tüketimi (%25), 3,5 ila 4,5 l/t üretilen klinker seviyesinde sabitlendi. Skövde çimento tesisindeyse 2,5 ile 3,5 l/t arasında değişim gösterdi. Şekil 6.6, 1995'ten 2005'e kadar bu tesislerde elde edilen amonyaklı su tüketimini ve NO_x emisyonlarını göstermektedir. Dalgalandıran amonyak tüketiminin etkisi büyük olasılıkla klinker sinterleme koşullarındaki bir değişiklikten ve bir düzeye kadar sistemdeki memelerin aşınmasından kaynaklanmaktadır. 1997 ve 2005 yılları arasında meme değişimine ihtiyaç duyulmaması ve üç fırının arıza süresinin 200 saatin altında olması dikkat çekicidir.



Şekil 6.6: 1995'ten 2005'e kadar İsvaç'te Slite ve Skövde'deki çimento tesislerinde NO_x emisyonları ve amonyaklı su tüketimi

Molar oran

2001 yılında, Skövde tesisinde başlangıç molar oranının 1 – 1,2 (mol NH₃ mevcut mol NO_x oranı) olduğu bulundu. Yüzde 80'lik ortalama giderim verimliliği ile, bunlar giderilen NO_x başına 1,2 ila 1,4 olarak hesaplanmıştır. Slite tesisinde, amonyak oranının bir kez daha 1,2 – 1,4 mol/mol (enjekte edilen NH₃ mevcut NO_x oranı) veya 1,5 – 1,8 (enjekte edilen NH₃'e indirgenmiş NO_x'e karşı) civarında olduğu bulunmuştur.

Amonyak kayması

1994'ten 1996'ya kadar yapılan amonyak kayması ve emisyon testleri, Skövde tesisinde 10 ila 30 mg/Nm³ ve Slite tesisinde 15 ila 20 mg/Nm³ olmak üzere her iki tesisin de hammaddeden kaynaklanan doğal amonyak emisyonlarına sahip olduğunu gösterdi.

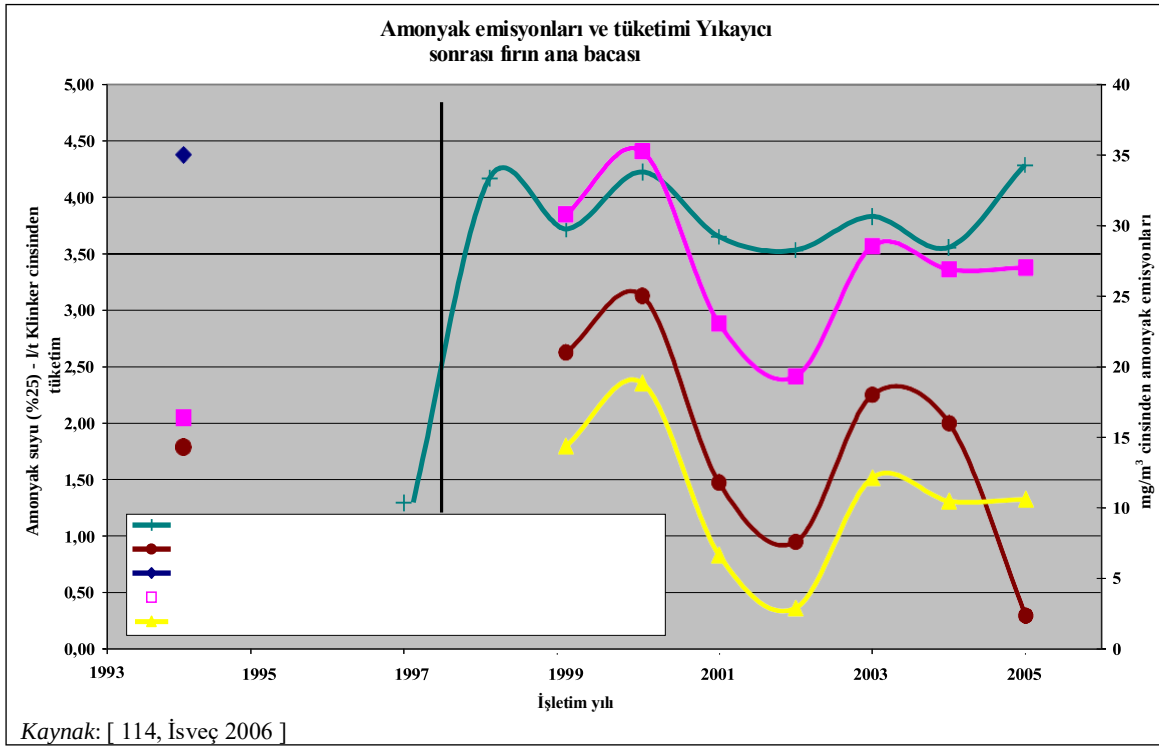
Skövde'de, SNCR işleme alındığında amonyak kayması 5 – 10 mg/Nm³ idi. Slite'da, doğal emisyonlara ek olarak amonyak kayması yaklaşık 5 ila 20 mg/Nm³ idi.

2003 yılında Skövde tesisinde, birden fazla kez yapılan ölçümler, SNCR kullanılmadan 5 mg/Nm³'ün altında ve SNCR kullanıldığında 20 mg/Nm³'ün altında amonyak emisyonu gösterdi.

Farin değirmenlerinin kullanılıyor olması her iki tesis için de önemlidir. Bu öğütme sistemlerinde amonyak toplanmıştır. Skövde'de, işletme süresinin yaklaşık % 98'lik kısmında öğütme sistemleri (farin ve kömür değirmenleri) çalışır durumdaydı. Bu nedenle, bileşik modda (değirmen devrede/devre dışı) elde edilen amonyak emisyonları ortalama verileri temsil ediyordu.

Buna karşılık, Slite çimento fabrikasında, yıkayıcı sıvısındaki amonyanın tamponlandığı bir SO_x yıkayıcı vardır, bu da pikler ve dipleri birbirine yakınlaştırır. Alçıtaşı ürünü ile birlikte, çimento öğütme tesislerine sadece küçük bir amonyak fraksiyonu alınır (3 kg/s). Çimento değirmeni kapalı devrede düşük sıcaklıklarda çalışır ve çimento silosunda amonyak kokusu çok nadiren algılanır. Ayrıca 1998'den beri, amonyak emisyonlarının sürekli ölçümleri yıkayıcı bacasında yapılmıştır. Slite tesisinde ölçülen amonyak emisyonları ve amonyak suyu tüketimi verileri Şekil 6.7'de gösterilmektedir. SO₂ yıkayıcı olmadan çalışma süresi boyunca, amonyak emisyonları 15 ila 35 mg/Nm³ aralığındaydı.

Yıkayıcı hizmete alındığından beri kısa süreli tepe noktaları yükselmiş olup, 125 mg/Nm³'e kadar ulaşmaktadır. Bu durum, yıkayıcı sıvısının sıcaklığının 53'ten 59 °C'ye gelmesi ve dengenin kaymasıyla bir kısım birikmiş amonyanın salınmasından kaynaklanmaktadır. Slite tesisinde yıkayıcı kullanıldığında, ortalama 20 – 35 mg/Nm³ olan amonyak seviyesi çoğunlukla amonyaklı su tüketim eğilimini takip eder. Bu etki, SNCR sistemlerinin yüksek verimliliğine rağmen, optimize edilmiş proses yanma koşulları elde etmek üzere birincil NO_x kontrolünün de öne çıkarılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 6.7: 1994'ten 2005'e kadar İsveç'teki Slite çimento tesislerindeki iki çimento fırınında NH_3 emisyonları ve amonyak suyu tüketimi

İsveç çimento tesislerinde özel teçhizat uygulanmıştır. Bu teçhizatın kullanımı ve düşük NO_x emisyonu tasarımının işletimiyle, ilave amonyak emisyonları 5 – 20 mg/Nm^3 seviyesindeydi. Bununla birlikte amonyak kayması, çimento üretim sürecinin niteliğine göre değişiklik gösterir.

İşletim maliyetleri

Bir SNCR sistemini çalıştırmanın maliyeti, ağırlıklı olarak amonyaklı su tüketimine bağlıdır. Pompalama için çok az enerji gereklidir ve 900 – 1100 °C'lik indirgeme bölgesinde amonyağın yanması, suyu (amonyak taşıyıcısı) buharlaştırmak için gereken ısıyı telafi eder.

1996 yılında yaklaşık 100 avro olan ton % 25 amonyaklı su maliyetinin 2006'da 130 avroya çıkması, Skövde'de ton üretilen klinker başına azaltma maliyetlerinde 0,30 avrodan 0,35 avroya ılımlı bir artışa yol açmıştır. Bu noktada biriken maliyetler ton klinker başına 0,40 ila 0,45 avro aralığına gelmekteydi.

Slite için, Gotland Adası'na nakliye maliyetleri anakaraya göre daha yüksek olduğundan (2007'de maliyet ton başına 140 avro idi), maliyet ton klinker başına 0,40 ila 0,50 avro aralığında dalgalanma gösterdi. Üretim maliyetinde, elektrik, bakım ve amortisman, ton klinker başına ek 0,10 avro gidere karşılık gelir. Başlangıçta hesaplandığı gibi, ton klinker başına toplam maliyet yaklaşık 0,50 ila 0,60 avro arasında kalmıştır.

1997-2005 döneminde, azaltma maliyetleri toplamda yaklaşık 11 milyon avro olarak gerçekleşmiştir. Aynı süre zarfında, yaklaşık 45000 t NO_x azaltıldı. Amortisman, sermaye maliyetleri, enerji maliyetleri ve azaltılan NO_x ile ilgili amonyak maliyetleri dahil toplam maliyet, ton NO_x başına 250 avrodur.

6.2.4.2 Almanya’da kullanılan örnek SNCR tekniği

Almanya’da modern bir kuru proses fırın sistemi kullanan bir örnek çimento tesisinde, SNCR prosesi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu tesis, dört kademeli iki sıralı bir ön ısıtıcı ve bir planet soğutucuya sahip 5,5 m çapında ve 89 m uzunluğunda bir döner fırın kullanmaktadır. Kapasite yaklaşık 3000 t klinker/gündür. Fırın, tam zamanlı olarak yakıt atıklarıyla ateşlenebilir. SNCR uygulaması için besleme kanalı bölgesinde uygun sıcaklık penceresi gerçekleşmektedir. Başlangıç NO_x emisyon seviyesi, günlük bazda yaklaşık 400 – 600 mg/Nm^3 ile oldukça düşüktür. Ancak zaman zaman 1200 mg/Nm^3 veya daha fazla olabilir.

Amonyaklı su (%25 amonyak çözeltisi) 100 m^3 hacimli bir tankta depolanır. Buradan amonyaklı su daha küçük bir kaba pompalanır ve amonyak suyunun enjeksiyonu, uygun bir cihaz tarafından kontrol edilerek, Şekil 6.8’de gösterildiği gibi sekiz boru üzerinden gerçekleşir. Boruların dizilimi besleme kanalındaki sıcaklık profili tarafından belirlenir.



Kaynak: [76, Almanya, 2006]

Şekil 6.8: Yüksek verimli SNCR ve 21 ila 26 numaralarıyla gösterilen boruyla amonyaklı su enjeksiyonu noktaları

Yüksek verimli SNCR prosesi kullanılarak, önemli bir amonyak kayması olmadan sürekli olarak 500 $\text{mg NO}_2/\text{Nm}^3$ emisyon düzeyi elde edilebilir. 500 mg/Nm^3 ’ün altında NO_x emisyonları elde etmek için SNCR tesisinin optimizasyonunu araştırmaya yönelik denemeler yapıldı. 2007’deki bir testten (altı aylık performans testi) en son elde edilen sonuçlar, 350 mg/Nm^3 (günlük ortalama değerler) NO_x emisyon değerlerinin 0,7 (birbirine bağlı işletim) – 0,8 (doğrudan işletim/değirmen devre dışı) $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranları uygulanarak elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, 200 mg/Nm^3 (günlük ortalama değerler) NO_x emisyon değerleri 1,4 (birbirine bağlı işletim) – 1,5 (doğrudan işletim/değirmen devre dışı) $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranları uygulanarak elde edilmiştir. Ancak, yüksek $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranları uygulandığında, amonyak emisyonlarının dikkatle değerlendirilmesi gerekir. Performans testleri sırasında NH_3 emisyonları sürekli olarak ölçülmüştür. Ancak yapılan NH_3 ölçümleri, özellikle çalışma esnasında değirmen devre dışı iken 200 NO_x mg/Nm^3 aralığının sürdürülmesiyle önemli düzeyde amonyak kayması ile sonuçlanmıştır (azami 50 – 200 mg/Nm^3). Genel olarak bakıldığında 200 mg/Nm^3 (NH_3 : üç aylık ortalama değer 11 mg/Nm^3) emisyon seviyesine ulaşmak için amonyak kayması, 350 mg/Nm^3 (NH_3 : üç aylık ortalama değer 21 mg/Nm^3) ile karşılaştırıldığında iki kat daha yüksekti. Bu durum özelinde değirmensiz işletim oranı yaklaşık %10 – 20 idi. Performans

testi sırasında farin ve ESP tozunda ilgili bir amonyak zenginleşmesi gözlemlenmedi. Testler, amonyak emisyonlarının dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini gösterdi. Yukarıdaki işlem nedeniyle meydana gelen amonyak kayması, indirgeyici maddelerin aşırı stokiyometrik ilavesinin sınırlarını belirler [76, Almanya, 2006], [168, Almanya, 2007], [173, Almanya, 2007], [182, TÇG CLM, 2008].

6.2.5 Çimento üretimi – SCR tekniğinin kullanıldığı NO_x azaltımı örneği

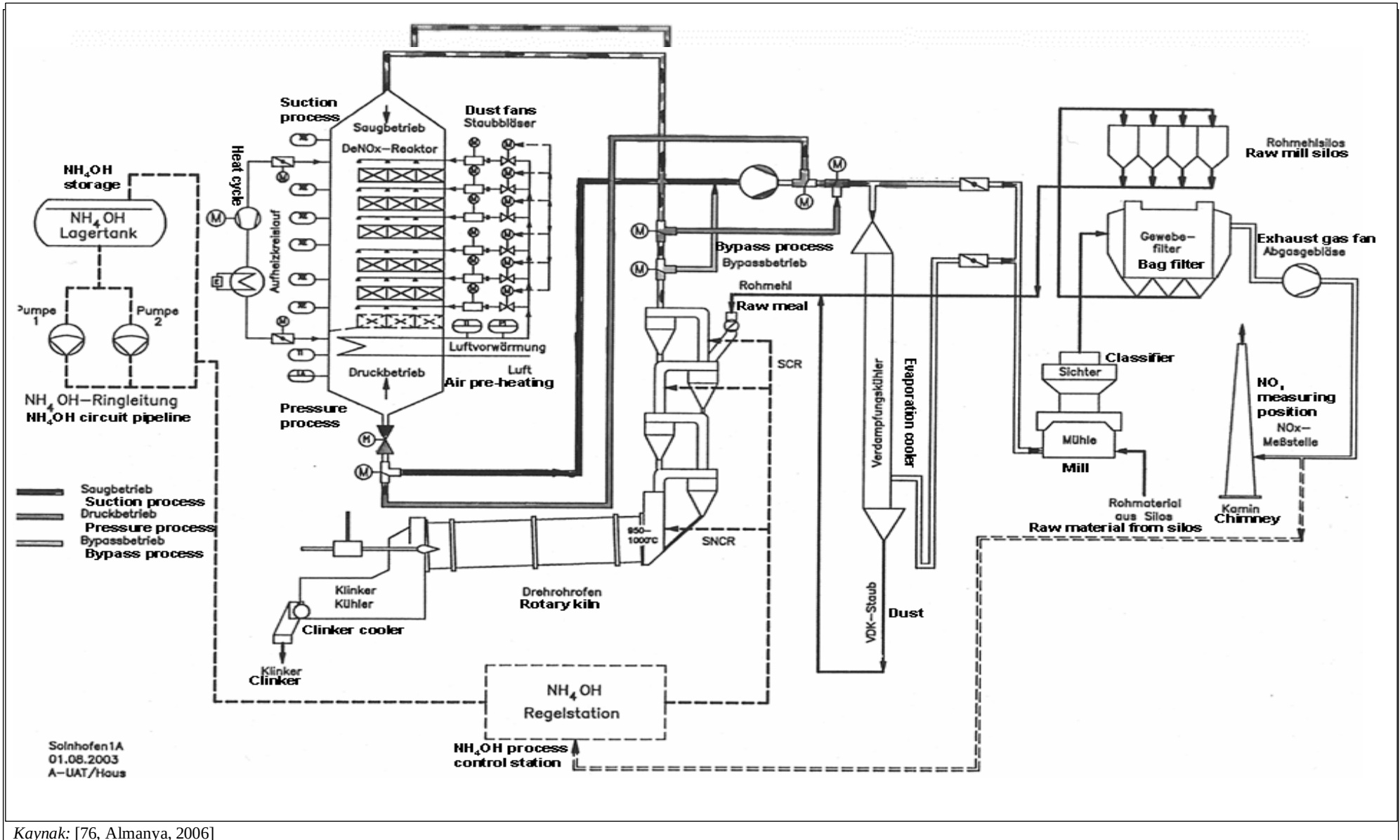
Tanım

İlk tam ölçekli SCR gösterim tesisi, hükümet finansmanı ile Almanya'da inşa edildi. Bu tesis (Solnhofer Portland-Zementwerke) 2001'den beri faaliyettedir. Solnhofer Portland-Zementwerke, aşağıdaki nedenlerden dolayı yüksek tozlu bir SCR sistemi uygulamaya karar verdi:

- SNCR'ye kıyasla daha düşük olan NH₃ tüketimi, daha düşük işletme maliyetleri sağlar
- ▮ dört kademeli ön ısıtıcının üst kısmında, atık gazın sıcaklığı 320 – 350 °C arasında olup SCR'ye uygundur ve torba filtre ile baca arasındaki konfigürasyonun durumunda olduğu gibi yeniden ısıtma gerektirmez, böylelikle enerji maliyetleri ve basınç düşüşü azalır.

Solnhofen'daki SCR reaktörü, altı katman katalitik elemanın kurulumuna izin vermekte, ancak bu katmanlardan sadece üçü kullanılmaktadır. Her katman, her biri 72 katalitik elemana sahip altı modülden oluşur. Katalitik elemanların her biri 15 x 15 x 90 cm boyutlarında olup, taraksı bir yapıya ve TiO₂ ve V₂O₅ bazlı özel bir bileşime sahiptir. Tıkanmayı önlemek için 13 mm'lik (ancak orta katmanda 10 mm) bir açıklık tercih edilmiştir. Entegre tozsuzlaştırma sistemi, katalizör yüzeyindeki toz birikimlerini gidermek için önceden ısıtılmış, yüksek basınçlı hava kullanır. Hava memeleri her katalizör tabakası üzerinde sürekli olarak hareket ettirilir, bu nedenle katalizörden tozu çıkarmak için hizmet kesintisi gerekmez. Tozsuzlaştırma sisteminin optimizasyonu ile, yüksek basınçlı hava tüketimi, başlangıçta ton çimento klinkeri başına 100 m³'ten 18 m³'e düşürüldü, bu da katalizörün çalışması için ton çimento klinkeri başına yaklaşık 0,098 avroluk enerji maliyetiyle sonuçlandı [76, Almanya, 2006].

Solnhofen SCR örnek tesisindeki SCR işlemi Şekil 6.9'da gösterilmektedir.



Kaynak: [76, Almany, 2006]

Şekil 6.9: Almanya'daki  rnek SCR tesisinin akış  eması (Solnhofen Portland-Zementwerke)

SCR reaktörünün en uzun kullanım ömrünü sağlamak için, Şekil 6.9'da gösterildiği gibi, reaktör yukarı veya aşağı yönde çalışmayı kolaylaştırmak üzere tasarlanmıştır. Buna paralel olarak, entegre toz giderme sistemi, her bir katalizör tabakasının üst veya alt yüzeyinden toz birikimlerini üfleleyebilir. Solnhofen'daki deneyim, uzun vadede akış yukarısındaki işletim için beklenen avantajları göstermediğinden, gaz akış yönünü değiştirmeye ihtiyaç olmamıştır. Bu doğrultuda, gelecekteki yüksek tozlu SCR uygulamaları, yalnızca aşağı akış işletimine yönelik tasarlanarak yatırım maliyetleri düşürülebilir.

%25 NH₃ içeren bir su çözeltisi olan indirgeme maddesi, ön ısıtıcının üst kademelerinde çıkış gazına; atık gaz akışı, başlangıç NO_x derişimi ve hedef değere bağlı olmak üzere, stokiyometrik ihtiyacın 0,8 ila 0,9 molar oranında eklenir.

İlk katalizör seti, aşırı kullanım veya aktivite kaybı olmaksızın 40000 saat boyunca çalıştı. Plaka tipi katalizörlerle yapılan sonraki denemeler, daha yüksek mekanik kullanım ve beklenmedik aktivite kayıpları gösterdi. Tam zamanlı emisyon sınır değeri (ESD) uyumluluğunu sağlamak üzere Solnhofen tesisi, 2006 yılında yedekleme için bir SNCR sistemi ile donatıldı.

Elde edilen çevresel faydalar ve işletim verileri

Solnhofen SCR tesisinin NO_x azaltma verimliliği genellikle %59 ila % 67 aralığındadır. 3000 mg/Nm³ ve daha yüksek ham gaz derişimlerinin gözlendiği olağan koşullar dışında, %80'in üstünde NO_x azaltma verimleri gözlemlenmiştir. Normal işletimde SCR, 1000 ila 1600 mg/Nm³'lük ham gaz NO_x emisyonu derişimlerini yaklaşık 400 ila 550 mg/Nm³'e indirir. Solnhofen tesisinin 500 mg/Nm³'lük bir NO_x emisyon sınır değerine uyacak şekilde tasarlandığına ve buna göre çalıştırıldığına, ancak bazen 500 mg/Nm³'lük emisyon sınır değerinin aşıldığına dikkat edilmelidir.

0,8 ila 0,9 molar oran ile NH₃ tüketimi, SNCR uygulamasından önemli ölçüde daha düşüktür. Hammaddeden gelen NH₃ içeriğinin reaktörde indirgeme maddesi olarak da görev gördüğü, dolayısıyla artık NH₃ emisyon seviyesinin çok düşük olduğu belirtilmelidir. Solnhofen tesisinde, SCR genellikle 1 mg/Nm³'ün altında NH₃ emisyonlarına yol açtı.

Bir kampanyada NH₃ dozajı, 200 mg/Nm³'lük hedef NO_x düzeyine göre artırıldı. Bu kampanyada yaklaşık 300 mg/Nm³ emisyon seviyesi elde edilmiştir. Özellikle bu sonuçların sadece üç katalitik katmanla elde edilmiş olması ve kalıntı NH₃ emisyon seviyesinin 1 mg/Nm³ civarında kalması, tekniğin potansiyeline işaret etmektedir.

