

T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI

ENTEĞRE ÇEVRE İZNİNE (EÇİ) TABİ
ÇİMENTO ÜRETİM TESİSLERİNİN UYUM DURUMLARI
VE GEREKLİLİKLERİNİN BELİRLENMESİ PROJESİ

ÇİMENTO SANAYİ İÇİN
MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER (MET)
ULUSAL KILAVUZU

MAYIS 2016



İÇİNDEKİLER

0. ÇİMENTO SANAYİ İÇİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER REFERANS DOKÜMANI YÖNETİCİ ÖZETİ

1. ÖNSÖZ

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA ÇİMENTO SANAYİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİ

3. ÇİMENTO ÜRETİM SÜREÇLERİ VE TEKNİKLERİ

- **Hammaddeler ve hammaddelerin kazanılması**
 - Hammaddeler- depolama ve hazırlama
 - Hammaddelerin depolanması
 - Hammaddelerin öğütülmesi
 - Hammaddelerin öğütülmesi- kuru ve yarı-kuru fırın sistemleri
 - Hammaddelerin öğütülmesi- yaş ve yarı-yaş fırın sistemleri
- **Farin veya çimento harcının homojenizasyonu ve depolanması**
- **Yakıtlar-depolama ve hazırlama**
 - Konvansiyonel yakıtların depolanması
 - Konvansiyonel yakıtların hazırlanması
 - Atık kullanımı
 - Genel hususlar
 - Atıkların hammadde olarak kullanılması
 - Atıkların yakıt olarak kullanılması
 - Atık yakıtların türleri
 - Katı atık yakıtlar
 - Sıvı atık yakıtlar
 - Atık kalite gereksinimleri ve girdi kontrolü
 - Atıkların metal konsantrasyonları
 - Atıkların depolanması ve elleçlenmesi
- **Klinker pişirme**
 - Fırın ateşleme
 - Uzun döner fırınlar
 - Ön ısıtıcılı döner fırınlar
 - Izgaralı ön ısıtıcı tekniği
 - Süspansiyon ön ısıtıcı tekniği
 - Şaft ön ısıtıcıları
 - Dört kademeli siklonlu ön ısıtıcı
 - Ön ısıtıcılı ve ön kalsinatörlü döner fırınlar
 - Baypas sistemleri
 - Şaft fırınları
- **Fırın yanma gazları**
 - Ani CO yükselmeleri
- **Klinker soğutucuları**
 - Döner soğutucular

- Tüp Soğutucular
- Planet (uydu) soğutucular
- Izgaralı Soğutucular
- Hareketli ızgaralı soğutucular
- İleri geri hareketli ızgaralı soğutucular (Reciprocating grate coolers)
- Üçüncü nesil ızgaralı soğutucular
- Dikey soğutucular
- **Çimento öğütme ve depolama**
- Klinker depolama
- **Değirmene beslenen malzemenin ölçülmesi ve oranlanması**
- Çimentonun öğütülmesi
- İlave edilen minerallerin öğütülmesi
- Tane büyüklüğü dağılımına göre ayırım
- Kromatların-kromun (VI) azaltılması
- Çimentonun depolanması
- **Ambalajlama ve sevkiyat**
- **Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri**
- Su tüketimi
- Hammadde tüketimi
- Atıkların hammadde olarak tüketimi
- **Enerji kullanımı**
- Termal enerji ihtiyacı
- Elektrik enerjisi ihtiyacı
- Atık yakıtların tüketimi
- **Havaya yapılan emisyonlar**
- Toz (partikül madde)
- Yönlendirilmiş toz emisyonları
- İnce toz emisyonları PM₁₀ ve PM_{2.5}
- Yayılmış toz emisyonları
- Azot oksitler
- Kükürt dioksit
- Karbon oksitler (CO₂, CO)
- Karbondioksit (CO₂)
- Karbon Monoksit (CO)
- Toplam organik bileşikler (TOC)
- Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF)
- Metaller ve bileşikleri
- Cıva
- Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)
- Gaz halindeki inorganik klor bileşikleri
- Gaz halindeki inorganik flor bileşikleri
- Amonyak (NH₃)
- Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEX)
- Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)
- Diğer organik kirleticiler
- Atık malzeme kullanımının emisyon davranışı ve enerji verimliliğine etkileri

- Atık kullanımının ürün kalitesine etkileri
- **Proses kayıpları/atıklar**
- **Sıvı Atıklar**
- **Gürültü**
- **Kokular**
- **İzleme**
- **Parametrelerin ve emisyonların izlenmesi**

4. MEVCUT EN İYİ TEKNİKLERİN (MET) BELİRLENMESİNDE DİKKATTE ALINAN KRİTERLER

- **Hammadde tüketimi**
- **Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)**
- **Termal enerji kullanımının azaltılması**
- Fırın sistemleri
- Hammadde özellikleri
- Yakıt Özellikleri
- Gaz baypas sistemi
- Çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılması
- **Elektrik enerjisi kullanımının azaltılması**
- **Proses seçimi**
- **Fırınlar ve Soğutuculardan kojenerasyondan enerji geri kazanımı**
- **Genel Teknikler**
- Proses kontrol optimizasyonu
- Yakıt ve Hammadde seçimi
- Atıkların yakıt olarak kullanılması
- **Toz emisyonları (partikül madde)**
- Tozlu işlemler için önlemler/teknikler
- Dökme depolama alanları ve istifler için önlemler/teknikler
- **Yönlendirilmiş toz emisyonlarının azaltılması**
- Elektrostatik çökticiler (ESP'ler)
- Torbalı filtreler
- Hibrid filtreler
- **Gaz halindeki bileşikler**
- **NO_x emisyonlarının azaltılması**
- Alev soğutması
- Düşük NO_x brülörleri
- Kademeli yanma
- Fırın ortası ateşleme
- Mineralize klinker
- Proses optimizasyonu (NO_x)
- Seçici katalitik olmayan azaltım (SNCR)
- Seçici katalitik azaltım (SCR)
- **SO₂ Emisyonlarının azaltılması**
- Soğurucu malzeme ilavesi
- Sulu yıkayıcı
- Aktif karbon
- **Karbon oksit (CO) emisyonlarının ve ani CO yükselmelerinin azaltılması**
- **Toplam organik karbon emisyonlarının (TOC) azaltılması**

- Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması
- Poliklorlu dibenzo-p-dioksin (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuran (PCDF)
- Metal emisyonlarının azaltılması
- Değişik baca gazı azaltma önlemleri/teknikleri ile emisyonların azaltılması için kullanılabilecek birincil önlemler/tekniklere ilişkin maliyet verileri örnekleri
 - Toz azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri
 - NO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri
 - SO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri
- Proses kayıpları/Atıklar
- Gürültü
- Kokularla ilgili genel hususlar
- Çevre yönetim araçları

5. ÇİMENTO SANAYİ İÇİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLERİ (MET) SONUÇLARI

- Genel MET sonuçları
 - Çevresel yönetim sistemleri
 - Gürültü
- Çimento endüstrisine yönelik MET sonuçları .
 - Genel öncelikli teknikler
 - İzleme
 - Enerji tüketimi ve proses seçimi
 - Atık kullanımı
 - Toz emisyonları
 - Gazsı bileşikler
 - PCDD/F emisyonları
 - Metal emisyonları
 - Proses kayıpları/atıkları
- Kireç sanayii için BAT sonuçları
 - Genel öncelikli teknikler İzleme
 - Enerji tüketimi
 - Kireçtaşının tüketimi
 - Yakıtların seçimi
 - Toz emisyonları
 - Gazsı bileşikler...
 - PCDD/F emisyonları
 - Metal emisyonları
 - Proses kayıpları/atıkları
- Magnezyum oksit sanayii için BAT sonuçları...
 - İzleme
 - Enerji tüketimi
 - Toz emisyonları
 - Gazsı bileşikler
 - Proses kayıpları/atıkları
 - Yakıt ve/veya hammadde olarak atıkların kullanılması

TEKNİKLERİN TANIMI

- Çimento sanayii için tekniklerin tanımı
 - Toz emisyonları

- NOx emisyonları
- SOx emisyonları
- **Kireç sanayii için tekniklerin tanımı**
- Toz emisyonları
- NOx emisyonları
- SOx emisyonları
- **Magnezyum sanayii (kuru proses yöntemiyle) için tekniklerin tanımı**
- Toz emisyonları
- SOx emisyonları

6. ÇİMENTO ÜRETİM PROSESİNDE GELİŞEN TEKNİKLER

7. REFERANSLAR

8. EKLER

ÇİMENTO, KİREÇ VE MAGNEZYUM İMALAT SANAYİLERİNDE MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER REFERANS DOKÜMANI YÖNETİCİ ÖZETİ

“Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayileri” başlıklı MET (Mevcut En İyi Teknikler) Referans Dokümanı (BREF), 2008/1/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifinin (IPPC Direktifi) 17(2)’nci Maddesi kapsamında gerçekleştirilen bilgi alışverişini yansıtmaktadır. Bu Yönetici Özetinde ana bulgular tanımlanmakta ve başlıca MET sonuçları ve ilgili tüketim ve emisyon seviyelerinin özeti verilmektedir. Yönetici Özeti, işbu dokümanın amaçlarını, nasıl kullanılması gerektiğini ve yasal koşulları açıklayan Önsöz ile bağlantılı olarak okunmalıdır. Bu Yönetici Özeti, bağımsız bir doküman olarak da okunabilir ve anlaşılabilir, ancak, özet niteliği taşıdığından, tüm belgenin ortaya koyduğu karmaşık bilgileri içermemektedir. Bu nedenle Yönetici Özeti, MET karar verme sürecinde bir araç olarak bu dokümanın tamamının yerini alamaz.

İşbu dokümanda 2010/75/EU sayılı Direktif Ek I Bölüm 3.1’de belirtilen ve aşağıda yer alan endüstriyel faaliyetler ele alınmaktadır;

’3.1. Döner fırınlarda çimento klinkeri üretimi yapan ve kapasitesi 500 ton/gün’ün üzerinde olan tesisler ile Döner fırınlarda kireç üretimi yapan ve kapasitesi 50 ton/gün’ün üzerinde olan veya diğer fırınlarda kireç üretimi yapan ve kapasitesi 50 ton/gün’ün üzerinde olan tesisler.

İşbu doküman çimento ve kireç sanayine ilave olarak kuru proses yöntemi ile magnezyum oksit üretimini de kapsamaktadır.

İşbu BREF dokümanı biri çimento sanayi, diğeri kireç sanayi ve öbürü de madenden çıkartılan doğal manyezit (magnezyum karbonat $MgCO_3$) bazlı kuru proses kullanılmak suretiyle magnezyum oksit üretimi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. BREF’lerin yazılmasına yönelik genel özet ve rehber uyarınca bu üç bölümün her birinde yedi kısım bulunmaktadır. İşbu belge, yukarıda belirtilen üç endüstriyel faaliyetin temel üretim faaliyetlerine ilaveten emisyon veya kirlilik üzerinde etkisi olabilecek ilişkili faaliyetleri de kapsamaktadır. Bu nedenle, işbu doküman ham maddelerin hazırlanmasından bitmiş ürünlerin sevkiyatına kadar olan faaliyetleri içermektedir. Bazı faaliyetler, örneğin, çimento klinkeri üretimi için taş ocakçılığı/madencilik ve şaft fırınlar ana faaliyet konusu ile doğrudan ilişkili görülmedikleri için kapsama dahil edilmemişlerdir.

ÇİMENTO SANAYİ

Temel Çevresel Konular

Çimento, binalarda ve inşaat mühendisliği yapılarında kullanılan temel bir malzemedir. Avrupa Birliği’nde çimento üretimi 2006 yılında 267,5 milyon ton ile dünya üretiminin yaklaşık % 10,5’ine eşit oranda gerçekleşmiştir. 2008 yılında Avrupa Birliğinde çimento klinkeri ve mamul çimento üreten ve toplam 377 fırına sahip olan 268 tesis bulunmaktaydı. Ayrıca bunların dışında 90 öğütme tesisi (çimento değirmeni) ile değirmeni olmayan iki klinker tesisi vardı. Tipik bir fırının kapasitesi yaklaşık 3000 ton klinker/gün’dür. Klinker pişirme işlemi, çimento üretimi için temel çevre sorunları olan enerji kullanımı ve havaya yapılan emisyonlar açısından sürecin en önemli bölümünü teşkil etmektedir. Belirli üretim proseslerine bağlı olarak çimento fabrikaları hava ve kara (atık) emisyonlarına neden olurlar.

Bazı belirli nadir durumlarda su emisyonları da oluşabilir. Ayrıca çevre gürültü ve kokulardan da etkilenebilir. Havaya verilen en önemli kirletici maddeler toz, azot oksit ve kükürt dioksittir. Havaya verilenler arasında karbon oksitleri, poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar, toplam organik karbon, metaller, hidrojen klorür ve hidrojen florür de bulunmaktadır. Hava kirliliğinin türü ve miktarı, örneğin; girdiler (hammadde ve kullanılan yakıt) ve uygulanan prosesin türü gibi değişik parametrelere bağlıdır.

1 ton klinker üretmek için AB’de genel olarak tüketilen hammadde miktarı ortalama 1,52 tondur. Aradaki farkın çoğu kalsinasyon reaksiyonu ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) sırasında havaya yapılan karbondioksit emisyonları şeklinde süreç içinde kaybedilir.

Uygulanan prosesler ve teknikler

Hammaddeler madenden çıkartıldıktan, kırıldıktan, öğütüldükten ve homojenize edildikten sonra çimento üretiminin birinci adımı kalsiyum karbonatın kalsinasyonu sonucunda elde edilen kalsiyum oksitin silis, alümin ve demir oksit ile yüksek sıcaklıkta reaksiyona girerek klinkeri oluşturmaktır. Daha sonra klinker çimento üretmek için alçı ve diğer bileşenlerle birlikte öğütülür veya değirmenden geçirilir. Kireçtaşı, marn veya tebeşir gibi doğal olarak oluşan kireçli tortular kalsiyum karbonatın kaynağını oluşturur. Silis, demir oksit ve alümin çeşitli cevherlerde ve minerallerde bulunur. Çeşitli türdeki atıklar kısmen doğal hammaddelerin yerini alacak şekilde kullanılabilir. Çimento sanayi enerji yoğun bir sanayi olup, enerji genelde üretim maliyetlerinin (yatırım maliyetleri hariç ancak elektrik maliyetleri dahil) yaklaşık %40’ını oluşturur. Proses için gerekli termal enerji talebini karşılamak için çeşitli konvansiyonel fosil ve atık yakıtlar kullanılabilir. 2006 yılında en çok kullanılan yakıtlar petrol koku, kömür ve değişik atık türleri ile bunları izleyen linyit ve diğer katı yakıtlar, fuel oil ve doğal gaz olmuştur. Temel olarak, klinker pişirme prosesinin kendine has özellikleri atıkların hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Klinker, yaş veya kuru uzun fırın sisteminin, yarı-yaş veya yarı-kuru ızgaralı önısıtıcı (Lepol) fırın sisteminin, kuru süspansiyonlu ön ısıtıcı fırın sisteminin veya ön ısıtıcı/ön kalsinasyonlu fırın sisteminin bir parçasını oluşturabilecek olan bir döner fırında pişirilir. 2008 yılında Avrupa’da çimento üretiminin yaklaşık %90’ı kuru proses fırınlarından, %7,5’lik bölümü yarı-kuru ve yarı-yaş proses fırınlarından elde edilmiş olup, Avrupa üretiminin geriye kalan yaklaşık %2,5’lik bölümü yaş proses fırınlarından elde edilmiştir. Yarı-kuru ve yarı-yaş proses fırınlarında olduğu gibi Avrupa’da faaliyet göstermekte olan yaş proses fırınlarının yenilendikleri zaman genelde kuru proses fırın sistemlerine dönüştürülmeleri beklenmektedir.

ÇİMENTO, KİREÇ VE MAGNEZYUM OKSİT SANAYİ

MET (Mevcut En İyi Tekniklerin) tespiti için göz önüne alınması gereken teknikler

CIPPC (*Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol*) Direktifi’nin çimento, kireç ve magnezyum oksit sanayilerinde uygulanabilmesi için önemli hususlar, havaya yapılan emisyonların azaltılması, enerji ve hammaddenin verimli bir biçimde kullanılması, proses kayıplarının/atıklarının minimizasyonu, geri kazanımı ve geri dönüştürülmesi ile etkin çevre ve enerji yönetim sistemleridir. Yukarıda belirtilen hususlar, çimento, kireç veya magnezyum oksit sektörlerinde uygulanabilirlikleri göz önüne alınmak suretiyle prosese entegre edilmiş olan çeşitli önlemler/teknikler ve boru sonu teknikleri yoluyla ele alınmıştır. Bu belgede yer alan önlemler/teknikler, yüksek seviyede çevre koruma sağlayacağı veya bu yönde katkıda

bulunabileceği düşünülen önlemler/tekniklerdir. Bu bağlamda, kirlilik önleme ve koruma amacıyla dikkate alınmak üzere çimento sanayi için yaklaşık 26 teknik (Bölüm 1.2), kireç sanayi için yaklaşık 24 teknik (Bölüm 1.3) kuru proses yöntemi kullanan magnezyum sanayi için yaklaşık 14 teknik (Bölüm 1.4).sunulmuştur.

Mevcut En İyi Teknikler

MET (Mevcut En İyi Teknikler) bölümleri (Bölüm 1.5, 2.5 ve 3.5), esasen Bölüm 1.4, 2.4 veya 3.4'te yer alan bilgilere dayalı olarak, mevcut en iyi teknikler tanımını (IPPC Direktifi Madde 2(12)) ve IPPC Direktifi Ek IV'te belirtilen görüşleri gözönünde bulundurmak suretiyle çimento, kireç veya magnezyum oksit sanayileri için genel anlamda MET olan teknikleri tanımlamaktadır. Ayrıca MET bölümlerinde MET kullanımı ile ilişkilendirilen tüketim ve emisyon değerleri önerileri de verilmiştir. Önsöz bölümünde tanımlandığı üzere, MET bölümlerinde emisyon sınır değerleri önerilmemiştir. IPPC direktifi kapsamındaki tesisler için MET'e dayalı olarak izinde belirtilecek emisyon değerleri yetkili makam tarafından tespit edilecektir. İşbu dokümanda yer alan MET sonuçlarının Yönetici Özetinde sadece özet olarak sunulmuş olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. İlgili MET sonuçlarının tümünü görmek için bu dokümanın 1.5, 2.5 ve 3.5 numaralı Bölümlerine bakınız. Ayrıca atıkların beraber yakılması sırasında Atık Yakma Direktifi (WID) gereksinimlerinin karşılanması gerektiği genel olarak akılda tutulmalıdır [59, Avrupa Birliği, 2000].

Sonuçlar, tavsiyeler, araştırma ve teknik gelişme

Çimento, kireç ve magnezyum oksit sanayi ile ilgili sonuçlar ve tavsiyeler, işbu dokümanın geliştirilmesine ilişkin dönüm noktaları, çimento, kireç ve magnezyum oksit sanayileri için MET (Mevcut En İyi Teknikler) önerileri üzerinde varılan görüş birliğinin derecesi ve halen mevcut olan bilgi boşluğu konularında bilgi içermektedir. Yüksek ölçüde görüş birliğine varılmış ve hiçbir görüş ayrılığı kaydedilmemiştir. BREF'lerin (Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanları) gözden geçirilmesine ilişkin bilgi değişiminin işleyişi ve prosedürü hakkında daha fazla bilgi ve yönlendirme Avrupa IPPC Bürosunun web-sitesinde yer almaktadır.

Avrupa Topluluğu, temiz teknolojileri, gelişmekte olan akışkan arıtma ve geri dönüştürme teknolojilerini ve yönetim stratejilerini ele alan bir dizi projeyi RTD (*Araştırma ve Teknoloji Geliştirme*) programları vasıtasıyla başlatmakta ve desteklemektedir. Potansiyel olarak bu projeler ilerideki BREF incelemelerine yararlı bir katkıda bulunabileceklerdir. Bu nedenle okuyucular işbu dokümanın Kapsamı ile ilgili olan her türlü araştırma sonuçlarını Avrupa IPPC Bürosuna bildirmeye davet edilmektedirler.

Çimento Sanayi için MET (Mevcut En İyi Teknikler) Özeti	
Çevre Yönetimi (Bölüm 1.1.1, MET 1)	Bölüm 1.1.1, MET 1'de listelenen özellikleri yerel koşullara uygun şekilde içeren bir Çevre Yönetim Sistemi (EMS) uygulanması ve buna bağlı kalınması
Genel birincil önlemler/teknikler (Bölüm 1.2.1, MET 3, 4)	Bölüm 1.2.1, MET 3 a, b'de listelenen önlemlerin/tekniklerin uygulanması suretiyle tüm fırın emisyonları ve enerji kullanımı açısından yararlı olan proses parametre ayar noktalarına mümkün olduğu kadar yakın çalışarak düzgün ve istikrarlı bir fırın prosesi elde edilmesi ☐ emisyonların önlenmesi ve/veya azaltılması için fırına giren tüm maddelerin dikkatlice seçilmesi ve kontrol edilmesi (Bölüm 1.2.1, MET 4)
İzleme (Bölüm 1.2.2, MET 5)	Bölüm 1.2.2 MET 5 a-g'de listelenen proses parametrelerinin ve emisyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve ölçülmesi.
Proses seçimi (Bölüm 1.2.3.1, MET 6)	yeni tesisler ve mevcut tesislerde yapılacak büyük çaplı iyileştirmeler için çok kademeli ön ısıtma ve ön hesaplamalı kuru proses fırını kullanılması. Düzenli ve optimum işletme koşullarında ilgili MET ısı denge değeri klinker için 2900 - 3300 MJ/ton'dur (Bölüm 1.2.3.1, MET 6)
Enerji Tüketimi (Bölüm 1.2.3.2, MET 7, 8, 9, 10)	Bölüm 1.2.3.2, MET 7 a – f'de listelenen önlemlerin/tekniklerin birlikte uygulanması suretiyle termal enerji tüketiminin azaltılması/minimize edilmesi. ☐ Çimentonun ve çimento ürünlerinin klinker içeriğini azaltmayı düşünmek suretiyle birincil enerji tüketiminin azaltılması (Bölüm 1.2.3.2, MET 8) ☐ Ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu takdirde, enerji mevzuat planlarında mümkünse faydalı sıcaklık talebine dayalı kojenerasyon/kombine ısı ve elektrik santrallerini düşünmek suretiyle birincil enerji tüketiminin azaltılması (Bölüm 1.2.3.2, MET 9) ☐ Bölüm 1.2.3.2 MET 10 a, e'de listelenen önlemlerin/tekniklerin birlikte veya tek başlarına uygulanması suretiyle elektrik enerjisi tüketiminin minimize edilmesi.
Atık kalite kontrolü (Bölüm 1.2.4.1, MET 11 a - c)	atıkların özelliklerini garanti altına almak ve çimento fırınında hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılacak atıkları Bölüm 1.2.4.1, MET 11 a I-III'te listelenen parametreler/kriterler açısından analiz etmek için kalite güvence sistemlerinin uygulanması ☐ çimento fırınında hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılacak herhangi bir atığın klor, ilgili metaller (örneğin, kadmiyum, civa, talyum) kükürt, toplam halojen içeriği gibi ilgili parametrelerinin miktarının kontrol edilmesi. (Bölüm 1.2.4.1, MET 11 b) ☐ her atık yükü için kalite güvence sistemlerinin uygulanması (Bölüm 1.5.4.1, MET 10 c)
Fırına atık beslenmesi (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 a - f)	Fırın tasarımına ve fırın çalışmasına bağlı olarak sıcaklık ve alıkoyma süresi açısından uygun fırın besleme noktalarının kullanılması (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 a) ☐ Kalsinasyon bölgesine gelmeden önce uçucu hale gelebilecek olan organik bileşenler içeren atık maddelerin fırın sisteminin yeterli derecede yüksek sıcaklıklı bölgelerine beslenmesi (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 b) ☐ atıkların beraber yakılması sonucunda oluşacak gazın en kötü şartlarda bile kontrollü ve homojen bir şekilde 2 saniye için 850 °C sıcaklığa yükseltileceği şekilde çalışılması. (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 c). ☐ içinde %1'den fazla halojenli organik maddeler bulunan ve klor olarak ifade edilen tehlikeli maddelerin beraber yakılması halinde sıcaklığın 1100 °C'ye yükseltilmesi. (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 d) ☐ atıkların devamlı olarak ve sabit bir şekilde beslenmesi (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 e) ☐ MET 12 a-d'de belirtildiği şekilde çalışmaya başlama ve/veya çalışmayı durdurma gibi uygun sıcaklıklara ve alıkoyma sürelerine ulaşmanın mümkün olmadığı işlemler sırasında atıkların beraber yakımının durdurulması (Bölüm 1.2.4.2, MET 12 f)
Tehlikeli atık maddelerin kullanımı için güvenlik yönetimi (Bölüm 1.2.4.3, MET 13)	Tehlikeli atık maddelerin elleçlenmesi, örneğin, depolanması ve/veya beslenmesi için elleçlenecek atığın etiketlenmesi, muayenesi, örneğinin alınması ve test edilmesi amacıyla atığın kaynağına ve türüne göre örneğin riske dayalı yaklaşım kullanmak suretiyle güvenlik yönetiminin uygulanması (Bölüm 1.2.4.3, MET 13)
Yayılmış Toz Emisyonları (Bölüm 1.2.5.1, MET 14 a-j, 15 a-f)	Bölüm 1.2.5.1 MET 13 a, b'de (tozlu işlemler ve dökme malzeme depolama alanları için önlemler/teknikler) listelenen önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle yayılmış toz emisyonlarının minimize edilmesi/önlenmesi
Tozlu işlemlerden kaynaklanan yönlendirilmiş toz emisyonları (Bölüm 1.2.5.2, MET 16)	Bu kaynakların özellikle filtrelerinin performansını ele alan bir bakım yönetim sisteminin uygulanması. Bu yönetim sistemini dikkate alarak, MET, tozlu işlemlerden kaynaklanan yönlendirilmiş toz emisyonlarının bir filtre vasıtasıyla kuru egzoz gazı temizliği uygulamak suretiyle örnekleme süresi boyunca ortalama olarak (en az yarım saat boyunca spot ölçümle) 10 mg/Nm ³ 'ten (MET-AEL) daha aşağı indirilmesidir. Küçük kaynaklar için (< 10000 Nm ³ /h) öncelikli bir yaklaşımın dikkate alınması
Fırın ateşleme	Bir filtre vasıtasıyla kuru egzoz gazı temizliği uygulamak suretiyle fırın ateşleme işlemlerinden

işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları (Bölüm 1.2.5.3, MET 17)	kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı toz (partikül madde) emisyonlarının azaltılması. MET-AEL (İlgili Emisyon Seviyesi) günlük ortalama değeri <10 - 20 mg/Nm ³ 'dür. Torbalı filtreler veya yeni veya yenilenmiş ESP'ler (<i>Elektrostatik Çökelticiler</i>) uygulandığında daha düşük seviyeler elde edilir									
Soğutma ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları (Bölüm 1.2.5.4, MET 18)	Bir filtre vasıtasıyla egzoz gazı temizliği uygulamak suretiyle soğutma ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı toz (partikül madde) emisyonlarının azaltılması. Günlük ortalama değer veya örnekleme süresi boyunca ortalama değer olarak (en az yarım saat boyunca spot ölçümle) MET-AEL <10-20 mg/Nm ³ 'tür. Torbalı filtreler veya yeni veya yenilenmiş ESP'ler (<i>Elektrostatik Çökelticiler</i>) uygulandığında daha düşük seviyeler elde edilir									
NOx emisyonları (Bölüm 1.2.6.1, MET 19, 20)	Bölüm 1.2.6.1 MET 19 a-d'de listelenen önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle fırın ateşleme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı NOx emisyonlarının azaltılması. (diğer bir deyişle, birincil önlemler/teknikler ve/veya kademeli yanma (konvansiyonel veya atık yakıtlar), ve aynı zamanda çimento sanayinde uygun katalizör ve proses gelişimine tabi olmak kaydıyla, bir ön kalsinatör ile birlikte ve optimize edilmiş yakıt karışımı, SNCR (<i>Seçici Katalitik Olmayan Azaltım</i>), SCR (<i>Seçici Katalitik Azaltım</i>) kullanmak suretiyle). Aşağıda belirtilen NOx emisyon seviyeleri MET-AEL'lerdir (Bölüm 1.2.6.1, MET 19). <table><tr><th>Fırın Türü</th><th>Birim</th><th>BAT-AEL (günlük ortalama değer)</th></tr><tr><td>Ön Isıtıcı Fırınlar</td><td>mg/Nm³</td><td><2 00 - 450²⁾³⁾</td></tr><tr><td>Lepol ve uzun döner fırınlar</td><td>mg/Nm³</td><td>400 - 800¹⁾</td></tr></table> ¹⁾ Başlangıç seviyelerine ve tepkimeye girmemiş amonyaka bağlı olarak ²⁾ Birincil önlemlerden/tekniklerden sonra başlangıçtaki NO_x seviyesinin >1000 mg/Nm³ olması durumunda BAT-AEL 500 mg/Nm³ 'dür. ³⁾ Mevcut fırın sistemi tasarımı, atık dahil yakıt karışım özellikleri, hammaddelerin yanabilirliği değer aralığı içinde yer alma yeteneğini etkileyebilir. Uygun koşullara sahip fırınlarda 350 mg/Nm³ altındaki seviyeler elde edilir. Düşük değer olan 200 mg/ Nm³ sadece 3 tesisin aylık ortalaması olarak bildirilmiştir (kolay yanan karışım kullanılarak) SNCR (<i>Seçici Katalitik Olmayan Azaltım</i>) uygulayarak (Bölüm 1.2.6.1, MET 20), o Bölüm 1.2.6.1, MET 20 a ve b'de listelenen önlemlerin/tekniklerin uygulanması o Baca gazlarından tepkimeye girmemiş NH₃ emisyonlarının mümkün olduğu kadar düşük ancak günlük ortalama değer olarak 30 mg/Nm³'ün altında tutulması. NOx azaltma etkinliği ile tepkimeye girmemiş NH₃ emisyonu arasındaki korelasyon gözönüne alınmalıdır. Başlangıçtaki NOx seviyesi ile NOx azaltma etkinliğine bağlı olarak, tepkimeye girmemiş NH₃ 50 mg/Nm³ kadar yüksek olabilir. Lepol ve uzun döner fırınlar için seviye daha da yüksek olabilir (Bölüm 1.2.6.1, MET 20 c)	Fırın Türü	Birim	BAT-AEL (günlük ortalama değer)	Ön Isıtıcı Fırınlar	mg/Nm ³	<2 00 - 450 ²⁾³⁾	Lepol ve uzun döner fırınlar	mg/Nm ³	400 - 800 ¹⁾
Fırın Türü	Birim	BAT-AEL (günlük ortalama değer)								
Ön Isıtıcı Fırınlar	mg/Nm ³	<2 00 - 450 ²⁾³⁾								
Lepol ve uzun döner fırınlar	mg/Nm ³	400 - 800 ¹⁾								
SOx emisyonları (Bölüm 1.2.6.2, MET 21, 22)	Bölüm 1.2.6.2. MET 21 a (absorban ilave etme) ve b'de (sulu yıkayıcı) listelenen önlemlerin /tekniklerin birini uygulamak suretiyle SOx emisyonlarının düşük tutulması veya fırın ateşleme ve/veya ön ısıtma- ön kalsinasyon işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı SOx emisyonlarının azaltılması. Aşağıda belirtilen SOx emisyon seviyeleri MET-AEL'lerdir. (Bölüm 1.2.6.2, MET 21): <table><tr><th>Parametre</th><th>Birim</th><th>BAT-AEL¹⁾ (günlük ortalama değer)</th></tr><tr><td>SO₂ olarak belirtilen SO_x</td><td>mg/Nm³</td><td><50-400</td></tr></table> ¹⁾ Değer aralığında ham maddelerin kükürt içeriği gözönüne alınmıştır Fırın için SO₂ azaltma görevini yapan ham öğütme prosesinin (kuru proses için) optimize edilmesi (Bölüm 1.2.6.2, MET 22)	Parametre	Birim	BAT-AEL ¹⁾ (günlük ortalama değer)	SO ₂ olarak belirtilen SO _x	mg/Nm ³	<50-400			
Parametre	Birim	BAT-AEL ¹⁾ (günlük ortalama değer)								
SO ₂ olarak belirtilen SO _x	mg/Nm ³	<50-400								
Ani CO yükselmelerinin azaltılması (Bölüm 1.2.6.3.1, MET 23)	ESP veya hibrid filtreleri uygularken Bölüm 1.2.6.3.1 MET 23 a-b'de listelenen önlemleri/teknikleri birlikte uygulamak suretiyle ani CO yükselmelerinin sayısının minimize edilmesi ve toplam sürelerinin yıllık olarak 30 dakikanın altında tutulması.									
Toplam organik karbon emisyonları (Bölüm 1.2.6.4, MET 24)	Uçucu organik bileşen içeriği yüksek olan ham maddeleri, ham madde besleme sistemi ile fırın sistemine beslemekten kaçınmak suretiyle fırın ateşleme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı TOC (Toplam Organik Karbon) emisyonlarının düşük tutulması.									
Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları (Bölüm 1.2.6.5, MET 25, 26)	Bölüm 1.2.6.5 MET 25 a ve b'de listelenen önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle HCL emisyonlarının günlük ortalama değer olarak veya örnekleme süresi boyunca ortalama değer olarak (en az yarım saat boyunca spot ölçümlerle) 10 mg/Nm³'ün (MET-AEL) altında tutulması. □ Bölüm 1.2.6.5 MET 26 a, b'de listelenen birincil önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle HF olarak belirtilen HF emisyonlarının günlük ortalama değer olarak veya örnekleme süresi boyunca ortalama değer olarak (en az yarım saat boyunca spot ölçümlerle) 1mg/Nm³'ün (MET-AEL) altında tutulması.									
PCDD/F emisyonları (Bölüm 1.2.7, MET 27)	Bölüm 1.2.7 MET 27 a-f'de listelenen önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle PCDD/F emisyonlarının önlenmesi veya fırın ateşleme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı PCDD/F emisyonlarının düşük tutulması. MET-AEL'ler örnekleme süresi boyunca ortalama değer olarak (6-8 saat) <0.05-0.1 ng PCDD/F 1-TEO/Nm ³ 'dür.									