Ortamlar arası etkiler

Yegane ortamlar arası etki, SCR reaktörünün dahili tozsuzlaştırma sistemi ve ek basınç kayıpları nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyacında küçük bir artış meydana gelmesidir.

Uygulanabilirlik

2008 yılına kadar SCR sadece ön ısıtıcı ve yarı kuru (Lepol) fırın sistemlerinde test edilmiştir, ancak diğer fırın sistemlerine de uygulanabilir olabilir.

Ekonomik boyut

Solnhofen'daki SCR projesinin toplam yatırım maliyeti, altı katalizör katmanı kapasitesi ve yukarı veya aşağı modda çalışma yeteneği gibi geliştirme nedenleriyle yapılan ekstra harcamalar da dahil olmak üzere yaklaşık 3.5 milyon avroydu. Solnhofen deneyimine dayalı olarak yeni bir tesisin yatırım maliyetlerinin, SCR reaktörü için yaklaşık 2,2 milyon avro olduğu tahmin edilmektedir; buna her 5 – 6 yılda bir yenileme maliyetleriyle hesaplanması gereken katalizörler için yaklaşık 250000 avro maliyet dahildir. Bu miktar, sahadan sahaya önemli ölçüde farklılık gösterdiğinden, amonyak depolama ve kanal sistemi maliyetlerini içermez. SCR veya SNCR ile NO_x azaltımının maliyetleri, Solnhofen tesisinden elde edilen pratik deneyime dayalı olarak Alman federal çevre ajansı (UBA) tarafından 1500 t/gün fırın kapasitesi ve 1000'den 500 mg/Nm³'e NO_x azaltımı için tahmin edilmektedir. Tablo 6.26'nın son iki sütununda gösterildiği gibi maliyetler, 200 mg/Nm³'e NO_x azaltımı için tahmin edilir.

Alman UBA hesaplamalarına göre, SNCR ve SCR için işletme maliyetleri, katalizörün değiştirme maliyetleri de dahil olmak üzere, 500 mg/Nm³ hedef NO_x seviyesi için kabaca aynı olup; SCR için toplam özgül maliyetler, SNCR için olandan yaklaşık % 50 daha yüksektir. 200 mg/Nm³ hedef NO_x seviyesinde, SCR işletme maliyetleri açısından daha verimli görünmektedir, ancak toplam özgül maliyetler SNCR ile aynı düzeyde kalmaktadır. Bu rakamları karşılaştırırken, 200 mg/Nm³'lük bir NO_x seviyesi ile uzun vadeli deneyimin SCR veya SNCR için henüz mevcut olmadığı belirtilmelidir. SNCR durumunda, daha yüksek NH₃ emisyonları da hesaba katılmalıdır [76, Almanya, 2006]

Tablo 6.25: Almanya'daki SCR tesisinden temel varsayımlar

Temel parametre	Birim	Faktör
Klinker üretim hızı	t/yıl	480 000
Klinker üretim hızı	t/gün	1 500
İşletim süresi	s/yıl	7 680
Atık gaz akışı	Nm ³ /t	2 300
Başlangıç NO _x seviyesi	mg/Nm ³	1 000
Başlangıç NO _x seviyesi	kg/t	2,3
NH ₃ maliyetleri (% 25 çözelti)	EUR/t	90,00
Katalizör maliyetleri	EUR/Nm ³	7 500
Katalizörün faydalı ömrü	h	40 000
Yatırımların faydalı ömrü	yıl	20
Enflasyon oranı	%	3,0
Kaynak: [76, Almanya, 2006]		

Tablo 6.26: Bir Alman tesisi için Almanya UBA'dan alınan NO_x azaltma teknikleri SCR ve SNCR'nin maliyet karşılaştırması

SNCR ve SCR maliyetlerinin karşılaştırılması					
Parametre	Birim	SNCR	SCR	SNCR	SCR
NO _x hedef değeri	mg/Nm ³	500	500	200	200
NH ₃ eşdeğeri	kg/t	0,44	0,44	0,71	0,71
Stokiyometrik faktör		1,7	0,8	2,5	1,0
NH ₃ (% 25) tüketimi	kg/t	3,02	1,42	7,11	2,84
NH ₃ (% 25) tüketimi	kg/gün	4.550	2.150	10.650	4.250
Katalitik katman sayısı			3		4
İşletme maliyetleri					
NH ₃ tüketimi	EUR/t	0,27	0,13	0,64	0,26
Elektrik enerjisi tüketimi	EUR/t	0,03	0,10	0,06	0,11
Katalizör değiştirme maliyetleri	EUR/t		0,10		0,13
TOPLAM	EUR/t	0,30	0,33	0,70	0,50
Yatırım maliyetleri					
Amonyak sistemi	EUR	600 000	250 000	1 000 000	350 000
SCR reaktörü (katalizörler hariç)	EUR		1 950 000		2 350 000
TOPLAM	EUR	600 000	2 200 000	1 000 000	2 700 000
Özgül yatırım maliyetleri ⁽¹⁾	EUR/t	0,08	0,30	0,14	0,37
Toplam özgül maliyetler ⁽²⁾	EUR/t	0,38	0,62	0,83	0,87
NO _x azaltım maliyetleri	EUR/t NO _x	330,00	540,00	450,00	470,00
(1) Özgül yatırımlar					
(2) Özgül yatırım ve toplam işletme giderleri					
Kaynak: [76, Almanya, 2006]					

Alman Mühendisler Birliği (VDZ) tarafından gerçekleştirilen Alman çimento endüstrisi maliyet hesaplaması, SCR tekniğinin maliyetlerine ilişkin ayrıntılı bir yaklaşımı içermektedir. Yatırım maliyetlerinin yanı sıra, bu çalışma aynı zamanda amonyaklı su maliyetleri, katalizörün temizlenmesi için basınçlı hava kaynaklı güç tüketimi ve katalizörün kendisinden kaynaklanan basınç düşüşü dahil olmak üzere tüm işletme maliyetlerini ve bir çimento tesisi için diğer tipik ekonomik değerlendirme rakamlarını da dikkate almaktadır. Burada, Avrupa enerji ve NH₃ fiyatları baz alındığında,

SNCR maliyetlerinin her zaman SCR'ye göre daha düşük olduğu gösterilmiştir. Teorik olarak, NH_3 fiyatları önemli ölçüde yükselirse ve enerji fiyatları düşerse, SCR ancak çok yüksek indirgeme oranlarında SNCR'den daha az maliyetli hale gelebilir. Ancak, amonyak ve enerji maliyetleri aynı anda artma ve düşme eğilimi gösterdiğinden, bu durum AB bölgesi için geçerli görünmemektedir. Ayrıca, birincil tekniklerle (2007'de Almanya'da ortalama olan $\sim 800 \text{ mg/m}^3$) NO_x azaltma çabalarının, SNCR için daha iyi bir ekonomi sağladığı görülebilir, çünkü bunların maliyetleri amonyak maliyetlerinden büyük ölçüde etkilenir.

SCR sonuçları, tesis boyutuna ve gereken NO_x giderme verimliliğine bağlı olarak ton başına 1,25 ila 2,00 avro arasında değişen bir maliyet aralığı göstermiştir. SCR tekniğinin maliyetleri, SNCR tekniğinin aksine büyük ölçüde yatırımdan kaynaklanmakta olup, bu maliyetler SNCR sistemine göre dört ila dokuz kat daha yüksektir. Ayrıca, enerji tüketimi temelde basınç düşüşü ve katalizör için temizleme havasından kaynaklanmaktadır. SCR sistemi için son özgül rakamlar, tekniğin gelişimini yansıtmaktadır. Önceki bir VDZ çalışmasının belirttiği gibi, SCR için özgül maliyet ton klinker başına 3 avro idi, ancak bu değer 2006'da ton başına yaklaşık 1,75 avroya düşmüştür [76, Almanya, 2006].

Almanya UBA tarafından 1 500 t klinker/gün fırın kapasitesi, 1200 mg/Nm^3 başlangıç emisyonları ve 200, 500 ve 800 mg/Nm^3 olan nihai seviyelere sahip geniş çaplı kurulum için tahmin edilen maliyetler Tablo 6.27'de gösterilmektedir.

Tablo 6.27: 1500 t/gün kapasiteli bir Alman çimento tesisi için SCR kullanımıyla NO_x azaltımına yönelik maliyet hesaplamaları

Teknik	Fırın sistemlerine uygulanabilirlik	Azaltım verimliliği	Bildirilen veriler	
			Yatırım maliyetleri (EUR milyon)	İşletme maliyetleri (EUR)
SCR	Muhtemelen tümüne	% 85 – 95	3,2 – 4,2	0,54 – 0,94
Kaynak: [76, Almanya, 2006]				

6.2.6 Çimento üretimi – CO aşımalarının kontrolüne ilişkin kılavuz

Çoğu durumda kuru çimento imalatı sürecinde, sıcak dışa atım gazı farin değirmeni için ısı sağlar (bileşik çalışma). Farin değirmeninin çalışmadığı durumlarda (doğrudan çalışma) gazlar normalde toz toplayıcısında arıtılmadan önce gaz hacminin azaltılması ve çökelme özelliklerinin artırılması için bir şartlandırma kulesinde su püskürtme yoluyla soğutulur. Çökelme özelliklerinin iyileştirilmesi, elektrostatik toz tutucular için özellikle önemlidir.

Fırının/farin değirmeninin dışa atım gazı, CO₂, N₂, su buharı ve oksijen gibi farklı bileşenlerden oluşur. Ayrıca çok daha düşük seviyede CO ile beraber NO ve SO_x içerir. Baca gazında, hammaddelerdeki karbondan kaynaklanan ek CO ile beraber % 0,1'e varan derişimlerde CO bulunabilir.

'CO aşımaları' kavramı ESP'ler ve bir ölçüde hibrit filtreler için önemlidir, zira bunların baca gazlarında yüksek CO seviyeleri mevcut olduğunda güvenlik nedenleriyle kapatılmaları gerekecektir. Böyle bir kapatma, birkaç saniye ile birkaç dakika boyunca toz emisyonlarında bir artışa neden olacaktır. Baca gazları otomatik CO izleme cihazıyla sürekli olarak izlenmelidir. Bu cihazın tepki süresi ve kapatma prosedürü için optimizasyonu ve uygun şekilde bakımı yapıldığında ESP, spesifikasyonlarında belirtildiği gibi çalışacaktır. İkincil ateşlemeli fırınlarda uygulandığında, CO aşımı sırasında ateşleme sisteminin kademeli olarak kapatılmasıyla filtrelerin daha güvenilir işletimi sağlanabilir.

6.2.6.1 İşletimsel kesintileri azaltma hedefleri – CO aşımaları

Hammaddelerdeki herhangi bir organik içerikten kaynaklanan karbon monoksit, fırın gazları ile birlikte yayılacaktır. Ancak, geri plan CO seviyesine ek olarak, yakıt beslemesi ve/veya yanma havası oranı kontrolü yetersiz kaldığında ek CO aşımaları meydana gelir. CO aşımaları birkaç dakika, hatta saniyeler içinde gerçekleşebilir ve hızla işletim durdurma sınırına ulaşabilir (bkz. Bölüm 1.3.4.1.1).

Bu nedenle ana amaç, yönetimsel yöntemlerle işletim kesintilerini proaktif olarak en aza indirmek, nihayetinde ESP patlamalarını ortadan kaldırmaktır. Sonuç olarak, bir çimento fırınındaki CO seviyesinin kontrolü, özellikle partikül azaltma için ESP'lerin kullanıldığı durumlarda önemlidir. CO aşımı bastırılmadığında, herhangi bir ateşleme kaynağı, özellikle de ESP'lerin yüksek gerilim teçhizatı özel dikkat gerektirir. Yüksek gerilim teçhizatında meydana gelecek bir kesinti son çare olarak görülmeli, istenmeyen bir durum olarak kabul edilmelidir. Diğer potansiyel tutuşma kaynakları ise katı maddelerin birbirlerine sürtünmesi sonucunda oluşan statik yükler veya herhangi bir toz toplama sisteminin fanları olabilir.

Genel olarak > % 6 O₂ varlığında > % 8 CO (veya CH₄) kritik sınırdır. Uygulamada ise, CO aşımı gaz serisinde hızla ilerleyecek ve analiz sistemi alarm vermeden önce bir ateşleme kaynağı için kritik alana ulaşacaktır. Bu nedenle, eyleme geçme seviyesinin teorik seviyeden önemli ölçüde düşük olması beklenen durumdur ve özellikle yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında CH₄ ve H₂ derişimleri daha da etkili bir rol oynar. Bazı durumlarda, ESP kesintisi kritik sınırın çok altında devreye girerken, diğer durumlarda ESP sistemlerinin koruması eksik olabilir.

Yüksek gerilim teçhizatının kesinti seviyesi ölü zamana bağlıdır. Bu da analiz teçhizatının konumuna, tipine ve düzenine bağlıdır. Analiz teçhizatının tepki süresi ne kadar yavaşsa ve analiz noktasından ateşleme kaynağına kadar bekleme süresi ne kadar kısaysa, eyleme geçme seviyesi o kadar düşük olacaktır.

Araştırmalar, kesintilerin ağırlıklı olarak çalıştırma işlemi aşamasında meydana geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, güvenli çalışma için, ESP korumasına yönelik gaz analizörlerinin yalnızca normal çalışma sırasında değil, tüm çalışma aşamalarında devrede olması çok önemlidir. Tesisin duraklama süresini azaltmak için, çalışır durumda bir yedek sisteme sahip olmak da faydalı olabilir.

6.2.6.2 CO en aza indirme geliştirme stratejisi

ESP aksaklık süresini azaltmak için aşağıda belirtildiği gibi sistematik bir kademeli yaklaşım gereklidir:

- ☐ hedefler belirlenir ve kötü yanmadan kaynaklanan CO aşımı nedenleri gibi CO aşımını etkileyen ana faktörler açısından durum değerlendirilir
- ☐ mevcut ve optimum durumların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi, optimizasyon potansiyelinin belirlenmesi ve önceliklerin belirlenmesi – boşluk analizi
- ☐ proses ve analiz sistemi optimizasyonu, istikrar, güvenilirlik ve hızın sağlanması, reaksiyon tekniklerinin optimizasyonu.

Değerlendirme aşamasında, yakıt ve proses bilgileri, CO geliştirme istatistiklerinin yanı sıra analiz teçhizatının konumu, güvenilirliği, kullanılabilirliği ve dinamik davranışına ilişkin bilgiye ihtiyaç vardır. Bunların arasında kurulacak ilişkilerle herhangi bir neden tespit edilebilir ve karşı teknikler ele alınabilir.

CO aşımaları, yanma sisteminin kararsız çalışmasından kaynaklanabilir. Bu, herhangi bir yakıtta, ancak özellikle katı yakıtta meydana gelebilir. Bu nedenle yakıt besleme sistemlerinin, herhangi bir anda fırın sistemine yakıt sıçramasını önleyecek şekilde tasarlanması gerekir. Katı yakıtların taşınma özellikleri özellikle bu açıdan çok önemli bir faktördür ve yakıt hazırlama ve besleme sistemlerinde takılma ve tıkanmaları engellemek için dikkatli bir biçimde kontrol edilmelidir. Bununla birlikte, normal CO emisyonlarını mümkün olduğunca düşük tutma ihtiyacı aynı derecede önemlidir. Böylelikle, eyleme geçme seviyesine olan mesafe artırarak tepki vermek üzere daha fazla süre sağlanır. Bu, yanma ile ilgili olarak optimizasyon ve beslenen yakıtın kalitesi, brülör özellikleri ve konfigürasyonu, fırın hava çekişi, yanma sıcaklığı ve kalma süresinde yapılacak iyileştirmelerle gerçekleştirilir.

6.2.6.3 CO izleme sistemi

İdeal CO izleme sistemi kısa tepki süresine sahip olmalı ve ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaş fırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi CO kaynağına yakın bir yerde bulunmalıdır. Yine de, kanal hacminden kaynaklanan bekleme süresi de dahil olmak üzere tüm sistemin ölü zaman analizinin yapılması gerekir. İdeal olarak CO gazı örneğinin emme noktasından analiz cihazına gidişi boyunca geçen ölü zaman 20 – 30 saniye civarında olacaktır (analiz gecikme süresi). Buna, analiz tepki süresi olarak 10 – 30 saniye ek gecikme süresi eklenerek, azami değerin yaklaşık %85'ine ulaşılmadan önceki toplam azami ölü zaman hesaplanabilir. Toplam ölü zaman, çok erken veya çok geç olmadan ne zaman tedbir alınacağını belirler. CO aşımı eğiminin daha ayrıntılı bir analizi yapılırsa, ESP yüksek gerilim sisteminin ne zaman kapatılması gerektiği ve ne zaman tekrar tam işleme dönebileceğine ilişkin daha kesin bir tahminde bulunabilir, yani CO aşımının kritik alanı ne zaman terk ettiği de hesaba katılır.

CO izleme gecikme süresi, örnek akışını artırarak, örnekleme noktası ile analiz cihazı arasındaki mesafeyi kısaltarak, analiz sistemindeki hacim azaltarak ve hızlı elektronik raporlama sinyali ile azaltılabilir. Piyasadaki *in situ* hızlı sistemlerin <3 saniye tepki süreleri vardır ancak bunlar yüksek toz yüklü gazlar söz konusu olduğunda sınırlamalara tabidirler. Genel olarak, sıkı bir bakım ve kalibrasyon rejimi esas önem taşır. Ancak analiz cihazı aralıkları ve bileşenleri CO için %5 ve CH₄ için %3 olan kritik sınırlara uygun olmalıdır.

6.2.6.4 CO aşımı durumunda yapılacak işlemler

ESP'lerde CO aşımını önlemek için kullanılabilecek birincil tekniklerin bir örneği Tablo 6.28'de açıklanmaktadır. Standart kademeli işlemlerde öncelikli olarak yakıt beslemesi ve yüksek gerilim seviyesi azaltılabilir. Ardından yakıt beslemesinin tümünden kesimi ve yüksek gerilim dönüştürücülerinin otomatik olarak devreden çıkması gelir. Daha sonra fanlar çalışır durumda tutularak sistemin temizlenmesi gerekir. Gerekli temizleme süresi, gecikme süresiyle aynı şekilde belirlenebilir.

Tablo 6.28: ESP'lerden CO aşımını önlemeye yönelik birincil teknik örnekleri

CO aşımını önlemeye yönelik birincil teknikler		
Ölçüm noktası	CO seviyesi (%)	Ölçüm
Ön ısıtıcı kulesinde	0,5	Alarm, ön kalsinatör/fırın giriş pişirme sisteminin kapatılması
	1,2	Ana pişirme sisteminin kapatılması
	2,5	Yüksek gerilim elektrostatik toz tutucunun kapatılması
Ön ısıtıcı kulesi sonrasında	0,5	Alarm, ön kalsinatör/fırın giriş pişirme sisteminin kapatılması
	0,8	Ana pişirme sisteminin kapatılması
	1,5	Yüksek gerilim elektrostatik toz tutucunun kapatılması
	0,5	ESP yüksek gerilim teçhizatının yeniden çalıştırılması
Kaynak: [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [83, CEMBUREAU, 2006]		

6.2.6.5 Torba filtrelerde CO ve CH₄

Aşırı kritik atmosferlerde çalıştırılan torba filtreler de sorunlarla karşılaşabilir. Bu nedenle işletimsel CO seviyesi de mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. ESP'lerde olduğu gibi, CH₄ ve H₂ gibi ek yanıcı gaz bileşenleri kritik seviyeyi düşürür, yani yaklaşık % 2 hidrojen varsa, kritik seviye yaklaşık % 5'e düşer.

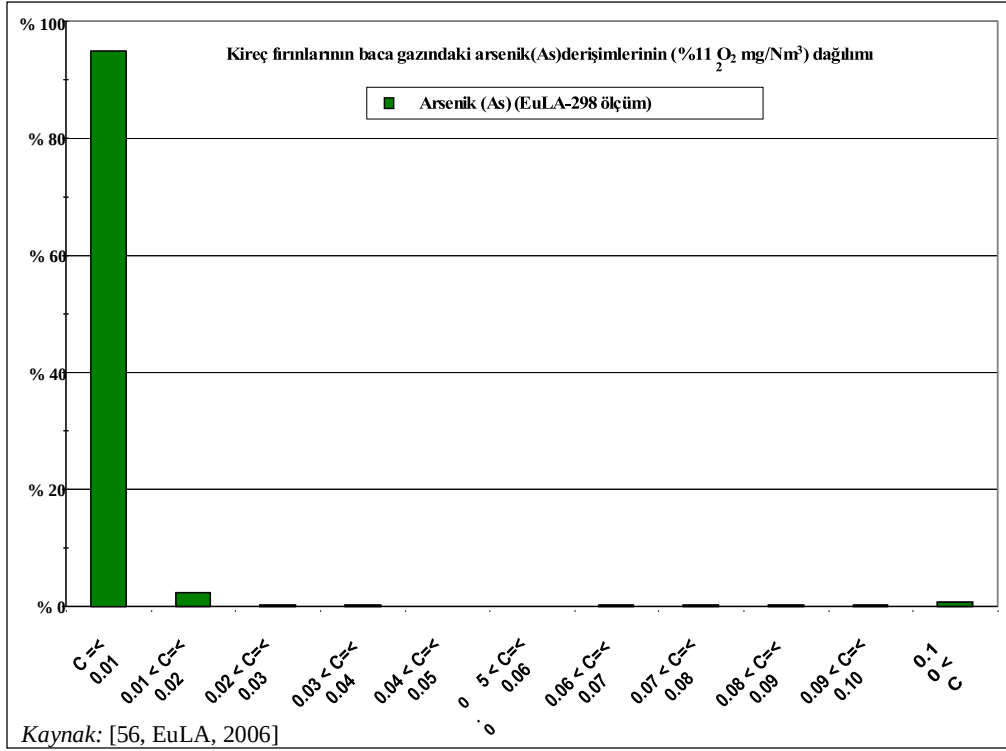
Torba filtreler için özel potansiyel tutuşma kaynakları, suni liflerin sürtüşmesi nedeniyle oluşan statik yükler veya hibrit filtrelerde (ESP ile torba filtrenin bileşimi) torbalar üzerinde biriken statik yüklerdir. Özellikle kömür değirmenlerinde kesintileri önlemek için torbalara paslanmaz çelik fiber ağ veya iletken bir yüzey takılır ve torba filtre hücre plakasına bağlanarak topraklanır. Aynı şekilde hibrit toz toplayıcılar için torba destek kafesinin hücre plakasına bağlanarak topraklanması tavsiye edilmektedir.

ESP sisteminde olduğu gibi, CO unsurunun dışarı atılması gerekir. Kömür değirmenlerinin temizlenmesi tercihen fırın gazı, CO₂ veya N₂ gibi bir atıl gaz vasıtasıyla yapılmalıdır [83, CEMBUREAU, 2006].

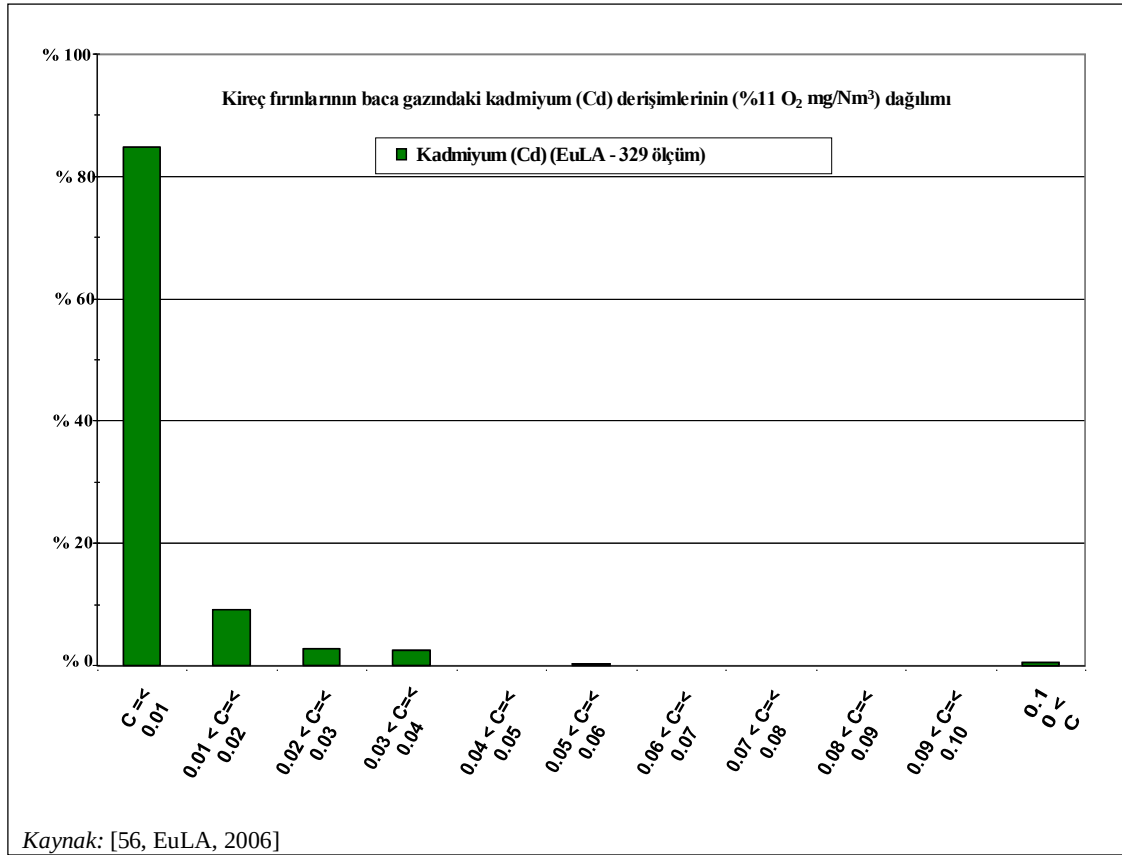
6.3 Kireç üretimi eki

6.3.1 Kireç üretimi – AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki metal derişimlerinin dağılımı

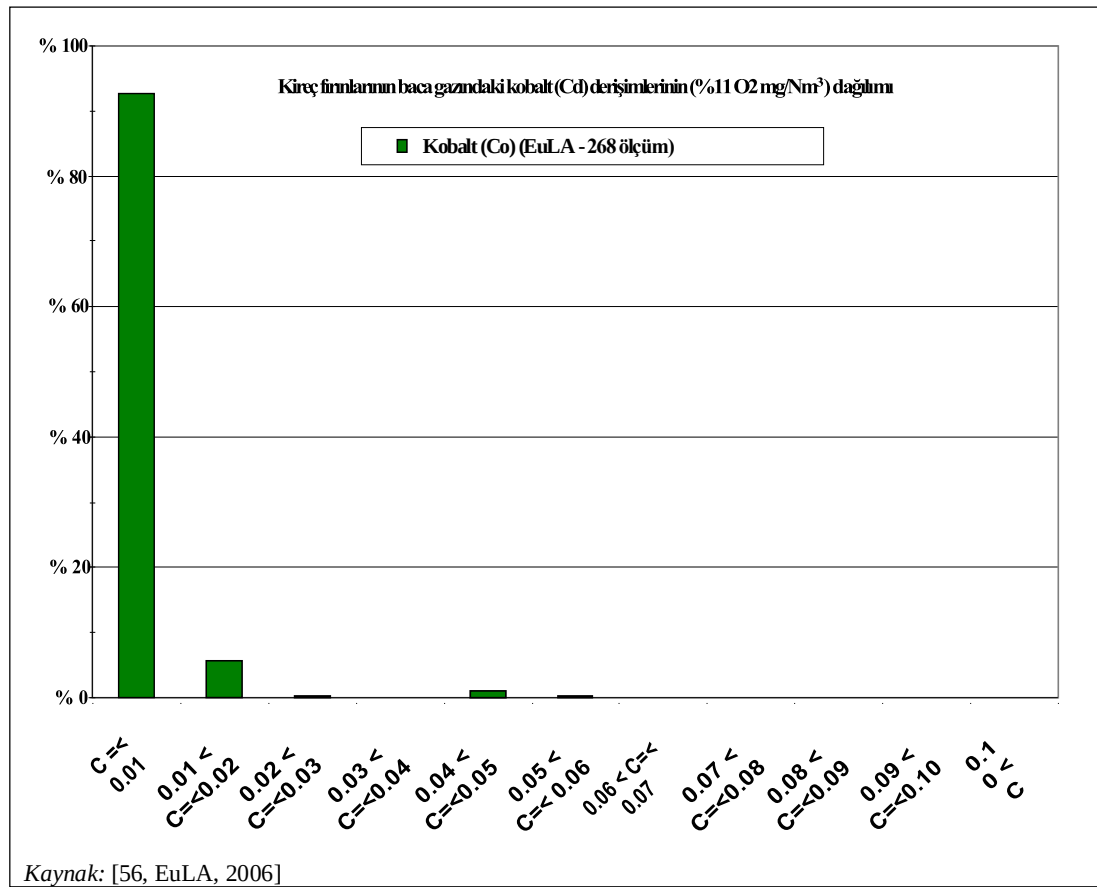
Aşağıdaki şekiller (Şekil 6.10 ila Şekil 6.25), AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki farklı metal derişimlerinin karşılık gelen dağılımlarını göstermektedir (ayrıca bkz. Bölüm 2.3.3.9) [56, EuLA, 2006].



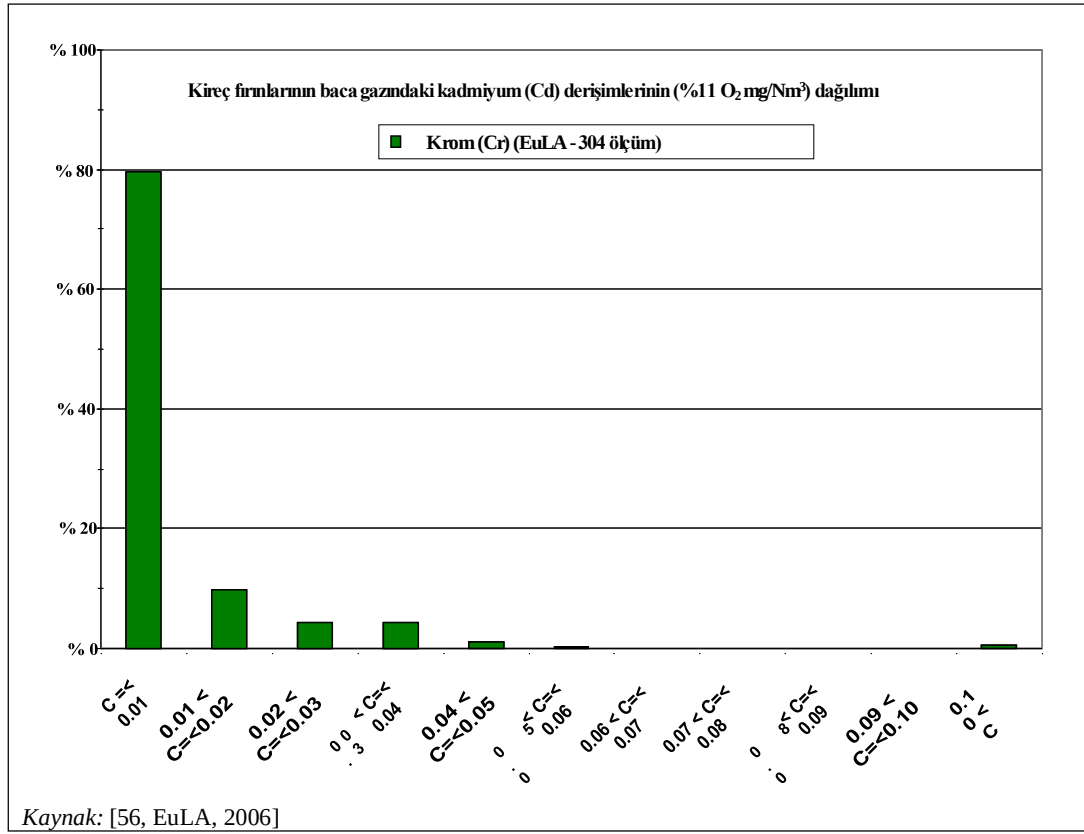
Şekil 6.10: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki arsenik derişimlerinin dağılımı



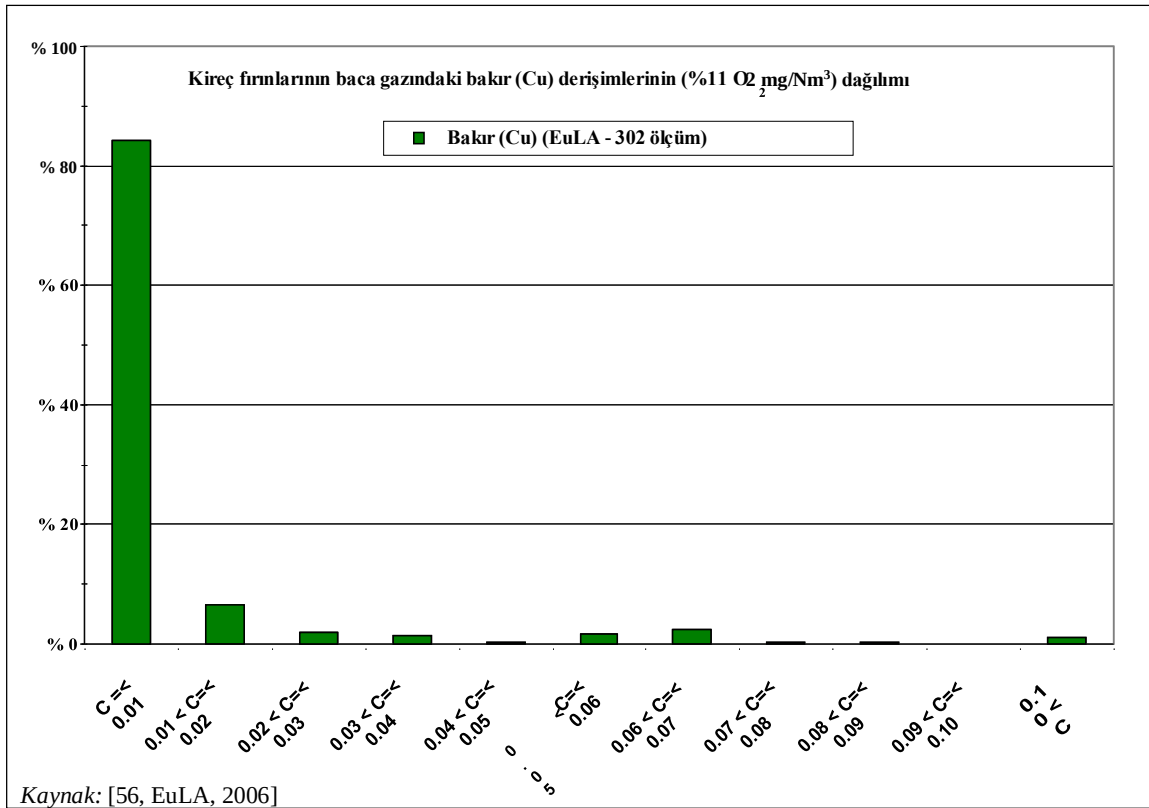
Şekil 6.11: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kadmiyum derişimlerinin dağılımı



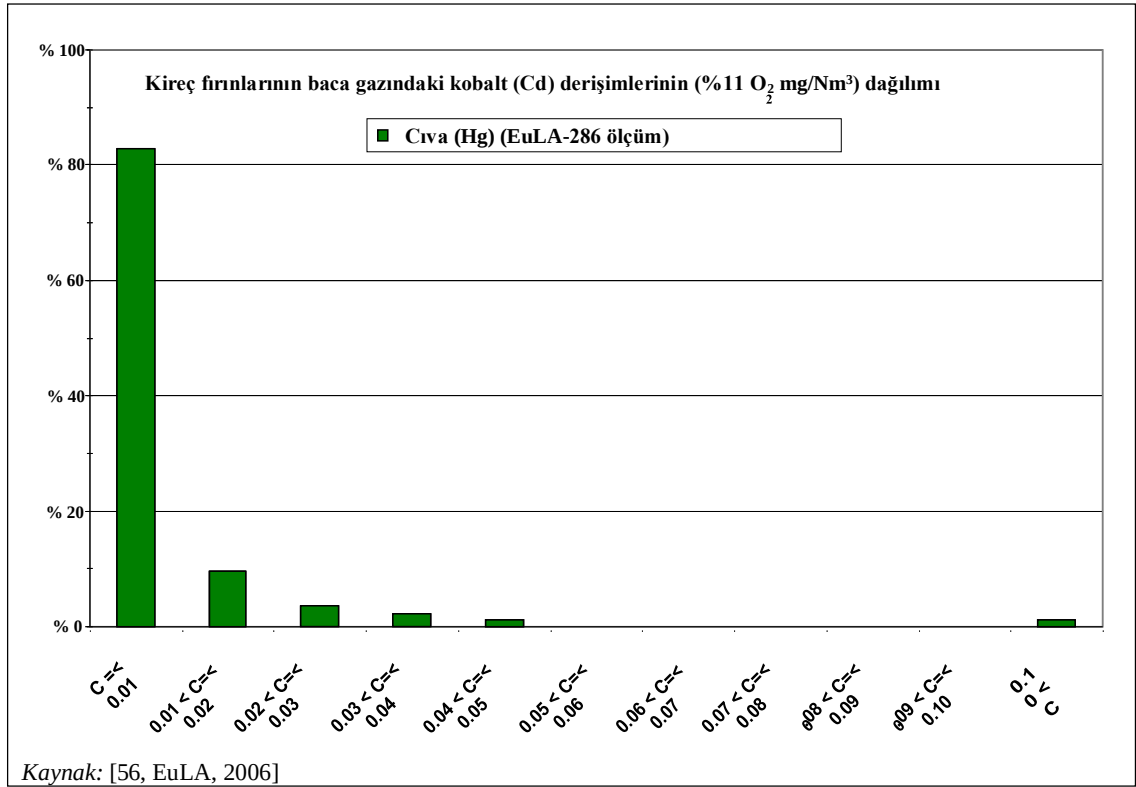
Şekil 6.12: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kobalt derişimlerinin dağılımı



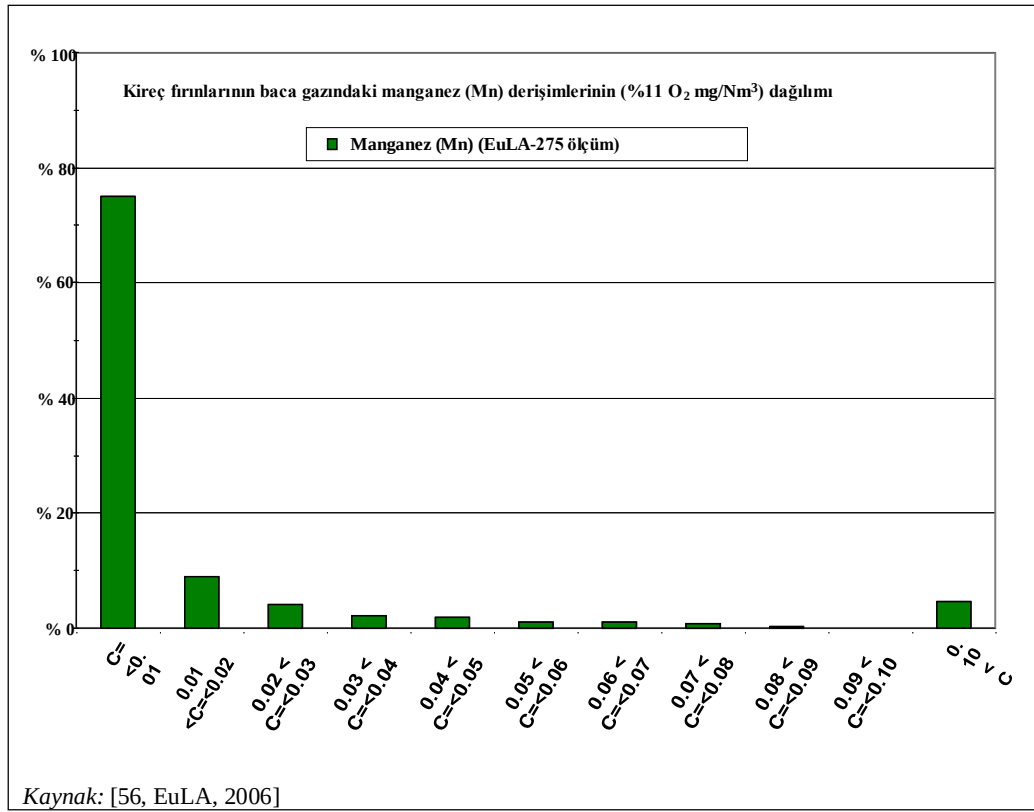
Şekil 6.13: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki krom derişimlerinin dağılımı



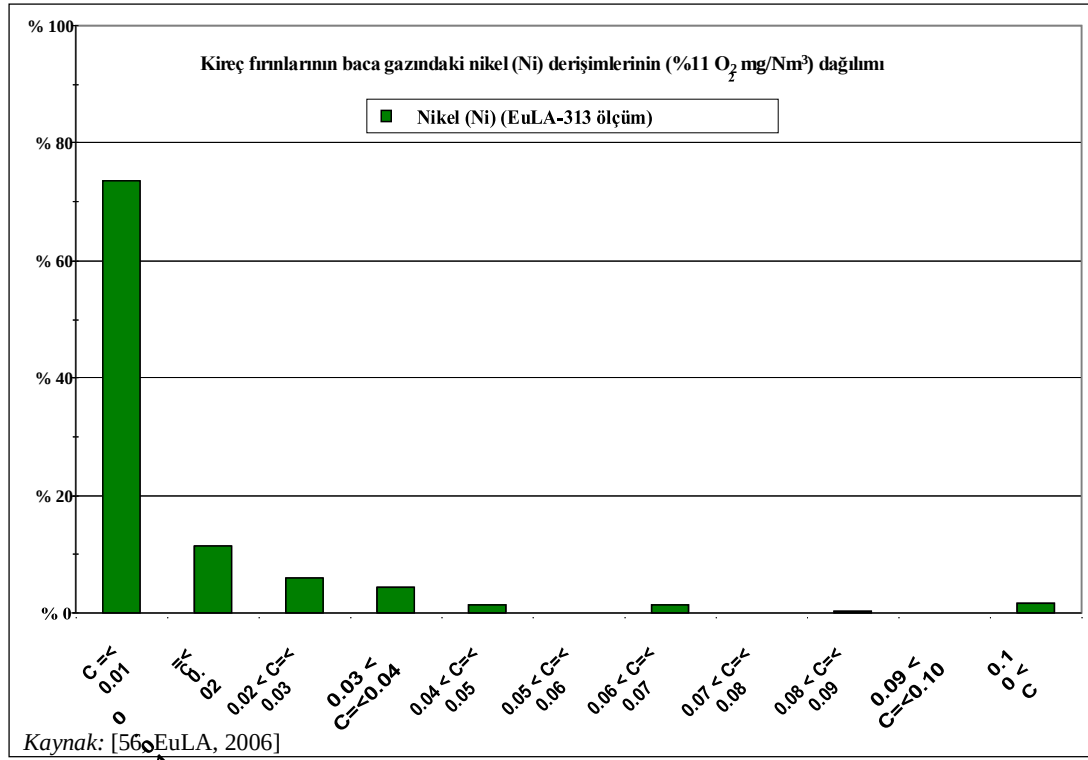
Şekil 6.14: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki bakır derişimlerinin dağılımı



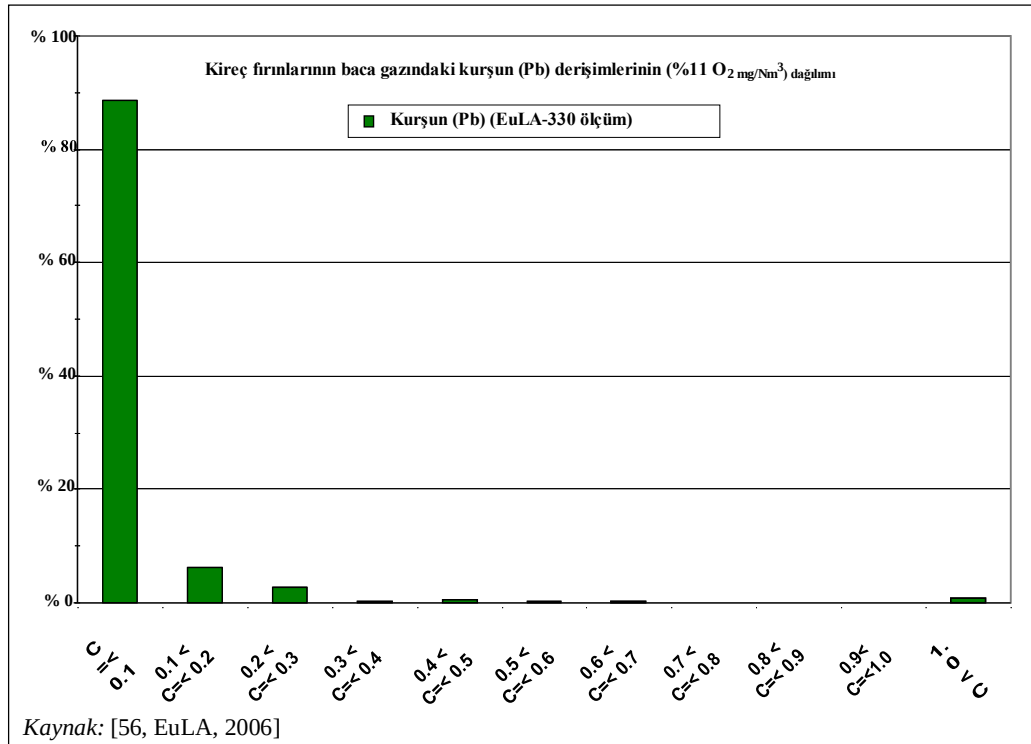
Şekil 6.15: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki cıva derişimlerinin dağılımı