Metal emisyonları (Bölüm 1.2.8, MET 28)	Bölüm 1.2.8 MET 28 a-c’de listelenen önlemleri/teknikleri birlikte veya tek başlarına uygulamak suretiyle fırın ateşleme işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının yol açtığı metal emisyonlarının minimize edilmesi. Metallerin aşağıda belirtilen emisyon seviyeleri MET-AEL’lerdir.		
	Metaller	Birim	BAT-AEL (örnekleme süresi boyunca ortalama değer (en az yarım saat boyunca spot ölçümlerle))
	g	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⁾ Düşük seviyeler rapor edilmiştir, bakınız Bölüm 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 ve 1.4.7 ²⁾ Düşük seviyeler rapor edilmiştir (bakınız Bölüm 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 ve 1.4.7). 0.03 mg/Nm ³ üzerindeki değerler incelenmelidir. 0.05 mg/Nm ³ ’e yakın olan değerler için Bölüm 1.3.4.13, 1.3.9.1 ve 1.4.7’de tanımlananlar gibi ilave önlemlerin/tekniklerin uygulanmasının gerekli olduğu gözönüne alınmalıdır.		
Proses kayıpları/atıklar (Bölüm 1.2.9, MET 29)	Toplanan partikül maddelerin proseste uygun olan yerlerde tekrar kullanılması veya mümkün olduğunda bu tozların diğer ticari ürünlerde kullanılması.		

1 ÖNSÖZ

Bu MET sonuçları 2010/75/EU Direktifi'nin Ek-I Bölüm 3.1'de belirtilen aşağıdaki endüstriyel faaliyetlere ilişkindir, yani:

- (a) günlük 500 tonu aşan üretim kapasitesiyle döner fırınlardaki veya günlük 50 tonu aşan üretim kapasitesiyle diğer fırınlardaki çimento klinkeri üretimini;
- (b) günlük 50 tonu aşan üretim kapasitesiyle fırınlardaki kireç üretimini;
- (c) günlük 50 tonu aşan üretim kapasitesiyle fırınlardaki magnezyum oksit üretimini kapsayan '3.1. Çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi'dir.

Yukarıdaki 3.1 (c) hususuna ilişkin, bu MET sonuçları sadece madenden çıkarılmış doğal magnezit (magnezyum karbonat-MgCO₃) bazlı kuru yöntem kullanılan MgO üretimine ilişkindir.

Yukarıda belirtilen faaliyetlerle ilişkili olarak, bu MET sonuçları özelde aşağıdakileri kapsamaktadır:

- çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi (kuru yöntem)
- hammaddeler – depolama ve hazırlama
- yakıtlar – depolama ve hazırlama
- atıkları ham madde ve/veya yakıt olarak kullanma – kalite şartları, kontrol ve hazırlama
- ürünler – depolama ve hazırlama
- paketleme ve sevkiyat.

Bu MET sonuçlarına birincil faaliyet ile doğrudan ilişkili oldukları düşünülmediği için bazı faaliyetler dahil edilmemiştir. Bu nedenle MET sonuçları aşağıdaki faaliyetleri kapsamaz:

- başlangıç malzemesi olarak magnezyum klorid kullanılan ıslak yöntem enimsenerek magnezyum oksit üretimi, Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katı Maddeler ve Diğer Endüstriye Yönelik Mevcut En İyi Yöntemler Referans Belgesine (LVIC-S) dahil edilmiştir.
- ultra düşük karbonlu dolime (örneğin; neredeyse tamamen karbondan arındırılmış dolomitten üretilen kalsiyum ve magnezyum oksit karışımı (CaCO₃.MgCO₃) Ürünün kalıntılarındaki CO₂ içeriği %0.25ten düşük ve birim hacim ağırlığı 3.05 g/cm³ten oldukça düşüktür.)
- çimento klinker üretimi için üstten doldurmalı fırın
- taş fırın işletme gibi doğrudan birincil faaliyetlerle ilgili olmayan faaliyetler.

Bu MET sonuçları tarafından kapsanan faaliyetlerle ilgili diğer referans belgeleri aşağıdaki gibidir (Tablo 1):

Tablo 1. MET sonuçları tarafından kapsanan faaliyetlerle ilgili diğer referans belgeleri

Referans belgeleri	Faaliyet
Depolama Emisyonları (EFS)	Hammaddelerin ve ürünlerin depolanması ve idaresi
İzleme Genel İlkeleri (MON)	Emisyonların izlenmesi
Atık Arıtma Sanayileri (WT)	Atık arıtma
Enerji Verimliliği (ENE)	Genel enerji verimliliği
Ekonomi ve Çapraz Medya Etkileri (ECM)	Ekonomi ve yöntemlerin çapraz medya etkileri

Bu MET sonuçlarında tanımlanmış ve listelenmiş bu teknikler ne yerleşik ne de ayrıntılıdır. Diğer teknikler, en azından eşit seviyede bir çevresel koruma sağlamak için kullanılabilirler.

Bu MET sonuçlarının atık çöp yakma yardımcı tesisine yönelik olduğu durumlarda, Bölüm IV'ün Ek IV'ündeki 2010/75/EU Direktifindeki hükümlere binaen etki altında kalmamaktadır.

Bu MET sonuçlarının enerji verimliliğine yönelik olduğu durumlarda bu, Avrupa Parlamentosu'nun ve Konseyi'nin ⁽¹⁾ Enerji Verimliliği'ne ilişkin yeni 2012/27/EU Direktifi'ndeki hükümlere göre etki altında kalmamaktadır.

Atık Yakma Direktifinde [59, Avrupa Birliği, 2000] beraber yakma (*co-incineration*) tesisi, ana amacı enerji üretimi veya fiziki ürünlerin üretimi olan ve:

- atıkları düzenli veya ilave yakıt olarak kullanan; veya
- içinde atığın bertaraf edilmek amacıyla ısıtılma işlemi tabii tutulduğu sabit veya seyyar tesis olarak tanımlanmaktadır

Ancak çimento sanayi aşağıda belirtilenleri kullanma imkanına sahiptir:

- önemli ölçüde kalori değeri olan atık yakıtlar; ve
- önemli ölçüde kalori değeri olmayan, ancak ara ürün klinkere katkıda bulunan hammaddeler olarak kullanılan mineral bileşenlere sahip olan atık maddeler; ve
- hem önemli ölçüde kalori değeri olan, hem de mineral bileşenlere sahip olan atık maddeler [104, HOLCIM/GTZ, 2006].

Bu nedenle, 'beraber yakma' terimi, çimento sektörü içinde atığın tüm kullanımlarını kapsamadığı için bu dokümanın amaçları açısından tam olarak yeterli değildir. 'atığın yakıt ve/veya hammadde olarak kullanımı' terminolojisi, yukarıda belirtilen üç geri kazanma sürecinin tümünü kapsayacak şekilde kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen çimento, kireç, magnezyum oksit şeklimdeki üç endüstriyel faaliyete ilişkin temel üretim faaliyetlerine ilave olarak, bu doküman emisyonlar veya kirlenme üzerinde etkisi olabilecek ilişkili faaliyetleri de kapsamaktadır. Bu nedenle, bu doküman ham maddelerin hazırlanmasından nihai ürünlerin sevkiyatına kadar olan faaliyetleri kapsamaktadır.

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA ÇİMENTO SANAYİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİ

Sektör Tanıtımı

Çimento, su ile karıştırıldığında birkaç saat içinde sertleşen, birkaç gün içinde katı, dayanıklı bir yapıya dönüşen ince bir tozdur. Çimento genel olarak ince ve kalın agregaların beton içinde bağlanmalarını sağlayan bir hidrolik bağlayıcıdır. Su ilave edildiğinde sertleşir.

Çimento standardında 27 ayrı tip çimento vardır (TS EN 197-1). Bu çimentolar 5 genel grupta (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V) toplanırlar ve üç dayanım sınıfına (32,5-42,5-52,5) ayrılırlar. Ek olarak sülfata dayanıklı çimentolar, kalsiyum aluminatlı çimentolar, düşük ısılı çimentolar gibi özel çimentolar bulunmaktadır.

Çimento üretim prosesinin başlangıcı ham madde ocaklarıdır. Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta (1450-1500 °C) pişirildikten sonra elde edilen yarı ürünün (klinker) alçı taşı ve mineral katkıları ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır.

Sektörün Özellikleri

Sermaye Yoğun

Çimento fabrikası maliyeti yaklaşık 1 milyon ton yıllık kapasite için yaklaşık 120-150 milyon Avro'dur. Bu nedenle mevcut tesislerin modifikasyon yatırımları yüksek maliyet gerektirir. Bir çimento fabrikasının maliyeti fabrikanın üç yıllık satışları toplamına eşdeğer olarak hesaplanır. Bu nedenle çimento endüstrisi sermaye yoğun sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yatırımın geri dönüşü uzun zaman gerektirmektedir. Fabrika modifikasyonları için endüstrinin uzun vadede geleceğini dikkate alan detaylı planlama gerektirir.

Enerji Yoğun

Her 1 ton çimento için 60-130 kg fuel oil veya eşdeğer yakıt ve 80-110 KWh elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Enerji tüketimi ham madde özelliklerine ve seçilen proses teknolojisine bağlıdır.

Düşük İş Gücü İhtiyacı

Son yıllarda modern ekipmanlar ve otomasyon teknolojisinin çimento sektöründe yoğun kullanımının sonucu tesisler düşük sayıda fakat kalifiye elemanlar ile çalıştırılabilecek duruma gelmiştir. 1 milyon ton yıllık kapasiteli modern bir çimento fabrikası 120-150 personel ile çalıştırılabilmektedir. Türkiye Çimento Sanayi'nde direk iş gücü yaklaşık 15.000'dir. Bu rakam AB'de 45.000, Cembureau ülkelerinde ise yaklaşık 56.000 seviyesindedir.

Homojen Ürün

Çimento ham maddelerinin doğal özellikleri fabrikadan fabrikaya değişmesine rağmen çimento standart bir ürün olarak üretilir. Standartlarda çok az sayıda çimento tipi vardır. Ürünler standartlarda belirtilen tiplere bağlı olarak kendi içlerinde değişim gösterebilirler. Bu nedenle kullanıcı düzeyinde maliyet önemli bir belirleyicidir. Hazır Beton Sektörü'ndeki gelişmeler, kalite veya çimento performansının ürün seçiminde önemli rol oynamasını sağlamıştır. Fakat birçok pazarda kalite beklentilerinin satış üzerindeki etkisi halen sınırlıdır.

Ağır Bir Ürün

Kara taşımacılığının maliyeti çok yüksek olduğundan çimentonun 200-300 km'den uzak pazarlara taşınmasının ekonomik olmadığı söylenir. Uzun mesafelere nakliyenin maliyeti çimentonun maliyetinin üzerinde olabilmektedir. Gemi ile taşıma bu kavramı kısmen değiştirmiştir. Bugün 35.000 ton üzeri kargo, Atlantik aşırı taşımaların maliyeti 300 km ötesi kara taşımasının maliyetinden daha düşüktür. Büyük ülkelerde kara taşımacılığının yüksek maliyeti bölge pazarlarının oluşumunu (bölgesel kümelenme) sağlamaktadır. Bunun yanında daha düşük mesafeler için ön görülen diğer bir alternatif pazarlama modeli deniz veya kara çimento terminalleridir.

İyi Hazırlanmış Ürün

20. yüzyılda, endüstrileşmenin gelişmesi ve şehirleşmenin artmasının bir göstergesi olarak çimento talebi önemli ölçüde yükselmiştir. Gelişmiş ülkelerde çimento tüketimi II. Dünya Savaşı'ndan bu yana 6-8 kat artmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da zaman zaman aşağı yukarı hareketler olsa da 1975 yılı enerji krizine kadar büyüme devam etmiştir. Daha sonra gelişmiş bazı pazarlarda %20-40'a ulaşan daralmalar yaşanmıştır. Buna rağmen geçtiğimiz 25-30 yılda bazı Avrupa ülkeleri tüketimlerini iki veya üç kat artırmışlardır (Yunanistan, İspanya ve Türkiye).

Çimento Ürün Tipleri ve Standartlar

Çimento, klinkerin belli bir oranda alçı taşı (kalsiyum sülfat) (%3-5) ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Üretilcek çimento tiplerine göre klinkere, çimento standartlarında belirtilen oranlarda mineral katkı (tras, uçucu kül, cüruf vb.) ve kalker ilave edilerek öğütme işlemi yapılır. Bütün bileşenler öğütme işlemi sonucunda ince toz haline getirilir. Çimento stok silolarına gönderilir. Oradan dökme veya torbalı şeklinde sevk edilir.

Türkiye'de çimentolar TS EN 197-1 standartına göre üretilmektedir. 27 ayrı çimento tanımlandığı bu standart dışında bazı özel çimentolar için tanımlanan standartlar da kullanılmaktadır. TS EN 197-1'e göre üretilen çimentolara CEM Çimentosu denir. Buna göre;

CEM Çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi Portland Çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılarıdır.

Standartta göre CEM Çimentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptir:

- **CEM I:** Bu grupta klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla %0-5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucunda Portland Çimentosu elde edilir.
- **CEM II:** Bu grupta mineral katkı miktarı %6-35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki çimentolar Portland Cürufllu, Portland Puzolanlı gibi isimler de almaktadır.
- **CEM III:** Bu grupta Yüksek Fırın Cürufllu Çimentolar bulunur. Katkı miktarı %36-95 arasındadır.
- **CEM IV:** Bu grupta Puzolanik Çimentolar yer alır. Bunlarda cüruf veya kalkar katkı maddesi olarak kullanılmaz. Katkı madde oranı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11-55 arasında değişmektedir.
- **CEM V:** Bu grupta Kompoze Çimentolar bulunur. Bunlara, hem cüruf (%18-50) hem de puzolan ve uçucu kül (%18-50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, miktarları klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde ayarlanır.

Bunların haricinde gerek klinker üretimi sırasında, gerekse sonradan ilave edilen mineral katkıları sayesinde özel kullanım amaçlı olarak üretilmiş, TS EN 197-1 standardının kapsadığı 5 tip çimento bulunmaktadır. Bunlar:

- **Sülfatlara Dayanıklı Çimentolar:** Trikalsiyum alüminat miktarı sınırlanmış (maksimum %5) olarak üretilen klinkerin kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir.
- **Beyaz Portland Çimentosu:** Özel nitelikli kil ile kireçtaşının birlikte pişirilmesiyle elde edilen beyaza yakın klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir.
- **Harç Çimentosu:** Dayanım gelişmesi için gerekli Portland Çimentosu Klinkeri içeren ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcı, ilave bileşene ihtiyaç duyulmadan sadece kum ve su karıştırılarak duvar, sıva ve kaplama işlerinde kullanıma uygun harç yapımını sağlar.
- **Yüksek Fırın Cürufu Katkılı, Düşük Erken Dayanımlı Çimentolar:** Sınırlandırılmış hidratasyon ısisına sahip, yüksek fırın cürufu katkı ve erken dayanımı düşük olan çimentodur.
- **Çok Düşük Hidratasyon Isılı Özel Çimentolar:** Su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımı ve kararlılığını koruyan ve geliştiren, genel çimentoların hidratasyon reaksiyonlarına sahip bir çimentodur.

Çimento Standartları Şekil 1 ve Tablo 3'te verilmektedir.

Ana Türler	27 Ürünün işareti (genel çimento türleri)	İçeriği (kütlice yüzde olarak ^{1/2})										Küçük miktarda ilave bileşenler
		Ana bileşenler										
		Klinker	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı	Pozolona		Uçucu kül		Pişmiş yist	Kireçtaşı		
					Doğal	Doğal Kalkerli	Silindli	Kalkerli				
		K	S	D ^{3/4}	P	Q	V	W	T	L ^{4/5}	LL ^{5/6}	
CEM I	Portland çimento	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland - cürufu çimento	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 – pozolanlı çimento	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 - Uçucu Külü Çimento	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 - pişmiş yistli	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Portland - kalkerli çimento	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5

Ana Türler	27 Ürünün işareti (genel çimento türleri)	İçeriği (kütlice yüzde olarak ⁽¹⁾)										Küçük miktarda ilave bileşenler	
		Ana bileşenler											
		Klinker	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı	Pozolona		Uçucu kül		Pişmiş yist	Kireçtaşı			
					Doğal	Doğal Kabırs	Silislili	Kalkereci					
		K	S	D ⁽²⁾	P	Q	V	W	T	L ⁽⁴⁾	LL ⁽⁵⁾		
Portland - kompozit çimento	CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 -35	0-5	
	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5	
	CEM II/B-M	65 - 79	21 -35									0-5	
	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/A	65 - 89	-	11-35						-	-	-	0-5
	CEM IV/B	45-64	-	36-55						-	-	-	0-5
	CEM V Kompozit çimento ⁽³⁾	40 - 64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5	
	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5		

^{1/2} Bu tablodaki değerler büyük ve küçük miktardaki bileşenlerin toplamını göstermektedir.

^{3/4} Silis dumanları oranı %10 ile kısıtlıdır.

^{3/4} Portland - kompozit çimentolar CEM II/A-M ve CEM II/B-M, pozolanlı çimentolar CEM IV/A ve CEM IV/B ve kompozit çimentolar CEM V/A ve CEM V/B'de klinker dışındaki ana bileşenler çimentonun işareti ile belirtilmektedir.

^{4/5} Kireçtaşı; TOC'un (Toplam Organik Bileşenler) %50'sine kadar

^{5/6} Kireçtaşı TOC'un %20'sine kadar

Şekil 1. Çimento Standartları TS EN 197-1

Tablo 3. Çimento Standartları TS EN 197-1

	IUPAC nomenklatürü ¹⁾	CAS numarası	AB numarası	Moleküler formülü Hill yöntemi	Moleküler ağırlığı	Tipik konsantrasyon (% w/w)	Konsantrasyon aralığı (% w/w)
Bileşim Bilgileri- Ana bileşenler							
A	Trikalsiyum silikat	12168- 85-3	235-336- 9	3 Ca O. SiO ₂	228	65	40-80
B	Dikalsiyum silikat	10034- 77-2	233-107- 8	2CaO. SiO ₂	172	15	10-50
C	Trikalsiyum alüminat	12042- 78-3	234-932- 6	3Ca O. Al ₂ O ₃	270	10	0-15
D	tetrakalsiyum aluminoferrit	12068- 35-8	235-094- 4	4Ca O.Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	486	10	0-20
Bileşim Bilgileri – Yabancı maddeler ve katkı maddeleri							
E ^{2>}	Kalsiyum oksit	1305-78- 8	215-138- 9	CaO		1	0-3
F	Magnezyum oksit	1309-48- 4	215-171- 9	MgO		2	0-5
G	Dipotasyum sülfat	10233- 01-9	233-558- 0	K ₂ SO ₄		1	0-2
H	Disodyum sülfat	7757-82- 6	231-820- 9	Na ₂ SO ₄		0.5	0-1
Belirtilmeyen yabancı maddelerin sayısı:				<% 1 w/w			
Belirtilmeyen yabancı maddelerin toplam konsantrasyonu:							
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 çözünebilir kromatı açığa çıkarabilirler. Zararlı dermatolojik etkilerin önlenmesine ilişkin tedbirler, 91/414/EEC sayılı Konsey Direktifini aktif madde olarak klorotalonil, klorotoluron, sipermetrin, daminozit ve tiofanat-metil içerecek şekilde tadil eden 16 Eylül 2005 tarih ve 2005/53/EC sayılı Konsey Direktifinde belirtilmiştir.							

Hammatde ve Yardımcı Maddeler

Çimento üretiminde en çok kullanılan hammaddeler kireçtaşı, alçı taşı ve kildir. Bunların dışında sayıları 30’un üstünde olan farklı hammaddeler de çimento üretiminde kullanılmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan hammatde oranlarının üretim boyunca sabit kalması ve kontrol altında tutulması çimentonun kalitesi için oldukça önemlidir.

Portland çimentosu klinkeri üretimi için dört ana oksite gerek vardır. Kalsiyum Oksit (CaO) kaynağı olarak kalker, alüminyum oksit (Al₂O₃) kaynağı olarak kil, demir oksit (Fe₂O₃) kaynağı olarak demir cevheri veya pirit tozu ve silisyum dioksit (SiO₂) kullanılır. 2-4 ana bileşenden oluşturulan hammatde karışımları için düzeltici olarak boksit ve silis kullanılan tesisler de vardır.

Alternatif hammatde olarak en fazla kullanılan maddeler ise; çimento fırın tozu, kalsiyum karbit cürufu, kömür külü, kalsit bitümlü şist ve benzeri Si, Ca, Fe ve Al kaynağı malzemelerdir.

Gri Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Gri Portland çimentosunun yanısıra beyaz çimento gibi başka özelliklere sahip çimentolar da üretilmektedir. Beyaz çimento rengi dışında gri çimento ile aynı özelliklere sahiptir. Beyaz çimento üretimi sırasında bu özel türdeki çimentonun rengi üzerinde olumsuz etki yapmayacak malzemeler kullanılır. Amerika ve Avrupa piyasalarında bulunan beyaz çimentoya karşılık gelen bazı parametrelerin örnekleri Tablo 4’te gösterilmiştir. Beyazlık ile

İlgili yerel talep bu parametreleri etkileyecektir. Ayrıca, gri çimentonun renk aralıklarına ilişkin olarak Fe_2O_3 içeriğinin yarattığı büyük farklılık da gösterilmiştir.

Tablo 4. Beyaz çimento klinkerinin kimyasal bileşim örnekleri

	Özellik	Beyaz çimento
Kimyasal bileşim (%)	SiO_2	22.5 - 23.8
	Al_2O_3	2.3-6.2
	Fe_2O_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_2O	0.12-0.14
Yakma nedeniyle kayıp		0.50-1.7
Na_2O		0.17
Potansiyel bileşik bileşimi (%)	C_3S (3 CaO SiO_2)	69.89
	C_2S (2 CaO SiO_2)	19
	C_3A (3 CaO Al_2O_3)	8.08
	C_4AF (4 CaO Al_2O_3 Fe_2O_3)	1
Blaine inceliği		464

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

Çimento Sanayinde Yakıt Kullanımı

Çimento sanayi enerji yoğun bir sanayi olup, enerji genelde, sermaye maliyetleri hariç ancak elektrik maliyetleri dahil olmak üzere üretim maliyetlerinin yaklaşık %40-60'ını oluşturur. Geleneksel olarak kullanılan birincil fosil yakıt kömür olmuştur. 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 kullanılmaktadır. Bu geleneksel fosil yakıtlara ilaveten çimento sanayinde 15 yılı aşan bir süredir büyük miktarlarda atık yakıtlar veya biyokütle yakıtlar kullanılmaktadır. Türkiye Çimento Sanayinde üretilen ısının yüzdesi olarak ifade edilen yakıt tüketimi Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Türkiye Çimento Sanayinde üretilen ısının yüzdesi olarak ifade edilen yakıt tüketimi

Yakıt türü	Birim	2014
Petrokok	%	51.6
Kömür (ithal linyit)	%	34,3
Kömür (yerli linyit)	%	12,6
Taş kömürü	%	1
Fuel oil	%	0.3
Doğal gaz + LPG	%	0.2
Atık Yakıtlar	%	3,7

En büyük endişeye yol açan ve ilgilenilmesi gereken çimento fabrikası emisyonları azot oksitleri (NO_x), kükürt dioksit (SO_2) ve tozdur. Dikkate alınması gereken diğer emisyonlar uçucu organik bileşikler (VOC'lar), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD'ler) ve dibenzofuranlar (PCDF'ler) ile hidrojen klorür'dür (HCl). Ayrıca özel durumlarda karbon oksitleri (CO, CO_2), hidrojen florür (HF), amonyak (NH_3), benzen, tolüen, etil benzen ve

ksilen (BTEX), poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), metaller ve bileşenleri, gürültü ve koku emisyonları da gözönüne alınabilir.

Konvansiyonel hammaddeler ve yakıtların yerini çimento imalat prosesinde kullanılmakta olan uygun atık ve/veya biyokütleler almışlardır.

Üretim Proseslerinde Kaynak Kullanımı ve Çevreye Potansiyel Etkileri

Su Tüketiminin Değerlendirilmesi

Çimento sanayinde su yönetimi son yıllarda önem kazanan bir konudur. Özellikle çimento sanayinin son on yılda su kullanımının kontrolü ve azaltılması, firma yönetimlerinin sürdürülebilir büyüme hedefleri arasına alınmış ve tüm tesislere yaygınlaştırılmıştır.

Kuru sistem çimento üretim prosesinde su kullanımı genellikle sıcaklık kontrolü içindir. Yaş ve yarı kuru sistemlerde su, prosesin girdilerinden biri olarak ham madde ile karıştırılır. Kuru sistem proseslerde yatak soğutma amacı ile genel olarak kapalı su soğutma sistemleri kullanılır ve buharlaşma kayıpları dışında önemli bir kayıp söz konusu değildir. Gaz soğutma amaçlı kullanılan su (gaz soğutma kuleleri, değirmenler vb.) ise tamamen tüketilir ve geri kazanımı yoktur. Ayrıca arıtma ünitelerinden sağlanan su, bahçe sulama ve temizlik amaçlı kullanılmaktadır.

Çimento fabrikalarında genelde su yönetimi bilinci olduğu, ölçüm ve kontrol olduğu gözlenmektedir. Ortalama spesifik su kullanımının 100-300 kg/ton çimento olduğu söylenebilir. Bazı fabrikalarda atık ısıdan enerji üretme ünitelerinin yüksek oranda su kullandıkları ve ortalama kullanımı arttırdığı görülmüştür.

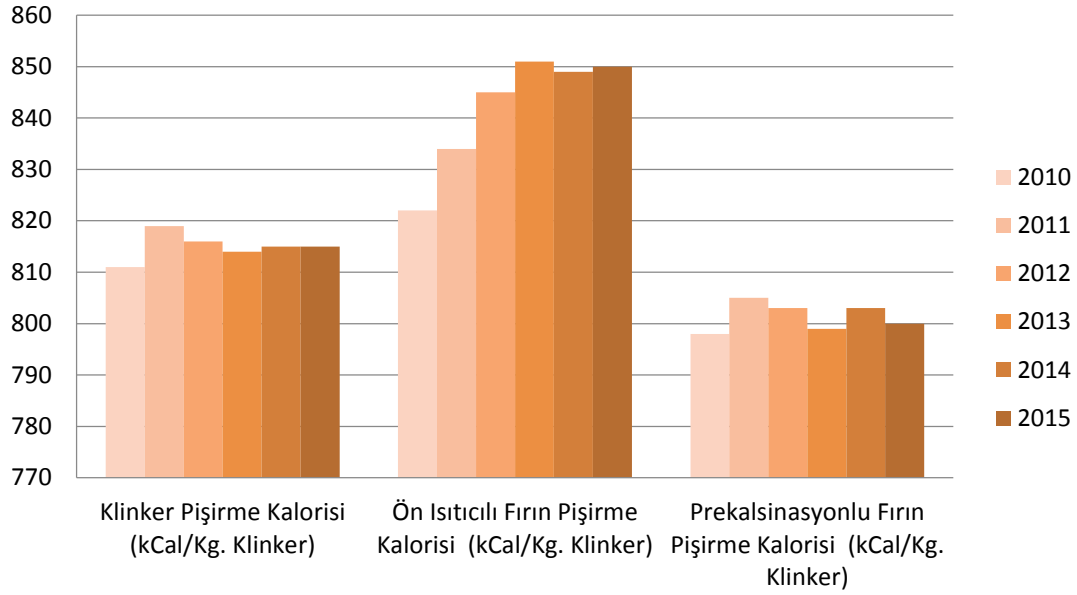
Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi

“Çimento imalatı” alt sektörü son yıllarda yatırımlarında enerji verimliliği yüksek olan makine ve ekipman kullanmaya (motor, pompa, blower, mekanik nakil sistemleri vb.) önem vermektedir. Ayrıca, enerji verimliliği düşük makine ve ekipmanların enerji verimliliği yüksek son teknolojilerle yenilenme süreci yaygın bir şekilde devam etmektedir.

Son on yılda sektör enerji kullanımında; elektrik enerjisinde %20, ısı enerjisinde %5-10 iyileşme sağlanmıştır. Bu tasarrufta enerji verimliliği yüksek makine ve ekipman kullanımının önemli payı vardır.