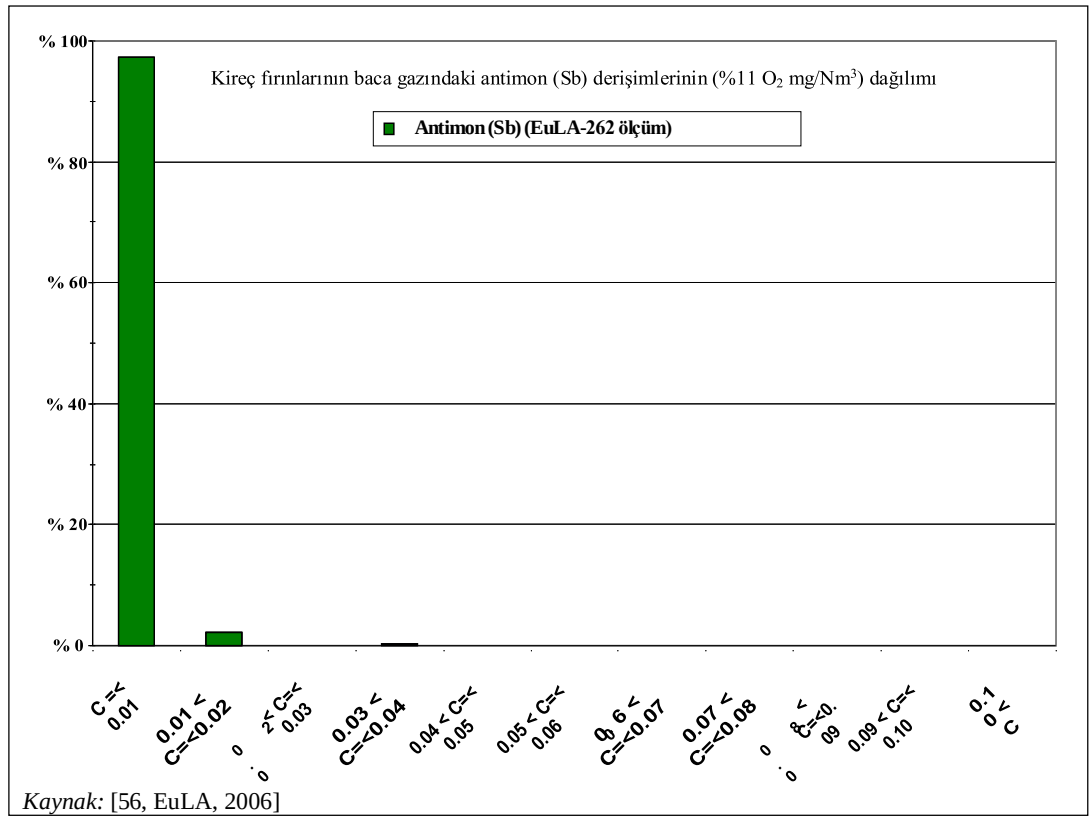
Şekil 6.16: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki manganez derişimlerinin dağılımı



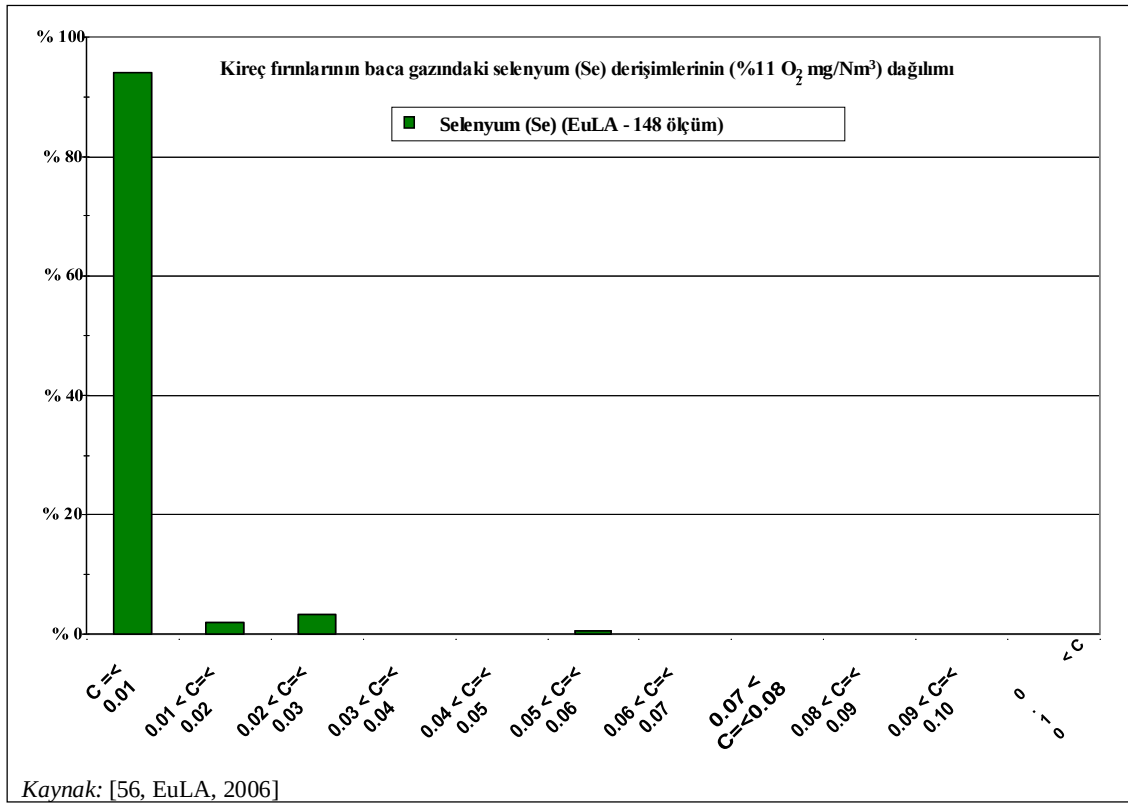
Şekil 6.17: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki nikel derişimlerinin dağılımı



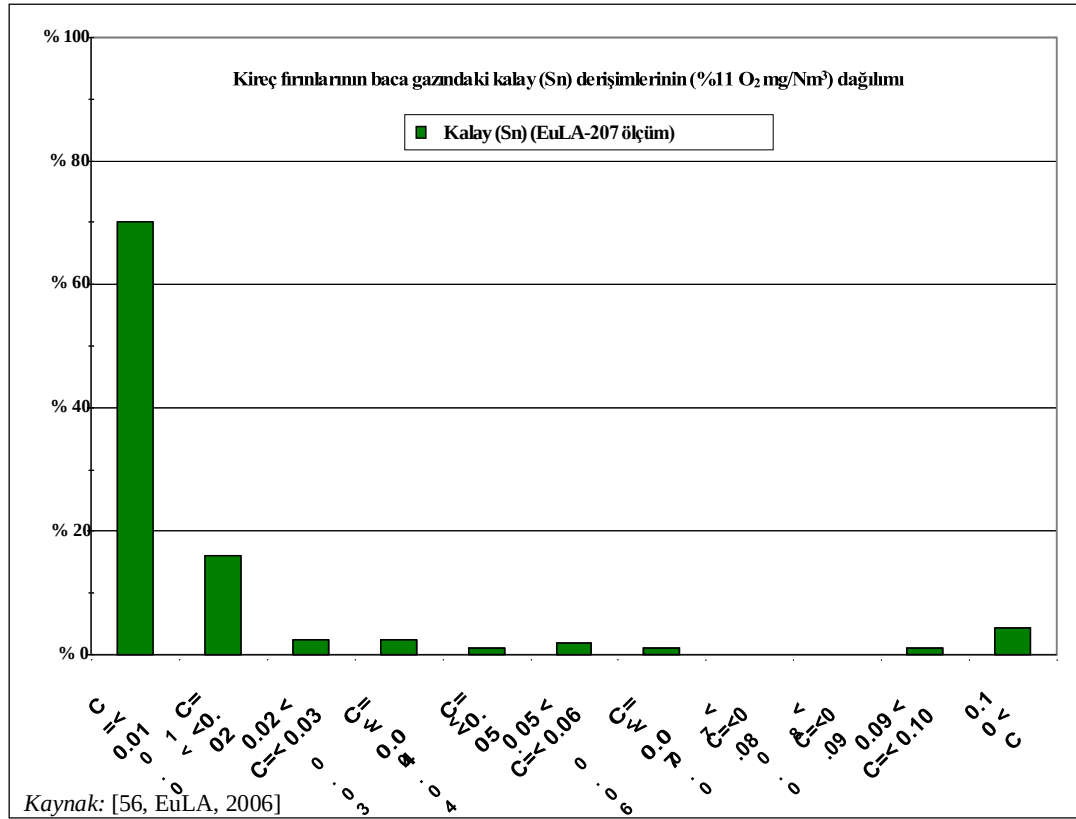
Şekil 6.18: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kurşun derişimlerinin dağılımı



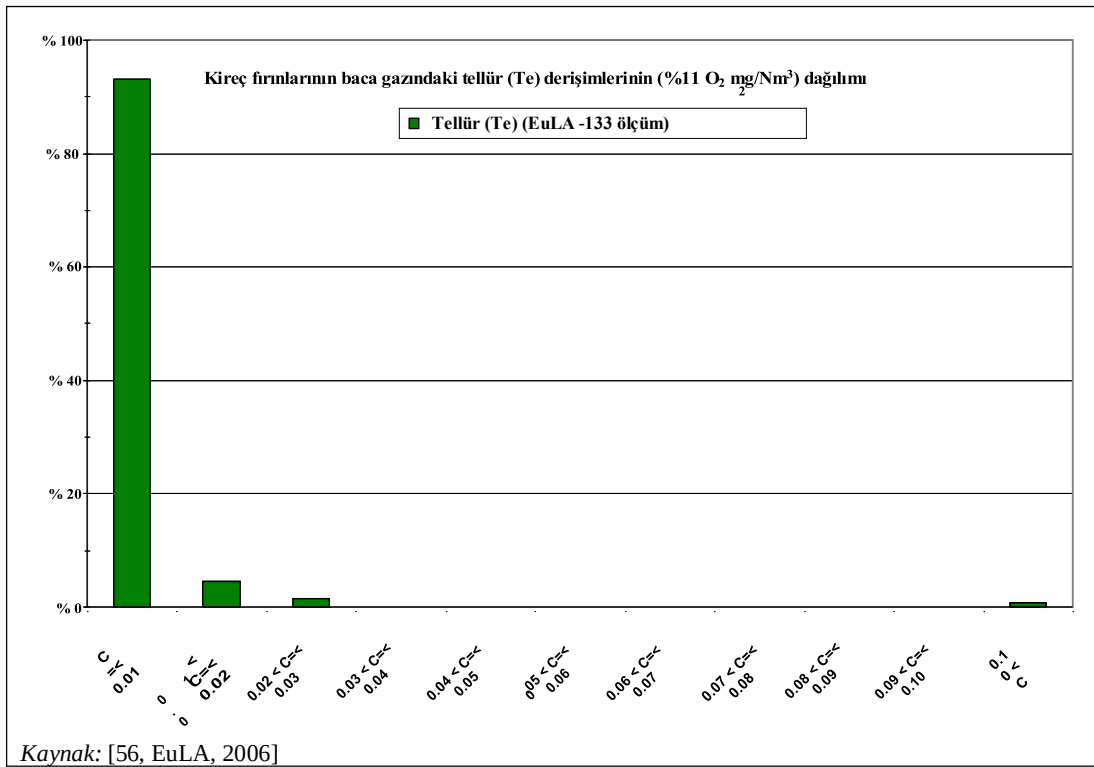
Şekil 6.19: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki antimon derişimlerinin dağılımı



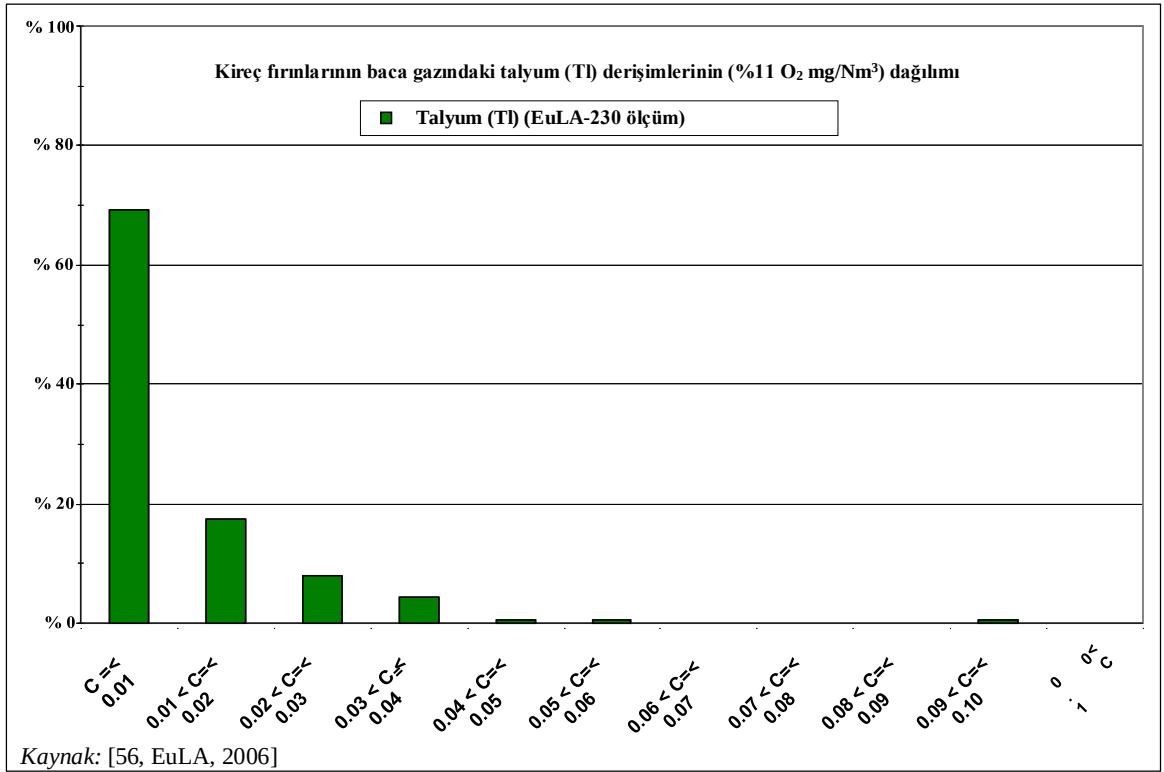
Şekil 6.20: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki selenyum derişimlerinin dağılımı



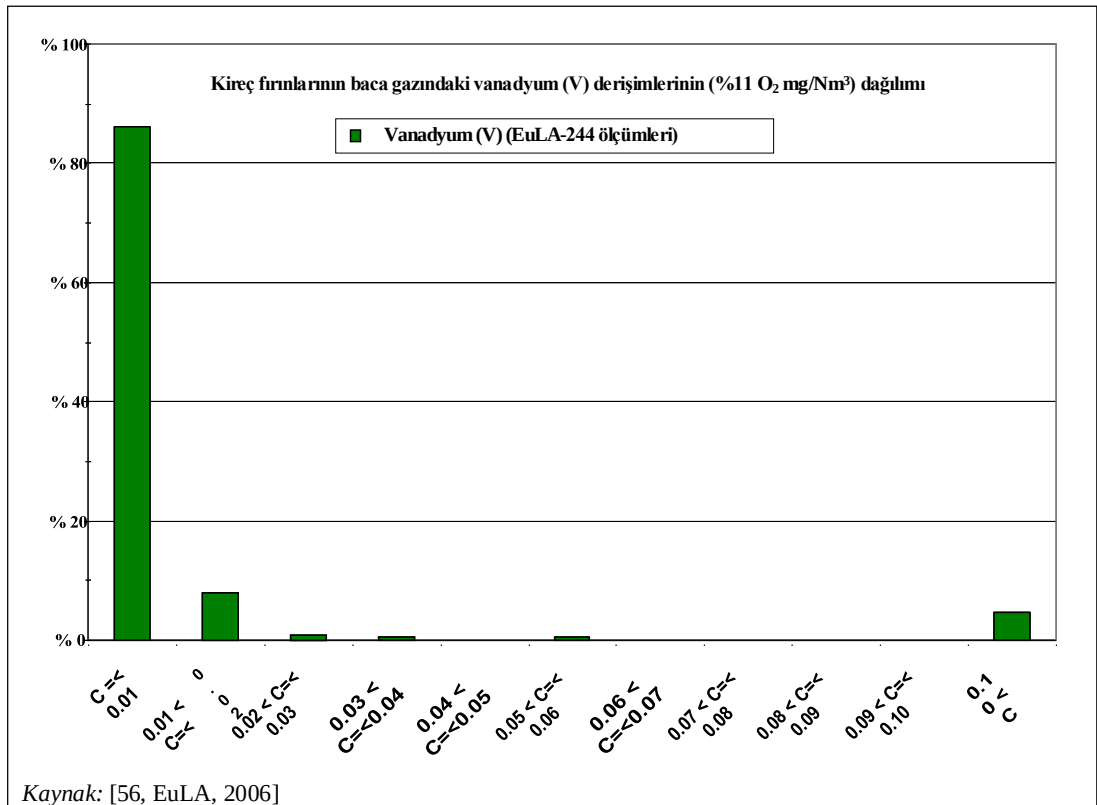
Şekil 6.21: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki kalay derişimlerinin dağılımı



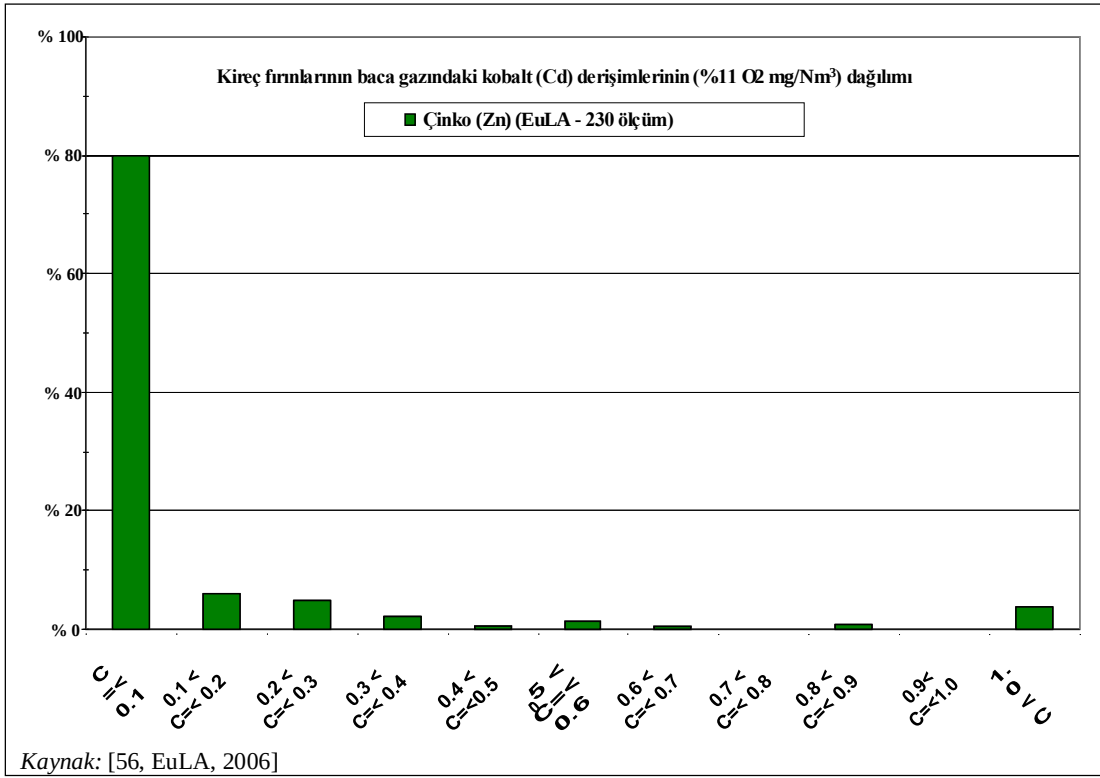
Şekil 6.22: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki tellür derişimlerinin dağılımı



Şekil 6.23: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki talyum derişimlerinin dağılımı



Şekil 6.24: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki vanadyum derişimlerinin dağılımı



Şekil 6.25: AB-27'deki kireç fırınlarının baca gazındaki çinko derişimlerinin dağılımı

6.3.2 Kireç üretimi – tesise özel veriler

6.3.2.1 Hammadde özelliklerine örnekler

Bir Macar kireç tesisinde kullanılmış kireçtaşından elde edilen hammadde bileşimi örneği Tablo 6.29'da gösterilmektedir.

Tablo 6.29: Bir Macar kireç tesisinde kullanılan hammadde bileşimi örneği

Parametre	Birim	Miktar
SiO ₂	%	0,30
Fe ₂ O ₃	%	0,09
Al ₂ O ₃	%	0,27
TiO ₂	%	0,01
CaO	%	54,94
MgO	%	0,91
K ₂ O	%	0,01
Na ₂ O	%	0,01
SO ₃	%	0,10
CO ₂	%	43,05
Cl ⁻	%	<0,01
Yakma sırasında kayıp	%	43,11

Kaynak: [70, Macaristan, 2006]

6.3.2.2 Atıkların yakıt olarak kullanılması – atıklarda kabul edilebilir kirletici içeriğine örnekler

Almanya'dan farklı atık türleri, yani atık yağ ve çözücüler, hayvansal yağ ve hayvansal küspe (karkas unu) için kabul edilen parametreler ve kirletici içerikleri listeleyen örnekler Tablo 6.30'da gösterilmektedir. Ayrıca, Alman kireç tesislerinde kullanılan farklı atık yakıtlar için maddeler için izin kriterlerine (ortanca ve azami değerler) örnekler Tablo 6.31'de gösterilmektedir.

Tablo 6.30: Alman kireç tesislerinde kullanılan atık yağ çözücüler, hayvansal yağlar ve hayvansal küspe (karkas küspesi) için kabul edilen tipik kirletici içerikleri

Parametre	Birim	Atık yağ ve çözücüler		Hayvan yağı	Hayvansal küspe (karkas unu) ⁽²⁾
		Kirletici içeriği		Kirletici içeriği	Kirletici içeriği
		Ortalama	Asgari - azami	Asgari - azami	Asgari - azami
Su içeriği	kütlece %	5	3 – 9		3,0 – 5,7
Kok kalıntısı	kütlece %	1	0,6 – 1,4		
Karbon	kütlece %				1,0 – 59,0
Kül içeriği	kütlece %	0,8	0,4 – 1,2		3,2 – 38,5
Kükürt	kütlece %	0,8	0,5 – 1,2	<0,01 – 0,03	
Klor	kütlece %	0,2	<0,05 – 0,4	25 – 32	<0,18 – 0,37
Flor	kütlece %				<0,02 – 0,10
Azot	kütlece %			460 – 590	
Metaller					
Kadmiyum	mg/kg	0,1	<1	<0,001 – 0,05	
Talyum	mg/kg	<0,5	<1	<0,001 – 0,1	<0,1 – 10,0
Cıva	mg/kg	<0,1	<0,5	<0,01 – 0,8	0,05 – 1,0
Antimon	mg/kg	<1	<5		0,4 – 10,0
Arsenik	mg/kg	<0,1	<1		
Kurşun	mg/kg	51	<100		0,7 – 10,0
Krom	mg/kg	3	<10		3,0 – 63,0
Kobalt	mg/kg	1	<5		0,1 – 9,0
Bakır	mg/kg	120	<250		5,2 – 50,0
Manganez	mg/kg	5	<10		5,6 – 45,0
Nikel	mg/kg	2	<10		1,0 – 39,0
Vanadyum	mg/kg	<1	<1		1,1 – 20,0
Kalay	mg/kg	< 4	< 4		0,3 – 7,2
Arsenik	mg/kg				0,6 – 11,0
Kadmiyum	mg/kg				0,1 – 1,0
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	mg/kg	<188	<400	<0,1 – 0,9	
Σ Ni, V	mg/kg			<0,2	
Toplam PCB ⁽¹⁾	mg/kg	10	25		
(1) DIN EN 12 766, bölüm 2, süreç B'ye göre (2) Yakıt atık: SRM-unu (karkas unu), ısııl değer: ☐ min=14 MJ/kg ☐ maks=21,5 MJ/kg Kaynak: [155, Almanya, 2007]					

Tablo 6.31: Alman kireç tesislerinde kullanılan farklı atık yakıtlar için maddeler için izin kriterleri (ortanca ve azami değerler) örnekleri

Parametre	Yakıt atık 1		Yakıt atık 2		Yakıt atık 3		Yakıt atık 4	
	Medyan değer	Azami değer	Medyan değer	Azami değer	Medyan değer	Azami değer	Medyan değer	Azami değer
	(mg/kg)							
Hg	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,6	1,2
Cd	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0	4,0	9,0
Tl	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	2,0
As	5,9	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0	5,0	13,0
Co	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0
Ni	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	25,0	50,0
Sb	40,0	100,0	40,0	100,0	25,0	60,0	25,0	60,0
Pb	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	70,0	200,0
Cr	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	120,0
Cu	100,0	250,0	90,0	250,0	90,0	500,0	120,0	300,0
Mn	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
V	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	25,0
Sn	15,0	50,0	15,0	50,0	15,0	75,0	30,0	70,0
Toplam Cl	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0
Toplam F	250,0	500,0	250,0	500,0	250,0	1 000,0	250,0	1 000,0
Be	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	2,0
Zn	400,0	500,0	400,0	500,0	400,0	1000,0	400,0	1 000,0
PCB		<3		<1		<1		<1
	(% a/a)							
Nem	8,0	<10,0	11,0	<12,5	18,0	<20,0	18,0	<20,0
Kül içeriği	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0	11,0	<15,0
Toplam S	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3	0,2	<0,3
	(MJ/kg)							
Isıl değer ⁽¹⁾	25 – 31		23 – 29		20 – 24		18 – 22	
Medyan değer: Yakıt atık bileşiminin olası varyasyonunu dikkate alan pratik deneyime dayalı 50. yüzde değeri Azami değer: 100. yüzdelik değer ⁽¹⁾ Min – maks Kaynak: [50, Almanya, 2006]								

6.3.2.3 Tüketim ve emisyon verilerine örnekler*Enerji tüketimi*

Tablo 6.32, 2004 yılında Avusturya kireç fırınları için işletme verilerini ve özgül enerji taleplerini göstermektedir. Bu farklı tip kireç fırınları yakıt olarak doğalgaz, ağır fuel oil ve/veya kok kullanır.

Tablo 6.32: 2004 yılında Avusturya kireç fırınlarının işletme verileri ve özgül enerji talebi

Parametre		Birim	Paralel akış rejeneratif fırınlar	Dairesel şaft fırınlar	Diğer şaft fırınlar
Tek fırın kapasiteleri		t/gün	150 – 390	140 – 220	100 – 200
Özgül enerji ihtiyacı		MJ/t _{kireç}	3 500 – 3 800	4 200 – 4 700	3 800 – 5 100
Kullanılmış yakıtlar			Doğalgaz, ağır fuel oil	Doğalgaz, ağır fuel oil	Doğalgaz, kok
Yıllık kullanılan yakıt miktarı (tüm fırınlar)	Doğalgaz	milyon Nm ³	46	12	13
	Ağır fuel oil	t	4 000	4 500	-
	Kok	t	-	-	1 000
Kaynak: [66, Avusturya, 2006]					

Avusturya'da ortalama olarak kireç yakma enerji talebi yaklaşık 3760 MJ/t kireçtir. Isıma kayıpları daha düşük olduğu için fırının boyutu ile enerji talebi arasındaki korelasyon çimento üretimindeki kadar önemli değildir. Enerji talebini etkileyen bir faktör, ürünlerde kalan CO₂ içeriğidir; bu da kireç ürününün reaktivitesine bağlıdır. Enerji talebi, az yanmış kirece göre çok yanmış kireç için daha yüksektir. Enerji talebi aynı zamanda artık karbondioksit de bağlıdır. Paralel akışlı rejeneratif fırının ve kısmen diğer fırınların daha düşük enerji talebi, ürünlerdeki yüksek artık CO₂ içeriğine (>%5) bağlıdır. Düşük CO₂ içerikli kireç üretimi için enerji talebi artar [66, Avusturya, 2006], [168, TÇG CLM, 2007].

Tablo 6.33'te gösterilen İspanya'daki kireç üretimindeki enerji tüketimi örnekleri ortalama değerlerdir. İspanyol kireç fırınları için hesaplanan ağırlıklı ortalama değeri 3,984 GJ/ton kireçtir. 2008 – 2012 dönemi için 3,681 GJ/ton kireç değeri beklenmektedir [55, İspanya, 2006].

Tablo 6.33: İspanya'daki çeşitli kireç fırınlarının enerji tüketimi

Fırın tipi	Sayı	Yüzde (%)	Güncellenmiş enerji tüketimi GJ/ton kireç		
			Asgari	Ortalama	Azami
Uzun döner fırınlar (LRK)	4	7		6,6 ⁽¹⁾	
Ön ısıtıcılı döner fırınlar (PRK)	1	2	5,4	-	-
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	35	61	3,534	3,752	3,889
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	2	4	3,958	4,156	4,355
Karışık beslemeli şaft fırınlar (MFSK)	-	-	-	-	-
Diğer fırınlar (OK) ⁽²⁾	15	26	4,085	4,150	4,268
(1) İspanya dışında yer alan şirketler. Hesaba katılan enerji tüketim değeri 6,6 GJ/ton kireçtir.					
(2) Diğer şaft fırınlar					
Kaynak: [55, İspanya, 2006]					

Münferit AB Üye Devletlerinde gözlemlenen emisyonların derlenmesi

Almanya'daki çeşitli kireç fırınlarından kaynaklanan emisyonlara örnekler Tablo 6.34'de verilmektedir.

Tablo 6.34: Almanya'daki kireç fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon örnekleri

Fırın tipi	Emisyon derişimi ⁽³⁾				
	NO _x (mg/Nm ³) ⁽¹⁾	CO (mg/Nm ³)	PCDD/F (ng I- TEQ/Nm ³)	HCl ⁽⁵⁾ (mg/Nm ³)	HF (mg/Nm ³)
Sönmemiş kireç (az ila çok yanmış)					
Uzun döner fırınlar (LRK)	≤500	<1 000	<0,1	<50	<1
Ön ısıtıcı döner fırınlar (PRK) ⁽²⁾	≤1 500	<1 000	<0,1	<20	<1
Paralel akış rejeneratif fırınlar (PFRK)	<100 – <400	<1 000	0,001 – <0,1	<10	<1
Dairesel şaft fırınlar (ASK)	<100 – <500	1 000 – <3 000	0,003 – <0,1	<40	<2
Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	<100 – <500	6 000 – 42 000	<0.01 – 0.1 ⁽⁴⁾	<20	<1
Diğer fırınlar (OK): □ çok hazneli şaft fırın □ çift eğimli şaft fırın	<500 300 – <500	<2 000 <2 000	Mevcut veri yoktur 0,001 – <0,1	Mevcut veri yoktur <10	Mevcut veri yoktur <1
Dolim (az yanmıştan sinterlenmiş)					
Uzun döner fırınlar (LRK)	-	-	-	<150	<1
Ön ısıtıcı döner fırınlar (PRK)	-	-	-	<30	<1
Karışık beslemeli şaft fırın (MFSK)	-	-	-	<20	<1
Atıkların kullanımı				10 ⁽⁶⁾	1 ⁽⁶⁾
				60 ⁽⁷⁾	4 ⁽⁷⁾
(1) Azot monoksit ve azot dioksit, azot dioksit olarak belirtilir (2) Izgara ön ısıtıcı döner fırın (3) Emisyon derişimleri, altı saatlik ortalama değerler olarak ölçülür ve kıyaslanabilirlik için %10 O₂ referansıyla ilişkilendirilir (4) Bir vakada, bir karışık besleme şaftlı fırında 0,26 ng I-TEQ/Nm³ ölçülmüştür. Bu fırın 2006 yılı sonunda hizmet dışı bırakıldı. (5) Kireçtaşındaki klor bileşiklerinin içeriğine bağlıdır (50 – 100 ppm) (6) Günlük ortalama değer (7) Yarı saatlik ortalama değer Kaynak: [46, Almanya, 2006]					

Tablo 6.35'te farklı fırınlar ve yakıtlar kullanan çeşitli AB Üye Devletlerindeki kireç tesislerinden emisyon örnekleri gösterilmektedir.

Tablo 6.35: AB Üye Devletlerinde gözlemlenen NO_x emisyonlarının örnekleri

AB üye devleti	Toz emisyonları (mg/Nm ³)	NO _x emisyonları (mg/Nm ³)	SO _x emisyonları (mg/Nm ³)	CO emisyonları (mg/Nm ³)	TOK emisyonları (mg/Nm ³)	Kullanılan fırınlar	Kullanılan yakıtlar
Almanya	-	100 – 150 ⁽¹⁾	<100 ⁽²⁾	-	-	Çok hazneli şaft fırın	-
	-	<500	-	-	-	RK	-
	-	-	-	-	<5 – >5 ⁽⁷⁾	MFSK	-
	-	-	-	-	5 – <50 ⁽⁸⁾ <1 (benzen)	ASK	-
Almanya'da özel örnek	-	-	-	-	995 14,6 ^(benzen)	ASK	-
Finlandiya ⁽⁶⁾	2 ⁽³⁾	65	15	-	-	PFRK	Ağır fuel oil ⁽⁴⁾
Macaristan ⁽⁶⁾	1,4	32,2	4,8	3,9	-	-	Doğal gaz
Çek Cumhuriyeti ⁽⁵⁾	-	400 t/yıl	130 t/yıl	-	-	-	-
⁽¹⁾ % 10 O ₂ ⁽²⁾ Nominal termal kapasitenin % 60'ından fazlası atıklardan kaynaklanıyorsa (tehlikeli atık olması durumunda % 40'tan fazla), % 10 oksijenle ilişkili olarak 50 mg/Nm ³ günlük ortalama değerdir. ⁽³⁾ Torba filtre ⁽⁴⁾ Yüzde 0,6 olan düşük kükürt içeriği, hammadde kükürt içeriği de düşüktür ⁽⁵⁾ 2006 ⁽⁶⁾ Spot ölçümler ⁽⁷⁾ Proses koşullarına bağlı olarak, MFSK atıklarının kullanımına uygun değildir; çift eğimli şaft fırınlar ve çok odalı şaft fırınlar için veri mevcut değildir ⁽⁸⁾ Çözücüler veya atık yağ gibi atıkların kullanıldığı bu tip fırınlar daha yüksek TOK emisyonlarına sahip değildir Kaynak: [45, Schorcht, 2006] [46, Almanya, 2006] [64, Çek Cumhuriyeti, 2006] [71, Macaristan, 2006]							

Avusturya kireç fırınlarından kaynaklanan farklı emisyonlara ilişkin emisyon değerleri Tablo 6.36'da gösterilmektedir. 2006 yılında NO_x emisyonlarını azaltmak için herhangi bir teknik kullanılmıyordu. Yüksek artık CO₂ içeriği için 0,007 ila 0,22 g/Nm³ ve düşük artık CO₂ içeriği için 5 g/Nm³'e kadar CO emisyonları rapor edilmektedir. Dairesel şaft fırınlar için, CO emisyonları 0,1 ila 3 g/Nm³ ve diğer şaft fırınlarda 0,01 ila 5 g/Nm³ aralığındadır.

Tablo 6.36: Avusturya kireç fırınlarından kaynaklanan emisyonlar

Parametre	Birim	Derişim ⁽¹⁾ (²⁾		
		Paralel akış rejeneratif fırınlar ⁽³⁾	Dairesel şaft fırınlar ⁽³⁾	Diğer şaft fırınlar ⁽³⁾
Baca gazı hacmi	Nm ³ /s	15 000 – 45 000	11 000 – 20 000	7 500 – 22 000
Oksijen içeriği	ha. %	8 – 12	6 – 15	6 – 17,5
Toz	mg/Nm ³	<20		
HCl	mg/Nm ³	0,6 – 3,6		
HF	mg/Nm ³	0,01 – 0,14		
NO ₂ olarak NO _x	mg/Nm ³	<150	<250	<250
SO ₂ olarak SO _x	mg/Nm ³	<100	<10	<20
CO	g/Nm ³	0,007 – 0,22 (yüksek artık CO ₂ içeriği) ve 5'e kadar (düşük artık CO ₂)	0,1 – 3	0,01 – 5
Toplam C	mg/Nm ³	<100	<10	<10
□ (Cd, Tl) ⁽⁴⁾	mg/Nm ³	0,0001 – 0,002		
Hg	mg/Nm ³	0,0001 – 0,003		
□ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Sn) ⁽⁴⁾	mg/Nm ³	0,0001 – 0,0052		
PCDD/F ⁽⁴⁾	ng I-I-TEQ/Nm ³	<0,05	<0,03	<0,03
Benzen	mg/Nm ³	0,04		
Benzo-a-piren ⁽⁴⁾	mg/Nm ³	<0,0003		

(1) Derişimler, 30 dakika ile bir gün arasında değişen aralıklarda gerçekleştirilen tekil ölçümler/tekniklerden elde edilmiştir.

(2) Baca gazında % 10 oksijeni referans alır

(3) Torba filtre kullanımı

(4) Alt değer, tespit sınırına karşılık gelir

Kaynak: [66, Avusturya, 2006]

Farklı türde kireç fırınları kullanan birkaç Fin kireç tesisinin elde ettiği emisyon verilerine örnekler Tablo 6.37'de verilmektedir. Emisyon verileri 1998'den 2006'ya kadar toplanmıştır. Yakıt olarak kömür ve kok, ağır veya hafif fuel oil, kok gazı veya petrokok kullanılmış ancak yakıt atık kullanılmamıştır. 2005 yılında, döner fırında ESP kullanılarak 5 mg/Nm³'ten daha düşük toz emisyon verileri elde edilebilmiş ve bir dairesel şaft fırında torba filtre kullanımıyla 1,7 ile 2,2 mg/Nm³ aralığında emisyon aralıkları elde edilmiştir. Tablo 6.38, yakıt olarak rejenere fuel oil kullanan bir Fin kireç tesisinden kaynaklanan metal emisyonlarının örneklerini göstermektedir.

Tablo 6.37: 1998'den 2006'ya kadar farklı türde kireç fırınları kullanan birkaç Fin kireç tesisinden kaynaklanan toz, NO_x, SO_x, CO ve CO₂ emisyonları

Emisyonlar (mg/Nm ³)	Tesis No.	Fırın	Filtre	Yakıtlar	1998	O ₂ (⁶) %	1999	O ₂ (⁶) %	2000	O ₂ (⁶) %	2001	O ₂ (⁶) %	2002	O ₂ (⁶) %	2003	O ₂ (⁶) %	2004	O ₂ (⁶) %	2005	O ₂ (⁶) %	2006	O ₂ (⁶) %
Toz	Tesis 1	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05	<10	6	32 – 18	7	<5 ve 13	6,7	5	6,4	<5	6,1	<5	9,3	<5(⁷)	12,5	<5	6		
		LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05	156 – 113	10			192 ve 9	10,7	14(⁷)	11	<5(⁷)	11	<5	10,9	34 – 41(⁷)	11,6	<5(⁷)	11		
	Tesis 2	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür							26 – 40	7			63 – 48	7,2 – 10					85 – 114	6,6
	Tesis 3	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür					1 – 243(⁶)	4,5							38 – 54	5,2				
		ASK(²)	Torba(⁵)	Ağır fuel oil, hafif fuel oil					12(⁷)	11,9							0,7 – 1,1	4,3	2,2 1,7	5		
	Tesis 4	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05			2 468	6,5					130 – 149	7,2			255 – 335(⁷)	12,6	154 – 229	8		
	Tesis 5	PFRK(³)	Torba(⁵)	Kok gazı	62								5				6	9,6				
		PFRK(³)	Torba(⁵)	Kok gazı	38								5				79	9,6				
	Tesis 6	PFRK(³)	Torba(⁵)	Rejenere fuel oil															1,8(⁹)			
NO _x	Tesis 1	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, kok 05	868	6	620	7	771 ± 120, 910	6,7		6,4	898 ± 135	6,1	645 ± 100	9,3	685 ± 100(⁷)	12,5	800 ± 160	6		
		LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05	722	10	-	-	810	10,7	610(⁷)	11	563 + 110(⁷)	11	730 + 140	10,9	890 + 110(⁷)	11,6	970 + 200(⁷)	11		
	Tesis 2	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür							280	7			522 – 399	7,2 – 10					393(⁹)	6,6
	Tesis 3	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür					507	4,5							157 – 160	5,2				
		ASK(²)	Torba(⁵)	Ağır fuel oil, hafif fuel oil					167 – 101(⁷)	11,9							243	4,3				
	Tesis 4	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05			338(¹⁰)	6,5					590 – 440	7,2			616(⁷)	12,6	411 – 479(¹¹)	8		
	Tesis 5	PFRK(³)	Torba(⁵)	Kok gazı																		
		PFRK(³)	Torba(⁵)	Kok gazı																		
	Tesis 6	PFRK(³)	Torba(⁵)	Rejenere fuel oil															67(⁹ , ¹⁰)			
SO ₂	Tesis 1	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, kok 05	475	6	110	7	258 ± 40	6,7		6,4	173 ± 34	6,1	240 ± 35	9,3	950 ± 90(⁷), 214	12,5	241 ± 50	6		
		LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür, Kok 05	390	10	-	-	350	10,7	330(⁷)	11	210 + 40(⁷)	11	340 + 50	10,9	410 + 60(⁷)	11,6	138 + 28(⁷)	11		
	Tesis 2	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür							<10	7			165 – 126	7,2 – 10					332 – 350	6,6
	Tesis 3	LRK(¹)	ESP(⁴)	Kömür						4,5								5,2				
		ASK(²)	Torba(⁵)	Ağır fuel oil, hafif fuel oil						11,9							11	4,3				

Emisyonlar (mg/Nm³)	Tesis No.	Fırın	Filtre	Yakıtlar	1998	O2(6) %	1999	O2(6) %	2000	O2(6) %	2001	O2(6) %	2002	O2(6) %	2003	O2(6) %	2004	O2(6) %	2005	O2(6) %	2006	O2(6) %	
	Tesis 4	LRK(1)	ESP(4)	Kömür , kok 05			143	6,5					66 – 142	7,2			851(7)	12,6		8			
	Tesis 5	PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
		PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
	Tesis 6	PFRK(3)	Torba(5)	Rejenere fuel oil															15(9)				
CO2	Tesis 1	LRK(1)	ESP(4)	Kömür , kok 05	476	6	430	7	467 ± 72, 453	6,7		6,4	432 ± 70	6,1	360 ± 55	9,3	260 ± 60(7)	12,5	475 ± 70	6			
		LRK(1)	ESP(4)	Kömür, Kok 05	320	10	-	-	310	10,7	300(7)	11	303 + 16	11	340 + 45	10,9	280 + 60(7)	11,6	285 + 43(7)	11			
	Tesis 2	LRK(1)	ESP(4)	Kömür								7	303 + 16		424 324	7,2 – 10	280 + 60(7)		285 + 43(7)		)	6,6	
	Tesis 3	LRK(1)	ESP(4)	Kömür					290	4,5										5,2			
		ASK(2)	Torba(5)	Ağır fuel oil, hafif fuel oil					292(7)	11,9							4,3						
	Tesis 4	LRK(1)	ESP(4)	Kömür, Kok 05			490	6,5						7,2						8			
	Tesis 5	PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
		PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
		Tesis 6	PFRK(3)	Torba(5)	Rejenere fuel oil																		
	CO	Tesis 1	LRK(1)	ESP(4)	Kömür, Kok 05	67	6	4	7	31	6,7		6,4	1	6,1	4	9,3	11(7)	12,5		6		
LRK(1)			ESP(4)	Kömür, Kok 05	68	10	-	-	65	10,7	42(7)	11	80(7)	11	160	10,9	80 + 60(7)	11,6	227	11			
Tesis 2		LRK(1)	ESP(4)	Kömür							120	7			14	7,2 – 10					25,7 27	6,6	
Tesis 3		LRK(1)	ESP(4)	Kömür						4,5								5,2					
		ASK(2)	Torba(5)	Ağır fuel oil, hafif fuel oil						11,9								4,3					
Tesis 4		LRK(1)	ESP(4)	Kömür, Kok 05			56	6,5					94	7,2			3,8(7)	12,6	336	8			
Tesis 5		PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
		PFRK(3)	Torba(5)	Kok gazı																			
	Tesis 6	PFRK(3)	Torba(5)	Rejenere fuel oil															65(8)				
(1) Uzun döner fırın (2)Dairesel şaft fırın (3)Paralel akış rejeneratif fırın (4)Elektrostatik toz tutucu (5)Torba filtre, dokuma (6)O2 standart hal										(7) O2 ≥% 11 (8) Filtre hariç (9) Yanmış ürün: 310 t/gün (10)NO2 (11)NO Kaynak: [63, Finlandiya, 2006, 65, Finlandiya, 2006]													

Tablo 6.38: Fin kireç tesisinden kaynaklanan metal emisyonları

Metal emisyonları		
Metal	Birim	Emisyonlar (parçacıklar/gaz oluşumu)
Cd	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,05/0,08
Ti	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,30/<1,6
Hg	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,001/0,026
Sb	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,5/<1,6
As	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,2/1,9
Pb	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	5,2/6,0
Cr	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,7/15
Co	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,14/1,3
Cu	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,32/7,2
Mn	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	3,6/6,0
Ni	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	3,0/6,0
V	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0,1/37
Kaynak: [65, Finlandiya, 2006]		