Termik Enerji Kullanımı

Son on yılda gerçekleştirilen tüm kapasite artış projelerinde en son ve etkin proses teknolojileri kullanılarak yakıt ve elektrik enerji verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. 2014 yılında Türkiye’nin sektörel ortalama termik enerji kullanımı 815 kcal/kg klinker’e düşürülmüştür. Bu değer ön ısıtıcılı fırınlarda ortalama 849 kcal/kg, ön kalsinasyonlu fırınlarda 803 kcal/kg klinkerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Klinker spesifik ısı tüketiminin gelişimi

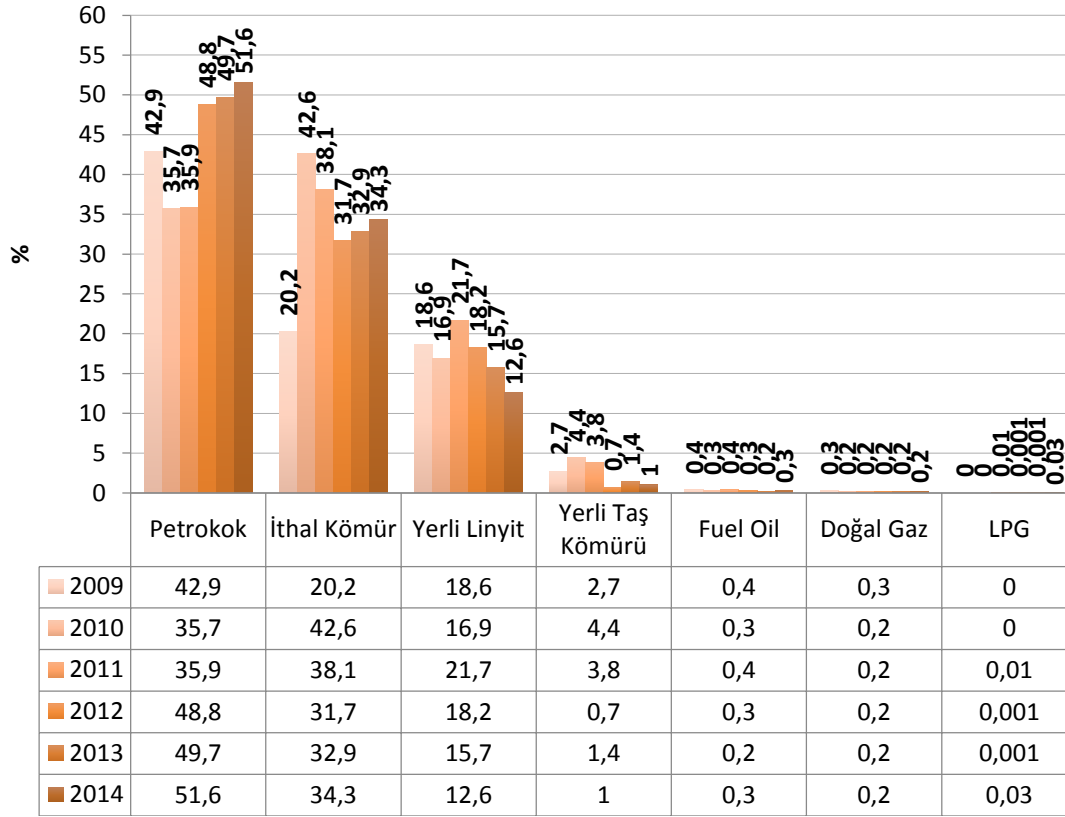
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Diğer yandan, çevre standartları ile ilgili yeni sınırlamalar ve ürün kalitesindeki yeni taleplerin çimento öğütmede enerji kullanımını 1990'lı yılların sonundan bu yana artırmaktadır. Buna rağmen enerji verimliliğinde son yıllarda kullanılan en yeni pişirme ve öğütme teknolojileri ile önemli oranda iyileşme sağlanması; sürdürülebilirliğinin eylem planlarından biri olan mevcut teknolojilerin yenileştirilmesiyle enerji verimliliğinin artırılması ve karbon salınımlarının azaltılması hedefleri açısından önemli bir gelişmedir.

CO₂ salınımlarının azaltılmasına yönelik önemli eylemlerden biri de; çimentoda klinker oranının düşürülmesidir. Klinker yerine değişik mineral veya atık katkıların standartların belirlediği oranda kullanılması, (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, tras, kalker vb.) çimentoda karbon izini azaltmaktadır.

Birincil Yakıt Kullanımı

2014 yılında çimento klinkeri üretiminde kullanılan birincil (doğal) yakıtların %96,6'sı katı yakıtlar, %3,4'ü sıvı yakıtlardır. Katı yakıtlar içinde petrol koku %51,6 ile en yüksek kullanım oranına sahiptir. İthal linyit kömürü %34,3 ile, yerli linyit kömürü %12,6 ile petrol kokunu takip etmektedir. 2014 yılında çimento sanayinin yakıt ihtiyacının sadece %13-14'ü yerli kaynaklardan karşılanmıştır. Şekil 3'te birincil yakıtların kullanım oranları kalori bazlı olarak verilmektedir.



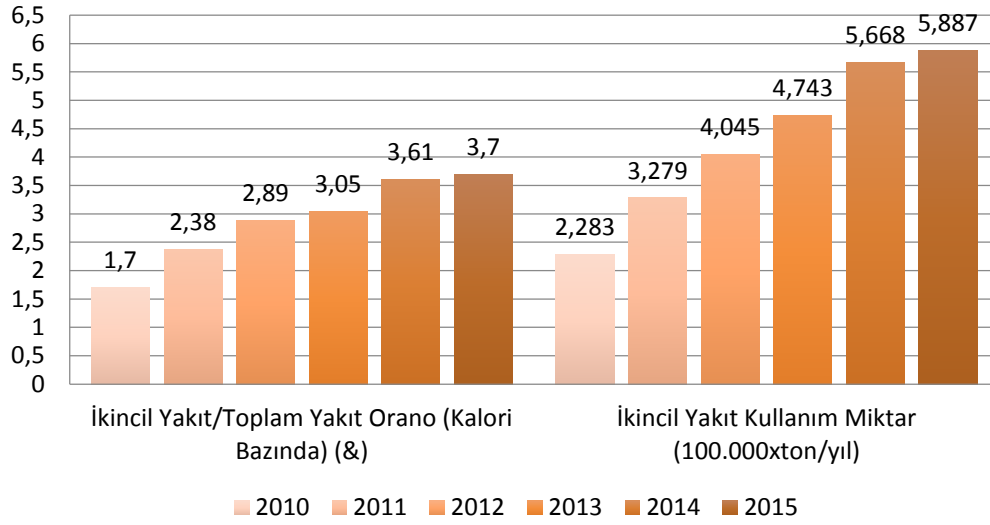
Şekil 3. 2014 yılı birincil yakıtların kullanım oranları
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Türkiye Çimento Sanayinin kullandığı birincil yakıtların yaklaşık %50'si fosil yakıtlardır. Prosesin yüksek kalorifik değere sahip kömür kullanma ihtiyacı nedeniyle yerli kaynaklardan temin edilen kömürler toplam kömür ihtiyacının %15-20'sini karşılamaktadır. Petrol kokunun yurt dışından temin edildiği dikkate alınırsa sektörün termik enerji ihtiyacının %80-85'inin yurt dışı kaynaklardan sağlandığı görülür.

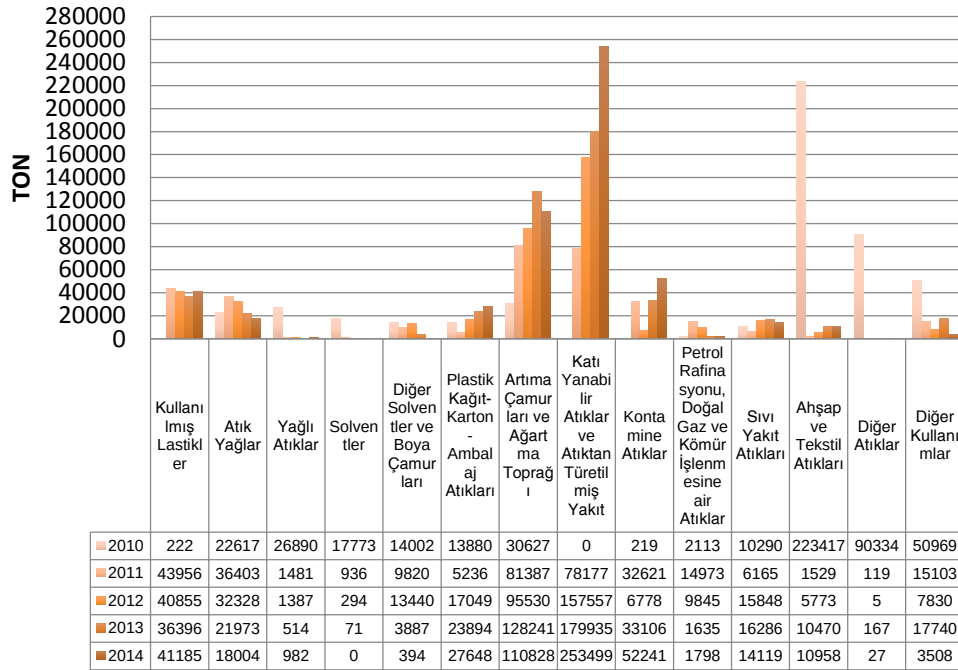
İkincil Yakıtlar ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Kullanımı (ATY)

Türkiye Çimento Sektörü, atık kullanımı ile CO₂ salınımlarının azaltılması hedefine henüz ulaşamamıştır. 2015 yılında kullanılan atık yakıt miktarı yaklaşık 588 bin ton olup toplam termik enerji tüketiminin yaklaşık %3,7'sini karşılamaktadır (Şekil 4) Bu değer Avrupa Çimento Endüstrisi'nde kullanılan toplam termik enerjinin %34'üne ulaşmakta ve yaklaşık 10 milyon ton atık yakıt karşılık gelmektedir. Alman Çimento Endüstrisi'nde alternatif yakıt kullanma oranı 2011 yılında %61'e yükselmiştir (Cembureau Activity Report, 2014). Türkiye Çimento Sanayinin kullandığı ikincil yakıtların tiplerine göre ve taşıdıkları kalorifik değer olarak dağılımı Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.

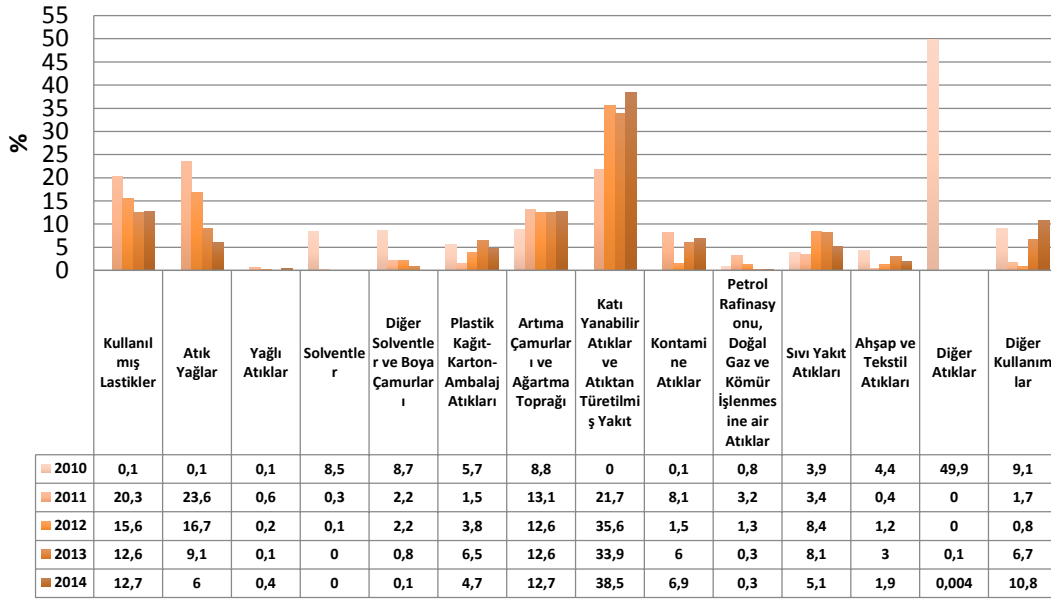
Artan ikincil yakıt kullanımı çimentonun maliyet yapısını ve dolayısıyla rekabet edebilirliğini iyileştirmektedir. Fakat çimento üretiminde atık kullanımında uygun yasal düzenlemelere ve iyi çalışan atık bertaraf etme pazarına ihtiyaç vardır. Bu alanda sağlanan gelişmelerin yetersizliği çimento sektörünün yüksek oranda ikincil yakıt kullanmasını engellemektedir.



Şekil 5. İkincil yakıtların kullanım TÇMB miktarı ve oranları (2010-2015)
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)



Şekil 6. İkincil yakıt tipleri ve kullanım miktarları 2014
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)



Şekil 7. Tiplerine göre ikincil yakıt kullanım oranları 2014
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Diğer yandan 2002 yılından bu yana çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ salınımı azaltılmakla birlikte çimento üretiminin sürekli artması ile toplam salınının artması sağlanan iyileşmeler ile çelişki oluşturmaktadır. Diğer bir deyimle çimentonun birim tonu için karbon salınımı azalmakta fakat sektörün toplam karbon emisyonu artan kapasiteler ile birlikte artmaktadır. Tesislerin tamamının; TS ISO 14001 Çevre Yönetim, TS OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim, TS ISO 9001 Kalite Yönetim sistemlerine sahip olduğu ve bu yönetim sistemlerinin etkin olarak uygulandığı görülmüştür. Bu tesislerin, modern yönetim sistemlerine sahip olan çimento sektörünü nitelikli temsil ettikleri tespit edilmiştir.

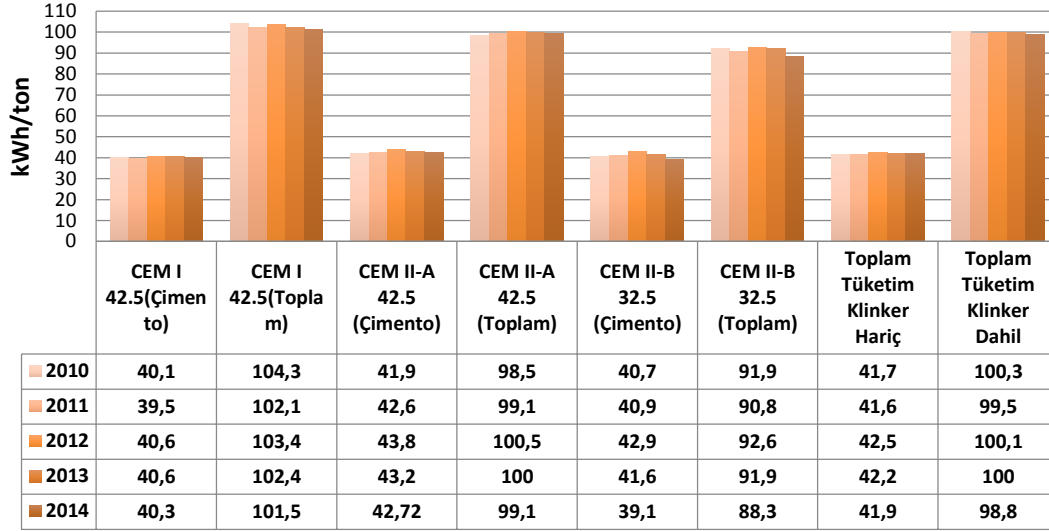
Çimento üretim prosesinde atıklar çok sınırlı olmakla birlikte tüm tesisler, sahip oldukları çevre yönetim sistemi gereği bu atıkları gerektiği gibi bertaraf etmektedirler.

Çimento tesislerindeki döner fırınlar, proses koşulları nedeniyle en uygun bertaraf üniteleri olarak (insinatör) değerlendirilmektedir. Bu nedenle çimento tesisleri çevrelerinde üretilen ve bertaraf edilemeyen atıkları hammadde ve yakıt olarak kullanabilirler. Sektörde birçok tesis bu konuda gerekli yatırımları yapmış veya yapmaya devam ediyor. Çimento sektöründe tesislerin büyük bir kısmının atık yönetim sistemine sahip olduğu ve sadece kendi atıklarını değil çevrelerinde üretilen atıkları kullanmak için yoğun bir gayret içinde oldukları görülmektedir. 2002 yılından bu yana enerji odaklı karbon emisyonunda artan verimlilikle birlikte yaklaşık %15-20 iyileşme sağlandığı tahmin edilmektedir.

Çimento prosesi kaynaklı yanma gazlarının taşıdığı toz ve NO_x, SO_x, CO, CO₂ sürekli ölçüm sistemleri ile ağır metaller, Dioxins/Furans, HCl/HF, TOC (toplam organik bileşikler) tesisin atıktan türetilmiş yakıt yakmasına bağlı olarak gereken sıklıkta ölçülür/takip edilir ve emisyon seviyelerinin ilgili yönetmeliklerde belirtilen limitlerin altına çekilmesi için gereken önlemler uygulanır.

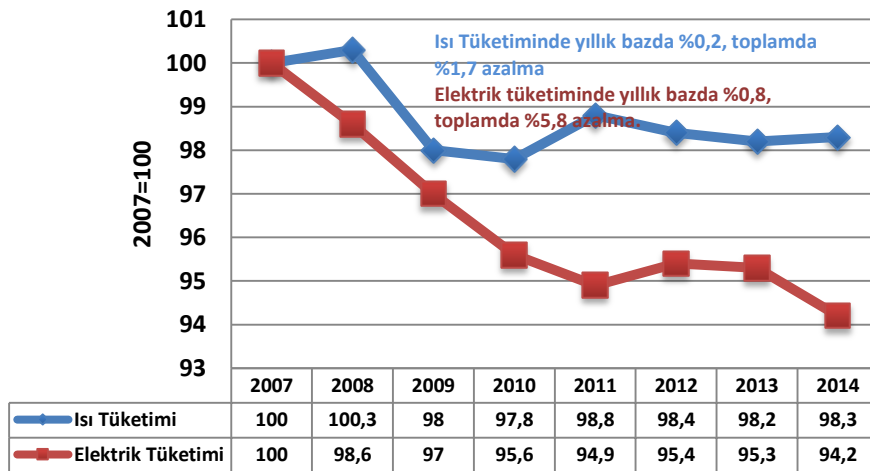
Elektrik Enerjisi Kullanımı

Mineral katkılı çimento üretiminin artması (CEM II-CEM V vb.) çimento öğütmede elektrik enerjisi kullanımını negatif etkilemesine rağmen toplam enerji tüketiminde 2014 yılında ton çimento elektrik enerjisi tüketimi 98,8 KWh olarak gerçekleşmiştir. Toplam enerji tüketiminde görülen iyileşme, enerji verimliliği yüksek öğütme teknolojilerinin son yıllarda artan kullanımıdır (Şekil 8).



Şekil 8. Çimento toplam spesifik elektrik enerjisi tüketiminin gelişimi
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Bu gün Türkiye Çimento Sektörü enerji tüketimini azaltmaya yönelik, kalan potansiyelleri kullanmayı hedef alan mevcut koşulları iyileştirici proses mühendisliği çalışmaları içerisinde. Geçtiğimiz yıllarda bu alanda sağlanan çimento üretiminde karbon salınımlarının azaltan gelişmeler; sürdürülebilir gelişme misyonu içinde önemli bir yükümlülük olan iklimin korunması için sera gazlarının salınımlarının azaltılması konusunda başarı sağlamıştır. Spesifik enerji tüketiminde son yıllarda sağlanan iyileştirmeler Şekil 9'da özetlenmektedir.



Şekil 9. Isı ve elektrik enerjisi tüketiminde sağlanan iyileşme 2007-2014
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Türkiye’de, milli ve/veya Avrupa çimento standartları klinkerin çimentoda %80’e kadar katkılarla yer değiştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Çimentoda katkı kullanım oranı klinker/çimento oranı ile ifade edilmektedir. Bu oran Portland çimentosunda (CEM I) 0,9-0,95 arasındadır.

Geçtiğimiz on yıl içinde çimentodaki klinker oranı, tüm üretilen çimentoların ortalaması ve tüm dayanım sınıflarının ortalaması olarak %80’e düşürülebilmektedir. Bu değer karbon salınımında ton çimento başına 780-800 kg CO₂ salınımına karşılık gelmektedir. Yüksek dayanım sınıflarında (42,5-52,5) kullanılan CEM I tip çimentoların karbon salınımlarının 850-880 kg/ton çimento olduğunu dikkate alırsak sağlanan iyileşmenin önemli fakat yeterli olmadığı sonucuna varılabilir.

42,5 dayanım sınıfında CEM I yani katkısız çimentoların pazar payı halen %56 seviyesindedir. Türkiye’nin birçok pazarında standartların gerektirdiğinden daha yüksek dayanım performansında üretim yapılmakta olması karbon salınımlarını artırmaktadır.

2007 yılından bu yana 42,5 dayanım sınıfında katkılı çimento kullanımında önemli bir artış gözlenmemektedir. Bu dayanım sınıfında katkılı çimento oranı %35-37 aralığında sabit devam etmektedir.

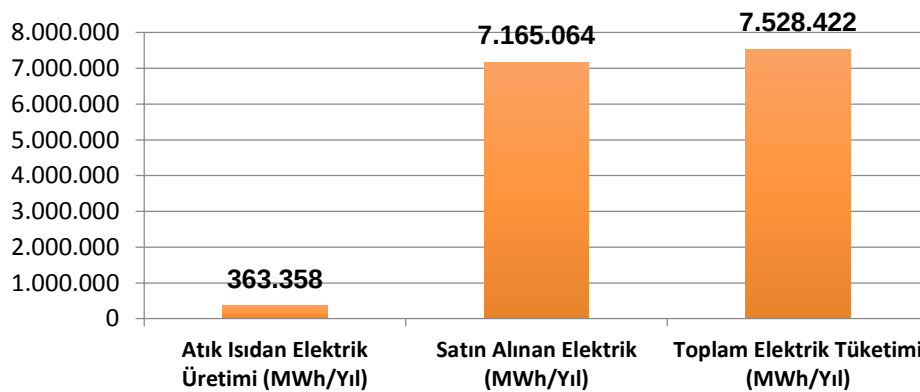
Türkiye Çimento Sanayinde katkılı çimento kullanımı ile CO₂ salınımlarının azaltılması hedefine henüz ulaşamamıştır. 42,5 ve 52,5 dayanım sınıflarında 0,85-0,90 t CO₂/ton çimento olarak en yüksek karbon emisyonuna sahip çimentolar (CEM I) hala pazarda en yüksek paya sahiptirler.

Atık Isıdan Enerji Üretimi

2014 yılında proses atık ısılarının taşıdığı ısı kapasitesinin bir kısmıyla üretilen elektrik enerjisi 363.568 MWh/yıl’a ulaşmıştır. Çimento sanayinde toplam kullanılan enerji yıllık 7.528.422 MWh olup bu ihtiyacın %4,82’si atık ısılardan sağlanmıştır (Şekil 9).

Ham madde özellikleri uygun olduğu takdirde (rutubet, pişirilebilirlik vb.) proses atık gazlarının ısı kapasitesi tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının %15-30’unu karşılayabilmektedir (Rainer Nobis Heidelberg Cement VDZ Congress, 2009 Burning Technology).

ATIK ISIDAN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TOPLAM TÜKETİME ORANI (%)



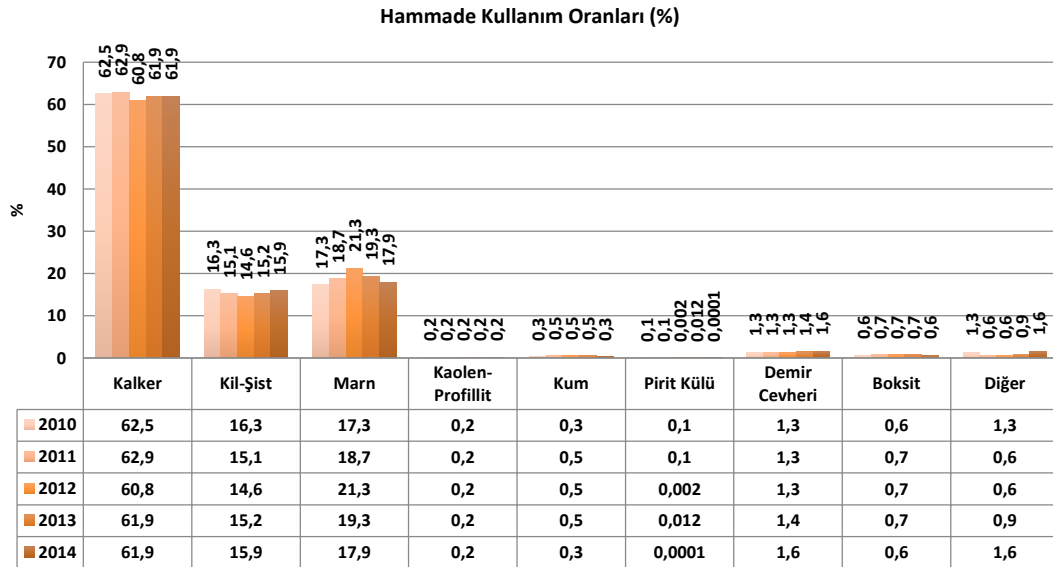
Şekil 9. Atık ısıdan elde edilen enerjinin toplam kullanım ile karşılaştırılması
(TÇMB İstatistikleri, 2014)

Hammadde Tüketiminin Değerlendirilmesi

Çimento üretiminde bir ton çimento için kullanılan ham madde karışımı 1,6-1,7 tondur. Bu değer ham madde karışımının rutubetine ve kompozisyonuna bağlıdır. 2014 yılı ham madde kullanım miktarları ve oranları Tablo 6 ve Şekil 10'da verilmektedir.

Tablo 6. 2014 yılı ham madde kullanım miktarları (TÇMB İstatistikleri Hammadde Kullanımı, 2014)

2014	Kalker	Marn	Kil+Şist	Kaolen+Profilit	Kum	Pirit Külü	Demir Cevheri	Boksit	Diğer
Marmara	14.293.179	5.512.901	4.072.345	22.417	77.594	61	316.581	74.570	573.146
Ege	6.243.528	0	2.106.547	0	0	0	131.947	9.063	1.280
Akdeniz	13.865.495	8.430.382	1.407.339	261.193	204.988	0	355.880	196.092	44.967
Karadeniz	8.820.872	1.465.922	1.845.114	0	48.704	0	170.329	18.402	41.474
İç Anadolu	9.440.515	1.342.206	2.731.268	13.820	33.908	0	134.689	30.046	160.785
Doğu Anadolu	4.992.201	653.206	1.084.178	0	0	0	85.379	0	1.788
G. Doğu Anadolu	4.789.122	2.796.006	845.853	0	0	0	81.731	106.097	0
Toplam	64.444.912	20.200.623	14.092.644	365.194	365.194	0	1.276.536	434.270	843.440

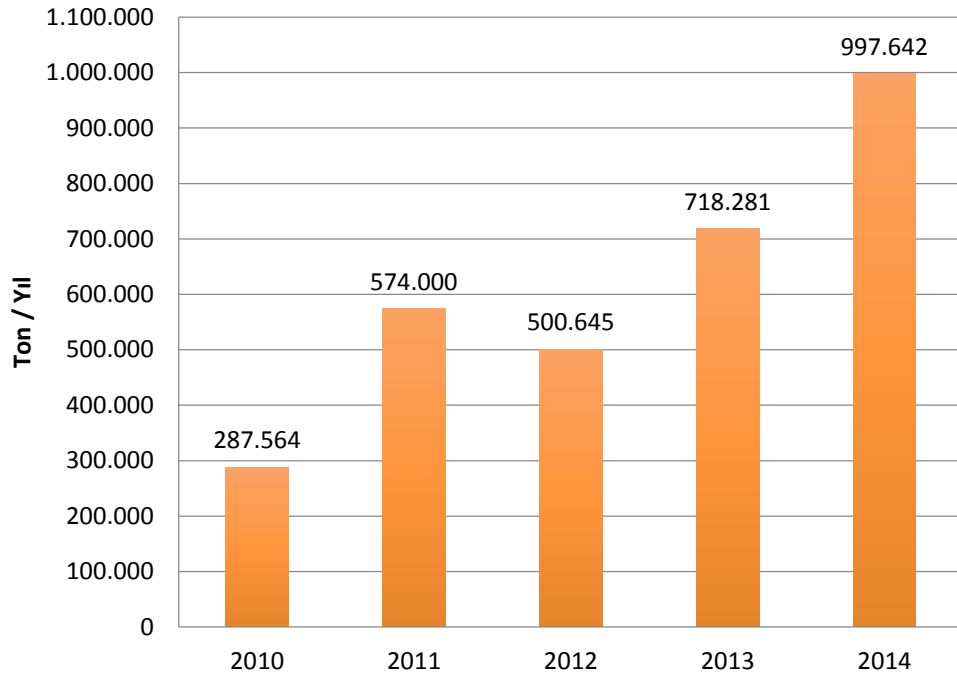


Şekil 10. 2014 Hammadde kullanım oranları
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

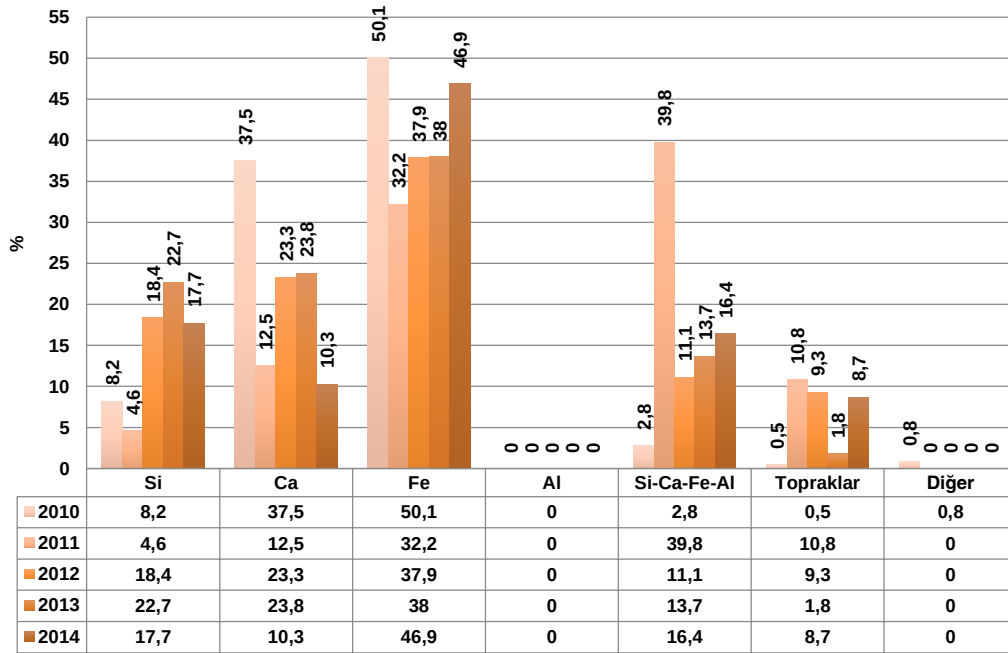
Atıktan Kazanılmış Hammadde Kullanımı

Çimento sektöründe son yıllarda alternatif hammadde kullanımının artarak devam ettiği görülmektedir. 2014 yılında kullanım bir milyon tona ulaşmıştır (Şekil 11).

Kullanılan alternatif ham maddelerin bileşenleri Şekil 12'de verilmektedir. Alternatif hammadde kullanımının yaklaşık %56'sı demir kaynağı olarak kullanılan atıklardır (yüksek fırın cürufu, pirit, haddehane artıkları).



Şekil 11. Alternatif ham madde kullanım miktarı gelişimi 2010-2014
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)



Şekil 12. Alternatif ham madde tipleri ve kullanma oranları 2014
(TÇMB Değerlendirme Raporu, 2010-2014)

Çimentoda Klinker Kullanımı ve Mineral Katkılar

Çimentoda klinker ile yer değiştirebilecek özellikte mineral veya diğer katkıların kullanılması ile önemli oranda doğal kaynak (ham madde, enerji, C emisyonu vb.) tasarrufu sağlanmaktadır. Karbon salınımlarının da azaltılmasını ve kontrolünü sağlayan bu uygulama çimento standartlarında tanımlanan 26 tip çimento için geçerlidir. Kullanılan mineral katkıları ve diğer doğal katkıların miktarı (tras, uçucu kül, cüruf, kalker, silis dumanı) çimento/klinker

veya klinker/çimento oranı olarak tanımlanır. 2014 yılı çimento/klinker oranlarının bölgelere göre dağılımı Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. 2015 yılı çimento/klinker oranı bölgesel değişimi (TÇMB İstatistikleri, 2014)

2015 Yılı Bölgesel Çimento-Klinker Rasyosu	
MARMARA	1,18
EGE	1,31
AKDENİZ	1.22
KARADENİZ	1.20
İÇ ANADOLU	1.20
DOĞU ANADOLU	1.23
G.D.ANADOLU	1.30
ORTALAMA	1.23

2014 yılında kullanılan çimento katkı maddeleri ve miktarları Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8. 2014 yılı kullanılan çimento katkı maddeleri ve miktarları (TÇMB İstatistikleri Hammadde Kullanımı, 2014)

2014	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Dumanı	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist	Kalker		Alçı Taşı
			Doğal	Doğal Kalsine Edilmiş	Silisi	Kalkersi		L	LL	
Marmara	209.297	0	691.194	0	102.090	0	0	260.132	540.746	858.548
Ege	2.903	0	245.919	0	25.731	453.988	0	162.765	135.331	313.886
Akdeniz	627.191	0	1.237.921	85.163	56.739	0	0	737.880	230.635	712.175
Karadeniz	366.147	0	576.714	0	115.870	0	0	188.776	319.607	519.419
İç Anadolu	4.457	0	592.464	0	35.344	19.903	0	488.529	158.379	543.130
Doğu Anadolu	0	0	280.549	0	0	10.051	0	76.332	379.836	312.296
G.Doğu Anadolu	53.840	0	551.226	0	8.747	0	0	0	740.145	266.599
TOPLAM	1.263.835	0	4.175.987	85.163	344.521	483.942	0	1.914.414	2.504.679	3.526.053

Çimento katkı maddeleri içinde doğal kaynak olarak kalker, alçı taşı, tras (puzolan) kullanılır. Doğal kaynak kullanma oranı yaklaşık %85’tir. Çimento katkısı olarak kullanılan atık maddeler ağırlıklı olarak yüksek fırın cürufu, uçucu küldür. Atık maddelerin kullanıma oranı yaklaşık %15’tir (TÇMB İstatistikleri Kullanımı, 2014).