6.3.3 Kireç üretimi – bir şaft fırında atık yağ işlenmesine ilişkin örnek (OK)

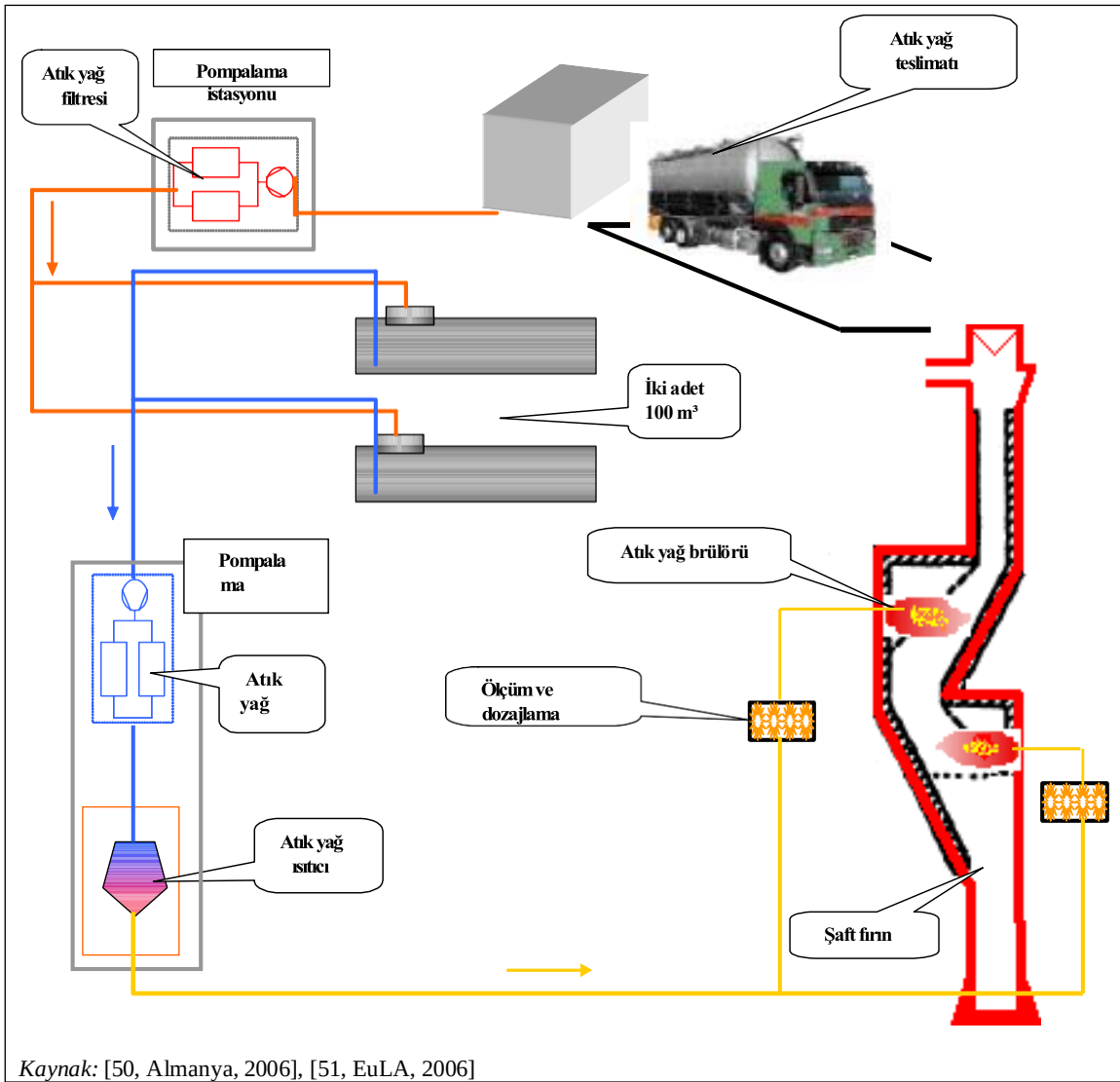
Gaz yakıtlı şaft fırını (OK) atık yağ yakıtlı şaft fırına dönüştürmek/değiştirmek için brülörleri tadil etmek ve atık yağın boşaltılması ve depolanması için özel bir altyapı oluşturmak gerekmektedir.

Şekil 6.26'da gösterildiği gibi, bu özel durumda atık yağ, kireç tesisine demiryolu veya karayolu ile, örneğin tankerlerle teslim edilir. Her biri 100 m³ kapasiteli iki adet çift cidarlı depolama tankı yapılmıştır. Atık yağlar, vagonlardan veya kamyonlardan herhangi bir dökülmeyi önlemek için özel olarak tasarlanmış bir alanda bulunan depolama tanklarına aktarılır. Yüzey suyu (yağmur suyu) bir yağ ayırıcıya boşaltılır. Doldurma alanı ilgili tüm yasal gereklilikleri karşıladığı için her türlü karayolu ve demiryolu aracının temizlenmesi ve yakıt ikmali için de kullanılmaktadır.

Vagonların veya tankerlerin boşaltılması sırasında atık yağ bir hortum bağlantısından ve ardından bir çelik borudan birinci pompalama ve filtreleme istasyonuna akar. Buradan, iki adet 100 m³ tanka yer altı çift cidarlı borular yoluyla pompalanır. 250 ila 300 t kireç/gün fırın çıktısı için, bu depolama kapasitesi kabaca bir haftalık tüketime eşittir.

Yağ tanklardan, fırının hemen yakınında bulunan ikinci bir pompa istasyonuna Şekil 6.27'de gösterildiği gibi akar. Bir besleme pompası, yağı başka bir filtreye ve yağı 60 – 80 °C'ye kadar ısıtan bir elektrikli ısıtma sistemine iletir. Bu sıcaklıklar, yağın viskozitesini azaltmak, dolayısıyla brülördeki atomizasyonunu ve optimal yanmasını iyileştirmek için gereklidir. Yükselen borular, ısıtılmış yağı Şekil 6.28'de gösterildiği gibi bir dozaj ve ölçüm istasyonuna götürür ve buradan ayrı brülörlere dağıtılır. Brülörlerde yakıt havaya karıştırılır ve her ikisi de doğrudan fırına püskürtülür.

Filtrelenen yağın yanması sırasında atık oluşmaz. Atık sadece yağın filtrelenme işlemi sırasında üretilir. Filtreler temizlenir ve atıklar belirlenmiş kaplarda toplanarak güvenli bir şekilde bertaraf edilir [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006].



Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

Şekil 6.26: Atık yağ dolaşımının akış şeması – teslimattan şaft fırına gidiş (OK)



Şekil 6.27: 2 numaralı gösterilen filtre ve filtreyi temizlemek için atık konteynerine sahip pompa istasyonu

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]



Şekil 6.28: Pnömatik vanalı ölçüm ve dozajlama istasyonu

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

6.3.4 Kireç üretimi – döner fırınlarda yakılan katı yakıt atıkların kalite kontrolüne örnek

Bir Alman kireç tesisinden bir örnek, dört ön ısıtıcılı döner fırında kullanılan katı atıklar için tipik gereksinimleri göstermektedir. Bu döner fırınlar, toz emisyonlarını azaltmak için siklonlar ve bir ESP ile donatılmıştır. Ayrıca, NO_x emisyonlarının azaltılması için SNCR tekniği kullanılır (bkz. Bölüm 6.3.5). Döner fırında tipik sıcaklıklar 1000 ile 1400 °C arasındadır.

Kullanılan yakıtlar pulverize linyit, doğalgaz ve katı atık maddelerdir. Katı atıklar, atık toplama ve harmanlama üzerine uzmanlaşmış şirketler tarafından teslim edilir. İzin, termal kapasitenin en fazla %60'ının atıklarla değiştirilmesine izin vermektedir. 2006 yılında katı atıklarla ikame oranı %10'dur. Bu katı yakıt atıklar brülöre verilmeden önce metal kısımlar manyetik ayırıcı ile tahliye edilir.

Kireç fırınında yakıt olarak kullanılmak üzere atık malzeme türlerinin seçimi, yakma işleminin teknik gereksinimlerine ve ürün kalitesine bağlıdır. Bu örnekte yakıt atıklar, düşük kirletici içeriği (esas olarak plastikler) ve iyi tanımlanmış ısıtma değerlerine sahip seçilmiş atıklardan elde edilen katı atık türevi yakıttan (RDF) oluşur. Atığın menşei ve sınıflandırması Avrupa Atık Kataloğu'na (2000/532/AK) göre tam olarak belirtilir [98, Avrupa Komisyonu, 2000]. Tablo 6.39, bu döner fırınlarda kullanılabilecek atık türünü göstermektedir [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]:

Tablo 6.39: Bu Alman kireç fırınlarında kullanılabilecek atıkların listesi

Atık kodu	Genel açıklama
02 01 04	Atık plastikler (ambalaj hariç)
02 01 07	Ormancılıktan kaynaklanan atıklar
03 01 01	Bıçkı ve odun atığı
03 01 05	03 01 04'te belirtilenler dışında talaş, toz, kıymık, odun, sunta ve ince tahta levha
03 03 02	Yeşil sıvı çamutu (pişirme sıvısının geri kazanılmasından)
03 03 07	Atık kağıt ve kartonun hamurlaştırmasından mekanik olarak ayrılmış ıskartalar
03 03 08	Geri dönüşüme gönderilen kağıt ve kartonların ayrıştırılmasından kaynaklanan atıklar
04 02 09	Kompozit malzemelerden kaynaklanan atıklar (emdirilmiş tekstil, elastomer, plastomer)
04 02 21	İşlenmemiş tekstil liflerinden kaynaklanan atıklar
04 02 22	İşlenmiş tekstil liflerinden kaynaklanan atıklar
07 02 13	Atık plastik
08 01 12	08 01 11'de belirtilenler hariç atık boya ve vernikler
08 02 01	Atık kaplama tozları
09 01 07	Gümüş veya gümüş bileşikleri içeren fotoğraf filmi ve kağıdı
12 01 05	Talaşlı ve tornalı plastik üretim atıkları
15 01 01 □ 03	Kağıt ve karton ambalaj, plastik, ahşap paketleme
15 01 05 □ 06	Kompozit ve karışık ambalaj
15 02 03	15 02 02'de belirtilenler hariç soğurucular, filtre malzemeleri, silme bezleri ve koruyucu giysiler
16 01 03	Ömrünü Tamamlamış lastikler
17 02 01	Odun
17 02 03	Plastik
19 05 01	Belediye ve benzeri atıkların kompostlaştırılmamış fraksiyonu
19 12 01	Kağıt ve karton
19 12 04	Plastik ve kauçuk
19 12 07	19 02 06'da belirtilenler dışındaki odun
19 12 08	Tekstil
19 12 10	Yanabilir atık (atıktan türetilmiş yakıt)
Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006], [98, Avrupa Komisyonu, 2000]	

Ekler

Katı atıklar için kalite gereklilikleri izin verici makam tarafından belirlenir. Yakıt tedarikçileri her bir teslimat için, kullanıma hazır yakıtların sadece Tablo 6.39'da belirtilen atıkları içerdiğini teyit etmelidir.

Bu yakıtların kalite kontrolü için yakıt atıklar, net ısı değeri aralığını ve kimyasal bileşimi tanımlayan dört kategoriye ayrılır.

Metallerin fırına girişinin düzenlenmesi için Tablo 6.40'ta gösterilen iki istatistiksel parametre kullanılır:

- medyan/ortanca değeri (= 50. yüzde) 'pratik' değeri olarak da adlandırılır. Yakıt bileşiminin olası varyasyonlarını dikkate alır ve pratik deneyime dayalıdır.
- ▮ maksimal değerler (= 100. yüzde).

Tablo 6.40: Her bir yakıt atık türü için medyan ve azami metal derişimleri

Kirlenici	Yakıt atık 1		Yakıt atık 2		Yakıt atık 3		Yakıt atık 4	
	Medyan değeri (mg/kg)	Maksimal değeri (mg/kg)	Medyan değeri (mg/kg)	Maksimal değeri (mg/kg)	Medyan değeri (mg/kg)	Maksimal değeri (mg/kg)	Medyan değeri (mg/kg)	Maksimal değeri (mg/kg)
Cıva Hg	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,6	1,2
Kadmiyum Cd	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0	4,0	9,0
Talyum Tl	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	2,0
Arsenik As	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0	5,0	13,0
Kobalt Co	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0
Nikel Ni	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	25,0	50,0
Antimon Sb	40,0	100,0	40,0	100,0	25,0	60,0	25,0	60,0
Kurşun Pb	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	70,0	200,0
Krom Cr	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	120,0
Bakır Cu	100,0	250,0	90,0	250,0	90,0	500,0	120,0	300,0
Manganez Mn	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
Vanadyum V	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	25,0
Kalay Sn	15,0	50,0	15,0	50,0	15,0	75,0	30,0	70,0
Toplam klor	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0
Toplam flor	250,0	500,0	250,0	500,0	250,0	1 000,0	250,0	1 000,0
Berilyum Be	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	2,0
Çinko Zn	400,0	500,0	400,0	500,0	400,0	1 000,0	400,0	1 000,0
	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	% a/a ⁽¹⁾	a/a ⁽¹⁾ %
Nem	8,0	<10,0	11,0	<12,5	18,0	<20,0	18,0	<20,0
Kül içeriği	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0	11,0	<15,0
Toplam kükürt	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3	0,2	<0,3
PCB		<3		<1		<1		<1

⁽¹⁾ Ağırlıkça yüzde
Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

Bu örnek için, Tablo 6.41'de gösterildiği gibi her bir yakıt kategorisinin net ısı değerlerine ilişkin aralıklar tanımlanmıştır:

Tablo 6.41: Her bir atık yakıt türü için asgari ve azami net ısı değerleri

Net ısı değeri (MJ/kg)	Yakıt atık 1		Yakıt atık 2		Yakıt atık 3		Yakıt atık 4	
	Asgari	Azami	Asgari	Azami	Asgari	Azami	Asgari	Azami
	25	31	23	29	20	24	18	22

Kaynak: [50, Almanya, 2006], [51, EuLA, 2006]

Yakıt atıklarının düzenli örnekleme yapılmaktadır. Münferit numuneler, daha sonra tekrar karışık bir örneklem olarak bir araya getirilen alt numunelere bölünür. Önceden belirlenmiş zaman aralıklarından sonra, kalite gereksinimlerinin Tablo 6.40'ta belirtilenleri karşılayıp karşılamadığını görmek için karıştırılan numuneler kontrol edilir.

Atıkları yakıt olarak kullanımında kalite güvencesi ve garantisi en önemli konulardan biridir. Tablo 6.42, kalite güvence tekniklerinin örneklerini göstermektedir.

Tablo 6.42: Atıkların kalite güvencesine yönelik teknik örnekleri

Proses aşaması	Teknikler	Ek teknikler
Atık kaynağı (atık üreticisi, ayırma tesisi, mekanik-biyolojik atık arıtma)	▮ atıkların listelenmesi ▮ safsızlıklardan kaçınma ▮ münferit atık türlerinin kabul edilebilir niteliklerine ilişkin hükümler ▮ beyan analizi ▮ münferit atık türlerinin bertaraf edilen miktarlarının belgelenmesi	▮ atık yöneticisi tarafından atık üreticisine talimat verilmesi ▮ atık yöneticisi tarafından atık üreten tesisin düzenli kontrolü
Atık arıtma tesisi	▮ (düzenli) örnekleme ve analiz ▮ örneklerin tutulması ▮ gelen ve arıtılan atık miktarlarının belgelenmesi	▮ dışarıdan bir uzman tarafından gelen arıtılmış atık miktarlarının (düzenli) örnekleme ve analizi
Atık arıtma tesisi	▮ düzenli örnekleme ve analiz ▮ örneklerin tutulması ▮ giden atık miktarlarının belgelenmesi	
Kireç tesisi	▮ düzenli örnekleme ve analiz ▮ örneklerin tutulması ▮ gelen atık miktarlarının belgelenmesi	
Kaynak: [156, Almanya, 2007]		

6.3.5 Kireç üretimi – ön ısıtıcılı döner fırınlarda (PRK) SNCR tekniğinin kullanıldığı DeNO_x arıtma örneği

Flandersbach tesisinde (Almanya), dört adet ön ısıtıcılı döner fırın için sırayla birincil ve ikincil teknikler uygulandı. Fırınlardan birine yeni bir brülör kuruldu, ancak bunun NO_x emisyonları üzerindeki etkisi oldukça sınırlıydı. Uygulamadan elde edilen deneyim, yanma bölgesindeki toplam oksijen derişiminin bu emisyonlar üzerinde çok daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle fırın atmosferi oksijen derişimini azaltacak şekilde ayarlanmıştır. Ancak, bu tedbirin NO_x emisyonlarının her zaman 500 mg/Nm³ün altında olmasını sağlamak için yeterli olmadığı görüldü. Özellikle çok yanmış kireç üretiminde, NO_x emisyonları genellikle 1000 mg/Nm³ü (kararlı fırın koşullarında) ve bazen, örneğin kireç soğutucusunun aşırı ısınmasını önlemek için daha fazla soğutma havası gerektiğinde 2000 mg/Nm³ü aşmıştır.

Lepol ızgarasının altındaki sıcaklık koşulları nedeniyle bu alana indirgeyici maddelerin enjekte edilmesiyle NO_x emisyonlarının azaltılması mümkündür. Bu nedenle, endüstriyel SNCR kurulumunun tasarımını optimize etmek için farklı sıvılar, enjeksiyon konumları ve enjeksiyon oranları ile aşağıda anlatıldığı gibi ön testler gerçekleştirilmiştir:

Genel konsept

Sıvı indirgeyici maddeler kamyonlarla teslim edilir ve iki tankta depolanır. Sıvı madde daha sonra Lepol ızgaralarına pompalanır ve burada atomizasyon için basınçlı hava kullanılarak sıcak bölmelere püskürtülür ve baca gazlarıyla karıştırılır. Tesis, derişimi %25'e kadar olan amonyak suyunu işlemek üzere tasarlanmıştır ve tehlikeli madde yönetmeliğine tabidir.

Tankların doldurulması

Tank kamyonu, çift cidarlı, sızıntı denetimli bir hortum borusu ve karşıtları birbirinden uzak tutmaya yönelik bir çift filtreden bir pompa ile boşaltılır. Sürücü, kontrol odasında kayıt sonrasında boşaltma izni alır. Kamyon deposu topraklanana kadar doldurma prosedürü başlatılmaz. Depo dolduğunda veya filtrelerin diferansiyel basınç izlemesi bir maksimum sinyal gönderdiğinde yeniden doldurma otomatik olarak durdurulur. Diğer tanka veya ikinci filtreye geçiş yapıldıktan sonra tanker sürücüsü tarafından yeni izin talep edilmelidir.

Depolama

Her biri 80 m³ hacimli iki tank, güvenlik ve kontrol cihazlarının yanı sıra dolaşım pompaları ile donatılmıştır. Aşırı basınç veya vakumu önlemek için tanklara basınca duyarlı bir vana takılır ve tanklardaki basınç izlenir.

Dozajlama

Her bir Lepol ızgarası için bir frekans konvertörü tarafından kontrol edilen bir pompa kurulur. Her iki dozaj pompası, iki tankın her birinden alternatif olarak çalışabilir. Pompalar, sistemde tıkanma nedeniyle basınç artışı önlemek için bir basınç tahliye vanası ile donatılmıştır. Dozaj pompalarından birinin arızalanması durumunda ilgili enjeksiyon noktasına geçmek üzere bir yedek pompa kurulur.

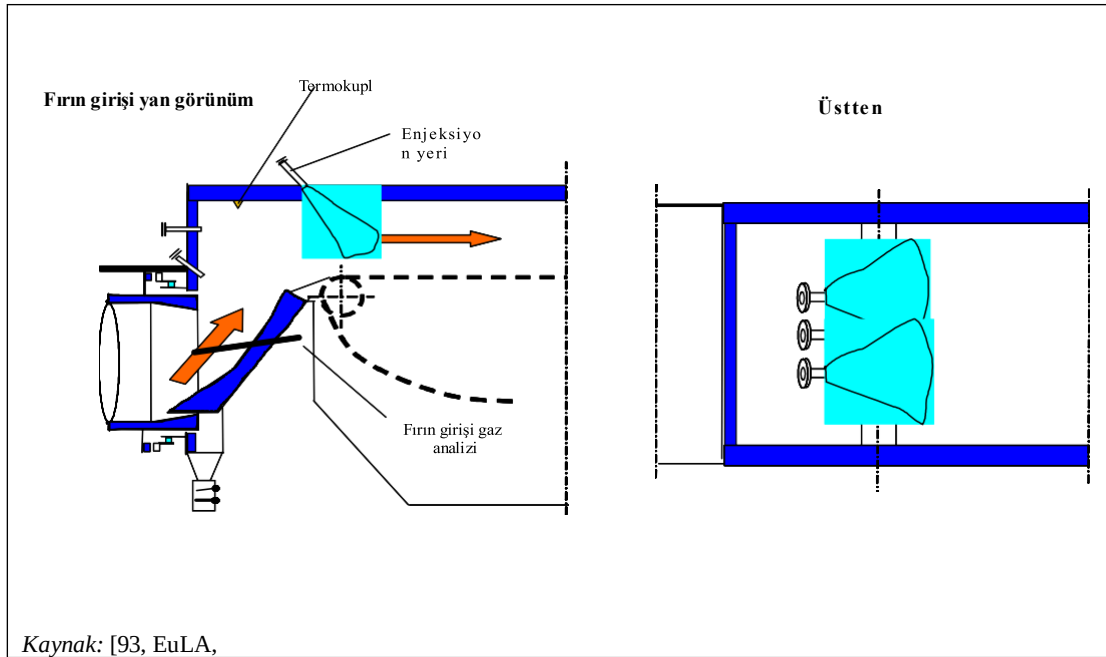
Ek besleme boşlukları, örneğin bakım öncesinde bileşenleri boşaltmak üzere boruların ve filtrelerin endüstriyel su ile yıkanmasına olanak tanır.

Atomizasyon memeleri, tasarlandıkları akış hızlarında çalıştırılmalıdır. Atomizasyon memelerinde optimal püskürtme koşullarını sağlamak için dozlama hatlarındaki akış hızı kontrol edilmelidir. Akış hızı önceden ayarlanmış bir değerin altına düşerse (örneğin indirgeyici madde ihtiyacının az olduğu durumlarda), bu değeri arttırmak için sisteme endüstriyel su eklenir. Bu seçenek ayrıca baca gazı akışında iyi bir dağıtım elde etmek ve dolayısıyla verimliliği optimize etmek üzere, derişimi yüksek ajanları depolama ve seyreltme imkanı sağlar. Gerekli indirgeyici madde akışı arttığında, örneğin sıvıların azot derişimi düşük ve gerekli azaltma oranı yüksek olduğunda, enjeksiyon boşluğunda ikinci bir boru etkinleştirilir. Kontrol sisteminde, tanklarda düşük ve yüksek derişim ayrımı yapılabilmekte ve dozlama için farklı çalışma modları uygulanmaktadır.

Kış aylarında donmayı ve sıvı üre kullanılması durumunda kristalleşmeyi önlemek üzere tüm borular izole edilmiştir ve yüzey ısıtma ile donatılmıştır.

Enjeksiyon yeri

Enjeksiyon noktalarının konumu, Flandersbach tesisindeki testler sırasında belirlendi. Seçilen boşluklar, enjeksiyonu bozabilecek kaplama oluşumu eğiliminin az olduğu bir yerde ajanın baca gazına iyi bir şekilde nüfuz etmesine ve karışmasına olanak tanır. Bağlantı noktaları Şekil 6.29'da gösterilmiştir.



Şekil 6.29: Almanya'daki Flandersbach kireç tesisinde SNCR için enjeksiyon ve bağlantı noktalarının konumu

İşlem

Tesisin kurulumu Temmuz 2006'da, devreye alma aşaması ise Ağustos 2006'nın sonunda tamamlanmıştır. O zamandan beri, kurulum büyük bir sorun olmadan çalışmaktadır. Devreye alma ve işletim sırasında elde edilen deneyimlerden sonuçlanan gerekli iyileştirmeler o zamandan beri hayata geçirilmiştir.

Azaltma verimlilikleri

Yüzde 50 ila 60 oranında azaltma verimliliği elde etmek, böylece NO_x emisyonlarının seviyesinin günlük ortalama olarak 500 mg NO_x/Nm³'ün altında kalmasını sağlamak mümkün görünmektedir. Prensipite daha yüksek azaltma oranları mümkündür, ancak bunlar hemen büyük amonyak kaymalarına yol açar. Farklı proses ve enjeksiyon koşulları altında gerçekleştirilen ölçümler, azot oksit (N₂O) emisyonlarının her zaman 10 mg/Nm³'ün altında kaldığını göstermiştir.

Maliyetler

Yatırım maliyetleri çimento endüstrisi tarafından belirtilenlere benzerdir, yani 0,5 milyon ile 1,2 milyon avro arasındadır. Teçhizat yalnızca kısa bir süre (birkaç hafta) için çalıştırılmış olduğundan işletme maliyetlerini tam olarak değerlendirmek zordur. Ön testlere dayanan finansal tahminler, çimento endüstrisine benzer işletme giderlerine, yani 1000 t/gün fırın kapasitesine ve 1 500 mg NO_x/Nm³ başlangıç emisyonlarına sahip bir fırın için 0,1 ila 1,7 avroya işaret etmektedir.

TERİMLER SÖZLÜĞÜ

Bu sözlüğün amacı, bu belgede yer alan bilgilerin anlaşılmasını kolaylaştırmaktır. Bu sözlükteki terimlerin tanımları yasal tanımlar değildir (bazıları Avrupa mevzuatında verilen tanımlarla örtüşse bile). Okuyucunun belge kapsamındaki ilgili sektördeki kullanımları bağlamında bazı temel terimleri anlamasına yardımcı olmak üzere verilmektedirler.

Bu sözlük aşağıdaki kısımlara ayrılmıştır:

- I. ISO ülke kodları
- II. Para birimleri
- III. Birim ön ekleri, sayı ayırıcıları ve gösterimler
- IV. Birimler ve ölçüler
- V. Kimyasal elementler
- VI. Bu belgede sıklıkla kullanılan kimyasal formüller
- VII. Kısaltmalar
- VIII. Teknik terimler

I. ISO ülke kodları

ISO kodu	Ülke / Kuruluş
AB	Avrupa Birliği
<i>Üye Devletler (*)</i>	
AT	Avusturya
BE	Belçika
BG	Bulgaristan
CZ	Çek Cumhuriyeti
CY	Kıbrıs
DE	Almanya
DK	Danimarka
EE	Estonya
EL	Yunanistan
ES	İspanya
FI	Finlandiya
FR	Fransa
HU	Macaristan
IE	İrlanda
IT	İtalya
LT	Litvanya
LU	Lüksemburg
LV	Letonya
MT	Malta
NL	Hollanda
PL	Polonya
PT	Portekiz
RO	Romanya
SE	İsveç
SI	Slovenya
SK	Slovakya
UK	Birleşik Krallık
<i>Üye olmayan ülkeler</i>	
CA	Kanada
CH	İsviçre
CN	Çin
JP	Japonya
NO	Norveç
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
(*) Üye Devletlerin protokol sıralamasında orijinal dil(ler)indeki coğrafi adlarının alfabetik sırası esas alınmıştır.	

II. Para birimleri

Kod ⁽¹⁾	Ülke/bölge	Para birimi
Üye Devlet para birimleri		
EUR	avro bölgesi ⁽²⁾	avro
SEK	İsveç	kron
(1) ISO 4217 kodları.		
(2) Avusturya, Belçika, Kıbrıs, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Portekiz, Slovakya, Slovenya ve İspanya'yı içerir.		

III. Birim ön ekleri, sayı ayırıcıları ve gösterimler

Bu belgedeki sayılar, ondalık ayraç olarak ',' ve binlik ayraç olarak boşluk veya '.' kullanılarak yazılmıştır.

~ sembolü yaklaşık değer anlamını taşıyan göstergedir. Δ (delta) sembolü, fark

anlamını taşıyan göstergedir.

Aşağıdaki tabloda sık kullanılan ön ekler verilmiştir:

Sembol	Ön ek	10 ⁿ	Sözcük	Ondalık Sayı
T	tera	10 ¹²	Trilyon	1 000 000 000 000
G	giga	10 ⁹	Milyar	1 000 000 000
M	mega	10 ⁶	Milyon	1 000 000
k	kilo	10 ³	Bin	1 000
h	hekta	10 ²	Yüz	100
da	deka	10 ¹	On	10
-----	-----	1	Bir	1
d	desi	10 ⁻¹	Onda bir	0,1
c	santi	10 ⁻²	Yüzde bir	0,01
m	mili	10 ⁻³	Binde bir	0,001
μ	mikro	10 ⁻⁶	Milyonda bir	0,000 001
n	nano	10 ⁻⁹	Milyarda bir	0,000 000 001
p	piko	10 ⁻¹²	Trilyonda bir	0,000 000 000 001

IV. Birimler ve ölçüler

Birim Sembol	Birim adı (açıklama)	Ölçü adı (Ölçü sembolü)	Dönüşüm ve açıklama
atm	normal atmosfer	Basınç (P)	1 atm = 101 325 N/m ²
bar	bar	Basınç (P)	1,013 bar = 100 kPa = 1 atm
°C	santigrat derece	Sıcaklık (T) sıcaklık farkı (ΔT)	
cSt	santistok	Viskozite	
dB(A)	desibel	Ses (gürültü) seviyeleri	A ölçeğine (40 dB (1kHz'de) eşdeğeri gürültü eğrisinin inversine karşılık gelir) sahip ses düzeyi filtresi kullanılarak elde edilen ses düzeyleri
d	gün	Zaman	
g	gram	Ağırlık	
h	saat	Zaman	
I-TEQ	uluslararası toksik eşdeğerlik faktörü	Toksisite	
K	Kelvin	Sıcaklık (T) Sıcaklık farkı (ΔT)	0°C = 273,15 K
kcal	kilokalori	Enerji	1 kcal = 4,1868 kJ
kg	kilogram	Ağırlık	
kJ	kilojul	Enerji	
kWs	kilowatt-saat	Enerji	1 kWs = 3 600 kJ
m	metre	Uzunluk	
m ²	metrekare	Alan	
m ³	metreküp	Hacim	
mg	miligram	Ağırlık	1 mg = 10 ⁻³ g
dk	dakika		
m/dak	metre/dakika	Hız	
m ³ /s	saatte metreküp	Hacimsel akış hızı	bu belgede aksi belirtilmediği sürece, hacimsel akış hızları hacimce % 10 oksijen içeriğini ve standart hali referans alır
mg/m ³	metreküp başına miligram	Derişim	belgede aksi belirtilmediği sürece, gaz halindeki maddelerin veya madde karışımlarının derişimi, hacimce %10 oksijen ve standart haldeki kuru baca gazını referans alır
mm	milimetre	Uzunluk	1 mm = 10 ⁻³ m
mmWG	su göstergesinde milimetre	Basınç (P)	
Mt	megaton	Ağırlık	1 Mt = 10 ⁶ ton
MJ	megajul	Enerji	1 MJ = 1 000 kJ = 10 ⁶ jul
µm	mikrometre	Uzunluk	1 µm = 10 ⁻⁶ m
MW	megawatt	Enerji	
ng	nanogram	Ağırlık	1 ng = 10 ⁻⁹ gram
Nm ³	normal metreküp	Hacim	101,325 kPa, 273,15 K'de
ppm	milyonda parça	Karışımların bileşimi	1 ppm = 10 ⁻⁶
t	metrik ton	Ağırlık	1 t = 1 000 kg veya 10 ⁶ g
ha. % % h/h	hacmen yüzde	Karışımların bileşimi	
ağırlıkça % % a/a	ağırlıkça yüzde	Karışımların bileşimi	
W	watt	Güç	1 W = 1 J/sn
yıl	yıl	Zaman	
Ω cm	Ohm santimetre	Özgül direnç direnci	

V. Kimyasal elementler

Sembol	Ad	Sembol	Ad
Ag	Gümüş	N ₂	Azot
Al	Alüminyum	Na	Sodyum
As	Arsenik	Ni	Nikel
Ba	Baryum	Pb	Kurşun
Be	Berilyum	Pd	Paladyum
Ca	Kalsiyum	Pt	Platin
Cd	Kadmiyum	Rh	Rodyum
Co	Kobalt	Sb	Antimon
Cr	Krom	Se	Selenyum
Cu	Bakır	Sn	Kalay
F	Flor	Te	Tellür
Fe	Demir	Ti	Titanyum
Hg	Cıva	Tl	Talyum
Mn	Manganez	V	Vanadyum
Mo	Molibden	Zn	Çinko

VI. Bu belgede sıklıkla kullanılan kimyasal formüller

Kimyasal formülü	İsim (açıklama)
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidroksit
CaMg(OH) ₄	Kalsiyum magnezyum hidroksit
CH ₄	Metan
CN	Siyanür
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
HCl	Hidroklorik asit
HF	Hidroflorik asit
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen sülfür
KOH	Potasyum hidroksit
MgCO ₃	Magnezyum karbonat
MgO	Magnezyum oksit, manyezi
N ₂	Azot
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
NO _x	Azot oksitler
O ₂	Oksijen
SiO ₂	Silikon oksit
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
SO _x	Kükürt oksitler

VII. Kısaltmalar

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
AFR	Alternatif yakıt ve hammaddeler
ASK	Dairesel şaft fırın
ATILH	Association Technique de l'Industrie des Liant Hydrauliques
AWDF	Zirai atık türevi yakıtlar
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, İsviçre
CAS #	Chemical Abstract Service (Kimyasal Özet Servisi) kayıt numarası; Amerikan Kimya Derneği bölümü; belirli bir kimyasal maddeye ilişkin bilgi hazinesine bağlantı; kimyasal bileşikler, polimerler, biyolojik diziler, karışımlar ve alaşımlar için, tek maddeyi tanımlayan sayısal tanımlayıcı
CCM	Kostik kalsine manyezi
CEMS	Sürekli Emisyon İzleyicileri
CEN/TC 343	Avrupa Standardizasyon Komitesi Doğrulama sonrasında standartlara (Avrupa Normları (EN)) dönüşecek teknik spesifikasyonlar gibi, katı geri kazanılmış yakıtlar (SRF) konusunda gerekli tüm standartları geliştirme ve üretmek üzere Avrupa Komisyonu tarafından yetkilendirilmiş CEN/TC 343 'Katı Geri Kazanılan Yakıtlar' çalışma grubu
CKD	Çimento fırını tozu
DBM	Sinter manyezi
EC#	Avrupa Toplulukları Komisyonu tarafından, Avrupa Birliği içinde ticari olarak temin edilebilen kimyasal maddeler için tahsis edilen yedi basamaklı kodu (bazen EC numarası olarak da adlandırılır) ifade eder. EC# tanımlaması EINECS ve ELINCS tanımlamalarının yerini almıştır ve bu kod, 18 Eylül 1981 ile 31 Ekim 1993 tarihleri arasında Avrupa pazarında mevcut olup o dönemde polimer olarak kabul edilen, ancak artık polimer olarak kabul edilmeyen maddeleri içeren 'önceden polimer kabul edilenler listesinde' yer alan unsurları içermektedir.
EEA	Avrupa Çevre Ajansı
EFTA	Avrupa Serbest Ticaret Birliği (3 Mayıs 1960'ta kuruldu)
EGTEI	Tekno-Ekonomik Konular Uzman Grubu
EINICS	Mevcut ticari kimyasal maddelerin Avrupa envanteri; 1 Ocak 1971 ve 18 Eylül 1981 tarihleri arasında Avrupa Birliği'nde ticari olarak bulunan her bir kimyasal maddeye verilen kayıt numarası. Envanter ELINCS ile değiştirilmiştir.
ELINCS	19 Eylül 1981 tarihinden itibaren, bildirilen kimyasal maddelerin Avrupa envanter listesinin yerini ELINCS almıştır. Avrupa pazarına getirilen tüm 'yeni' maddelere, Avrupa Komisyonu'na bildirim yapıldıktan sonra bir ELINCS numarası atanır.
eqC	Karbon eşdeğeri
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ESP	Elektrostatik toz tutucu
AB	Avrupa Birliği
AB-15	1 Mayıs 2004 öncesi Avrupa Birliği Üye Devletleri
AB-25	1 Mayıs 2004'ten 31 Aralık 2006'ya kadar olan dönemde Avrupa Birliği Üye Devletleri
AB-27	1 Ocak 2007'den itibaren Avrupa Birliği Üye Devletleri
EU-23+	Cembureau üye ülkelerine atıfta bulunur: Avusturya, Belçika, Hırvatistan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye ve Birleşik Krallık
EURITS	Avrupa Sorumlu Özel Atık Yakma ve Arıtma Birliği

EWC	Avrupa Atık Kataloğu – atık tanımlarının hiyerarşik listesi. Bu katalog, atık malzemeleri sınıflandırır ve üretim şekilleriyle özelliklerine göre kategorize eder. Atık yönetimine ilişkin bir dizi AB Direktifinde ve Komisyon Kararında EWC'ye atıfta bulunmaktadır
FGD	Baca gazı kükürt giderme
FGT	Baca gazı arıtma
FM	Ergitilmiş manyezi
GAINS	Sera Gazı ile Hava Kirliliği Etkileşimleri ve Sinerjileri modeli
GSC	Gaz süspansiyonlu kalsinasyon
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
IUPAC	Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği nomenklatürü
L.O.I./LOI	Yakma sırasında kayıp, örneğin organik madde, karbonat, CO ₂ için belirleme tekniğidir
LRK	Uzun döner fırın
MFSK	Karışık beslemeli şaft fırın
MSW	Belediye katı atığı
NVC	(Net) ısı değer
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OECD MIX	OECD ülkelerinden birincil enerji karışımı
OK	Diğer fırınlar
ORC	Organik Rankine Döngüsü
OSK	Diğer şaft fırınlar
PCB	Poliklorlu bifeniller
PCC	Çökeltilmiş kalsiyum karbonat
PCDD	Poliklorlu dibenzo-p-dioksin.
PCDF	Poliklorlu dibenzofuran
PCP	Pentaklorofenol
PCT	Poliklorlu terfeniller
PET	Polietilen tereftalat
PF	Pulverize yakıt
PFRK	Paralel akış rejeneratif fırın
PLC	Programlanabilir lojik kontrolörü: endüstriyel proseslerin otomatikleştirilmesinde kullanılan dijital bilgisayar
PM	Partikül madde
POPS	Kalıcı organik kirleticiler
PRK	Ön ısıtıcı döner fırın
PTFE	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinil klorür
RAINS	Bölgesel Hava Kirliliği Bilgileri ve Simülasyon modeli
RDF	Atıktan türetilen yakıt; ön işleminden geçirilmiş ve sınıflandırılmış atık fraksiyonlarından türetilen yakıt atık
RK	Döner fırın
ROK	Fırından çıkma
SCR	Seçici katalitik indirgeme
SEM	Taramalı elektron mikroskopi
SK	Şaft fırın
SNCR	Seçici katalitik olmayan indirgeme
TCDD	Tetraklorodibenzodioksin
TEQ	Uluslararası toksik eşdeğerlik faktörleri (dioksin ve furanlar)
TOK	Toplam organik karbon
UBA	Umweltbundesamt/Alman Federal Çevre Ajansı
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke/Alman Çimento Birliği
UOB	Uçucu organik bileşikler
WFD	Atık Çerçeve Direktifi

VIII. Teknik terimler

Alaşım	En az biri metal olan ve elde edilen malzemenin metalik özelliklere sahip olduğu iki veya daha fazla elementin ���elti veya bileşik halinde bir kombinasyonu olan bir metal
Isıl değer	Bu belgede net ısı değer olarak ifade edilir
Koster	Kostik kalsine manyezi/CCM
Tebeşir	Kalsiyum karbonatın amorf türü
Kanalize emisyonlar	Baca gibi bir emisyon noktasından çevreye salınan kirletici emisyonları [151, Avrupa Komisyonu, 2003].
CL 70 – 80	Sınıflandırma standardı: CL 70 = CaO + MgO > % 65 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim CL 80 = CaO + MgO > % 75 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim
Diyajenez	Mineralojiyi ve/veya dokuyu değiştirerek tortuyu tortul kayaya dönüştüren fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçler
Difüz emisyonlar	Uçucu veya hafif, tozlu maddelerin çevreyle (normal işletim koşullarındaki atmosfer) doğrudan teması sonucu meydana gelen emisyonlar. Bunlar aşağıdakilerden kaynaklanabilir: ☐ teçhizatın tasarımı (�rn. filtreler, kurutucular, vb.) ☐ işletim koşulları (�rn. malzemenin konteynerler arasında aktarımı sırasında) ☐ işletim türü (�rn. bakım faaliyetleri) ☐ veya diğer ortamlara (�rn. soğutma suyuna veya atık suya) kademeli olarak gerçekleşen salınım [151, European Commission, 2003] Kaçak emisyonlar, difüz emisyonların bir alt türüdür.
Difüz emisyon kaynakları	birden fazla ve belirli bir alan içerisinde dağınık halde olan, benzer difüz veya doğrudan emisyonların kaynakları; noktasal, lineer, yüzeysel veya hacimsel kaynaklar olabilirler [151, Avrupa Komisyonu, 2003]
DL 80 – 85	Sınıflandırma standardı: DL 80 = CaO + MgO > % 75 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim DL 85 = CaO + MgO > % 80 içerikli EN 459 'Yapı kireci'nde tanımlanan dolim
Dolomit	Dolomit mineralinin, yani kalsiyum magnezyum karbonatın (CaMg(CO ₃)) baskın olduğu kireçtaşı türü
Dışa atım gazı	Pişirme/yakma proseslerinden kaynaklanan çıkış gazı
Mevcut tesis	Yeni olmayan bir tesis
Baca gazı	Pişirme/yakma proseslerinden kaynaklanan çıkış/dışa atım gazı.
Ekstra hafif fuel oil	Ekstra hafif fuel oil
Kaçak emisyonlar	Sıkı olmayan teçhizattan kaynaklanan emisyon/sızıntı: temelde basınç farkı ve bundan sonuçlanan sızıntıdan kaynaklanan, kapalı haldeki bir akışkan (sıvı ya da gaz) muhafaza etmek için tasarlanan bir teçhizat parçasının zamanla gevşemesi nedeniyle ortama salınan emisyon. Kaçak emisyon örnekleri: flanş, pompa, sızdırmaz veya sıkı teçhizat ve benzerinden gerçekleşen sızıntılar [151, Avrupa Komisyonu, 2003]
Sönmüş kireç	Kalsiyum hidroksit Ca(OH) ₂
�misyon	çevredeki kirletici madde, koku veya gürültünün meydana gelmesi ve düzeyi
Kaçak hava:	Fırına sızan hava
Kireçtaşı	Yalnızca CaCO ₃ içeren mineral kayaç; bu şekliyle veya karbonsuzlaştırma yoluyla sönmüş kireç (kalsiyum oksit) ve sönmüş kirecin hidrasyonuyla sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) �retmek üzere hammadde olarak kullanılır
Manyezi	Magnezyum oksit (MgO)
Manyezit	Magnezyum karbonat (MgCO ₃)
Magnezyum oksit	MgO/manyezi

Terimler

Geniş çaplı yükseltme	Fırın gereksinimlerinde veya teknolojisinde ciddi bir değişiklik getiren veya fırının değiştirilmesini içeren bir tesis/fırın yükseltmesi
Morfoloji	Partiküllerin yapısı ve şeklinin incelenmesi

Yeni tesis	Kuruluma ait saha üzerine, bu CLM MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından kurulan bir tesis veya kurulumun mevcut temelleri üzerinde bulunan ve yine bu CLM MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından tamamen değiştirilen bir tesis
Podzol	Ağartma kili
Puzolan	Puzolanlar, kendileri çimentosu olmamakla birlikte, reaktif silis (ve alümina) içeren, su mevcut olduğunda kireçle birleşerek çimentolu özelliklere sahip bileşikler oluşturan malzemelerdir. Doğal puzolan esas olarak ince, çikolata kırmızısı volkanik topraktan oluşur. Uçucu kül ve suyla söndürülmüş kazan cürufunun bir araya geldiği yapay bir puzolan geliştirilmiştir
Puzolanik çimento	Puzolanik çimentolar, Portland çimentosu ile doğal veya yapay olabilen bir puzolanik malzemenin karışımlarıdır. Doğal puzolanlar esas olarak volkanik kökenli malzemelerdir, ancak bazı diatomlu topraklar içerir. Yapay malzemeler arasında uçucu kül, yanmış killer ve şist bulunur
Sönmemiş kireç	Kalsiyum oksit, CaO
Silisli kireçtaşı	Silikon dioksit (SiO ₂) içeren kireçtaşı
Sinterlenmiş dolim	Yalnızca refrakter malzemelerin üretiminde kullanılan, minimum kütle yoğunluğu 3,05 g/cm ³ olan bir kalsiyum ve magnezyum oksit karışımı (CaO >%58 ve MgO >%41)
Özel çimento	Aşağıdaki PRODCOM kodlarının kapsamına giren ürünler: ☐ 26.51.12.50 – Alümina çimentosu ☐ 26.51.12.90 – Diğer hidrolik çimentolar
Spot ölçüm	Noktalarda yapılan örneklemeler, sürekli ölçüm değildir
Çimento ve magnezyum oksit endüstrileri için standart koşullar	273,15 K sıcaklık, 1 013 hPa basınç ve % 10 oksijen içeriğini ifade eder
Kireç endüstrisi için standart koşullar	273,15 K sıcaklık, 1 013 hPa basınç ve % 11 oksijen içeriğini ifade eder
Standart hal	273,15 K sıcaklık ve 1 013 hPa basıncı ifade eder
StSap	Standart sapma
T60	Sönmemiş kirecin suyla tepkimeye girerken 20'den 60 °C'ye çıkması için gereken süreyle gösterilen kireç reaktivitesi
Ultra düşük karbonlu dolim	Dolomitin (CaCO ₃ .MgCO ₃) karbondan neredeyse tamamen arındırılmasıyla üretilen bir kalsiyum ve magnezyum oksitler karışımı. Ürünün artık CO ₂ içeriği %0,25'in altında ve yığın yoğunluğu 3,05 g/cm ³ 'ün oldukça altındadır.
Beyaz çimento	Aşağıdaki PRODCOM kodlarının kapsamına giren ürünler: ☐ 26.51.12.10 – Beyaz Portland çimentosu

KAYNAKLAR

- [3] Austria, U. (1997). "Basic criteria for BAT cement/Information for cement and lime BREF 2001", UBA-IB-560 September 1997.
- [4] Austria, U. (1998). "BAT bei Anlagen zur Zementherstellung M-105 (1998) / Information for cement and lime BREF 2001", M-105 (1998).
- [8] CEMBUREAU (2001). "Information for cement industry/Information for cement and lime BREF 2001".
- [9] CEMBUREAU (1997 November). "BAT for the cement industry, November 1997 / Information for cement and lime BREF 2001".
- [10] Cementa AB/Hagström, P. (1994). "Underlag för omprövning av utsläppsvillor / Information for reconsideration and updating of permit conditions 1994 obtained during a plant visit 1997 and information communicated at other occasions / Information for cement and lime BREF 2001".
- [11] Coulburn, D. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [12] Netherlands (1997). "Dutch notes on BAT for the production of cement clinker/Information for cement and lime BREF 2001".
- [16] EuLA (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [18] Göller (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [19] Haugh (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [20] Rother, W. (1996 January,). "International Cement Review/Exhaust gas emissions/Available control technology for gaseous emissions in cement plants / Information for cement and lime BREF 2001".
- [21] BCA (1997 October). "International Cement Review/Information for cement and lime BREF 2001".
- [22] Japan, C. A. (1996). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [23] de Jonge, L. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [24] Junker, P. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [27] University of Karlsruhe, G. (1996). "Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany - Volume II, Heavy Metal Emission Control (August 1996), (UBA Research report 104 02 360 (January 1997))", UBA Research report 104 02 360 (January 1997).
- [29] Lohse, J. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [30] Marchal, F. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".
- [31] LUA NRW, G. (1997). "LUA-Materialien No. 43, Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe, The European Dioxin Inventory, (1997)".