Çimento üretiminde filtrelerde tutulan tozlar proses atığı olarak nitelendirilebilir. Bu tozlar tekrar siteme beslenir ve/veya çimento katkı maddesi olarak kullanılır. Kullanılan oran çok düşük olduğundan Tablo 8’de dikkate alınmamıştır.

Sektörde Atıksu Oluşumunun Değerlendirilmesi

Çimento üretiminde kullanılan kuru sistem proseslerde su kullanımı ağırlıklı olarak gaz soğutma ve yatak soğutma amaçlı kullanılır.

Fırın gazlarının taşıdığı toz yükünün elektro veya torbalı filtrelerde etkin olarak tutulması için; hammadde öğütme değirmenleri çalışmadığı durumda gaz soğutma kulelerinde su soğutma amaçlı kullanılır. Son yıllarda gazların taşıdığı ısı kapasitesi kullanılarak elektrik enerjisi kullanımı (WHR) gaz soğutma kulelerinin kullanımını azaltmıştır. Buna karşılık atık ısı geri kazanım ünitelerinde (WHR) kullanılan su kurulu kapasiteye göre 0,2-0,3 m³/Klinker

su kullanımını arttırmaktadır (Proje kapsamında ziyaret edilen WHR'a sahip tesislerin ortalaması).

Çimento değirmenlerinde değirmen atmosferini kontrol için su kullanılmaktadır. Öğütme kapasitesinin %3'ünü aşmayan su tüketimi mineral katkı kullanımına bağlı olarak azalmakta veya kullanılmamaktadır.

Diğer önemli kullamı alanı yatak soğutma sularıdır. Tamamen kapalı devre olan su soğutma sistemlerinden su kaybı buharlaşma kayıpları ile sınırlıdır. Tesislerde kullanılan açık devre su soğutma sistemlerin tamamına yakını kapalı devreye dönüştürüldüğünden yatak soğutma sistemleri atık suya neden olmamaktadır.

Tesislerde kullanım suları arıtılarak, yağmur suları havuzlarda toplanarak temizlik ve bahçe sulama amaçlı kullanılmaktadır.

Sektörde Emisyon Oluşumunun Değerlendirilmesi

Çimento prosesi kaynaklı yanma gazlarının taşıdığı toz ve NO_x, SO_x, CO, CO₂ sürekli ölçüm sistemleri ile, ağır metaller, Dioxins/Furans, HCl/HF, TOC (toplam organik bileşikler) tesisin atıktan türetilmiş yakıt yakmasına bağlı olarak gereken sıklıkta ölçülür/takip edilir ve emisyon seviyelerinin ilgili yönetmeliklerde belirtien limitlerin altına çekilmesi için gereken önlemler uygulanmaktadır.

Yanma gazlarının ve soğutma havalarının taşıdığı toz miktarları modern filtreleme sistemleri ile (elektro filter, torbalı fitre, melez filter) temizlenmektedir. Açık alanlarda stoklanan yakıt, ham maddeler, katkıları ve klinker için ilgili yönetmeliğin ön gördüğü kapalı alanda stoklama şartı genel olarak yerine getirilmiştir. Bu alanda iyileştirme yatırımları devam etmektedir.

Pişirme, soğutma ve ana öğütme işlemleri dışındaki süreçlerden kaynaklanan toz emisyonları torbalı filtreler kullanılarak kontrol edilmektedir. Açık sahalarda stoklanmasında sakınca görülmeyen maddelerin yüklenmesi, boşaltılması veya taşınması esnasında oluşabilecek toz emisyonlarına karşı su püskürtme ve/veya kimyasal maddeler tozun çökertilmesi için kullanılır.

Yanma gazları içinde bulunan NO_x, SO_x, CO, CO₂ sürekli ölçülmekte, takip edilmekte ve verilen limitlerin üzerinde olmaları durumunda önleme teknikleri uygulanmaktadır. Türkiye Çimento Sanayinde tüm tesislerin baca gaz emisyonları 2015 yılı başından bu yana Çevre Bakanlığı tarafından sürekli izlenmektedir.

Yanma gazlarının taşıdığı diğer bileşenler; Ağır Metaller (Hg, Cd-Tl, As-Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), Dioxsan/Furan, HF/HCl ve TOC tesisin atık yakmasına bağlı olarak belirli sıklıklarda ölçülmekte ve izlenmektedir. Emisyon limitlerinin aşılması durumunda önlem alınmaktadır.

Sektörde Atık Oluşumunun Değerlendirilmesi

Çimento üretim prosesinde atık olarak tanımlanabilecek tüm maddeler (filtre tozları, bypass tozları, paketleme tozları, kalite dışı yarı ürün veya ürünler vs.) tekrar hammaddeye ve/veya çimentoya ilave edilerek geri kazanılmaktadır.

Laboratuvarlarda kullanılan X-Ray tüpleri ve bazı kimyasal atıklar ise yönetmeliklerin belirttiği doğrultuda imha edilmektedir.

Türkiye Çimento Sektörü Tarihçesi

Türkiye Çimento Sanayi 100 yıllık geçmişi olan bir sektördür. İlk tesisi 1912 yılında kurulmuştur. Cumhuriyetin kurulmasından sonra başlayan yatırımlar 1950’den itibaren hızlanmıştır. Özellikle 60 ve 70’li yıllarda bugünkü kurulu kapasitelerin ilk tesisleri kurulmuş ve 90’lı yıllarda sektördeki özelleştirme ile birlikte bu tesislerin kapasiteleri arttırılmıştır. 2001 yılından itibaren kurulan yeni tesisler ile bugün sektör 53 entegre, 19 öğütme tesis ile Avrupa’nın birinci, dünyanın beşinci büyük üreticisi konumuna ulaşmıştır. Son yirmi yılda gerçekleştirilen yatırımlar ile sektör teknolojik transformasyon yaşamıştır. Yaş proses tamamen terk edilmiş kurulu kapasitenin >99% fazlası kuru sisteme dönüştürülmüştür. Mevcut 3 yarı yaş fırın kurulu kapasitenin %1’ini temsil etmekte olup bu fırınların 1-2 yıl içinde kapatılması planlanmaktadır.

Türkiye Çimento Sanayi, ülke ekonomisinde önemli rol oynamaktadır. 2014 yılı verilerine göre; yaklaşık 4 milyar Dolar ekonomik büyüklüğü, 640 milyon Dolar’lık ihracat hacmi ve 15.000 direk çalışanı olan bir sektördür ve büyümeye devam etmektedir.

Türkiye Ekonomisi 2014 yılında %2,9, İnşaat Sektörü %2,2 büyüme gerçekleştirmiştir. İç pazarda tüketilen 64,2 Mt çimento ile sektör 2014 yılında %1,3 büyüyerek inşaat sektörünü takip etmiştir. 2014 yılı sonunda çimento ihracatı 8,2 Mt, klinker ihracatı 2,6 Mt olmuştur. Çimento ihracatının bir önceki yıla göre %21 düşmesine ve klinker ihracatının %37 yükselmesine Ortadoğu ve Kuzey Afrika pazarlarındaki olumsuz siyasi koşulların etkisi olmuştur. Özellikle daha uzak pazarlara klinker ihracatının artması olumlu bir gelişme olmasına rağmen düşen çimento ihracatı, iç pazarı rekabetin artması açısından etkilemeye başlamıştır. 2014 yılında klinker kapasite kullanımının %92 (TÇMB İstatistikleri, 2014) üzerinde olması yeni yatırımların devam edeceğini göstermektedir.

Kurulu kapasitelerin bölgelere göre dağılımını dikkate aldığımızda Marmara ve Akdeniz Bölgelerindeki kapasite yığılmalarının çok yüksek olduğu görülmektedir 2014 verilerine göre Marmara’da kurulu kapasitenin iç tüketime, Akdeniz’deki aşırı kapasite yığılmasının ise ihracata yönelik olduğu görülmektedir. Kurulu kapasitenin yaklaşık %70’i yerli firmaların kontrolündedir.

Türkiye Çimento Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletme Sayıları ve Kapasite Miktarları

Çimento sektörü 2014 yılı sonu itibarı ile 53 entegre çimento fabrikası ve 19 aktif öğütme tesisi ile 76,5 milyon ton/yıl klinker, 126 milyon ton/yıl çimento öğütme kapasitesine sahiptir. Çimento fabrikaları ve öğütme tesislerinin konumları Şekil 13’te gösterilmektedir.

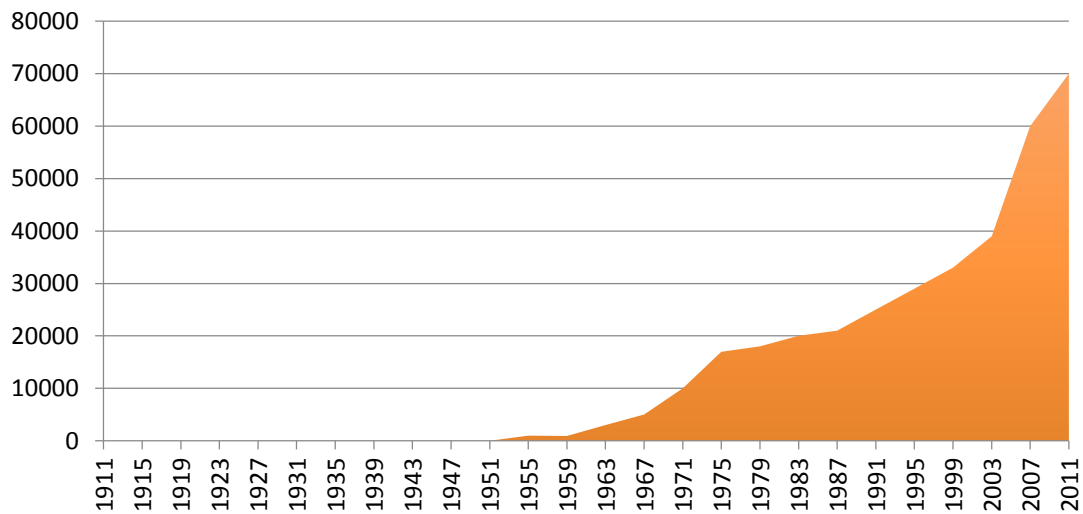


Bu harita Türkiye Çimento Müstahsilileri Birliği (TCMB) tarafından hazırlanmıştır.

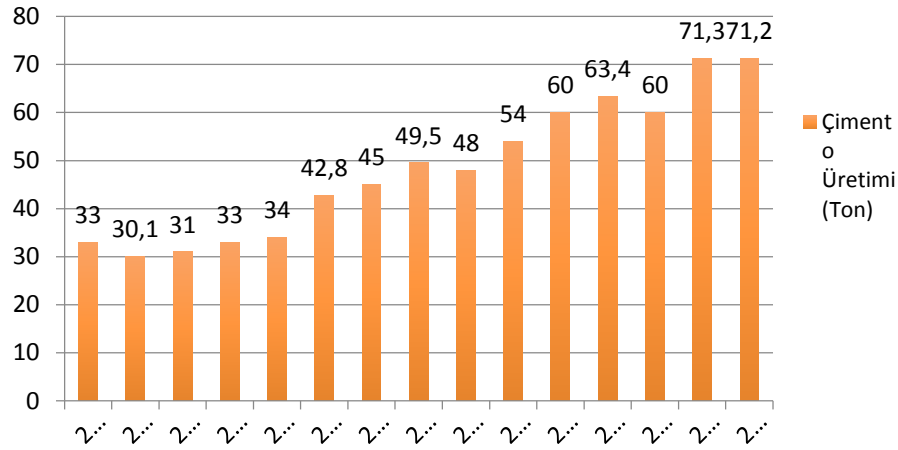
Şekil 13. Türkiye çimento fabrikaları ve öğütme tesisleri
(TCMB Web Sayfası Fabrikalar ve Konumları)

Türkiye Çimento Sanayisi'nin kurulu klinker üretim kapasitesinin gelişimi Şekil 14'te verilmektedir. Özellikle son yirmi yılda yapılan yeni yatırımlar ile klinker kurulu kapasitesinin 76,5 Mt, Çimento Öğütme kapasitesini 126 Mt'a yükselmiştir (Şekil 15). TCMB raporlarına göre 2014 yılında çimento üretimi bir önceki yıla göre yaklaşık %2 artarak 71,239 Mt'a ulaşmıştır. Klinker üretim ise %1,86 artarak 62,513 Mt olmuştur. 2014 yılı toplam çimento üretimi ile İran ile birlikte dünyanın beşinci büyük çimento üreticisidir. 2014 yılı sonu itibarı ile çimento ve klinker üretme kapasitelerinin bölgelere göre dağılımı Tablo 9'da verilmektedir.

Tarihsel Klinker Kapasitesi (x1000ton)



Şekil 14. Klinker kurulu kapasitesinin gelişimi
(TCMB Klinker ve Çimento İstatistik Verileri, 2014)



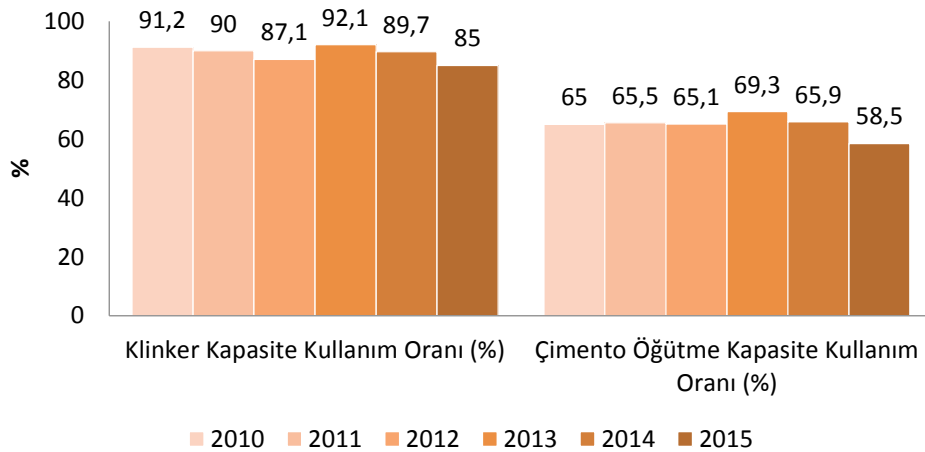
Şekil 15. 2000-2014 yılları arasında Türkiye çimento üretiminin gelişimi
(TCMB Klinker ve Çimento İstatistik Verileri, 2014)

Türkiye Çimento Sanayisi'nde 2014 yılı kurulu kapasite ve kapasite kullanım oranları Tablo 9'da ve Şekil 16'da verilmektedir. Tablo 9'da çimento sektörü 2014 yılı kurulu kapasite miktarları verilmiştir.

Tablo 9. Kurulu kapasite miktarları, 2010-2014, (TCMB İstatistikleri, 2014)

Bölge	Klinker Kapasitesi (ton)	Çimento Kapasitesi (ton)
Marmara	18.333.950	27.454.141
Ege	5.816.250	9.599.953
Akdeniz	16.688.100	26.499.668
Karadeniz	7.688.100	13.508.149
İç Anadolu	10.062.690	15.657.027
Doğu Anadolu	4.960.560	10.221.921
G. Doğu Anadolu	5.228.950	10.538.313
TOPLAM	69.603.940	113.480.171

Kapasite Kullanım Oranları



Şekil 16. 2014 yılı kapasite kullanım oranları
(TCMB İstatistikleri, 2014)

2014 yılında TCMB'ye üye fabrikaların ortalama kapasite kullanımı klinker üretiminde %92,2, çimento üretiminde %63 olarak gerçekleşmiştir. Çimentoda en düşük kapasite kullanımı (%57) ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde ve en yüksek kapasite kullanımı (%75) ile Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiştir. En düşük klinker kapasite kullanımı (%85) ile İç Anadolu Bölgesi'nde ve en yüksek kapasite kullanımı (%99) ile Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiştir.

Klinker üretim kapasiteleri Marmara (18,3 Mt) ve Akdeniz (16,2 Mt) Bölgeleri'nde yoğunlaşmıştır. TCMB raporlarına göre 2014 yılında Karadeniz Bölgesinde üretim %4 artmasına karşılık diğer bölgelerde üretim düşmüştür. Klinker üretimi ise Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinde %8 üzerinde artmasına karşılık Doğu (%2,59) ve Güney Doğu Anadolu (%4,8) Bölgeleri'nde üretimde düşme yaşanmıştır.

Sektörde İthalat ve İhracat Durumu

2014 Yılında Türkiye Çimento Pazarı bir önceki yıla göre %1,57 büyüyerek 63,2 Mt'a ulaşmıştır. En yüksek iç satış 16,6 Mt ile Marmara pazarında en düşük 4,85 Mt ile Ege pazarında gerçekleşmiştir (TCMB Satış İstatistikleri Dağılımı, 2014).

CEM I tip çimento % 59'a yaklaşan kullanım oranı ile iç pazarda en yüksek oranda kullanılan çimentodur (Tablo 10). 33.7 Mt'a ulaşan iç tüketimi ağırlıklı olarak (% 90) 42,5 dayanımdadır. CEM I tip çimentoları 21,2 Mt tüketim ile CEM II tip çimentolar takip etmiştir. CEM IV tip çimentoların kullanımı 6,1 Mt olarak gerçekleşmiştir. Cüruf katkılı CEM III ve CEM V tipi çimentoların toplam kullanımı ise 2 Mt'a ulaşmıştır (TCMB İstatistikler Çimento Tipleri Dağılımı, 2014).

CEM II tip çimento 42,5 dayanım sınıfında 4,17 Mt ile en yüksek oranda ihraç edilen çimento olmuştur. CEM I tip çimentonun toplam ihracatı bir önceki yıla göre geriliyerek 3,2 Mt'a düşmüştür. 2014 yılında çimento toplam ihracatı bir önceki yıla göre % 21 düşerek 7,65 Mt'a gerilemiştir (TCMB Satış Dağılımı İstatistikler, 2014).

Türkiye dünyanın en önemli beyaz çimento üreticilerinden biridir. İki fabrikada yaklaşık 1,45 Mt beyaz çimento üretilmektedir. Her iki fabrika beyaz çimento üretiminde MET (Mevcut En İyi Teknolojileri) kullanmaktadır.

Hazır Beton Sektörü çimentonun en büyük kullanıcısıdır ve dikey entegrasyon her yıl artarak devam etmektedir. 2014 yılında iç pazarda tüketilen çimentonun %53'ü hazır beton üretiminde kullanılmıştır. Bayilik sistemi çimento sektörünün ikinci büyük alıcısı durumundadır. Bu kanal ile tüketilen çimento toplam üretimin %34 seviyesindedir. Prefabrik yapı sektörünün toplam kullanımı toplam üretimin %4'üne yakındır. Türkiye pazarında satılan çimentonun yaklaşık %25'i torbalı %75'i dökme çimentodur. Bu oranlar gelişmekte olan ülkelerin durumu ile tamamen farklı bir pazarı tanımlamaktadır (Tablo 11) (TCMB İstatistikler, 2014).

Çimento ihracatı 2014 yılında bir önceki yıla göre %21 düşerek 7,56 Mt olarak gerçekleşmiştir. İhracatın %50'den fazlası Akdeniz Bölgesi'nden, %20'si Marmara, %14'ü Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nden gerçekleştirilmiştir.

Çimento 86 ülkeye ihraç edilmiştir. Ağırlıklı olarak Libya (2,89Mt), Irak (1,62Mt), Rusya (1,08Mt), İsrail (631.256 ton) ve Suriye (566.140 ton) gibi ülkelere ihracat yapılmıştır.

Klinker ihracatı 2014 yılında bir önceki yıla göre %31 artarak 2,85 Mt'a yükselmiştir. İhracat 27 ülkeye gerçekleştirilmiş olup en yüksek ihracat İsrail (207.363 ton), Brezilya (199.110 ton), Togo (173.200 ton), Ghana (170.145 ton) ve Romanya (167.250 ton) gibi ülkelere yapılmıştır (TCMB İstatistikler ihracat, 2014).

Tablo 10. Çimento tipleri-iç ve dış satışlar 2014 (TCMB İstatistikler Çimento Tipleri Dağılımı, 2014)

Çimento Tipi	İç Satışlar (ton)	İhracat (ton)
CEM I	33.714.000	3.216.029
CEM II	21.265.479	4.177.054
CEM III	926.061	98.000
CEM IV	6.077.250	11.800
CEM V	1.066.000	43.759
Diğer	127.273	-

Tablo 11. Türkiye çimento satışlarının bölgelere göre değişimi ve kapasite kullanımı (TCMB İstatistikler, 2014)

Bölgeler	Çimento üretimi	Klinker Üretimi	Çimento Kapasite	Klinker Kapasite	Klinker kapasite Kullanımı	Kapasite Kullanımı	İç Satış	Dış Satış	Dökme	Torbalı
	Mt/yıl	Mt/yıl	Mt	Mt	%	%	Mt	Mt	%	%
MARMARA	17,212	15,738	18,333	27,454	95,27	67,62	16,061	1,20	84,38	15,62
EGE	5,775	5,403	5,816	9,599	92,9	60,16	4848	0,92	84,46	15,54
AKDENİZ	16,168	15,459	16,688	26,5	92,64	61,02	11,408	4,26	72,39	27,61
KARADENİZ	9,722	7,615	7,513	13,509	100	71,97	9,279	0,50	79,93	20,07
İÇ ANADOLU	10,549	8,723	10,062	15,657	86,69	86,69	10,531		85,01	14,99
DOĞU ANADOLU	5,005	4,112	4,96	10,221	82,9	48,97	4,991	0,001	75,5	24,5
GÜNEY DOĞU ANADOLU	6,804	5,461	6,229	10,538	87,69	64,57	6,054	0,74	69	31
TOPLAM	71,239	62,513	69,603	113,48	92,22	63,9	63,17	7,65	79,49	c

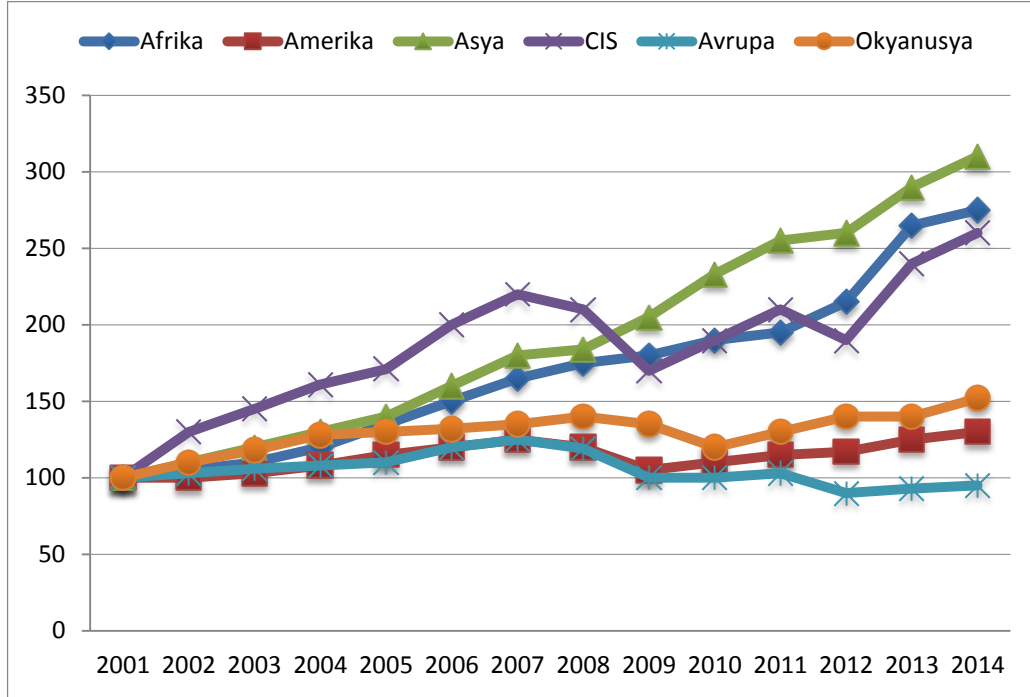
Türkiye çimento ve klinker ithalatı yapan bir ülke değildir. Son on yılda hemen hemen hiç çimento ithalatı gerçekleşmemiştir. Klinker ithalatı 2014 (TCMB İstatistikler, 2014) yılında 103 ton olarak gerçekleşmiş olup toplam üretim ve iç tüketim rakamları dikkate alındığında söz konusu ithalatın ihmal edilebilecek seviyede olduğu söylenebilir.

Dünya Çimento Sanayi Genel

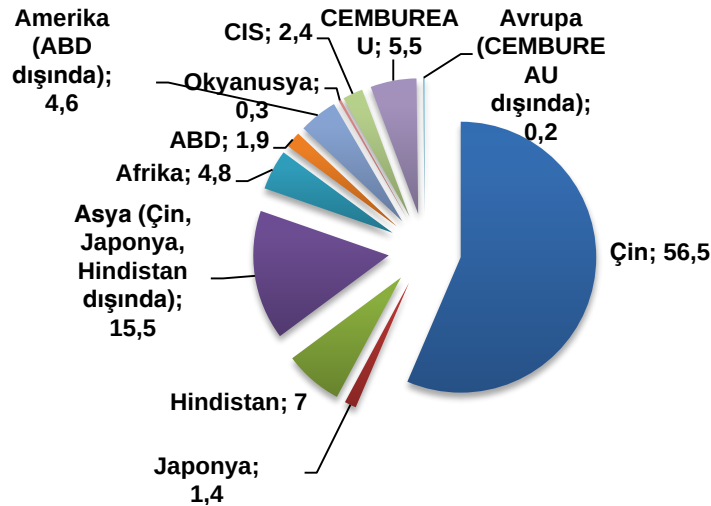
2014 yılında dünya çimento üretimi yaklaşık 4,3 milyar ton olmuştur. Üretimin yarısından fazlasını (% 56,5) Çin gerçekleştirmektedir. Dünya çimento üretimindeki son on beş yıllık büyüme Şekil 17 ve Tablo 12'de gösterilmektedir. Avrupa kıtası dışında üretimde büyümenin devam ettiği görülmektedir. Çin'i Hindistan (300 Mt), Avrupa Birliği (159 Mt), Amerika (82 Mt), Brezilya (72 Mt) ve Türkiye (71,2 Mt) takip etmektedir (Cembureau Activity Report, 2014).

Avrupa Birliği sıralama dışı olarak değerlendirildiğinde Türkiye'nin dünyanın 5. büyük çimento üreticisi olduğu görülmektedir. Son yıllarda gerçekleştirdiği yatırımlar ile İran 70 Mt

üretimi geçen ülkeler arasına yerleşmiştir. Çin’de 2013 yılında %10’lar üzerinde görülen büyümenin 2014 yılında %3,3’ler seviyesine gerilediği gözlenmektedir. Güney Amerika, Afrika ve Asya’da büyüme 2014 yılında devam etmiştir. Bu pazarlar sırasıyla Dünya üretiminin %4,4, %4,8 ve %80,4’ünü sağlamaktadır (Şekil 18) (Cembureau Activity Report, 2014).



Şekil 17. Dünya çimento üretiminin gelişimi 2001-2014
(Cembureau Activity Report, 2014)



Şekil 18. Dünya çimento üretimi bölgeler ve ülkeler, 2014
(Cembureau Activity Report 2014)

Tablo 12. G20 ülkeleri çimento üretimleri, Milyon Ton (Cembureau Activity Report, 2014)

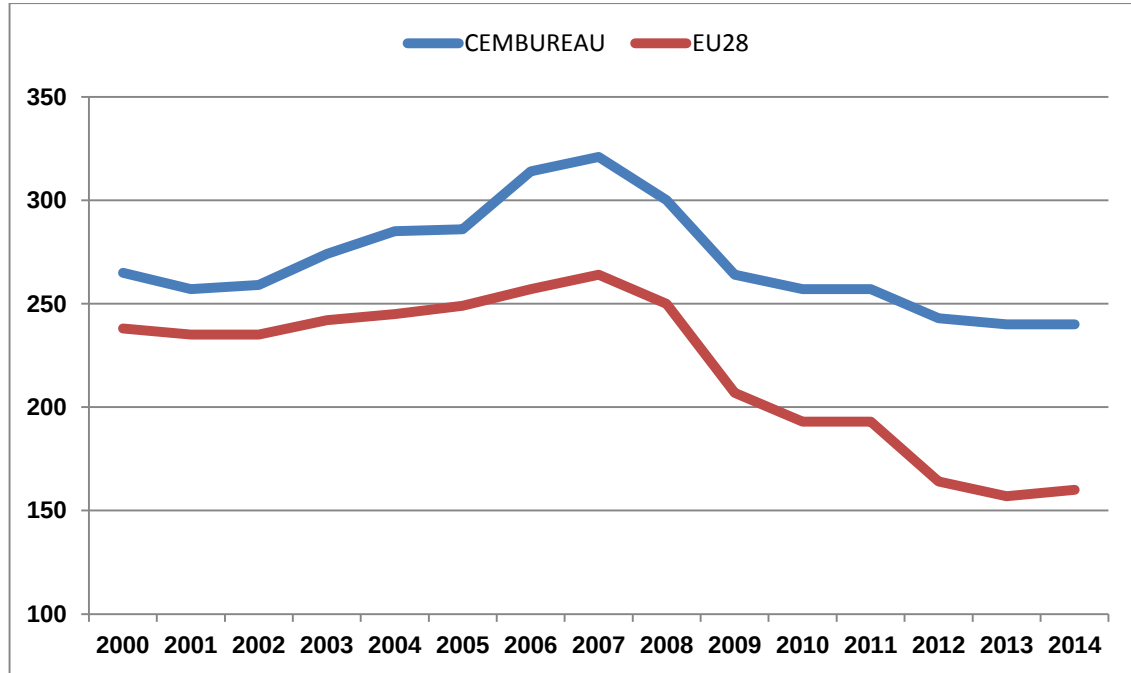
Çimento Üretimi (Milyon Ton)										
Ülke	2001	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Çin	661.0	1,236.8	1,361.2	1,388.4	1,644.0	1,881.9	2,063.2	2,137.0	2,359.0	2,438.0
Hindistan	102.9	159.0	170.5	185.0	205.0	220.0	270.0	239.0	272.0	300.0
Avrupa Birliği	225.6	262.3	269.1	250.8	209.0	192.1	191.6	170.5	157.5	159.4
ABD	88.9	98.2	96.5	86.3	63.9	65.2	68.6	74.0	77.2	81.0
Brezilya	39.4	41.4	45.9	51.6	51.7	59.1	63.0	68.0	71.9	72.0
Türkiye	30.0	47.4	49.3	51.4	54.0	62.7	63.4	63.9	72.7	71.2
Rusya Federasyonu	28.7	54.7	59.9	53.5	44.3	50.4	56.1	53.0	56.6	68.4
Japonya	79.5	73.2	71.4	67.6	50.6	56.6	56.4	59.3	61.7	62.0
Güney Kore	52.0	49.2	52.2	51.7	50.1	47.4	48.2	46.9	47.3	47.1
Saudi Arabistan	20.0	27.0	30.3	37.4	37.8	42.5	48.0	43.0	48.0	51.8
Endonezya	31.1	33.0	35.0	38.5	36.9	39.5	45.2	53.5	52.0	54.2
Meksika	33.2	37.9	38.8	37.1	36.1	34.5	35.4	36.8	37.0	39.4
Almanya	32.1	33.6	33.4	33.6	30.4	29.9	33.5	32.4	31.5	32.0
İtalya	39.8	47.8	47.4	43.0	36.3	34.4	33.1	26.2	23.1	21.4
Fransa	19.1	22.0	22.1	21.2	18.1	18.0	19.4	18.0	17.5	16.4
Kanada	12.1	14.3	15.1	13.7	11.0	12.4	12.0	12.5	12.1	12.8
Arjantin	5.5	8.9	9.6	9.7	9.4	10.4	11.6	10.7	11.9	11.4
Güney Afrika	8.4	13.1	13.7	13.4	11.8	10.9	11.2	13.8	14.9	13.8
Avustralya	6.8	9.2	9.2	9.4	9.2	8.3	8.6	8.8	8.6	9.0
İngiltere	11.9	12.1	12.6	10.5	7.8	7.9	8.5	7.9	8.5	9.3

p=ilk değerler e= tahmini değerler

Avrupa Birliği Çimento Üretimi ve Gelişimi

Avrupa Birliği üyesi ülkelerin Dünya pazarındaki payı 2013'te %3,7'dir. Cembureau üye ülkelerin payı yaklaşık %5,5 seviyesindedir (Şekil 19).