- [37] UK (1996). "UK IPC Note: Cement Manufacture, Lime Manufacture and Associated Processes, IPC Guidance Note S2 3.01 (1996) / Information for cement and lime BREF 2001".
- [38] UK (1996). "Technical and Economic Review of Cement and Lime Processes (1996), Contract Ref: HMIP/CPR2/41/197 / Information for cement and lime BREF 2001".
- [39] Ullmann's (1986). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 5, 489-537 (1986), Cement and Concrete / Information for cement and lime BREF 2001".
- [40] Ullmann's (1990). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 15, 317-345 (1990), Lime and Limestone / Information for cement and lime BREF 2001".
- [41] Kupper/Brentrop (1992). "SNCR technology for NOx reduction in the cement industry, World Cement, p. 4-8, March 1992 / Information for cement and lime BREF 2001".
- [42] Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller (1996 October). "Current state of NOx abatement in the cement industry/Information for cement and lime BREF 2001", ZKG International, Volume 49, No. 10, p. 545-560, (1996).
- [43] Wulf-Schnabel/Lohse (1998). "Economic evaluation of NOx abatement techniques in the European Cement Industry, Report compiled for DG XI, Contract N° B4-3040/98/000232/MAR/E1 / Information for cement and lime BREF 2001".
- [44] EuLA (2006). "Draft lime sector Chapter 2.1 and 2.2".
- [45] Schorcht, F. (2006). "Personal Communication by site visits".
- [46] Germany (2006). "German contribution part I: Lime manufacturing industries", Compilation by German National Working group and German lime industry.
- [47] European Commission (2004). "Reference Document on Best Available Technique for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities".
- [48] European Commission (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for Management of the Waste Treatments Industries".
- [49] European Commission (2000). "European waste catalogue", 2000/532/EC2, (2001/573/EC).
- [50] Germany (2006). "German contribution: Use of alternative fuels in lime manufacturing", Compilation by German National Working group and German lime industry.
- [51] EuLA (2006). "Use of alternative fuels in lime manufacturing".
- [53] Norsk Hydro Norway (2001). "Performance figures for a gas suspension calcination lime plant (GSC plant)".
- [54] EuLA (2006). "Draft lime sector Chapter 2.3 and 2.4 and additional information on these chapters".
- [55] Spain (2006). "Energy consumption by various types of lime kilns".
- [56] EuLA (2006). "Metals database EuLA".

- [57] European Commission (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration Industries".
- [58] European Commission (2003). "Reference Document on Best Available Technique for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector".
- [59] European Union (2000). "Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste", 2000/76/EC.
- [60] VDI 2094 Germany (2003). "Emissionsminderung Zementwerke/Emission control cement industry, VDI 2094, March 2003".
- [61] France (2006). "Cost calculation regarding abatement techniques in lime industry (ESP, fabric filter, deduster)", contribution for review.
- [62] France/DFIU/IFARE Karlsruhe (2004). "EGTEI - Draft background document on lime sector".
- [63] Finland (2006). "Contributions: Information and emissions from Finnish cement and lime plants".
- [64] Czech Republic (2006). "The lime industry in the Czech Republic".
- [65] Finland (2006). "Template Emission components - Saxo Mineral Finland - lime".
- [66] Austria (2006). "The Austrian lime industry".
- [67] Austria (2006). "Plant visit report Austria May 2006".
- [68] EuLA (2006). "Database emissions lime manufacturing".
- [70] Hungary (2006). "Raw material characteristics from Labatlan lime plant in Hungary".
- [71] Hungary (2006). "Information regarding Hungarian lime industry and measurements".
- [72] CEMBUREAU (2006-2008,). "General information about cement industry, updates 2006, 2007 and 2008".
- [73] CEMBUREAU (2006). "Existing national and international legislation and emission limits".
- [74] CEMBUREAU (2006). "2004 and 2005 statistics on the use of alternative fuels and materials in the clinker production in the European cement industry".
- [75] Estonia (2006). "Review to BREF for Kunda, cement manufacturing and annexes".
- [76] Germany, V. (2006). "Cement manufacturing industries, German contribution".
- [78] E. Baatz + G. Heidt (2000). "First waste heat power generating plant using the Organic Rancine Cycle Process for utilizing residual clinker cooler exhaust air".
- [79] Germany (2001). "Niedertemperaturverstromung mittels einer ORC-Anlage im Werk Lengfurt der Heidelberger Zement AG, Messergebnisse".
- [80] Alvaro A. Linero (2006). "Trip report on SCR experiences at Solnhofer Portland Zementwerke, Cementeria de Monselice and ASM Brescia waste-to energy plant".

- [81] Castle Cement UK (2006). "Presentations and contributions from British cement plants during site visits".
- [82] CEMEX Rugby UK (2006). "Presentations and contributions from British cement plants during site visits".
- [83] CEMBUREAU (2006). "Guideline on CO trips".
- [84] CEMBUREAU (2006). "Specific energy consumption".
- [85] CEMBUREAU (2006). "Contributions on NOx abatement".
- [86] EURITS (2006). "Contribution: Template for the review of the cement and lime BREF".
- [87] European Commission (2001). "Reference Document on Best Available Technique on the Production of Iron and Steel".
- [88] SINTEF (2006). "Formation and Release of POPs in the Cement Industry".
- [89] ERFO, T., Glorius, Scoribel, (2005). "Classification of solid recovered fuels".
- [90] Hungary (2006). "Hungarian cement industry".
- [91] CEMBUREAU (2006). "Air emissions and alternative fuels in the European cement industry".
- [92] Austria (2006). "Austrian cement industry", Contribution with Annexes 1.2 and 3.
- [93] EuLA (2006). "NOx abatement in the lime industry".
- [94] European Union (2004). "Directive 2004/8/EC of the European Parliament and the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the integral energy market and amending Directive 92/42/EEC".
- [95] Sweden (2006). "SNCR principle of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides (NO, NOx)".
- [96] European Commission (2006). "Reference Document on Best Available Technique on emissions from storage of bulk or dangerous materials".
- [97] CEMBUREAU (2007). "Behaviour of SO₂ in the clinker burning process".
- [98] European Commission (2000). "Commission Decision 2000/532/EC of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste (notified under document number C(2000) 1147) (Text with EEA relevance)".
- [99] European Union (2003). "Directive 2003/87/EC of the European Parliament and the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC".
- [100] France (2006). "Cost calculation regarding abatement techniques in cement industry (ESP, bag filter, deduster, SNCR, NOx primary technologies, absorbent injection, wet scrubber)", contribution for review.

- [101] France/ADEME/MEDD (2002). "The French Cement Industry Guide to NO_x Emission reduction Measures", contribution for review.
- [102] France/DFIU/IFARE Karlsruhe (2003). "EGTEI - Draft background document on cement sector", contribution for review.
- [103] CEMBUREAU (2006). "Additional contributions, e.g. types of cement and composition, information on chromates, information on why the cement industry has started to use AFR, contributions to the pre-draft of the revised CL BREF, composition information for grey cement", contribution for BREF review.
- [104] HOLCIM/GTZ (2006). "Guidelines on Co-processing Waste Materials in Cement Production".
- [105] YARA, M. R. L. (2006). "Contribution on cement industry, NO_x abatement".
- [107] Belgium (2006). "Presentations and contributions from Belgium cement plant in Lixhe during site visit".
- [108] European Commission (2006). "Reference Document on Best Available Technique for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry (LVIC-S): Chapter 7.7 Magnesium compounds".
- [109] RHI AG (2006). "Magnesia production from magnesite (natural process)".
- [110] Spanish MgO producers (2006/2008). "Magnesia production from magnesite (natural process) and information regarding CO, noise emissions and sulphur content in the raw materials as well as additional information regarding dust emission levels achieved in a Spanish MgO plant by using fabric filters".
- [111] European Union (2003). "Directive 2003/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 June 2003 amending the 26th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (nonylphenol, nonylphenol ethoxylate and cement)".
- [112] Czech Republic (2006). "The cement industry in the Czech Republic".
- [113] Ireland (2007). "Report of PM 10's and PM 2.5's from air emission point".
- [114] Sweden (2006). "SNCR technique and NO_x emissions in Swedish cement plants".
- [116] France (2002). "The French Cement Industry Guide to NO_x Emission Reduction Measures".
- [117] Germany (2000). "Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten".
- [118] Germany (2007). "Additional contributions regarding cement production, e.g. white cement manufacture, dedusting cement kilns with fabric filters, surface filters, sintered lamella filters".
- [119] Sobolev, K. (2001). "White cement: Problems of production and quality", Cement and Concrete World, Turkey, pp. 34-42.
- [120] Spain (2007). "Information on white cement production".

- [122] European Commission (2004). "Commission's Decision of 29 January 2004 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council".
- [123] Ireland (2005). "Contributions regarding summary statement following short term SNCR trials at Limerick Works of Irish Cement".
- [124] European Commission (2001). "Reference Document on the Best Available Technique in the Pulp and Paper Industry".
- [125] European Commission (2006). "Reference Document on the Best Available Technique in the Food, Drink and Milk Industry".
- [126] Oates, J. A. H. (1998). "Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses", ISBN-10: 3527295275/ ISBN-13: 978-3527295272.
- [127] Portugal (2007). "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants - volatile organic carbon emissions".
- [128] Portugal (2007). "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants - carbon monoxide emissions".
- [129] EuLA (2006). "Database emissions from lime kilns".
- [130] Drnek/Maier (2007). "The impact of environmental legislation on the economics of magnesia production".
- [131] YARA, M. R. L. (2007). "Contribution on cement and lime industries, SNCR in cement and lime production - reducing agents".
- [132] CEMBUREAU/Federhen (2007). "Contribution: Dry scrubber".
- [133] CEMBUREAU/Federhen (2007). "Co-generation of power from waste heat".
- [134] CEMBUREAU/Federhen (2007). "Technical application of fibres in cement manufacturing process and cement works".
- [135] CEMBUREAU/Federhen (2007). "Contribution: Hybrid dust collector".
- [136] European Commission, C., March Consulting Group, MAIN Management e Ingenieria Consultores (1993). "Energy Technology in the Cement Industrial Sector", Final Report, Contract No XVII/4.1000/E/91-16.
- [137] Klein/Hoenig (2006). "Model calculation of the fuel requirement for the clinker burning process", Cement International, reprint from 3/2006, FIZ 2006, pp. 44-63.
- [138] Italy (2007). "Raw materials for white clinker production in Italy".
- [139] Italy (2007). "Italian lime production".
- [140] Italy (2007). "Cement plant-Monselice Cement Works, SCR installation".
- [141] Leibacher/Bellin/Linero (2007). "High dust SCR succeeds at Cementeria di Monselice".
- [142] EnvNGO/Tebert (2007). "CO-Minderung bei Kalköfen".
- [143] Williams, P. T. (2005). "Waste Treatment Disposal", 0470849126.

- [144] Adlhoch, H.-J. (1996). "Sinterlamellenfilter in der Zementindustrie", ZKG International, Nr. 10/1996, pp. 594-601.
- [145] Leibinger/Köberl (2001). "Neuartiges Energie-Minimierungskonzept für Ofenfilter in der Zementindustrie", ZKG International, No. 11/2001, pp. 618-629.
- [146] Leibinger/Neumann (2003). "Kostenreduktion durch höheres Leistungspotential bei Prozessfiltern in der Zementindustrie", ZKG International, No. 2/2003, pp. 44-52.
- [147] Marmor/Petzold (2006). "Wirtschaftliche Entstaubung mit Oberflächenfiltern, Teil 3", ZKG International, No. 10/2006, pp. 82-87.
- [148] Reitemeier (2005). "Neue Hochleistungs-Entstaubungsanlagen im Holcim-Zementwerk Dudfield", ZKG International, No. 8/2005, pp. 75-79.
- [149] CEN/EN 197-1 (2000). "Cement-Part 1: European Norm on composition, specifications and conformity criteria for common cements".
- [150] Fabrellas/Larrazabal/Martinez/Sanz/Ruiz/Abad/Rivera (2004). "Global Assessment of PCDD/F emissions from the Spanish cement sector. Effect of conventional/alternative fuels".
- [151] European Commission (2003). "Reference Document on the General Principles of Monitoring".
- [152] Germany (2007). "Lime Manufacturing Industries - Reduction of NOx emissions at a rotary kiln with preheater by using the SNCR technique (practical experience)".
- [153] Castle Cement UK, P. W. (2007). "Application for variation to IPPC permit BL 1096, Solid Recovered Fuel (SRF) on kiln 4".
- [154] CEMEX UK (2006). "Application for a variation under PPC to allow use of a fuel known as Climafuel", Permit BL 7248.
- [155] Germany (2007). "Lime manufacturing industries - Co-incineration of waste".
- [156] Germany (2007). "Lime manufacturing industries - German example for the use of solid wastes as fuels in a rotary kiln (additions)".
- [157] Germany (2007). "Lime manufacturing industries - Minimisation of nitrogen oxide emissions by low NOx burners at annular shaft kilns".
- [158] Germany (2007). "Cement Manufacturing Industries - Duration and frequency of CO trips".
- [159] Ireland (2006). "Reports of CO emissions because of CO trips from cement plants in Ireland".
- [160] Germany (2007). "German experience with a 6 months SNCR performance test".
- [161] Austria (2006). "Operation and permit data from EIA from Austrian cement plants Wietersdorf (Wietersdorfer&Peggauer Zementwerke GMBH) and Retznei (Lafarge Perlmooser AG)".
- [162] A TEC (2006). "Modernisation of Wietersdorfer and Peggauer Zementwerke GmbH (CEMTECH Conference Rome 2006)".

- [163] Castle Cement UK (2006). "Information on energy demand at Padeswood plant, Castle Cement UK".
- [164] Rheinkalk, W. F. (2007). "Beurteilung der Messungen von Emissionen und Verbrennungsbedingungen für den Zeitraum 01.01.2006 bis 31.12.2006, Kalk-Drehrohrofenanlage-Werk Flandersbach".
- [165] EUROMINES (2006). "Magnesia production from magnesite (natural process)".
- [166] European Union (1995). "Council Regulation (EC) no 384/96 of 22 December 1995 on protection against dumped imports from countries not members of the European Community", Official Journal L 056, 06/03/1996 P. 0001 - 0020.
- [167] European Union (2005). "Council Regulation (EC) No 778/2005 of 23 May 2005 imposing a definitive anti-dumping duty on imports of magnesia oxide originating on the People's Republic of China", Official Journal L 131 , 25/05/2005 P. 0001 - 0017.
- [168] TWG CLM (2007). "Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1 and information".
- [169] Italy (2007). "Information on costs for PFRK (lime) provided with the comments for draft 1 of the revised BREF".
- [170] Austria (2007). "Contribution on waste input criteria 2007".
- [171] A TEC (2007). "Statement regarding energy use in the cement plant W&P in Austria".
- [172] France (2007). "Emissions of particles (PM 10 and PM 2.5) in the cement industry".
- [173] Germany (2007). "Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: "Möglichkeit und Grenzen der SNCR Technik bei einer klassischen Drehhofenanlage der Zementindustrie" im Zementwerk Harburg der Märker Zement GmbH".
- [174] EUCOPRO (2007). "Examples of waste input criteria from several EU Member States".
- [175] Lafarge (2007). "Information regarding SOx emissions at Retznei works in Austria".
- [176] France (2008). "Contributions regarding emerging techniques in the cement industry (reduction of SO_x , dust emissions)".
- [177] EULA (2008). "Updated contributions regarding lime manufacturing, e.g. improvement on energy efficiency in lime kilns, figure on the lime manufacturing process, dust emissions data from UK (using wet scrubbers)".
- [178] CEMBUREAU (2008). "Use of waste fuels in cement kilns (Co-processing of waste in cement kilns) - Ökopol Waste Incineration Assessment".
- [179] European Commission (2006). "Reference Document on Economics and Cross-Media Effects".
- [180] Mauschwitz (2004). "Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V".
- [181] European Commission (2008). "Reference Document on the Best Available Techniques in Energy Efficiency".
- [182] TWG CLM (2008). "Merged and sorted comments master spread sheet on second part of draft 1 and information".

-
- [183] Szednyj/Schindler (2005). "Minderungspotentiale der NEC-Gase und Staub bis 2010 der Österreichischen Zementindustrie", Berichte BE-261.
- [184] CEN standard EN-1948 (2007). "Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of PCDD/PCDF and dioxin-like PCBs - Part 4: Sampling and analysis of dioxin-like PCBs".
- [185] Hackl und Mauschwitz (2003). "Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV".
- [186] IAF (2010). International Accreditation Forum website <http://www.iaf.nu>.
- [187] ISO (2004). ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm.
- [188] DG Environment (2010). What is Emas? http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm.
- [189] European Union (2009). "Regulation (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC".
- [190] ISO (2010). Technical committee 207 <http://www.tc207.org>.
- [191] European Union (2009). "Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community".
- [192] CEMBUREAU (2012): "Waste fuel groupings versus those of the EWC".
- [193] European Union (2007). "Commission Decision of 18 July 2007 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council".

Avrupa Komisyonu

EUR 26129 – Ortak Araştırma Merkezi – Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü

Başlık: Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayilerinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı

Yazar(lar): Frauke Schorcht, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho

Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi 2013 – 480

s. – 21.0 x 29.7 cm

EUR – Bilimsel ve Teknik Araştırmalar serisi – ISSN 1831-9424 (çevrimiçi),

ISBN 978-92-79-32944-9 (pdf)

doi:10.2788/12850

Özet

Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit Üretimi başlıklı MET-Ref, Direktifin 13(1) Maddesinde öngörüldüğü üzere MET referans belgelerinin hazırlanması, gözden geçirilmesi ve gerektiği durumda güncellenmesi amacıyla AB Üye Devletleri, ilgili endüstriler, çevrenin korunması için çalışan sivil toplum kuruluşları ve Komisyon arasında yapılan bilgi alışverişinin sonuçlarını ortaya koyan bir belgeler dizisinin parçasını oluşturmaktadır. Bu doküman, ilgili Direktifin 13(6) Maddesi uyarınca Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanmıştır.

Bu çimento, kireç ve magnezyum oksit MET-Ref'i, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I'inde belirtilen aşağıdaki faaliyetleri kapsar:

- 3.1. Çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi:
 - (a) günlük üretim kapasitesi 500 tonu aşan döner fırınlarda veya günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan diğer fırınlarda çimento klinkeri üretimi;
 - (b) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda kireç üretimi;
 - (c) günlük üretim kapasitesi 50 tonu aşan fırınlarda magnezyum oksit üretimi.

Belge ayrıca, bu faaliyetlerle doğrudan ilişkili olabilecek ve aynı tesiste gerçekleştirilen bazı faaliyetleri de kapsar.

Çimento, kireç ve magnezyum üretiminde 2010/75/AB sayılı Direktifin uygulanmasında önemli hususlar havaya emisyonların azaltılması, enerji ve hammadde verimli kullanımı, proses kalıntılarının en aza indirilmesi, geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi ve bunların yanı sıra, etkili çevre ve enerji yönetim sistemleridir.

MET-Ref belgesi 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1 – Çimento Endüstrisi, Bölüm 2 – Kireç Endüstrisi ve Bölüm 3 – Magnezyum Oksit Endüstrisi (çıkarılmış doğal manyezite dayalı kuru işleme güzergahı). 1. ila 3. Bölümlerin 1. ve 2. kısımları, ilgili endüstriyel sektör ve bu sektörde kullanılan endüstriyel proses ve teknikler hakkında genel bilgi verir. Bölüm 1 – 3'ün 3. kısımları, sektördeki tesislerin çevresel performansına ilişkin veri ve bilgiler sağlar. 1. ila 3. Bölümlerin 4. kısımlarında, MET'in belirlenmesinde dikkate alınan sektör tesislerinin çevresel etkilerini önlemeye veya bunun uygulamada mümkün olmadığı durumlarda azaltmaya yönelik teknikler açıklanmaktadır. 1. ila 3. Bölümlerin 5. kısımlarında, Direktifin 3(14). Maddesinde tanımlandığı üzere 'geliştirilmekte olan teknikler' hakkında bilgi verilmektedir. 4. Bölümde, Direktifin 3(12) Maddesinde tanımlandığı üzere MET sonuçları sunulmaktadır.

Komisyonun kurum içi bilimsel hizmetlerinden sorumlu Ortak Araştırma Merkezinin misyonu, AB politikalarına, politika döngüsünün tamamı boyunca bağımsız, kanıta dayalı bilimsel ve teknik destek sağlamaktır.

Politika Genel Müdürlükleri ile yakın işbirliği içinde çalışan Ortak Araştırma Merkezi; yeni standartlar, yöntemler ve araçlar geliştirerek ve bilgi birikimini Üye Devletler ve uluslararası toplulukla paylaşarak ve aktararak yeniliği teşvik ederken, başlıca toplumsal zorlukları da ele alır.

Temel politika alanları çevre ve iklim değişikliği, enerji ve ulaşım, tarım ve gıda güvenliği, sağlık ve tüketiciyi koruma, bilgi toplumu ve dijital gündem, nükleer dahil güvenlik ve emniyetten oluşur ve bunların tamamı, paralel ve çok disiplinli bir yaklaşımla desteklenir.