Avrupa Birliği (E28) 2014 yılında gerçekleştirdiği 159 Mt'luk üretim ile son on yılın en düşük ikinci üretimini yapmıştır. 2007 yılından itibaren görülen talep daralmasının %30-35 seviyelerinde devam ettiği görülmektedir. 2014 yılı sonuçları Türkiye üretiminin AB 28 toplam üretiminin %50'sine yaklaştığını göstermektedir.



Şekil 19. Avrupa Birliği ve Cembureau çimento üretimi gelişimi 2001-2014
(Cembureau Activity Report, 2014)

Türkiye’deki Mevcut Durum

Türkiye Çimento Sanayinde TCMB üyesi 49 entegre tesiste 76 döner fırın bulunmaktadır. Bu fırınların 73’ü kuru sistem ve 3’ü yarı yaş sistemdir. Yarı yaş prosese sahip tesislerin 2-3 yıl içine yenilenmesi veya kapatılması öngörülmektedir. Kuru sisteme sahip 73 fırından 42’si ön kalsinasyon ünitesine sahiptir. Fırın gazları toz tutma sistemlerinin 55’i torbalı filtre, 19’u elektrofiltre ve 2’si hibrid sistemleridir. Tablo 13’te fırın tiplerinin bölgelere göre dağılımı ve fırın gazları toz tutma sistemleri verilmektedir.

Tablo 13. Türkiye Çimento Sanayinde kullanılan fırın tiplerinin bölgelere göre dağılımı Fırın gazları toz tutma sistemleri (TCMB İstatistikleri Kapasiteler, 2014)

2014	Pre. Kuru	Kuru	Yarı-Yaş	Yaş
MARMARA	11	5	0	0
EGE	3	4	1	0
AKDENİZ	9	5	0	0
KARADENİZ	5	3	0	0
İÇ ANADOLU	8	6	2	0
DOĞU ANADOLU	4	3	0	0
G.D.ANADOLU	2	5	0	0
TOPLAM	42	31	3	0
Farin Değirmeni Toz Tutma Sistemi				
Torbalı	Elektro	Hibrid		
55	19	2		

Çimento öğütme teknolojisinde ağırlıklı olarak bilyalı değirmenler kullanılmaktadır. Özellikle son on yılda yapılan yatırımlarda enerji verimliliği daha iyi olan Dik Değirmen, Roller Pres ve Horomill teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut boru değirmenler ise yüksek verimli seperatörler kullanılarak kapalı öğütme sistemlerine dönüştürülerek enerji verimliliği arttırılmıştır. Tablo 14 çimento öğütmede kurulu kapasitenin yaklaşık %20’sinin MET’e uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 14. Türkiye Çimento Sanayinde Kullanılan Çimento Değirmen Tiplerinin Bölgelere Göre Dağılımı (TCMB İstatistikleri Kapasiteler, 2014)

2014	Bilyalı	Valsli	Horomil	Roller-Press
MARMARA	25	2	0	4
EGE	10	2	1	1
AKDENİZ	14	7	0	8
KARADENİZ	23	3	0	0
İÇ ANADOLU	26	0	0	4
DOĞU ANADOLU	18	0	0	0
G.D.ANADOLU	17	0	0	0
TOPLAM	133	14	1	17

3 ÇİMENTO ÜRETİMİNDE UYGULANAN PROSESLER VE TEKNİKLER

Çimento üretim prosesinin temel kimyası kalsiyum karbonatın (CaCO_3) 900 °C civarında ayrışması ile başlar ve 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, alümin ve demir oksit ile reaksiyona girerek klinkeri meydana getiren 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 proses vardır:

- Kuru proseste, hammaddeler akıcı toz şeklindeki farini oluşturmak üzere öğütülür ve kurutulur. Kuru farin ön ısıtıcıya veya prekalsinasyon fırınına veya nadiren uzun kuru fırına beslenir.
- Yarı-kuru proseste farin su ile pelet haline getirilir ve fırından önce ızgaralı ön ısıtıcıya veya istavroz ile donatılmış uzun fırına beslenir.
- Yarı-yaş proseste ilk önce çimento harcı filtre preslerinde susuzlaştırılır. Filtre pastası pelet haline getirilerek farin üretimi için ızgaralı ön ısıtıcıya veya doğrudan filtre pastası kurutucusuna beslenir.
- Yaş proseste, hammaddeler (genellikle yüksek nem içerikli) pompalanabilir çimento harcı oluşturmak amacıyla suda öğütülür. Çimento harcı doğrudan fırına veya önce bir çimento harcı kurutucusuna beslenir.

Seçilecek olan proses büyük ölçüde hammaddelerin durumuna göre (kuru veya yaş) tespit edilir. 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. Türkiye de ise %99.5 kuru proses klinker üretimi vardır. Yaş prosesler daha fazla enerji tüketir ve bu nedenle daha pahalıdır. Yarı-kuru proses kullanan fabrikalar genişleme veya büyük çapta bir yenileme gerektiğinde muhtemelen kuru tekniklere dönüşeceklerdir.

Yaş veya yarı-yaş proses kullanan fabrikalar Danimarka ve Belçika’da ve bir ölçüde İngiltere’de olduğu gibi sadece nemli hammaddelere erişebilmektedir.

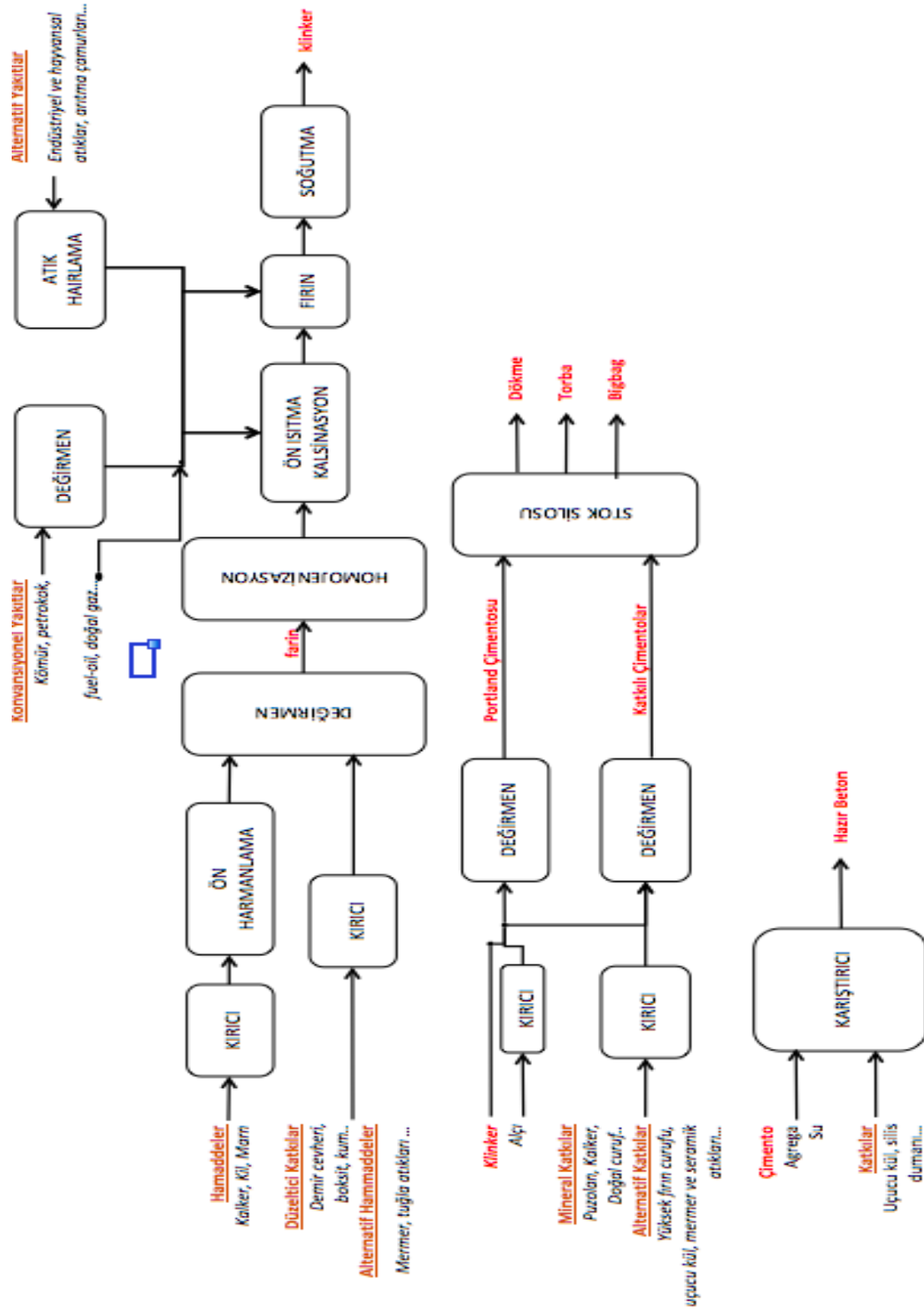
Ortaklaşa olarak tüm proseslerde aşağıda belirtilen alt-prosesler yer alır.

- Hammaddeler-depolama ve hazırlama
- Yakıtlar-depolama ve hazırlama
- Atıkların hammadde ve/veya yakıt olarak kullanımı, kalite gereksinimleri, kontrol ve hazırlık
- Fırın sistemleri, fırın yakma süreçleri ve emisyon azaltma teknikleri
- Ürünler-depolama ve hazırlama
- Paketleme ve sevkiyat

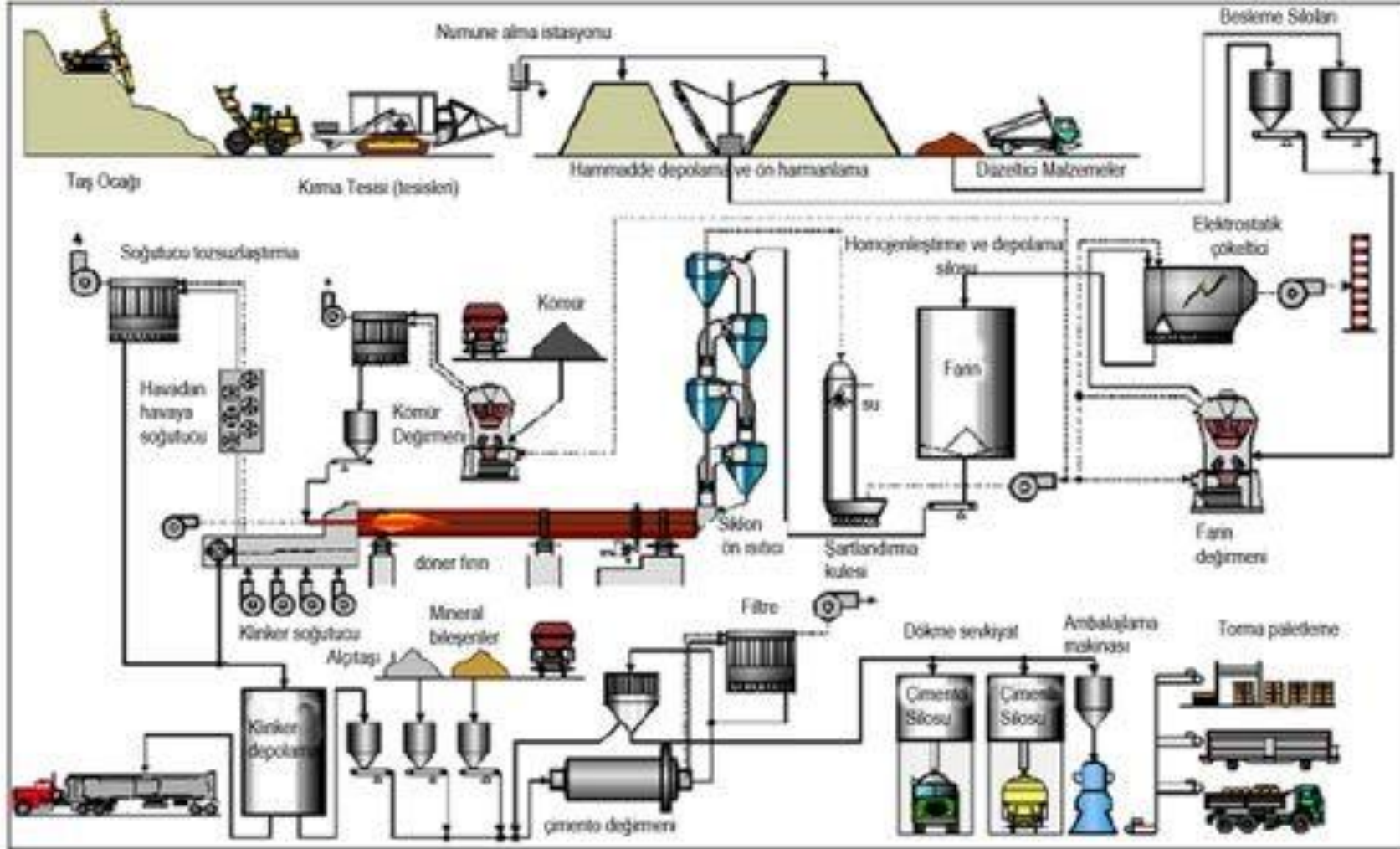
Beyaz çimento üretim prosesi gri Portland çimentosu üretimine benzer. Proses aşamaları boyunca kirliliği ve üründe istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesini önlemek için kesin kontrol altında tutulan koşullar uyarınca hammaddelerin seçimi, depolanması ve hazırlanması, yakıt depolama ve hazırlama, klinkerin bir fırın sisteminde pişirilmesi,

beyazlatma/soğutma ve öğütme proses kapsamında yer alır. Ancak ana teknolojik farklılık soğutma ve beyazlatmanın kombinasyonudur. Bu özel tür çimentonun beyazlığını arttırmak ve tekdüze bir renk sağlamak için bu aşamalar gereklidir ve kullanılmaktadır.

Bir çimento fabrikasının tipik proses blok diyagramı ve akış şeması Şekil 20 ve Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Bir çimento fabrikasının tipik proses blok diyagramı



Şekil 21. Çimento üretim prosesine genel bakış

Hammaddeler ve Hammaddelerin Kazanılması

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 yeryüzü taş ocaklarından elde edilir. Gerekli faaliyetler kaya sondajı, patlatma, hafriyat, taşıma ve kırmaı kapsar. 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. Çoğu zaman ocak fabrikaya yakın yerde bulunur. Hammaddeler ön kırma işleminden sonra depolanmak ve daha sonraki işlemler için hazırlanmak üzere çimento fabrikasına taşınır. Boksit, demir cevheri, yüksek fırın cürufu veya döküm kumu gibi diğer hammaddeler başka yerlerden temin edilir.

Hammaddeler üretim prosesini ve klinker kalitesini etkileyebilecekleri için klinker pişirme prosesi için gerekli olan özelliklere, kimyasal elementlere ve bileşimlere sahip olmalı ve bunları karşılamalıdır. Çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin ve çimento farinlerinin kimyasal analizlerden elde edilen örnek aralıkları ve özellikleri Tablo 15'te gösterilmiştir. Ana bileşenler dışında bu hammaddeler Tablo 16'da listelenmiş olan metallerin bazılarını da içermektedir.

Tablo 15. Çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin ve çimento farininin kimyasal analizi

Bileşenler	Kireçtaşı, kireç, marn, tebeşir	Kil	Kum	PFA ²	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 ¹⁾	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		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					
Tutuşma kaybı (CO ₂ + H ₂ O), LOI 950 ³⁾	2 - 44	1 - 20	≤5	6.74	0.1-30	32-36

¹⁾ SO₂ olarak belirtilen toplam kükürt içeriği

²⁾ Pulverize edilmiş uçucu kül

³⁾ LOI 950 = Tutuşma kaybı

Tablo 16. Hammaddeler ve farinin içinde bulunan metaller

Elementler		Kil ve kıltaşı	Kireçtaşı, marn ve tebeşir	Farin
		mg/kg DS ¹⁾		
Antimon	Sb	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	004- 1
Krom	Cr	20-109	1.2-21	10-40
Kobalt	Co	10-20	0.5-5	3- 10
Bakır	Cu	Veri yoktur	3-12	6-60
Manganez	Mn	Veri yoktur	<250	100-360
Nikel	Ni	11 - 70	1.5-21	10-35
Civa	Hg	0.02-0.15	0.01 -0.13	0.01-0.5
Selenyum	Se	Veri yoktur	1 - 10	<10
Telluryum	Te	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	Veri yoktur	<1 -5	<10
Çinko	Zn	59-115	10-40	20-47

¹⁾ DS: kuru madde

Konvansiyonel hammaddelerin yerine atıklar da kullanılabilir.

Beyaz çimento üretimi için yüksek derecede saf hammaddelerin varlığı örneğin Si, Ca ve Al son derece önemlidir. Yüksek derecede saf kireçtaşı, beyaz kil çeşitleri, kaolin, kuvars, kum, feldspat, diatomlu 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 17’de gösterilmiştir. Ancak, bu bileşenlerin oranları aynı zamanda pişirme prosesinin gereksinimlerini de karşılamalıdır. Pişirilebilirliği iyileştirmek için, bazen mineralleştiriciler kullanılır. Bilinen ve kullanılan mineralleştiriciler, florürler (genelde CaF₂) gibi eritkenlerdir [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007].

Tablo 17. Beyaz çimento klinkeri üretimi için gerekli hammaddelerin kimyasal bileşim örnekleri

Hammaddeler	Hammaddeler içindeki 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	<1.0	Eser Miktarda	65-80	<0.8			
Kaolin (uygun)	0.4-1.0	0	70-73	0-0.80	18-20		
Kuvars kumu (saf)	<0.2		<96				
Diğerleri ¹⁾	<0.5	<3.0		<0.2		<30 ppm	<0.05

¹⁾ İtalya

Hammaddeler - Depolama ve Hazırlama

Hammaddelerin hazırlanması, ham maddelerin kimyasal yapısının doğru olması ve beslenen hammaddelerin yeterince ince olması açısından daha sonraki fırın sistemi için çok önemlidir.

Hammaddelerin depolanması

Kapalı depo kullanma ihtiyacı iklim koşullarına ve kırma tesisinden çıkan hammaddeler içindeki ince tanelerin miktarına bağlıdır. 3000 ton/gün kapasiteli fabrikalarda bu tür yapılar 20.000 ila 40.000 ton arasında malzemeyi muhafaza edebilir. Kapalı bir hammadde deposu örneği Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 22. Kapalı hammadde deposu 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 islah etme sistemleri kullanılabilir.

Nispeten daha az miktarlarda kullanılan hammaddeler, örneğin mineral katkı maddeleri alternatif olarak silolarda veya bunkerlerde depolanabilir. Potansiyel olarak toplum sağlığına ve çevreye zarar verme özelliğine sahip olan hammaddeler kendilerine özgü olan belirli koşullar uyarınca depolanmalı ve hazırlanmalıdır.

Hammaddelerin Öğütülmesi

Değirmene beslenecek olan bileşenlerin ağırlık bakımından doğru bir şekilde ölçülüp oranlanması tutarlı bir kimyasal bileşimin elde edilmesi açısından önemlidir. Bu durum fırının istikrarlı olarak işlemlerini sağlamak ve yüksek kaliteli bir ürün 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 ekipmanları zincirli besleyici ve bunu izleyen tartılı bantlı besleyicidir.

Beyaz çimento üretiminin öğütme işlemleri sırasında değişik parçaların veya küçük miktarlar halindeki renk veren metallerin araya karışmasını önlemek için dikkatli olunmalıdır. Ayrıca, öğütme ortamı ve değirmen kaplamalarının seçimi ham karışımın demir tarafından kirletilmesini önlemek açısından önemlidir. Ekipmanların önemli bölümlerinde özel çelik veya seramik malzemeler kullanılır. Beyazlığı arttırmak için ham maddenin rutubet kontrolü yapılır ve piyasada satılan yardımcı öğütme malzemelerinden değişik olabilecek olan ivmelendiriciler/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].

Hammaddelerin Öğütülmesi- Kuru ve Yarı-Kuru Fırın Sistemleri

Kontrollü olarak oranlanan hammaddeler öğütülür ve gerekli kimyasal bileşime sahip olan homojen bir karışım oluşturma kadar karıştırılır. Kuru ve yarı-kuru fırın sistemlerinde hammadde bileşenleri öğütülür ve esas olarak fırının egzoz gazları ve/veya soğutucunun egzoz havası kullanılmak suretiyle ince bir toz halinde kurutulur. Nispeten daha yüksek nem içeren hammaddeler için başlangıç işlemleri sırasında ilave ısı sağlamak amacıyla bir yardımcı fırına gerek duyulabilir.

Kullanılmakta olan tipik kuru öğütme sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

- Boru değirmen, merkezden boşaltmalı
- Boru değirmen, hava süpürmeli
- Dikey valsli değirmen
- Yatay valsli değirmen (sadece birkaç tesis çalışır durumdadır)

Diğer öğütme sistemleri daha az kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- Boru değirmen, kapalı devrede çıkıştan boşaltma
- Otojen değirmen
- Valsli pres, konkasörlü (kurutuculu) veya konkasörsüz

Ham öğütme sisteminden çıkan bir ürünün inceliği ve tane büyüklüğü dağılımı bir sonraki pişirme prosesi için son derece önemlidir. Bu parametrelerle ilgili olarak verilen hedefe, öğütme değirmeninden çıkan ürünün sınıflandırılmasında kullanılan seperatörü ayarlamak suretiyle ulaşılır. Kuru sınıflandırma için hava seperatörleri kullanılır. En yeni jenerasyon olan rotorlu kafes tipi seperatörler aşağıda belirtilmiş olan çeşitli avantajlara sahiptir:

- Öğütme sisteminde daha düşük özgül enerji tüketimi (daha az aşırı öğütme)
- Artan sistem iş çıkış hacmi (tane ayırma verimliliği)
- Daha uygun tane büyüklüğü dağılımı ve ürün tekdüzeliği

Hammaddelerin Öğütülmesi- Yaş ve Yarı-Yaş Fırın Sistemleri

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

Yaş proses kullanımı normalde 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 maddeler 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 genelde bir boru değirmende tekrar 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 (w/w) su) elde etmek için gerekli olan asgari ölçüde olacak şekilde kontrol edilir. Kimyasal katkı maddeleri su içeriğinin azaltılmasını sağlayan çimento harcı incelticisi görevini yapabilir.

Farin veya Çimento Harcının Homojenizasyonu ve Depolanması

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

Farini depolama silolarına taşımak için pnömatik ve mekanik sistemler kullanılır. Mekanik konveyörler normalde daha büyük bir yatırım maliyeti gerektirir ancak işletme maliyetleri pnömatik taşıma sistemlerine nazaran çok daha düşüktür. Bantlı kovalı elevatör ile birleştirilmiş olan hava- sürgülü veya vidalı/zincirli konveyörler en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemleridir.

Yakıtlar - Depolama ve Hazırlama

Proses için gerekli olan ısıyı ve enerjiyi sağlamak için çeşitli yakıtlar (konvansiyonel ve atık) kullanılabilir. Çimento fırınına yakmak için değişik türde konvansiyonel yakıtlar 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 gaz

Bu yakıtların ana kül bileşenleri silis ve alümin bileşiklerdir. Ayrıca, küller eser miktarda metal de içerebilir. Bunlar hammaddelerle birleşmek suretiyle klinkerin bir parçası haline gelirler. Hammadde oranını hesaplarken bu durumun oluşacağı gözönüne alınmalı ve bu nedenle kül içeriği mutlaka düşük olmak yerine tutarlı olan yakıtın kullanılması tercih edilmelidir. Almanya’da kullanılan kömürün içinde bulunan metallerin kimyasal analiz örnekleri Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Kömür içindeki metallerin kimyasal analizi [60, VDI 2094 Almanya, 2003]

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
Telluryum	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

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 kömürün mevcut olup olmaması gibi) bağlıdır. Ancak, fırın sistemindeki yüksek sıcaklıklar ve uzun kalma süreleri organik maddelerin yok olmaları için önemli bir potansiyel anlamına gelir. Bu durum, daha ucuz olan çok çeşitli yakıtların ve özellikle farklı türde atıkların tercih edilmesini mümkün hale getirir. Atıkların kullanımı son birkaç yıldır artış göstermektedir.

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 bir yakıt olmalıdır, geriye kalan % 15-35'in beslenmesi kaba kırma veya dökme şeklinde yapılabilir.

Beyaz çimento üretimi için, yakıt külü içinde klinkerin içine karışabilecek elementlerin bulunmasını ve bu nedenle beyaz çimentonun arzu edilen renginin değişmesini önlemek amacıyla yakıt seçimi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Seçilmiş atık yakıtlar 2007 yılında beyaz çimento üretimi için sınırlı ölçüde kullanılmıştır.

Konvansiyonel Yakıtların Depolanması

Tüvenan kömür ve petrokok ham maddelere benzer şekilde ve bu nedenle 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 depolama nedeniyle toprağa sızma büyük bir sorun olmuştur. Ancak stok yığınlarının altına yalıtımlı beton

zeminlerin döşenmesi sızan suyun toplanarak temizlenmesini mümkün kılar. Nispeten yüksek uçucu madde içeriği olan kömürü depolarken, uzun vadeli depolama sırasında kendiliğinden tutuşma riskini önlemek amacıyla sıkıştırma ve stok yığınların yüksekliği açısından normal iyi uygulamaları izlemek gerekmektedir.

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

Fuel oil dikey çelik tanklarda depolanır. Bunlardan bazıları yağı pompalanabilir bir sıcaklıkta (50-60 °C) muhafaza etmek amacıyla yalıtılırlar. Ayrıca bunlar yağı 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 görevini yapar.

Konvansiyonel Yakıtların Hazırlanması

Konvansiyonel katı yakıtların hazırlanması (kıırma, öğütme ve kurutma) genellikle fabrika sahasında yapılır. Kömür ve petrokok, hammadde öğütme tesislerinde kullanılan ekipmanlara benzer ekipmanlar kullanılmak suretiyle öğütme tesislerinde farin inceliğinde olacak şekilde pulverize hale getirilir. Pulverize yakıtın inceliği önemlidir- çok ince olduğu takdirde alev sıcaklıkları aşırı derecede yüksek olabilir, çok kaba olduğu takdirde yanma kötü 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 bir fırına ihtiyaç duyulabilir. Ekipmanları yangına ve patlamalara karşı korumak için bünyelerine bazı özel aksamaların ilave edilmesi gerekebilir.

Üç değişik türde kömür öğütme sistemi kullanılmaktadır:

- Boru değirmen, hava süpürmeli
- Dikey valsli veya halkalı-bilyeli değirmen
- Çarpmalı değirmen

Öğütülmüş katı yakıt doğrudan fırında yakılabilir, ancak modern tesislerde düşük primer hava kullanan ve ısı etkinliği daha yüksek olan 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 doğru olarak kontrol edilmeli ve ince malzemelerin ısıya maruz kalan kör noktalarda birikmesi önlenmelidir.

Fuel oil'in hazırlanması: Ölçme ve yanmayı kolaylaştırmak için fuel oil'in ısısı 120-140 °C'ye getirilir ve bunun sonucunda viskozitesi 10-20 cST'ye düşer. Ayrıca basınç 20-40 bara yükseltilir.

Doğal gazın hazırlanması: Yanma işleminden önce, gaz basıncı 30-80 bar olan boru hattı basıncından 3-10 bar olan fabrika 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 transfer istasyonunda yapılır. Ekipmanın Joule-Thompson etkisi nedeniyle donmasını önlemek amacıyla doğal gaz, basınç azaltma valfindan geçmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulur.

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

Atık Kullanımı

Avrupa çimento endüstrisinde önemli miktarda atıktan türetilen yakıtın 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 Üyesi Ülkelerdeki işlenmemiş atıkları toprağa gömülmesine ilişkin yasak, gittikçe artan sayıda mekanik ve mekanik-biyolojik atık arıtma tesisinin devreye girmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda, ön arıtması yapılmış olan atık fraksiyonlarının kullanımı konusuna olan ilgi artmıştır. Uygun bir şekilde yapılacak arıtmadan sonra, münferit atık fraksiyonları, çimento fabrikalarında çevreye uyumlu olarak yeniden kullanım gereksinimlerini sağlayabilmektedir. AB-27 çimento sanayi, çimento fabrikalarında seçilmiş atık kollarının yeniden kazanılması konusunda uzun yıllardır faaliyet göstermektedir. Geleneksel olarak; yenilenemeyen doğal kaynakları, mineralleri ve fosil yakıtları kullanan bu sanayi, kendisini bu kaynakların korunması için atık kullanmaya ve aynı zamanda nihai atık yaratmamaya adanmıştır [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Bu belgenin atık yakma konusunu kapsamaması nedeniyle atık yakma ile ilgili yararlı bilgiler Atık Arıtma Sanayileri için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir. Ayrıca, mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimleri de gözönüne alınmalıdır, örneğin, atıkların birlikte yakılması konusunda Atık Yakma Direktifi'nin (WID) gereksinimleri karşılanmalıdır [59, Avrupa Birliği, 2000].

Genel hususlar

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

- döner fırınlarda yaklaşık 2000 °C azami sıcaklık (ana pişirme sistemi, alev sıcaklığı)
- döner fırınlarda 1200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaklaşık 8 saniye gaz bekleme süresi
- döner fırının sinterleme bölgesinde yaklaşık 1450 °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 bekleme süreleri daha uzundur ve sıcaklıklar daha yüksektir.
- ikincil yakma sisteminde ve/veya kalsinatörde 850 °C katı madde sıcaklığı
- yeteri derecede uzun bekleme sürelerinde yüksek ısı nedeniyle oluşan yük dalgalarında stabil yanma koşulları
- yeteri derecede uzun bekleme sürelerinde yüksek ısı nedeniyle organik kirleticilerin parçalanması

- HF, HC1, SO₂ gibi gaz bileşiklerin alkali reaktantlara tutunması
- partikül bağlı ağır metaller için yüksek bekleme kapasitesi
- PCDD/F'nin "de-novo sentezi"ne yol açtığı bilinen ısı aralığında atık gazların kısa bekleme süreleri
- yakıt küllerinin tümüyle klinker bileşenleri içinde tutulması ve dolayısıyla eşzamanlı malzeme (örneğin aynı zamanda bir hammadde bileşeni olarak) ve enerji geri kazanımı
- klinker matrisi içindeki tüm malzemelerin kullanılması nedeniyle ürüne özgü atıklar oluşmaz, ancak Avrupa'da bulunan bazı çimento fabrikaları bypas tozunu bertaraf etmektedirler
- uçucu olmayan ağır metallerin klinker matrisi içinde kimyasal-mineralojik olarak tutulması [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Araştırmalar, döner fırınlarda tehlikeli maddelerin malzeme ve klinker tarafından, örneğin şaft fırınlar gibi, diğer tür fırınlarda olduğundan daha iyi absorbe edildiklerini göstermektedir [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006].

Çok çeşitli türdeki farklı atıklar hammadde ve/veya yakıt olarak kullanılır. Atık maddelerin 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 işlenmesi gereklidir. Belirli bir fabrikada hangi tür atığın kullanılabileceğine ilişkin karar için tek bir yanıt verilemez.

Değerlendirmeler ve kararlar; klinker üretim süreci ve proses koşullarına, hammadde ve yakıt bileşimlerine, besleme noktalarına, kullanılan baca gazı arıtım tekniğine, karşılaşılan atık yönetimi sorunlarına ve örneğin, Atık Yakma Direktifi (WID) gibi mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimlerine dayandırılmalıdır [59, Avrupa Birliği, 2000].

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

- atık maddeden elde edilen kalorifik değer
- atık maddeden elde edilen maddi değer

Ayrıca atıkların fiziksel ve kimyasal bileşimleri, özellikleri ve kirleticilerinin yanı sıra hacim ve kategorileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Çimento sanayi tarafından kullanılan atıktan türetilen yakıtlar, genelde bir ön arıtmadan geçen (örneğin ufalama, karıştırma, öğütme ve homojenizasyon) ve uygun kalite güvencesi gerektiren seçilmiş atık kollarından elde edilir. Atık maddelerin hazırlanması genellikle atık arıtma tesislerinde gerçekleştirilir.

Fırına atık besleme noktaları

Hammadde olarak kullanılan atıklar genelde fırına konvansiyonel hammaddeler gibi, diğer bir deyişle normal olarak, farinin sağlandığı yoldan beslenirler.

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 olabileceği için, yakıtların fırına beslenme şeklinin çok önemli olduğuna dikkat edilmelidir. Genelde, bu besleme noktaları arasında, yakıtlardan kaynaklanan baca gazlarının fırının en yüksek sıcaklık bölgesine geçişi

için bunların ana brülör yoluyla beslenmesi şeklinde tek bir yol vardır. Yukarıda açıklandığı gibi diğer besleme noktaları ile ilgili olarak sıcaklık ve kalma süresi fırının tasarımına ve işleyişine bağlıdır.

Ana brülör yolu ile beslenen atıklar, birincil yanma bölgesinde 2000 °C'ye varan yüksek sıcaklıklarda, ayrışır. Atık yakıtlar da dahil olmak üzere farklı türdeki yakıtların kullanımı için çok kanallı brülörler tasarlanmıştır. İkincil bir brülöre, ön ısıtıcıya veya ön kalsinatöre beslenen atıklar halojenli organik maddelerin ayrıştırılması 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 bölgesine geçmezler ve bu nedenle ayrışmazlar veya klinker içinde bağlı kalmazlar. Bu nedenle, uygun olmayan bir şekilde kullanıldığı takdirde, uçucu metalleri (cıva, kadmiyum, talyum) veya uçucu organik bileşikler içeren atıkların kullanımı, cıva, kadmiyum, talyum emisyonlarında veya organik emisyonlarda (örneğin VOC'lar) artışa yol açabilir.

Kalsinasyon bölgesinden önce düşük sıcaklıklarda uçucu hale gelebilen bileşenleri (örneğin hidrokarbonlar, solventler, atık yağlar) içeren atık maddeler dikkate alınmalıdır. Bunlar, fırın sisteminin yeterince yüksek ısıya sahip bölgelerine beslenmelidir.

Atık kullanımının sağladığı enerji verimliliği

Çimento sanayi, çimento üretim süreçlerinde kullanılan yakıtlar ile ilgili enerji verimliliğinde ilerleme sağlamış olup, iyileştirmeler için alternatif yollar geliştirmeye devam edecektir. Ancak, proste kullanılan atık yakıtların kalorifik 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 etkileri ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri hakkında bilgi bu belgede bulunabilir.

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, alumina 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 kapsar. Bunlarla ilgili hammadde bileşenleri kalsiyum oksit (CaO), silis (SiO_2), alumina (Al_2O_3) veya demir oksittir (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 19'da gösterilmiştir.

Tablo 19. Avrupa çimento sanayinde hammadde olarak sıkça kullanılan atık türleri

Uçucu kül	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı
Demir cürufu	Kağıt çamuru	Pirit külü
Kullanılmış döküm kumu	Yağ içeren toprak	
Yapay alçı (baca gazı desülfürizasyonu ve fosforik asit üretiminden)		

Diğer atık maddeler öğütme tesislerine “birlikte-öğütülmüş” katkılar olarak verilir. Uçucu kül, hem klinker üretiminde hammadde olarak (esas olarak alumina içeriği için) hem de çimento için birlikte öğütülmüş ilave olarak kullanılabilir. Uçucu kül, Portland çimentosu klinkerinin yerini %50’ye kadar alabilir ancak cıva içerebilir. Ayrıca, uygun endüstriyel alçı, bir sülfat bileşeni olarak kullanılmaya müsaittir. Hammadde olarak kullanılan ve kimyasal bileşimleri uyarınca değişik gruplar altında sınıflandırılmış olan atıklara genel bir bakış Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Çimento fırınlarında hammadde olarak kullanılan ve kimyasal bileşimleri uyarınca sınıflandırılmış atıkların örnek listesi

Hammadde grubu	Hammadde olarak kullanılan atıkların örnekleri
Ca grubu	Endüstriyel kireç (atık kireçtaşı) Kireç çamurları Karbür çamuru İçme suyu arıtma çamuru
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 Cüruflar İnce kırıcı artıkları Toprak
S grubu	Endüstriyel alçı
F grubu	CaF ₂ Filtre çamuru

Konvansiyonel yakıtların oluşturduğu küle benzer bir şekilde atık yakıtların oluşturduğu kül, çimento klinkeri için gerekli mineral bileşenleri sağlar. Şekil 23’te yer alan üçlü diyagramda, hammadde olarak kullanılan ve ana bileşenlerini oluşturan CaO, SiO₂, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ içeriklerinin de gösterildiği, değişik yakıt küllerinin ve atıkların bileşimleri görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, klinkerin, çimentonun kendine özgü hidrolik özellikleri açısından büyük önem taşıyan belirli bir bileşimi vardır.

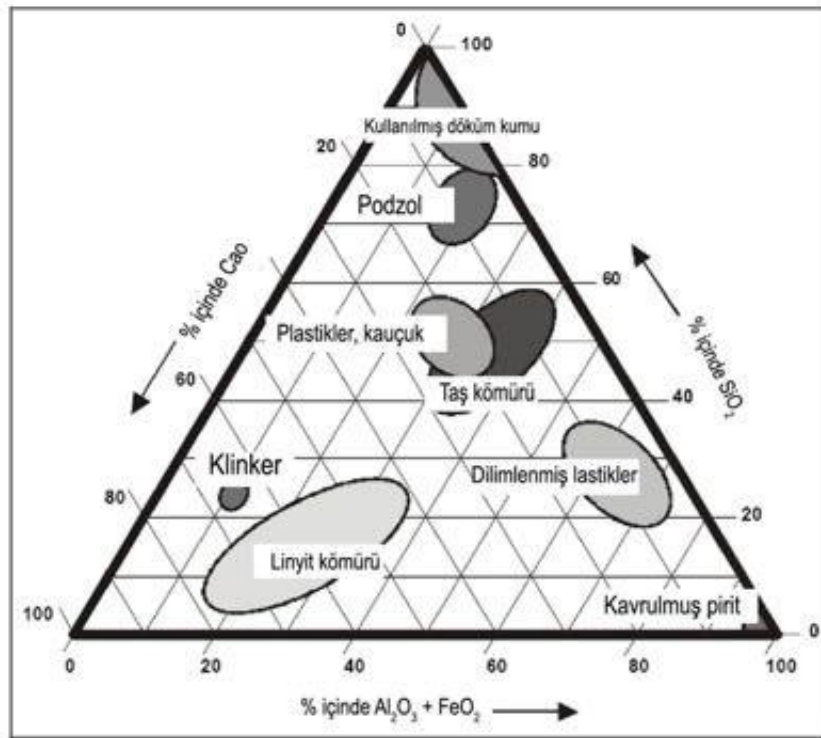
Bu durum, arzu edilen klinker bileşimini elde etmek için tüm hammaddelerin ve yakıt külünün, mineral bileşim ve besleme hızı açısından dikkatli bir şekilde eşleştirilmesi gerektiği anlamına gelir.

Hammadde olarak kullanılan atıklar, klinker pişirme prosesine veya kalsinatöre farin yoluyla veya fırın girişi ve /veya kalsinatör yoluyla girerler. Ön ısıtıcıdaki ön ısıtma aşamasında, halojenli organik maddelerin ayrıştırılması için her zaman yeterli olmayan düşük sıcaklıklar nedeniyle fırına beslenen malzemelerdeki organik bileşenler açığa çıkabilir. 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 beslemesi fırın girişinden yapılmalıdır. Kimyasal bağ kum döküm sistemlerinde kullanılan artık organik bağlayıcı ön ısıtıcıda ayrıştırılabilir. Ancak, malzemenin ön ısıtıcının düşük sıcaklık aşamasında kısa süre tutulması uçucuların yayılmalarını sağlar. Kullanılmış döküm kumunun toz ayırma benzeri ön arıtıma tabi tutulması ağır metal içeriğini azaltabilir. Endüstriyel alçı ve uçucu kül kullanmak suretiyle öğütme tesisine alçı beslemesi yapılır. Karbon açısından zengin külün, muhtemelen karbonun %20'sine ulaşabilecek olan geri kazanılabilir kalorifik değeri çimento klinker prosesinde kullanılabilir [76, Almanya, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Atıkların hammadde olarak kullanılması seçiminde gözönüne alınması gereken gereksinimler aşağıda belirtilmiştir:

- atıklar ağırlıklı olarak klinker bileşenlerinden oluşmalıdır
- düşük uçucu ağır metallerin örneğin cıva, talyum ve diğer tür metallerin konsantrasyonu dikkate alınmalıdır
- örnekleme ve analiz yoluyla girdiler, örneğin kullanılmış atık maddeler düzenli olarak izlenmelidir



Şekil 23. Çimento klinkeri ve değişik ham madde ve yakıtların kül bileşenleri için üçlü CaO, SiO₂ ve Al₂O₃+Fe₂O₃ diyagramı

Atıkların yakıt olarak kullanılması

Fosil yakıtlar gibi konvansiyonel yakıtların yerine, örneğin geri kazanılmış katı veya sıvı yakıtlar ve/veya biyokütle dahil olmak üzere ön arıtması yapılmış ve ayıklanmış atık fraksiyonlarından elde edilen atık yakıtlar kullanılabilir. Geniş bir yelpazede yer alan değişik tür atıklar, geriye kalan küller dahil olmak üzere yakıt olarak kullanılmaktadır. Atık malzemeler katı, sıvı veya macun kıvamında olabilir ve kaynaklarına göre adlandırılırlar, örneğin sanayi, tarım veya belediye gibi.

Atık yakıtların türleri

Klinker pişirme süreci konvansiyonel yakıtların bazı bölümlerinin yerini alan değişik türdeki atık malzemelerin kullanımı için uygun koşullar sunmaktadır. Tablo 21’de listelenmiş olan ve tehlikeli ve tehlikesiz atıklar olarak sınıflandırılan çeşitli türdeki atıklar Avrupa çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu kalorifik atık maddelerin çimento fırınlarında birincil yakıtların yerine kullanılabilmesi nedeniyle tutarlı bir atık kalitesinin olması esastır (örneğin: yeterli kalorifik değer, metal, halojen (örneğin: klor) ve kül içeriği, atığın brülörler için uygun olması). Klinker üretimi sırasında atık yakıtların kullanımında sürekli bir artış söz konusudur, ancak tehlikeli olmayan atıkların kullanımındaki artış, tehlikeli atıkların kullanımındaki artıştan daha önemlidir [74, CEMBUREAU, 2006], [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [92, Avusturya, 2006].

Tablo 21’de 14 grup halinde kümelenmiş olan atık yakıtların kullanım listesi sunulmuştur. Bu gruplar çeşitli EWC listelerini kapsamaktadır [74, CEMBUREAU, 2006], [98, Avrupa Komisyonu, 2000], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Tablo 21. Çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan değişik atık türleri

Grup No ¹	Atık yakıtların türleri (tehlikeli ve tehlikesiz)
1	Odun, kağıt, karton
2	Tekstil
3	Plastik
4	İşlenmiş fraksiyonlar (örneğin; ATY)
5	Kauçuk/lastikler
6	Endüstriyel çamur
7	Kentsel arıtma çamuru
8	Hayvan atıkları, yağlar
9	Kömür/karbon atığı
10	Zirai atıklar
11	Katı atıklar (emprenye edilmiş talaş)
12	Solventler ve ilgili atıklar
13	Yağlar ve yağlı atıklar
14	Diğerleri

¹Her grup çeşitli EWC listesini kapsamaktadır.

Katı atık yakıtlar

Yanıcı katı atıkların tümü klinker pişirme sürecinde yakıt olarak kullanıma uygun değildir. Katı atıklar çok farklı kökenleri ve bileşenleri olan ve aşağıda örnekleri verilen homojen veya homojen olmayan karışımlardan oluşabilir:

- yanıcı fraksiyonlar, örneğin kağıt, karton, plastik, kauçuk ve odun artıkları
- organik fraksiyonlar içeren değişik miktarlardaki inert maddeler, örneğin; kum, taş, seramik, demirli/demir-dışı metaller ve organik ıslak malzemeler
- tehlikeli fraksiyonlar, örneğin; katran, reçineler, emprenye edilmiş 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 işleme tabi tutulmaları gereklidir. Ayırma, kırma ve peletleme gibi atık arıtma işlemlerinin kapsamı atık yakıt uygulamasına bağlıdır.

Katı yakıt hazırlama teknikleri, atıkların kaynakları ve türleri ile çimento sanayinin gereksinimlerine bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Önemli gereksinimlerden birinin kaynağı, atık yakıtı fırına aktarmak için kullanılan aktarma ve ateşleme sistemidir:

- ana ateşleme sistemi (fırın girişinde/çıkışında, atık yakıtların borular vasıtasıyla enjeksiyonu): kurutulmuş çamur gibi yüksek ölçüde aşındırıcı atıklar ve alışılmadık partikül şekilleri ve boyutları operasyonel sorunlara neden olabilir. Katı atık yakıtların fırına taşınması için pnömatik transfer sistemleri kullanıldığı takdirde tıkanmalar ve döner parçaların hasar görmesi önlenabilir (sistem tümüyle hareketli parçalar olmaksızın çalışır). Yakıtle birlikte fırına enjekte edilen taşıma havası miktarı, fırın yanma stokiyometrisi açısından ihmal edilebilir düzeydedir. Partikül boyutlarının daha büyük olması, büyük pnömatik konveyör hatlarını ve üfleyicileri gerektirir. Bu nedenle, atık yakıtın boyutunun küçültülmesi ile yumuşak peletlenmesi önemli olan işlem adımlarıdır. (Genel olarak, partikül boyutu 25 mm'den daha büyük olmamalıdır). Yumuşak peletleme yoluyla sıkıştırmanın avantajı, yakıtın akış ve dozaj özelliklerinin iyileşmesidir.
- ikincil yakma sistemi (yakıt fırın girişi, döner fırın girişi ve en alt siklon aşaması veya kalsinatör arasındaki yükseltici vasıtasıyla beslenir): katı atık yakıtlar için boyut sınırlaması ikincil yakma sistemi için önemli değildir. Fırın girişi veya fırın ortası teknolojisi vasıtasıyla bütün halindeki lastikler bile beslenebilir. Ayrıca, yüksek kül içeriği olan atıklar da kullanılabilir.

Değişik türdeki katı yakıtlar kullanılır, örneğin:

- Tablo 21'de 1-10 arasında grup numarası verilmiş olan tehlikesiz atıklar
- Tablo 21'de 11-13 arasında grup numarası verilmiş olan tehlikeli atıklar

Çimento tesislerinde kullanılan ve aşağıda belirtilenler gibi ön işleme tabi tutulmuş olan atık karışımlarının örnekleri Şekil 24'te gösterilmiştir:

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

Atıklar analiz edilmiş ve çimento fırınlarında kullanılmak üzere özel olarak hazırlanmıştır [45, Schorcht, 2006], [81, Castle Cement İNGİLTERE, 2006], [107, Belçika, 2006].



(a)



(b)

Şekil X. (a) Tehlikeli Atık - emprenye edilmiş talaş [168, TWG CLM, 2007]; (b) Çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan özel olarak hazırlanmış evsel atık [82, CEMEX Rugby İngiltere, 2006]

Sıvı atık yakıtlar

Sıvı atık yakıtlar, kullanılmış solventler, boya artıkları veya uygun kalorifik değerleri olan atık yağlar gibi değişik atıkların özel atık yönetimi tesislerinde karıştırılması veya ön işleme tabi tutulması suretiyle hazırlanabilir. Atık arıtma ile ilgili ilave faydalı bilgiler Atık Arıtma Sanayileri İçin Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında bulunabilir [48, Avrupa Komisyonu, 2005].

Sıvı atık yakıtların elleçlenmesi, örneğin depolanması ve beslenmesi sırasında organik bileşiklerin emisyonlarını önlemek için bazı tehlikeli sıvı atıklara (örneğin solventler) dikkat edilmelidir. Gerekli yerlerde kullanılmak üzere örneğin buhar geri kazanımı gibi 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 tesisattan normal çalışma esnasında, güvenlik nedeniyle gerekli olan salımlar dışında, gaz salınmamasını sağlayacak şekilde çalıştırılır [76, Almanya 2006], [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Atık kalite gereksinimleri ve girdi kontrolü

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 standartlarına ulaşmak zorundadırlar. Atıkların sabit bir kaliteye sahip olmaları esastır. Atık yakıt özelliklerini garanti altına almak için, bir kalite güvence sisteminin olması gereklidir. Bu gibi bir güvence sistemi özellikle, örnekleme, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili hükümleri içerir. Daha yararlı bilgiler CEN/TC 343 'Geri Kazanılan Katı Yakıtlar' gibi Avrupa Standardizasyon Komitesi teknik şartnamelerinde bulunabilir. Ayrıca, mevcut Avrupa yönetmeliklerinin ve ulusal yönetmeliklerin gereksinimleri gözönünde bulundurulmalıdır. Atıkların beraber yakılması sırasında Atık Yakma Direktifi (WID) gereksinimleri, örneğin tehlikeli atık kullanımı sırasında operatör tarafından yerine getirilen kabul prosedürleri ile ilgili gereksinimler, karşılanmalıdır[59, Avrupa Birliği, 2000]. 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 elde edilen kalorifik değer
- Atık malzemeden elde edilen malzeme değeri

Yeterli kalorifik değere sahip olan atıklar çimento fırınlarında birincil yakıtların yerini alabilir. Bu atıkların kalorifik değerlerinin çok değişken olduğu dikkate alınmalıdır.

Yanııcı atıkların veya ayrılabilir kalorifik fraksiyonlara sahip atıkların yakıt olarak kullanılmak üzere hazırlanması işlemi, genellikle çimento fabrikası dışında yapılır. Bu yakıtlar genellikle tedarikçi veya atık arıtma konusunda uzman kuruluşlar tarafından özel atık yönetimi tesislerinde ve çimento fabrikasında hiçbir ilave işleme tabi tutulmaksızın doğrudan çimento fırınlarında kullanılabilecek şekilde hazırlanır. Ayrıca, teslim edilen atık malzemeler çimento fırınında kullanılmadan önce çimento fabrikası personeli tarafından da düzenli olarak kontrol ve analiz edilir. Değişik kalite özelliklerini kontrol etmek amacıyla özel laboratuvar teçhizatı kullanılır.

Belirli niteliklere sahip atık yakıtları 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 sabite yakın niteliklere sahip olan homojen bir karışım sağlamak üzere kullanılmadan önce atık tesislerinde arıtılır ve harmanlanır. Ancak bazı durumlarda, örneğin kullanılmış lastikler veya kullanılmış yağlar gibi atıklar başka bir işleme tabi tutulmaksızın teslim edildikleri şekliyle kullanılabilir. Farklı kaynaklardan gelen karışık katı atıklar veya karışık kentsel atıklardan ayrılmış olan fraksiyonlar gibi homojen olmayan atıklar, sabit bir düşük kirletici girdisine sahip olan güvenilir bir kaliteyi elde etmek için daha fazla izleme çabası harcanmasını gerektirir.

Atık yakıtlar için önemli olan özellikler ve parametreler, kalorifik değer 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 konsantrasyonu fabrikadaki özel duruma bağlıdır, ancak bu konsantrasyon, fırın sisteminde operasyonel sorunlara örneğin ön ısıtıcıda tıkanmaya yol açmamak için mümkün olduğunca düşük tutulur. Yüksek hacimli klor girişinin olduğu durumlarda, korozyonu, tıkanmayı, kapanmayı vb. önlemek için genellikle bir klor baypası yapmak gerekebilir. Tipik klor konsantrasyonları <0.5 - % 2 arasında değişir. Atık yakıtların 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 maksimum kirletici değerler ile ilgili listeler geliştirilmiştir. Fabrikaya özgü özellik ve izin gereksinimlerine bağlı olan şartnameler için fabrikaya özgü durum dikkate alınmıştır. Ayrıca, sıvı atık yakıtların teslimine ilişkin teknik normlar şartnamelerde belirlenmiştir.

Kullanılan diğer sistemler, çoğunlukla metal içeriğine odaklanmıştır. Bu şartların tümünü karşılamayan diğer malzemelerin de kullanılabileceği dikkate alınmalıdır. Arıtma çamuru veya tahta atıklar kullanıldığı takdirde, muhtemel cıva emisyonları nedeniyle cıva girdisi düzenli olarak izlenmelidir.

Ayrıca, yeterli miktarda atık yakıt mevcut olmalıdır. Kaynak seçimi, çimento sürecinde operasyon veya kalite sorunlarına yol açabilecek malzemeleri azaltmak amacıyla tekli akışlarda dikkate alınacak ilk husustur.

Yakıtların (konvansiyonel veya atık) seçiminde, ürünlerin kalite gereksinimleri gözönüne alınmalıdır. Sonuç olarak çimentonun üretiminde kullanılmaya uygun atık yakıtların türleri ve miktarları konusunda büyük ölçüde fabrikaya özgü durumlara bağlı olan

sınırlamalar vardır [75, Estonya, 2006], [76, Almanya, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG 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].

Atıkların metal konsantrasyonları

Metallerin konsantrasyonları atıkların kaynağına göre değişir. Birçok Avrupa ülkesinde düzenleyici kurumlar ve/veya sanayi tarafından yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılabilecek değişik atıklar için izin verilen maksimum madde değerlerine ilişkin listeler düzenlenmiştir. Ayrıca özel atıkları kapsayan diğer izin verilmiş çevresel performanslarda, değişik değerlere rastlanabilir. Ancak, yerel duruma bağlı olarak farklı kriterler uygulandığı için mutabık kalınmış bir eşik sınır değeri yoktur. Uygulanan kriterler aşağıda belirtilenleri içerebilir:

- ulusal çevre politikaları ve mevzuat
- çimento sanayinin etkisinin bölgesel endüstriyel gelişme bağlamında önemi
- bölgesel çevre yasa ve standartlarını uyumlaştırma çabaları
- geleneksel hammadde ve atıklardaki maddelerin düzeyleri
- fabrika koşulları ve emisyonları
- mevcut atıklar için arıtma alternatifleri
- gerekli olan asgari kalorifik değerler
- çimento kalitesi gereksinimleri

Atıkların depolanması ve elleçlenmesi

Atık yakıtlar genellikle özel atık yönetimi tesislerinde hazırlanır. Kabul edilen atıkların çimento fabrikasında depolanmaları ve daha sonra çimento fırınına beslenmek üzere uygun hale getirilmeleri gerekir. 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 atık yakıtların elleçlenmesi sırasında dikkate alınmalıdır [76, Almanya, 2006]. Ayrıca, ön işleme tabi tutulmuş ve ayıklanmış atık fraksiyonlarından elde edilen atık yakıtlar kullanırken kendi kendine tutuşma potansiyeli olan malzeme için güvenlik yönetimi dikkate alınabilir.

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

Klinker pişirme

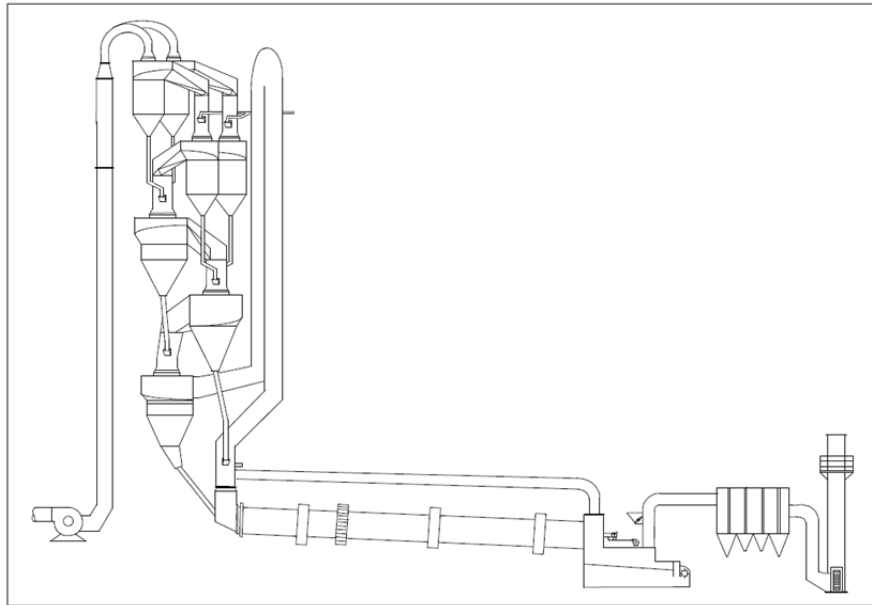
Prosesin bu bölümü emisyon potansiyeli ile ürün kalitesi ve maliyeti açısından en önemli bölümdür. Klinker pişirilirken farin (veya yaş proseste farin harcı) döner fırın sistemine yüklenir ve çimento klinkeri üretmek üzere kurutulur, ön ısıtmaya tabi tutulur, kalsine edilir ve sinterlenir. Klinker hava ile kurutulur ve depolanır.

Klinker pişirme prosesinde, hammadde karışımını çimento klinkerine dönüştürmek için yüksek proses sıcaklıklarına ulaşmak gereklidir. Döner fırınların sinterleme bölgesinde fırın yükleme sıcaklıklarının 1400 ile 1500 °C arasında ve alev sıcaklığının 2000 °C civarında tutulması gereklidir. Ayrıca klinkerin oksitleyici koşullar altında pişirilmesi gerekir. Bu nedenle döner fırının sinter bölgesinde fazla havaya gereksinim vardır.

Beyaz çimento üretiminde pişirme prosesi, hammadde karışımının bileşimine ve arzu edilen nihai ürün bileşimine bağlı olarak sinter bölgesinde 1600 °C dereceye varan sıcaklıkların oluşumuna yol açar. Hammaddelerin içinde ürünün rengini değiştirebilecek olan yapıştırıcı öğelerin mevcut olmaması nedeniyle 2000 °C dereceden yüksek alev sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Genel olarak, klinkeri renklendirebilecek olan bazı elementlerin oksidasyonunu önlemek için indirgeyici koşullar sağlanır. Ayrıca, klinkerin kontaminasyonunu 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 sayıdaki ülkede ve sadece küçük ölçekli fabrikalarda çimento klinkeri üretimi için kullanılmaktadır.

İlk döner fırınlar ısı tüketen termal prosesin tamamının fırının içinde olduğu uzun yaş fırınlardır. Kuru proses kullanılmaya başlandığında optimizasyon yoluyla Şekil 25'te görüldüğü gibi kurutma, ön ısıtma ve kalsinasyonun döner fırın yerine sabit bir tesiste gerçekleşmesini sağlayan teknikler oluşmuştur.



Şekil 25. Bir ön ısıtmalı/ön kalsinatörlü/ızgaralı soğutuculu fırının şematik görünümü

Döner fırın, uzunluk-çap oranı 10:1 ile 38:1 arasından değişen çelik bir borudan oluşur. İki ila yedi (veya daha fazla) arasında değişen sayıda destek istasyonu ile desteklenen borunun eğimi %2.5 – % 4.5 arasındadır ve bir tahrik mekanizması döner fırını kendi eksenini etrafında dakikada 0.5 ile 5.0 devir hızla döndürür. Borunun eğimi ve dönüşü, malzemenin yavaşça fırın

boyunca taşınmasını sağlar. Çok yüksek pik sıcaklıklarına dayanabilmesi için döner fırının tamamı ısıya dayanıklı (refrakter) tuğla ile kaplanmıştır. Uzun fırınların tümü ve kısa fırınların bazıları ısı transferini iyileştirici iç donanımına (zincirler, istavrozlar, yükselticiler) sahiptir.

Süreç ve ham maddelere, 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 kabul edilecek olan sıcak ve düşük kaliteli bir maddenin akarak fırının dışına çıkmasına yol açabilir. Ön ısıtmalı fırınların 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 karşılaşılabilceği dikkate alınmalıdır.

Fırın ateşleme

Ana brülör vasıtasıyla giren yakıt, yaklaşık 2000 °C alev sıcaklığı 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
- besleme oluğu vasıtasıyla ön kalsinatöre (dökme yakıt için)
- uzun yaş ve kuru fırınlarda orta fırın vanası vasıtasıyla (dökme yakıt için)
- Lepol ızgaranın sonu yoluyla

Kömür/petrokok yakan tesisler hem doğrudan hem de dolaylı ateşleme yapabilen tesislerdir. Doğrudan ateşlemeli tesisler ince kömür depolama ve ince kömür dozajlama sistemi olmaksızın çalışırlar. Toz haline getirilmiş yakıt, taşıyıcı ve birincil hava (alev şekillendirme) görevini yapan değirmen süpürme havası vasıtasıyla doğrudan fırına üflenir. Doğrudan ateşlemeli 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 ateşleme nadiren uygulanır.

Uygun viskozite ve basınca sahip olan fuel oil bir boşaltma başlığı vasıtasıyla örneğin ana alevi oluşturmak üzere fırına beslenir. Alevin şekillendirilmesi esas olarak çok kanallı brülörler vasıtasıyla merkezi bir yerde bulunan yakıt püskürtme başlıkları ile gerçekleştirilir.

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

Çok kanallı brülörler çeşitli türdeki atık yakıtların kullanılmasına imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Bununla ilgili bir örnek Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Çok kanallı brülör örneği

Uzun döner fırınlar

Uzun döner fırınlar çimento harcı, kırılmış filtre keki, nodül 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, CIS “Bağımsız Devletler Topluluğu”). Uzun döner fırınlar kurutma, ön ısıtma, kalsinasyon ve sinterleme işlemleri için tasarlanmıştır ve bu nedenle sadece besleme sisteminin ve soğutucunun ilave edilmesi gerekir. Uzun fırınların üst kısımları ısı transferini iyileştirmek amacıyla zincir perdeleriyle ve sabit tesisatlarla donatılmıştır.

1895'ten beri kullanılmakta olan yaş proses fırınları çimento klinkeri üretiminde kullanılan en eski döner fırın türleridir. Homojenleştirme işlemin sıvı malzeme ile daha kolay yapılması nedeniyle başlangıçta yaş hammadde hazırlanır. Yaş fırına beslenen malzemeler genellikle % 32 ile % 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 ısıнын 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 hazırlama için partiler halinde kuru homojenizasyon yapma sistemlerine dayalı olarak ABD'de geliştirilmiştir. Yakıt tüketimlerinin yüksek olması nedeniyle Avrupa'da çok az sayıda kurulmuşlardır.

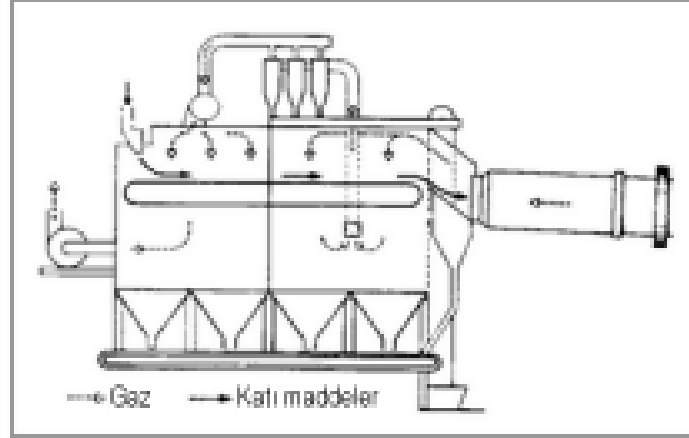
Ön ısıtıcı döner fırınlar

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

Izgaralı ön ısıtıcı tekniği

Daha yaygın olarak Lepol fırını olarak bilinen izgaralı ön ısıtma tekniği 1928 yılında keşfedilmiştir. Klinkerleştirme prosesinin bir kısmının fırın dışında bulunan sabit bir tesiste gerçekleşmesini mümkün kılan ilk yaklaşımı temsil etmektedir. Bu sayede döner fırınların boyları kısalmış ve dolayısıyla ısı kayıpları azalmış ve enerji etkinlikleri artmıştır.

Izgaralı ön ısıtıcıda (Şekil 27) nodülizör diskinde bulunan kuru farinden (yarı kuru proses) veya ekstrüder içinde bulunan sulu çimento harcı filtre keklerinden (yarı yaş proses) yapılmış olan nodüller, kapalı bir tünelin içinde hareket eden yatay hareketli ızgaranın üzerine beslenir. Tünel, ızgara için bir açıklık bırakmak suretiyle bir bölme vasıtasıyla sıcak gaz odası ve kurutma odası olarak ikiye bölünmüştür.



Şekil 27. Izgaralı ön ısıtıcı

Döner fırındaki egzoz 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 aşındırabilecek 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 etkinliğe 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 edilmesi gereken azami ünite büyüklüğü 3300 ton/gündür.

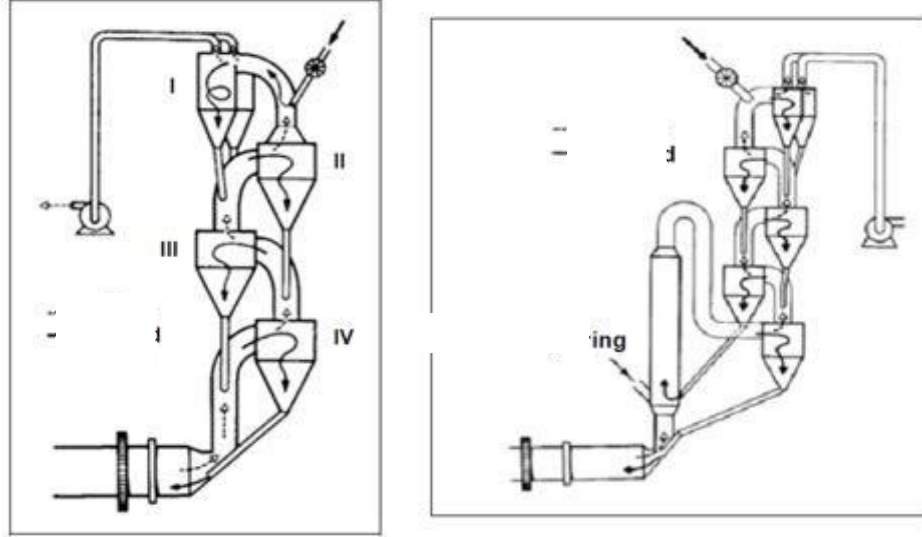
Döner fırın egzoz gazının ön ısıtıcıya giriş sıcaklığı 1000-1100 °C'dir. Sıcak gaz odasındaki malzeme katmanından geçerken egzoz gazı soğuyarak 250-300 °C'ye düşer ve kurutma odasından 90-150 °C sıcaklıkta çıkar. Pişirilecek malzemelerin sıcaklığı kurutma odasında yaklaşık 150 °C'ye ve ısıtma odasında 700-800 °C'ye ulaşır.

Süspansiyon ön ısıtıcı tekniği

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

Çeşitli süspansiyon ön ısıtıcı sistemleri mevcuttur. Örnekler Şekil 28'de 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 sağlamak için iki paralel siklondan oluşabilir. Döner fırından gelen egzoz gazları siklon kademeleri içinden aşağıdan yukarıya doğru geçer. En üstteki siklon kademesine ulaşmadan önce, egzoz gazına kuru toz halindeki ham madde karışımı ilave edilir. Siklonlarda karışım

gazdan ayrılır ve bir sonraki siklon kademesinden önce tekrar gazla birleşir. Bu prosedür, malzeme sonuçta en son kademeden döner fırına boşaltılınca kadar, her kademede tekrarlanır. Daha yüksek sıcaklıkta birbiri ardına yapılan bu karıştırma, ayırma ve yeniden karıştırma işlemleri, optimum ısı transferi sağlamak için gereklidir.



Şekil 28. Süspansiyon ön ısıtıcı Ön kalsinatörlü süspansiyon ön ısıtıcı

Şaft ön ısıtıcıları

Teorik olarak üstün ısı değişimi 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 sadece çok kademeli siklon ön ısıtıcıları kullanılmaya başlanmıştır. Bu hibrit sistemlerden bazıları halen faal durumdadır ancak bunların çoğu salt siklon ön ısıtıcılarına dönüştürülmüştür.

Bir siklon kademesi, aşırı miktarlarda sirkülasyon elemanının (klorürler, kükürt ve alkaliler) mevcut olduğu durumlarda alt kademe için avantaj olabilecek siklon kademesine nazaran sorun oluşmasına karşı daha az duyarlıdır. Alt şaft kademesine sahip hibrit ön ısıtıcılar halihazırda yeni tesislerde kullanılmaktadır.

Şaft ön ısıtıcılı fırınların kapasitesi genelde 1500 ton/gündür, ancak hibrit sistemlerde günde 3000 ton veya daha fazla üretim yapılabilir.

Dört kademeli siklonlu ön ısıtıcı

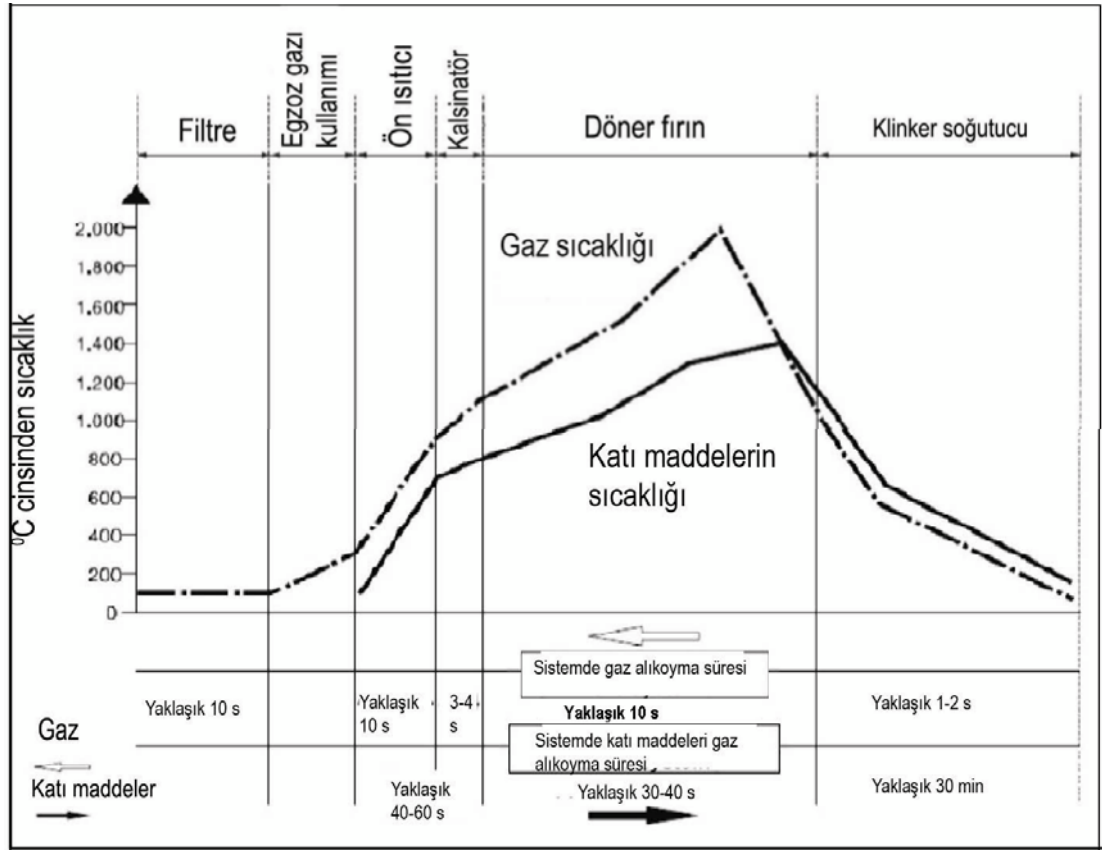
Günlük kapasitesi 1000 ila 3000 ton aralığında olan birçok tesisin kurulduğu 1970'lerde kullanılan standart teknik, dört kademeli siklonlu ön ısıtıcılı fırın sistemidir (süspansiyon ön ısıtıcı). En üst siklon kademesinde yaklaşık 300-400°C sıcaklığı olan egzoz gazı, normalde ham maddeyi kurutmak için kullanılır.

Fırına beslenen malzemenin egzoz gazları ile yaklaşık 850 °C sıcaklığa ulaşacak şekilde ısıtılmış olması nedeniyle, farin döner fırına girdiğinde kalsinasyon yaklaşık %30 oranında tamamlanmış olacaktır. Geçmişte, besleme malzemelerinin ve/veya yakıtın neden olduğu sirkülasyon elemanı (klorür, kükürt ve alkaliler) girdilerinin fazla olduğu durumlarda dört kademeli ön ısıtıcılarda büyük sorunlarla karşılaşmıştır. Bu elementlerin yüksek derecede zenginleştirilmiş döngüleri, siklonlarda ve kanal duvarlarında birikmelere yol açarak sık sık tıkanmalara ve fırının birkaç gün boyunca durmasına neden olurlar. Fırın gazının baypas edilmesi, diğer bir deyişle fırından çıkan partikül yüklü gaz akımının bir bölümünün ekstrakte edilerek siklon sistemini bypas etmesinin sağlanması sıklıkla bu sorunun çözümü olarak kullanılır. Bu bypas gazı alkalileri yoğunlaştırmak amacıyla 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, bunun dışındaki hallerde bunlar üretim prosesine geri beslenir.

Dört kademeli süspansiyon ön ısıtıcıların neredeyse tamamı üç ayaklı döner fırınlar ile çalışır. Bu 1970'ten beri kullanılan standart bir tasarımdır. 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.

Ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü döner fırınlar

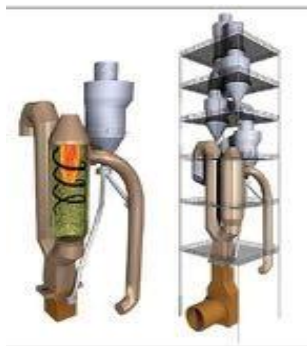
Ön kalsinasyon tekniği çimento sanayinde yaklaşık 1970'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu işlemde ısı girdisi iki nokta arasında bölünmüştür. Birincil yakıtın yanması fırının yanma bölgesinde gerçekleşir. İkincil yanma ise döner fırın ile ön ısıtıcı arasında bulunan özel bir yanma odasında gerçekleşir. Tipik bir ön kalsinasyonlu fırında toplam yakıtın %65'i bu odada yakılabilir. Bu durum, sıcak farinin önemli ölçüde daha uzun olan alıkönme süresinden, siklon ön ısıtıcının alt kısmında bulunan fırın egzoz gazlarından ve ilave tersiyer hava kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu enerji, fırına girdiğinde neredeyse tümüyle kalsine edilmiş olan farini kalsine etmek için kullanılır. %90'ın üzerinde kalsinasyon seviyeleri elde edilebilir. Kalsinatörde yanma için gerekli olan sıcak hava soğutucudan alınır. Malzeme, kalsinatörden yaklaşık 870 °C sıcaklıkta çıkar. Siklonlu ön ısıtıcı bir fırın sistemindeki gaz ve katı maddelerin sıcaklık profilleri Şekil 29'da gösterilmiştir.



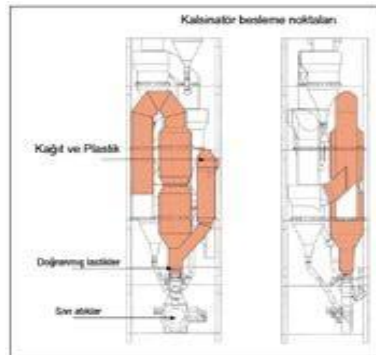
Şekil 29. Bir siklon ön ısıtmalı fırın sisteminde gazların ve katı maddelerin sıcaklık profilleri

Bu prosedürün bir süspansiyon ön ısıtıcılı fırına uygulanması Şekil 30'da gösterilmiştir. Prensip olarak ikincil yanma, ızgaralı ön ısıtması olan bir fırına da uygulanabilir. Her boyuttaki döner fırında ön kalsinasyon klinker kapasitesini artırır.

Beş siklona kadar ön ısıtıcı kademeleri ve bir ön kalsinatörü bulunan fırın sistemleri yeni kuru proses tesisleri için standart teknik olarak kabul edilmektedir. Bunun bir örneği Şekil 30'da gösterilmiştir. Atıkların yakıt olarak kullanılması ile ilgili kalsinatör tekniği Şekil 30'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 30. (a) Ayrı hatlı/aşağı çekişli kalsinatör örneği, (b) Kalsinatöre atık besleme noktaları örneği

Yeni bir tesisin büyüklüğü öncelikle öngörülen piyasa gelişmeleri ve aynı zamanda tesis ölçeğinin ekonomisi 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 yılında Asya piyasalarında faaliyette bulunan çeşitli sayıda 10.000 ton / gün kapasiteli fırın vardır.

Daha önceki ön kalsinatör sistemlerinde sadece dört ön ısıtma kademesi bulunmaktaydı ve dolayısıyla egzoz gazı sıcaklıkları ve yakıt tüketimi yüksekti. Doğal hammaddenin nem içeriğinin düşük olduğu durumlarda, özellikle toz filtre ile tozsuzlaştırma ile kombinasyon halinde altı kademeli ön ısıtıcılar tercih edilen seçenek olabilir.

Aşırı miktarda sirkülasyon elemanı girdisinin mevcut 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 bir baypas, salt ön ısıtmalı bir fırında yapılacak olandan çok daha etkilidir.

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

Bypass sistemleri

Klor, kükürt ve alkali içeren hammaddeler ile yakıtlar (atıklar dahil) fırına beslendiğinde, fırın ile ön ısıtıcı arasındaki dahili sirkülasyon bir zenginleştirme döngüsü görevini yapar. Yüksek konsantrasyonlarda, böyle bir döngü fırın giriş alanında, kalsinatörde ve iki alt kademede tortu oluşmasına neden olur. Aksamaların minimize edildiği düzenli bir fırın operasyonu enerji tasarruflu klinker üretiminin esasını teşkil ettiğinden, kaplama oluşumunun neden olduğu faaliyet durdurmalarından kaçınılmalıdır. Bu nedenle, alkalilerin, klorun ve daha az oranda kükürtün yüksek sirkülasyonu fırının girişinde gaz baypası yapılmasını zorunlu kılar. Proses gazının bir miktarını gidermek suretiyle klor, kükürt ve alkalilerin yanısıra diğer maddeler de dışarı atılır. Sıcak hammaddenin ve sıcak gazın giderilmesi sonuçta giderilen fırın giriş gazı yüzdesi bazında yaklaşık 6-12 MJ/ton klinker daha fazla özgül enerji tüketimine yol açar. Tipik baypas oranları klor baypası için %15'e kadar ve kükürt baypası için % 70'e kadardır. Bypass gazı ile birlikte çıkartılan SO_x'in doğal olarak yıkanması aşağıda belirtilenlere bağlıdır:

- reaktif kireç miktarı
- >300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda alıkoyma süresi
- su (buhar) varlığında <200 °C'den daha düşük sıcaklıklarda alıkoyma süresi

Konfigürasyonuna ve kullanılabilecek ilave termal enerjiye bağlı olarak bypass yapılması ilave emisyonların oluşmasına neden olabilir [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, CEMBUREAU, 2006].

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 kısmında hafifçe büyüyen bölümünde yer alan kısa bir sinterleme

bölgesinin içinden geçer. Daha sonra alttan üflenene yanma havası ile soğutulur ve fırının alt ucundan klinker şeklinde dışarıya bir boşaltma ızgarası üzerine çıkar.

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

Fırın egzoz gazları

Tüm fırın sistemlerinde egzoz gazları ana bacaya gitmeden önce son olarak tozların ayrıştırılması için hava kirliliği kontrol cihazından (elektrostatik çökeltici veya torbalı filtre) geçer.

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

Ani CO yükselmeleri

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

Partiküllerin kaldırılması için Elektrostatik Çökelticilerin (ESPs) kullanıldığı çimento (ve kireç) fırınlarında konsantrasyonların alt patlama sınırının altında kalmasını sağlamak amacıyla CO seviyelerinin kontrolü çok önemlidir. ESP'lerdeki CO seviyesi verilen belirli seviyelerin üzerine çıktığı takdirde, elektrik sistemi patlama riskini önlemek amacıyla kapanır (kesilir). Bu durum arıtılmamış partiküllerin fırından salınmasına yol açar. Ani CO yükselmeleri 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.

Klinker soğutucuları

Klinker soğutucusu fırın sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır ve piro işlem tesisinin performansı ve ekonomisi üzerinde belirleyici etkisi vardır. Soğutucunun, prosese geri döndürmek amacıyla sıcak (1450 °C) klinkerden mümkün olduğunca fazla ısıyı geri kazandırmak ve klinker sıcaklığını daha sonra gelen ekipmanlar için uygun bir düzeye düşürmek şeklinde iki görevi vardır.

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

Klinker soğutucularına özgü sorunlar, yukarıda belirtilen gereksinimlerin aksine gelişen termal genişleme, aşınma, yanlış hava akışı ve az miktarda mevcudiyettir. 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 spreyi ile hızlı soğutmanın ilk aşamasında oksijensiz bir atmosfer kullanılmaktadır. Beyaz klinkerin su ile hızlı soğutulması sonucunda beyazlıkta önemli bir iyileşme elde edilir. Klinkerin soğutma aşamasında renk verici maddeler ve güçlü oksidasyon tarafından kirletilmesi önlenmelidir [119, Sobolev, 2001], [120, İspanya, 2007], [138, İtalya, 2007].

Döner soğutucular

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 bir düzenleme ile, diğer bir deyişle fırının alt kısmında olacak şekilde monte edilir. Klinker, fırından boşaldıktan sonra, ürünün hava akımına maruz kalması için dağılmasını sağlayan kaldırıclar ile teçhiz edilmiş olan soğutucuya girmeden önce bir geçiş davlumbazından geçer. Hava akımının soğutulma derecesi, yakıtın yanması için gerekli hava uyarınca tespit edilir. Soğutucunun performansını hız dışında sadece içindeki donanımlar etkileyebilir. Kaldırıcların optimizasyonu sırasında ısı değişimi (dağılım şekli) karşılığında fırına geri dönen toz döngüsü dikkate alınmalıdır.

Planet (uydu) soğutucular

Planet veya uydu soğutucu döner soğutucunun özel bir türüdür. Sayıları değişken olan ve genelde 9 ila 11 arasında değişen soğutma tüpleri Şekil 31’de gösterildiği şekilde döner fırının boşaltma çıkışına monte edilir. Sıcak klinker soğutma tüplerinin monte edildiği her noktada fırın kabuğuna daire şeklinde açılan deliklerden içeriye girer. Soğutma havasının miktarı, yakıtın yanması için gerekli hava miktarı uyarınca tespit edilir ve her tüpün içine boşaltma çıkışından girerek zıt yönde ısı değişimini sağlar. Tüplü soğutucuda klinkeri kaldıran ve dağıtan iç donanım çok önemlidir. Değişken işletme parametreleri yoktur. Toz döngüleri ile birlikte yüksek derecede aşınma ve termal şok, yüksek klinker çıkış sıcaklıklarının ve yetersiz ısı geri kazanımının olağanüstü bir durum olmadığını gösterir. Klinker çıkış sıcaklığı yalnızca soğutma tüplerine veya kabuğa su püskürtmek suretiyle daha aşağıya düşürülebilir.

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



Şekil 31. Planet Soğutucu örneği

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 ileri geri hareketli ızgaradır (itici kenarları olan basamaklar).

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

Hareketli ızgaralı soğutucular

Bu tür soğutucularda klinker hareketli bir ızgara vasıtasıyla taşınır. Bu ızgara ön ısıtıcı ızgara (Lepol) ile aynı tasarım özelliklerini taşır. Soğutma havası fanlar vasıtasıyla 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 bir yalıtım yapma zorluğu nedeniyle) bu tasarımın yeni tesislerde kullanımı 1980’li yıllardan itibaren durdurulmuştur.

İleri geri hareketli ızgaralı soğutucular (Reciprocating grate coolers)

İleri geri hareketli ızgaralı soğutucuda klinkerin taşınması, klinker yatağını birbirini izleyen sıralar halindeki plakaların ön kenarlarından adım adım itmek suretiyle gerçekleştirilir. Ön kenarların göreceli hareketi her ikinci sıraya bağlı olan hidrolik veya mekanik (krank mili) 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 mmWG genişliğindedir ve içlerinden havanın geçtiği delikleri vardır.

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

- içindeki sıcak soğutma havasının ana brülör yakıtını (ikincil hava) ve ön kalsinatör yakıtını (tersiyer 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, değiştirilebilir veya sabit, basınç düşürücülü, havayı geçiren ancak klinkeri geçirmeyen modern plakalar
- kanal ve kirişler vasıtasıyla basınçlı plaka havalandırması
- ayrı ayrı ayarlanabilen havalandırma bölgeleri
- sabit giriş
- daha az sayıda ve daha geniş ızgaralar
- silindirik kırıcı
- ısı kalkanları

Halen çalışmakta olan en büyük üniteler yaklaşık 280 m² aktif yüzeye ve günlük 10000 ton klinker soğutma kapasitesine sahiptir. Bu soğutucuların tipik işletme sorunları hava-klinker dengesizliğine, ince klinkerin akışkanlaşmasına (kızıl nehir) ve ayrıca birikmelere (kardan adamlar) ve plakaların ömrünün kısılmasına yol açan segregasyon ve düzensiz klinker dağılımıdır.

Üçüncü nesil ızgaralı soğutucular

Modern teknoloji kullanılarak imal edilen ileri geri hareketli ızgaralı soğutucuların bulunuşu ve geliştirilmesi 1983 yılı civarında başlamıştır. Tasarımın amacı, konvansiyonel soğutucuların neden olduğu sorunları ortadan kaldırmak suretiyle optimum ısı değişimine, daha az soğutma havası ve daha küçük tozsuzlaştırma sistemleri kullanan kompakt soğutuculara bir adım daha yaklaşmaktır.

2000’li yıllarda çimento sanayiinde tamamen yeni bir klinker soğutma kavramını temsil eden yeni bir nesil ortaya çıkmıştır. Temel fikir, klinker taşıma ile hava dağıtım sistemlerini birbirlerinden ayıran ve optimize eden bir soğutucu geliştirmek olmuştur. İleri geri hareketli ızgaralı soğutucular ile karşılaştırıldığında sızdırmazlık havası ortadan kaldırılmış ve her türlü çalışma şekli için hava dağılımı optimize edilmiştir.

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

- eğimli veya yatay bir 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.

Dikey soğutucular

Gravite soğutucu veya G-soğutucu olarak adlandırılan tozsuz bir son soğutucu, planet soğutucusu veya kısa ızgaralı geri kazandırıcıdan/soğutucudan sonra monte edilmek üzere geliştirilmiştir. Isı değişiminin 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.

Kojenerasyon

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

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

- hammadde kurutma ve ufalama/öğütme
- cüruf kurutma
- kum kurutma
- yakıt kurutma ve öğütme

Çok kademeli süspansiyonlu siklon ön ısıtıcı tesisler –ön kalsinatör bulunan veya bulunmayan- mevcut hammaddenin niteliğine uyacak şekilde 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 değişim seviyelerinde ısıya gerek vardır. Ancak bazı zamanlarda yukarıda belirtilen işlemler için gerekenden fazla ısı vardır. Fazla ısının mevcudiyeti ve daha sonra ısı geri kazanım tekniği ile ilgili olarak bu değişkenliğin gözönüne alınması gerektiği not edilmelidir.

Fazla ısı bölgesel ısıtmanın yanı sıra, elektrik enerjisi üretimi için de kullanılabilir. Normal olarak bu prosesler suyla işlem görmekte olup, elektrik enerjisi üretildiği takdirde göreceli olarak yüksek buhar sıcaklığı/basıncı altında ekonomik şekilde çalıştırılması gereklidir.

Bir Alman çimento fırında ilk kez, düşük sıcaklıktaki atık ısıdan elektrik enerjisi kojenerasyonu için Organik Rankine Çevrimi (ORC) işlemi uygulanmıştır. Bu işlem temel olarak sudan çok daha düşük sıcaklıklarda buharlaşan pentan'ın harekete geçirme ortamı olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Belirgin 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 fabrikasından elde edilen sonuçlar verilen işletme şekli ile 1,1 MW elektrik enerjisi üretilebileceğini göstermiştir. Bu durum 14 MW egzoz havası atık ısı çıktısına ve 300°C egzoz 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].

Çimento öğütme ve depolama

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:

- yerçekimi etkisiyle boşaltılmalı uzunlamasına depolar (sınırlı ömürlü stoklar)
- yerçekimi etkisiyle boşaltılmalı dairesel depolar (sınırlı ömürlü stoklar)
- klinker depolama siloları (uzun ömürlü stoklar; klinker silodan çıkartılırken silonun bazı
- seviyelerinde zemin titreşimi sorunları oluşabilir)
- klinker depolama kubbeleri (sınırlı ömürlü stoklar)

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, uçucu kül, doğal veya sentetik puzolan, kireçtaşı veya inert (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 kavramının türü üretilen 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 öğütmenin ve yüksek saflıkta olan uygun alçı türünün seçimi en önemli adımlardan biridir. İnceliğin artırılması ve öğütme süresinin azaltılması için uygun bir öğütme kolaylaştırıcı (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 TiO₂ içeren tozlar gibi mikro dolgu maddeleri nispeten küçük miktarlarda kullanılabilir [119, Sobolev, 2001].

Değirmene beslenen malzemenin ölçülmesi ve oranlanması

Değirmene beslenen malzeme bileşenlerinin ağırlık cinsinden ölçülmesi ve oranlanmasının doğru ve güvenilir olması öğütme sisteminin yüksek enerji verimliliği açısından çok önemlidir. Değirmenlere beslenen malzemenin ölçümü ve oranlanması için kullanılan başlıca ekipman tartılı besleme bandıdır.

Çimentonun öğütülmesi

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

Yaygın olarak kullanılan son öğütme sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

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

Kullanılan diğer son öğütme sistemleri aşağıda belirtilmiştir:

- açık devrede boşaltma çıkışlı tüp değirmen
- mekanik hava separatörü veya eski nesil siklonlu hava separatörü olan kapalı devrede boşaltma çıkışlı tüp değirmen
- yatay valsli değirmenler

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

Dikey valsli değirmenlerin çalışma prensibi, mafsallı kollar ile desteklenen ve bir yatay öğütme tablası veya 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 öğütülmesinde olduğu gibi, çimento klinkerinin ön hidrasyonunu engelleyecek kadar kısadır.

Yüksek basınçlı çift valsli değirmen nispeten daha yüksek derecede bakım gereklidir. Yüksek basınçlı çift valsli değirmenler çoğu kez bilyeli değirmenlerle birlikte kullanılır.

Çimento öğütülmesinde son zamanlarda kaydedilen bir gelişme ise yatay valsli değirmendir. 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 seperatöre taşınır ve standart ebattan büyük parçalar değirmene geri gönderilir.

İlave edilen minerallerin öğütülmesi

İlave edilen mineraller genelde klinker ve alçı ile birlikte öğütülür. Bunların ayrı olarak öğütülmesi için alınacak karar temel olarak aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır:

- nihai üründe ve bir bütün olarak çimento üretiminde kullanılan mineral katkı maddelerinin yüzdesi
- ayrı bir değirmen sisteminin mevcut olup olmadığı

- klinker ile mineral katkı maddelerinin öğütülebilirliğinde önemli bir farkın bulunup bulunmadığı
- mineral katkı maddelerinin nem içeriği

Mineral katkı maddelerinin önceden kurutulması gerekli görüldüğü takdirde, fırın egzoz gazlarını ve/veya soğutucunun egzoz havasını veya bağımsız bir sıcak gaz kaynağını kullanan kurutma sistemleri kullanılabilir.

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 sözkonusu sistemlerin çoğu, sıcak gaz kaynağı kullanıldığı takdirde besleme karışımının nem içeriğinin azami %2 veya %4 olması gerektiği şeklinde sınırlamalar getirir. 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 gene de sıcak gaz kaynağına ihtiyaç duyan dikey vals sistemidir.

Ayrı öğütme

Hammaddelerin kuru/yarı-kuru olarak öğütülmesi için kullanılan sistemler mineral katkı maddelerinin ayrı olarak öğütülmesi için kullanılabilir. Ancak, katkı karışımlarının nem içerikleri ile ilgili hususlar bu sistemler için de geçerlidir ve ön kurutma gerekli görülebilir.

Tane büyüklüğü dağılımına göre ayırım

Çimento öğütme sisteminden çıkan ürünün partikül boyutu dağılımının çimentonun kalitesi üzerinde çok büyük önemi vardır. Bu parametrelerin özellikleri seperatörü ayarlamak suretiyle elde edilir. En yeni rotorlu kafes türü seperatörlerin daha önceki tasarımlara nazaran çeşitli üstünlükleri vardır, bunlar:

- sistem tarafından daha düşük özgül enerji tüketilmesi (daha az aşırı öğütme)
- sistemin iş yapma yeteneğinin (verimlilik) artması
- ürün soğutma imkanı
- ürün inceliğinde ayarlamalar yapma konusunda daha fazla esneklik
- partikül boyutu dağılımının daha iyi kontrol edilmesi, daha iyi ürün homojenliği

Kromatların-kromun (VI) azaltılması

Çimento doğal hammaddelerden üretilmiş olduğundan, krom içeriği koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir, ancak krom içeriğinin olması kaçınılmazdır. Portland çimentoda bulunan kromun ana kaynakları kireçtaşı, kum ve özellikle kil gibi doğal hammaddelerdir. Yakıtlar (konvansiyonel (fosil) ve atık) ikincil kaynaklar içinde 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 adlandırılan suda çözünebilir şekildedir.

2003 yılında İş Sağlığı Ulusal Enstitüsü tarafından inşaat sanayisindeki işçilerde çimentodaki krom (VI) içeriği ile ilgili alerjik dermatit oluşumu konusunda bir epidemiyolojik değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmede ‘mamul 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 toprakla öğütülmesi

konusunda yapılan bir çalışmada çimentoda bulunan altı değerlikli krom, orijinal klinkerin içinde bulunana nazaran iki mislinden daha fazla artmıştır.’ denilmektedir

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

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

Çimentonun depolanması

Çimentonun depolama silolarına taşınması için hem pnömatik hem de mekanik taşıyıcı sistemler kullanılabilir. Normal olarak mekanik sistemlerin yatırım maliyeti daha büyüktür, pnömatik taşımaya kıyasla işletme maliyeti çok daha düşüktür. Zincirli kovalı elevatör ile kombine edilmiş hava kaydırmalı veya helezon/zincirli taşıyıcılar en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı 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.

Ambalajlama ve sevkiyat

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

Mevcut tüketim ve emisyon seviyeleri

Bu belgede başka türlü belirtilmediğı takdirde, çimento sanayi ile ilgili bu bölümde, baca gazlarının hacimsel debilerinin ve konsantrasyonlarının ölçömlerine ilişkin standart koşulların Terimler Sözlüğünde de belirtilmiş olan aşağıdaki tanımlar (Tablo 22) ile ilgili olduğı gözönünde tutulmalıdır:

Tablo 22. Tanımlar

m ³ /h	hacimsel debi: bu belgede başka türlü belirtilmediği takdirde, hacimsel %10 hacim oksijen ve standart hal anlamına gelir
mg/Nm ³	konsantrasyon: bu belgede başka türlü belirtilmediği takdirde, gaz halindeki maddelerin veya madde karışımlarının konsantrasyonları, %10 hacim oksijen ve standart halde olan kuru baca gazı anlamına gelir
standart hal	273 K sıcaklık, 1013 hPa basınç ve kuru gaz anlamına gelir

Buna ek olarak, ateşleme prosesindeki fiili oksijen seviyesi % 10'dan çok daha düşük örneğin %3 olmasına rağmen, emisyon aralıklarının %10 referans oksijen seviyesi anlamına geldiği gözönünde tutulmalıdır. Emisyon konsantrasyonunu hesaplamak için kullanılan hesaplama formülü aşağıda gösterilmiştir:

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

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesi O_R ile ilgili emisyon konsantrasyonu

O_R (% hacim): referans oksijen seviyesi

E_M (mg/Nm³): ölçülmüş oksijen seviyesi O_M ile ilgili emisyon konsantrasyonu

O_M (% hacim): ölçülmüş oksijen seviyesi

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

Çimento üretimi ile ilgili temel çevresel konular havaya yapılan emisyonlar ve enerji kullanımıdır. Atıksu 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 kirlilik kaynağıdır.

Bir kütle dengesinin amacı, kütlenin korunumu kanununu dikkate almak suretiyle sisteme giren ve çıkan kütle bileşenlerini değerlendirmektir. Tüm kütle dengesi öğelerinin değerlendirilebilmesi için hammadde ve yakıt bileşimleri, gaz akımları, atmosferik veriler ve benzeri proses verileri hakkında önceden bilgi sahibi olmak gereklidir. Bir farin değirmeni, ön ısıtıcı, fırın ve soğutucudan oluşan sisteme sahip bir çimento tesisinde aşağıda belirtilen girdi ve çıktı akışları önemlidir:

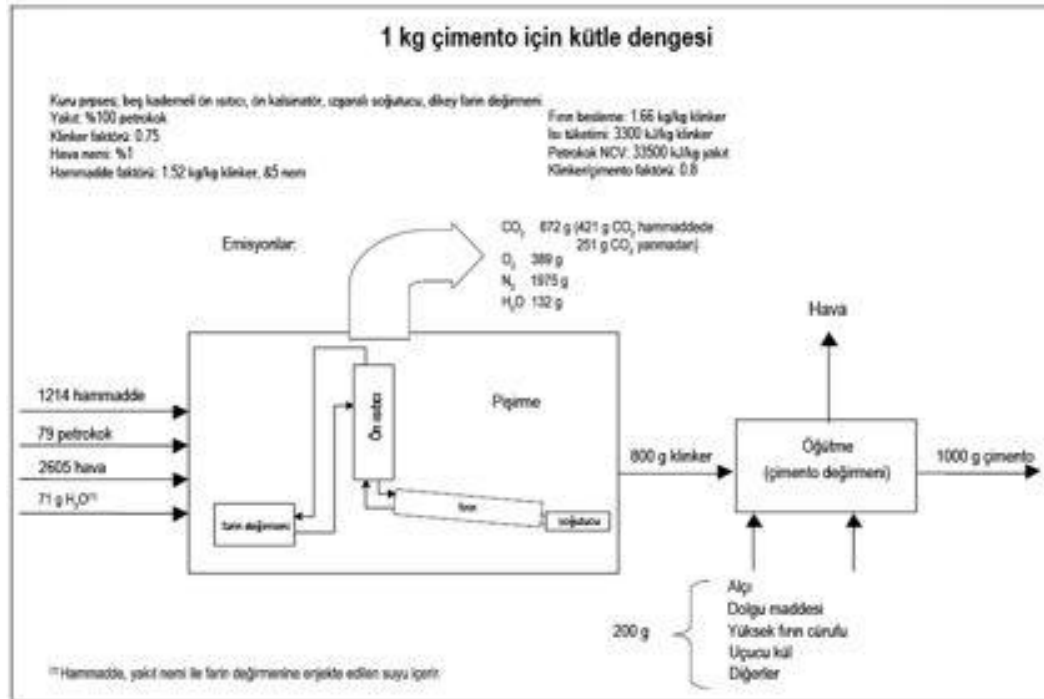
- girdi akışları:
 - hammaddeler (konvansiyonel ve/veya atık)
 - enerji (yakıtlar (fosil ve/veya atık ve/veya biyokütle), elektrik enerjisi)
 - su (yakıt nemi, hammadde nemi, hava nemi ve farin değirmeninde su enjeksiyonu dahil)
 - hava (birincil hava, nakil havası, soğutma havası ve kaçak hava)
 - yardımcı maddeler (mineral katkıları, ambalaj malzemesi)
- çıktı akışları:
 - klinker
 - proses kayıpları/atığı (filtre tozları)
 - havaya yapılan emisyonlar (örneğin. toz, NO, SO_x)

- suya yapılan emisyonlar (nadir durumlarda)

Girdi verileri aşağıda belirtilmiştir:

- kuru proses; beş kademeli ön ısıtıcı, ön kalsinatör, ızgaralı soğutucu, dikey farin değirmeni
- yakıt: % 100 petrokok
- ısı tüketimi: 3300 kJ/kg klinker
- petrokok (net) kalorifik değeri (NCV): 33500 kJ/kg yakıt
- fırın besleme: 1.66 kg/kg klinker; standart fırın besleme 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 dengesi Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 32. Kuru proses kullanmak suretiyle 1 kg çimento üretimi için kütle dengesi

Su tüketimi

Su üretim prosesi esnasında çeşitli aşamalarda 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 çimentonun beher tonunda) olup, genel olarak ton başına 100-600 litre su tüketimi rapor edilmiştir. Ayrıca, özel uygulamalarda su klinkeri soğutmak için kullanılmakta olup yaklaşık 5 m³/saat su tüketimi

rapor edilmiştir. Çoğu durumda, tüketilen su içme suyu değildir [45, Schorcht, 2006], [75, Estonya, 2006], [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [120, İspanya, 2007].

Hammadde tüketimi

Çimento üretimi yüksek hacimli bir prosestir. Tablo 23'te yer alan rakamlar, Avrupa Birliğinde çimento üretimi için kullanılan hammaddelerin genel ortalama tüketimlerini göstermektedir. Son sütunda yer alan rakamlar, günde 3000 ton veya yılda 1 milyon ton klinker üreten bir fabrikaya ait olup, bu miktar, Avrupa çimentosunun içerdiği ortalama klinker miktarı baz alınarak yapılan hesaplama sonucunda yılda 1.23 milyon ton çimento üretimine denk gelmektedir.

Tablo 23. Çimento üretiminde hammadde tüketimi

Malzemeler (kuru bazda)	Beher ton/klinker	Beher ton/çimento	Yıllık Mt/klinker
Kireçtaşı, kil, şist, marn, diğerleri	1.57 t	1.27 t	1568000 t
Alçı, anhidrit	-	0.05 t	61000 t
Mineral katkı maddeleri	-	0.141 t	172000 t

Atıkların hammadde olarak tüketimi

Atıkların klinker pişirme prosesinde hammadde olarak kullanımı, bunların nispeten büyük miktarlardaki hammaddelerin yerini almasını sağlayabilir. Klinker üretiminde hammadde olarak kullanılan atıkların miktarları 2001 yılından bu yana iki misliden fazla artmıştır. 2004 yılında klinker üretiminde kullanılan atık hammaddeler, çimento sektörünün yaklaşık 14 milyon ton konvansiyonel hammaddeyi doğrudan tasarruf etmesini sağlamış olup, bu rakam ihtiyaç duyulan doğal hammaddelerin yaklaşık % 6,5'luk bölümüne eşittir.

Ancak, bu atık hammaddeler klinker pişirme prosesi için gerekli olan özellikleri, kimyasal elementleri ve bileşenleri içermek ve karşılamak zorundadır. Bu atık malzemelerin sürecin emisyon davranışı ve emisyonlar üzerinde etkileri olabilir. 2014 – 2015 yıllarında Türkiye'de çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan ve kimyasal elementleri ile nitelendirilen atıklar Tablo 24'te verilmektedir.

Tablo 24. 2014 – 2015 yıllarında Türkiye’de çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan ve kimyasal elementleri ile nitelendirilen atıklar

İstenen (birincil) kimyasal elementler	Atık kolları örnekleri
Si	Kumlamadan çıkan döküm kumu
Ca	Endüstriyel kireç kireç çamurları Karpit çamuru İçme suyu arıtma çamuru
Fe	Pirit cürufu Sentetik hematit Kırmızı çamur
Al	
Si-Al-Ca-Fe	Uçucu kül cüruflar Konkasör tozları
Toprak	
S grubu	Sanayi yan ürünü alçı
F grubu	CaF ₂ Filtre çamuru
Diğerleri	
Toplam	

Enerji kullanımı

Çimento sanayi, kullanılan prosese bağlı olarak, yüksek enerji tüketen bir sanayidir. Çimento üretiminde kullanılan enerjinin iki ana türü yakıt ve elektrik kullanımıdır. 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].

Termal enerji ihtiyacı

Çimento klinkeri üretimi için teorik termal (yakıt) enerji talebi, klinker pişirme prosesinin (1700-1800 MJ/ton klinker) kimyasal/ mineralojik reaksiyonları için gerekli olan enerji miktarı ve özellikle Tablo 25’te verilen örneklerde belirtildiği gibi hammaddenin nem içeriğine bağlı olarak hammaddenin kurutulması ve ön ısıtılması için gerekli olan termal enerji miktarı ile belirlenir. Modern ön ısıtıcı fırınlarda siklonların sayısı hammaddenin kimyasal bileşimi ile sınırlandırılabilir.

Tablo 25. Hammadde nem oranları

Özellik	Birim	Hammadde nem oranı (% w/w)			
		3	6	9	12
Siklon kademelerinin sayısı	-	6	5	4	3
Kurutma için gerekli entalpi	MJ/t klinker	150	290	440	599

Farin kurutulması için gerekli termal enerji örnekleri

Farklı fırın sistemleri ve fırın boyutları için gerekli olan fiili termal (yakıt) enerji talebi ile özel çimento üretimi için kullanılan yakıt enerjisi Tablo 26’da gösterilen aralıklar içindedir. Uygulamadan elde edilen deneyim, kuru proses kullanan, çok kademeli siklonlu ön ısıtıcıları ve prekalsinasyon fırınları olan tesislerin enerji tüketiminin yaklaşık 3000 MJ/ton klinkerle başladığını ve 3800 MJ/ton klinkerin üzerine çıkabildiğini (yıllık ortalama olarak) göstermektedir. Bu aralıktaki değişiklikler, sistemlerin kapatılması ve yeniden başlatılması ile örneğin değişik hammadde özellikleri gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Hammadde nem oranının siklon ön ısıtıcılı fırınların termal enerji talebi üzerindeki tahmini etkisi Tablo 25’te verilmiştir.

Tablo 26. Proseslerin özgül termal enerji talepleri

Özgül termal enerji talebi (MJ/ton klinker)	Proses
3000 - <4000	Kuru proses, çok kademeli (üç ila altı kademeli) siklonlu ön ısıtıcılar ve ön kalsinasyon fırınları için
3100-4200	Kuru proses, siklon ön ısıtıcılı döner fırınlar için
3300 - 5400	Yarı-kuru/ yarı-yaş prosesler (Lepol fırın) için
5000’e kadar	Kuru proses uzun fırınları için
5000 – 6400	Yaş proses uzun fırınları için
3100-6500 ve üstü	Şaft fırınlar için ve özel çimentoların üretimi için

Çimento üretiminde yakıt enerjisi kullanımı

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

- Tesisin ebadı ve tasarımı
 - üç ila altı siklon kademesi
 - kalsinatör
 - tersiyer hava
 - değirmenin bileşik çalışması
 - fırının uzunluk-çap oranı
 - klinker soğutucusunun türü
- fırının iş yapma kapasitesi
- hammaddelerin ve yakıtların nem içeriği
- pişirilebilirlik gibi hammadde özellikleri
- yakıtların özgül kalorifik değeri
- klinkerin türü
- fırına beslenen malzemelerin ve yakıtların homojenizasyonu ve hassas ölçümü
- alev soğutma dahil olmak üzere proses kontrolünün optimizasyonu

- bypass oranı

Kullanılan yakıt karışımını değiştirirken, yakıtların türüne (konvansiyonel veya atık yakıt), örneğin nem içeriği, reaktivite veya irilik gibi parametrelerine ve kullanılan yakıtların kalorifik değerine bağlı olarak klinkerin ton başına spesifik enerji tüketimi çeşitli nedenlerle değişebilir.

Enerji tüketimi üzerindeki önemli etkilerden birinin nedeni, çoğu zaman fırın sisteminin dışında ve hatta çimento tesisinin dışında kısmen veya tamamen kurutulan kömür veya linyit gibi fosil yakıtların hazırlanmasıdır. Örneğin, linyit % 50'nin üzerinde nem içerecek şekilde çıkartılır ve çimento tesisine gönderilmeden önce kurutulması gerekir. Kurutulmuş yakıtlar daha yüksek nem içeriği olan yakıtlarla değiştirildiğinde klinkerin fırın sisteminde ton başına enerji tüketimi artabilir ancak bu artış, fosil yakıtların kurutulmasıyla nakledilmesinden kaçınmak suretiyle tasarruf edilen enerji tarafından global olarak telafi edilir.

Yakıtın nemi hususunda prosesin verimliliği, yakıtı prosesten elde edilen atık ısıyı kullanarak kurutma veya nem içeriğini yok etmek için daha fazla enerji gerektirecek şekilde fırının içinde etkin bir biçimde kurutma gibi uygulanan kurutma türüne bağlı olarak değişir. Bazı yakıtlar kısmen hammadde olarak kullanılan mineraller içerebilir. Bu mineraller fırın sisteminde kurutulur ve bu durum klinkerin ton başına özgül enerji tüketimini arttırabilir.

Ayrıca, atık yakıtların yüksek ikame oranı ile birlikte örneğin bu atık yakıtların daha düşük kalorifik değerleri, yüksek nem içerikleri, tesisin tasarımı gibi değişik parametreler, Avusturya ve İngiltere'den verilen örnekler gibi daha fazla enerji kullanımına yol açabilir. Tesislerin uygun olduğu ve özellikle bazı atık yakıt türlerinin beraber yakılması için özel olarak tasarlandığı durumlarda bile termal enerji tüketimi 3120- 3400 MJ/t klinker aralığında olabilir. Avusturya çimento tesisleri oldukça nemli plastiğin varlığında önemli ölçüde düşük kalorifik değerle 3400 MJ/t klinkerin elde edildiği 48 saatlik bir deneme testinin sonuçlarını rapor etmişlerdir. Ayrıca İngiltere'de beş kademeli bir ön kalsinasyon fırını için 3473 kJ / kg enerji tüketimi rapor edilmiştir. Ancak, iyileştirmeler için potansiyeller belirtilmiştir [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [92, Avusturya,2006], [163, Castle Cement İngiltere, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [171, A TEC, 2007].

Elektrik enerjisi ihtiyacı

En çok elektrik kullananlar değirmenler (son öğütme ve hammadde öğütme) ve egzoz fanları (fırın/farin değirmeni ve çimento değirmeni) olup, her ikisi birlikte toplam elektrik enerjisinin % 80'den fazlasını tüketirler. Enerji maliyetleri- yakıt ve elektrik şeklinde- ortalama olarak bir ton çimentonun üretilmesi ile ilgili toplam üretim maliyetinin %40'ını temsil eder. Elektrik enerjisi toplam enerji gereksiniminin %20'ye kadar olan bölümünü temsil eder. Elektrik enerji 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 gereksinimi yoluyla ürünlerin özellikleri tarafından belirlenir. Bazı durumlarda, eski hammadde değirmenlerini yenileri ile değiştirmek suretiyle elektrik kullanımı asgariye indirilmiştir. Farklı öğütme teknikleri ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin genel görünümü Tablo 27'de 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 gözönüne alınması gerektiğini de belirtmek gerekir.

Tablo 27. Temel özelliklerine dayalı olarak öğütme tekniklerinin karşılaştırılması

Öğütme prosesi	Enerji Tüketimi	Bakım İhtiyaçları	Kurutma kapasitesi	İnce öğütmeye uygunluk
Bilyalı Değirmen	100%	Az	Ortalama	İyi
Gutbett valsli değirmen	% 65 ila 50	Az ila çok	Düşük ¹	Orta
Dikey valsli değirmen	% 75 ila 70	Ortalama	Yüksek	Orta

¹ Kalsifikatörde kurutma

Atık yakıtların tüketimi

Gerekli enerji ihtiyacını karşılamak için konvansiyonel yakıtlar ile birlikte atık yakıtlar da kullanılmış ve atık yakıtların tüketimi son yıllarda sürekli olarak artmıştır. Avrupa'da 2004 yılında çimento fırınlarında 6.1 milyon ton farklı türde atık, yakıt olarak kullanılmıştır. Bu atıkların yaklaşık bir milyon tonu tehlikeli atıktır. AB-23+ ülkelerinde, geleneksel yakıtların yerine atık yakıtların ikame edilmesi hızlı bir şekilde artarak 1990 yılında yaklaşık %3'ten 2007 yılında yaklaşık % 17'ye ulaşmış olup, bu durum yaklaşık 4 milyon ton kömür tasarrufuna eşittir [74, CEMBUREAU, 2006].

Ancak, bu ikame oranlarını arttırmak için benzer fırsatlara sahip Üye Ülkeler arasında büyük farklılıklar gözlenmektedir. 2007 yılında bireysel tesisler %80'in üzerinde ikame oranlarına ulaşmıştır. Örneğin dört kademeli, iki hatlı ön ısıtıcısı ve planet soğutucusu olan bir döner fırından oluşan bir kuru proses fırın sisteminde enerji tüketiminin % 100'ü atık yakıtlar tarafından karşılanabilir.

Bu atıkların kalorifik değerlerinin 3-40 MJ/kg arasında çok büyük farklılıklar gösterdikleri hatırd tutulmalıdır. Konvansiyonel yakıtların kalorifik değerlerinin (ortalama, net) örneğin tipik kömür için 26 -30 MJ/kg, tipik fuel oil için 40-42 MJ/kg olduğu, katı atıkların kalorifik değerlerinin 8.5 MJ/kg olabileceği ve plastik malzemelerin kalorifik değerlerinin 40 MJ/kg'a ulaşabileceği literatürde belirtilmiştir [143, Williams, 2005]. Yeterli kalorifik değerleri olan atık yakıtlar fosil yakıtların yerini almak suretiyle fosil yakıt tasarrufu sağlar. Ancak, fırınlar atıkları yakmaya uygun olmalı ve koşullar yüksek enerji verimliliğine katkıda bulunabilmek amacıyla optimize edilmelidir. Farklı atık maddelerin tipik kalorifik değerlerinin örnekleri Tablo 28'de gösterilmiştir.

Tablo 28. Yakıt olarak kullanılan değişik tür atıkların kalori değerlerinin örnekleri

Atık yakıt türlerinin örnekleri (tehlikeli ve tehlikesiz)	Kalorifik değer örnekleri (MJ/kg)
Odun	yaklaşık 16
Kağıt, karton	3-16
Tekstil	40'a kadar
Plastik	17-40
İşlenmiş fraksiyonlar (örneğin; RDF)	14-25
Kauçuk/lastikler	yaklaşık 26
Endüstriyel çamur	8-14
Kentsel kanalizasyon çamuru	12-16
Hayvan atıkları, katı yağlar	14-18, 27-32
Kömür/karbon atığı	14-21.5
Zirai atıklar	20-30
Katı atıklar (emprenye edilmiş talaş)	14-28
Solventler ve ilgili atıklar	20 - 36
Sıvı yağlar ve yağlı atıklar	25-36
Bitümlü şist bazlı yakıt karışımları (% 85 - 90 % bitümlü şist)	9.5
Kanalizasyon çamuru (nem içeriği > % 10)	3-8
Kanalizasyon çamuru (nem içeriği <% 10 ila 0)	8-13

Aşağıda İngiltere ve Avusturya'dan verilen örneklerde gösterildiği gibi, yıllık ortalama özgül termal enerji ihtiyacının farklı parametrelere bağlı olarak artabileceği hatırd tutulmalıdır.

İngiltere'deki örnek tesislerde kullanılan ve örneğin kentsel, ticari ve/veya endüstriyel atıklardan elde edilen atık yakıtların kalorifik değeri (net) 15 ila 23 MJ/kg arasında değişmektedir. Ancak bir tesiste kullanılan toplam yakıt için 30000 ton kömüre eşit olan %25 termal ikame oranı rapor edilmiştir. Atık yakıtlar daha düşük kalorifik değere sahip olduklarından gerekli olan atık yakıt miktarı 44.118 tondur. [153, Castle Cement İngiltere, 2007], [154, CEMEX İngiltere, 2006]. Başka bir örnek 100.000 ton kömürün yerine 125.000 ton atık yakıt kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu %20 oranında daha fazla atık yakıt kullanılması anlamına gelir [81, Castle Cement İngiltere, 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 2000 yılında önce 3554 MJ/ton klinker'den 3481 MJ/ton klinker'e düşmüştür. Ancak, 2000-2004 yılları arasında yakıt karışımı önemli oranda değişmiş ve 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 atık yakıtların (%2.4'ten %10.2'ye) kullanımında önemli bir artış olmuştur [92, Avusturya, 2006].

Ayrıca, artırılmış olan değişik türdeki atıklar için hesaplanan kalorifik değerlerin örnekleri ve atıktan elde edilen kalorifik değerlerin hesaplanma örnekleri 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 önemlidir. Bu durum toplumsal evrimi (kanalizasyon çamurunda, hayvan atıklarında ve işlenmiş kentsel atıklardaki artış ve toplumun atık sınıflandırması üzerinde yoğunlaşmasındaki artışı yansıtmaktadır. Bazı ülkelerde belirli zamanlarda %100 daha fazla olan ortalama %17'lik bir termal ikame oranı ile klinker pişirme prosesinde atıkların yakıt ve hammadde olarak kullanımının yaygın bir uygulama olduğu düşünülmektedir. 6 milyon tonun yaklaşık %10'u biyokütledir.

Türkiye çimento fırınlarında pişirme için yakıt olarak kullanılan değişik tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların tüketimleri Tablo 29'da gösterilmiştir Türkiye çimento fırınlarında atık yakıtların toplam tüketimi 2014 yılında 2015 yılına nazaran artmıştır [74 CEMBUREAU 2006].

Tablo 29. 2014 -2015 yıllarında Türkiye de çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılan değişik türde atıkların tüketimi

Atık yakıtların türleri					
Grup No.1)	Atık türü	Miktarlar- 1000 ton			
		2014		2015	
		Tehlikeli	Tehlikeli Olmayan	Tehlikeli	Tehlikeli Olmayan
1	Odun, kağıt, karton	0.000			
2	Tekstil	0.000		0.000	
3	Plastik	0.000		0.000	
4	RDF				
5	Kauçuk/lastikler	0.000	0.000		
6	Endüstriyel çamur				
7	Kentsel kanalizasyon çamuru	0.000		0.000	
8	Hayvan atıkları, katı yağlar	0.000		0.000	
9	Kömür/karbon atığı				
10	Zirai atıklar	0.000		0.000	
11	Katı atıklar (emprenye edilmiş talaş)				
12	Solventler ve ilgili atıklar				
13	Sıvı yağlar ve yağlı atıklar				
14	Diğerleri		199.705	0.000	
Toplam					
1) Her grup çeşitli EWC listesini kapsamaktadır.					

Havaya yapılan emisyonlar

Çimento üretimi esnasında hava ve gürültü emisyonları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca atıkların kullanımı ile ilgili olarak örneğin atıkların depolanması ve taşınması nedeniyle kokular ortaya çıkabilir. Bu bölümde, örneğin hammaddelerin, katkı maddelerinin ve atık yakıtlar dahil olmak üzere yakıtların depolanması ve taşınması gibi diğer proses adımları da dahil

olmak üzere çimento üretim prosesinde hava kirletici emisyonların değer aralıkları sunulmuştur.

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

- azot oksitleri (NO_x) ve diğer azot bileşikleri
- kükürt dioksit (SO₂) ve diğer kükürt bileşikleri
- toz
- toplam organik bileşikler (TOC) uçucu organik bileşikler (VOC) dahil
- poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar (PCDD'ler ve PCDF'ler)
- metaller ve bileşikleri
- hidrojen florür (HF)
- hidrojen klorür (HCl)
- karbon monoksit (CO).

Listede adı geçmeyen karbon dioksit'in (CO₂) çimento üretimi ile ilgisi olduğu kabul edilmektedir. CO₂ emisyonları ve emisyon ticareti planı ile ilgili genel bilgi Topluluk içinde sera gazı emisyonu ticaretine izin veren bir plan oluşturan ve 96/61/EC sayılı Konsey Yönergesi'ni tadil eden Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in 13 Ekim 2003 tarih ve 2003/87/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifinde bulunabilir [99, Avrupa Birliği, 2003]. Ayrıca, özellikle NO_x azaltımı için örneğin SNCR gibi ikincil önlemler/teknikler kullanıldığında NH₃ emisyonlarının da ilgili olduğu kabul edilebilir.

Çimento üretimindeki en önemli emisyonlar fırın sisteminden havaya yapılan emisyonlardır. Bunlar hammaddeler ve yakıtların yanması ile ilgili fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkar. Bir çimento fırınından çıkan gazlarının ana bileşenleri yanma havasından kaynaklanan azot, CaCO₃ 'ün kalsinasyonu ve yakıtın yanmasından kaynaklanan CO₂, yanma prosesinden ve ham maddelerden kaynaklanan su buharı ile oksijen fazlasıdır.

Tüm fırın sistemlerinde katı maddeler sıcak yanma gazlarına doğru ters akıntı şeklinde hareket eder. Bu ters akıntı, bünye içinde sirküle eden bir akışkan gömme yatak görevi yaptığı için kirleticilerin emisyonlarını etkiler. Yakıtın yanması veya hammaddenin klinkere dönüştürülmesi sonucu oluşan birçok bileşen, ters akıntı şeklinde hareket eden hammadde tarafından absorbeveya üzerine yoğunlaşana kadar sadece gaz halinde kalır.

Malzemenin absorplama kapasitesi fiziko-kimyasal durumuna göre değişir. Bu durum malzemenin fırın sistemindeki konumuna bağlıdır. Örneğin, fırın prosesinin kalsinasyon aşamasından çıkan malzeme yüksek oranda kalsiyum oksit içerir ve bu nedenle HCl, HF ve SO₂ gibi asit türlerini absorp etme kapasitesi yüksektir.

Faal olan fırınların emisyon verileri Tablo 30'da verilmiştir. Fırınların içinde çalıştıkları emisyon aralıkları ağırlıklı olarak ham maddelerin özelliklerine, yakıtlara, tesisin yaşına, tasarımına ve ayrıca izin makamı tarafından belirlenen gereksinimlere bağlıdır. Örneğin, ateşleme/kalsinasyon sırasında yabancı maddelerin konsantrasyonu ve kireçtaşının davranışı emisyonları etkileyebilir, örneğin, hammaddenin içerdiği kükürt miktarındaki değişikliğin egzoz gazı kükürt emisyonları aralığı üzerinde önemli bir rolü ve etkisi vardır.

Tablo 30. Türkiye çimento fırınlarındaki emisyon aralıkları verileri

Türkiye çimento fırınlarından rapor edilen emisyonlar ¹⁾			
Kirletici	mg/Nm ³	kg/ton klinker	ton/yıl
NO _x (NO ₂ şeklinde)	145-2040	0.33-4.67	334-4670
SO ₂	4837'ye kadar ²⁾	11.12'ye kadar	11125'e kadar
Toz	0.27-227 ³⁾	0.00062-0.5221	0.62 - 522
CO	200 - 2000 ⁴⁾	0.46-4.6	460-11500
CO ₂	-	yaklaşık 672 g/çimento	1.5456 milyon
TOC/VOC	1-60»	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 TEQ/Nm ³	1-0.0276 - 627 ng/t	0.0000276-0.627 g/yıl
Metaller ⁷⁾			
Hg	0 - 0.03 ⁶⁾	0-69 mg/t	0-1311 kg/yıl
Σ (Cd, Tl)	0-0.68	0- 1564 mg/t	0- 1564 kg/yıl
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0-4.0	0 - 9200 mg/t	0 - 9200 kg/yıl

Her türlü fırın için m³/ton klinker şeklinde ifade edilen tipik fırın egzoz gazı hacimleri (kuru gaz, 101.3 kPa, 273 K) 1700 ila 2500 arasındadır [8, CEMBUREAU, 2001]. Süspansiyonlu ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırın sistemlerinin egzoz gazı hacimleri normal olarak yaklaşık 2000 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 dışarıda depolanmasından ve çimento ürününün yüklenmesi de dahil olmak üzere herhangi bir malzeme nakil sisteminden kaynaklanan yayılmış toz emisyonları potansiyeli vardır. Bu yönler iyi tasarlanmadığı veya korunmadığı takdirde emisyonların büyüklüğü önemli olabilir ve düşük seviyede salınımlar yerel seviyede rahatsız edici sorunlara yol açabilir.

Toz (partikül madde)

Yönlendirilmiş toz emisyonları

Geleneksel olarak toz emisyonları (PM) ve özellikle fırın bacalarından yapılan toz emisyonları çimento imalatı ile ilgili en önemli çevresel konulardan biri olmuştur. Toz emisyonlarının ana kaynakları ham malzeme hazırlama prosesi (farin değirmenleri), öğütme ve kurutma birimleri, klinker pişirme prosesi (fırınlar 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 elevatörleri
- hammadde ve çimento depolama
- hammadde, çimento ve kömür öğütme değirmenleri
- yakıtların (petrokok, taş kömürü, linyit) depolanması, ve
- çimento sevkiyatı (yükleme).

Tüm bu prosesler esnasında tozlu malzemelerden büyük miktarlarda gaz akışı olur. Kırma, öğütme ve sevkiyat gibi durumlarda, ekipmanlar üzerinde hafif emme uygulanır ve bu kaynaklar normal olarak torbalı filtrelerle donatılır. Modern elektrostatik çökelticilerin ve torbalı 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 31'de gösterilmiştir.

253 adet döner fırında sürekli olarak ölçülen toplam toz emisyonları ve 180 adet döner fırından elde edilen spot toz ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin tamamı AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde bulunan değişik tesislerden alınmıştır. Bu şekilde termal ikame değişik renkler kullanılmak suretiyle işaretlenmiştir. Toz emisyonlarının çoğu 0.27 ila 30 mg/Nm³'ten az aralığındadır. Devamlı olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. [97, CEMBUREAU, 2007]. Ölçülen değerler, standart koşullar altında 1 m³ kuru gaza ilişkindir.

Ayrıca, ESP (Elektrostatik Çökelticiler) 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, 2000].

ESP'lerin (Elektrostatik Çökelticilerin) ve torbalı filtrelerin bazı türlerinin örnekleri Tablo 31'de gösterilmiştir. Belirtilen değerler tipik aralıkları temsil etmekte ve parantez içindeki değerler bazı bireysel durumlarda rapor edilmiş olan aşırı değerleri belirtmektedir. Ayrıca genel bakış içinde duruma göre filtre tozu ve toz emme tahminleri verilmiştir. Bileşik ve direkt operasyonlar değirmen operasyonları ile ilgilidir (değirmen devrede, değirmen devre dışı).

Tablo 31. Toz emme, operasyonel veriler ve enerji talebi için kullanılan sistem türleri

Toz azaltımı için sistem türleri ve operasyonel veriler			
Parametre	Birim	ESP'ler	Torbalı filtreler
Yapım yılı		1962-2004	1999-2005
Basınç kaybı	hPa	1-8	(2)" 10-12
Sıcaklık	°C	90-190	90-160 ²⁾
Elektrik enerjisi ihtiyacı	kWh/t klinker	1-4	0.1 -0.2
Fan gücü ihtiyacı	kWh/t klinker	0.15-1.2	1.5-1.8
Toplam enerji ihtiyacı	kWh/t klinker	1.15-5.2	1.6-2.0
Filtre tozu ve toz emme miktarları			
Parametre	Birim	Bileşik Operasyon	Direkt operasyon
Filtre tozu miktarı	kg/t klinker	54 - 144 (1718) ¹⁾	(10-70) ¹⁾ 80-200
Toz emme	kg/t klinker	0-35	0-66 (165) ¹⁾
1) Bazı bireysel durumlarda rapor edilmiş olan aşırı değerleri göstermektedir.			
2) PTFE membran ile cam elyafları kullanmak suretiyle 240 °C rapor edilmiştir			

Bazı durumlarda, baca gazlarındaki CO seviyesinin yükselmesi halinde ESP'lerin güvenlik nedeniyle kapatılması gerekir (ani CO yükselmeleri). Herhangi bir işletim sorununu önlemek için egzoz gazı içindeki yükselmiş olan CO konsantrasyonları ve bunun sonucunda oluşan

patlayıcı karışımlar güvenli bir şekilde bertaraf edilmelidir. Baca gazları otomatik bir CO izleme cihazı vasıtasıyla devamlı olarak izlenmelidir. Fırın ateşleme prosesinin farklı aşamalarında ve fırın sisteminin devreden çıkartılması ve devreye alınması sırasında değişik değer aralıklarında ve değişik zamanlarda ani CO yükselmesi örnekleri rapor edilmiştir. İrlanda’da 2006 yılında ayda bir kez ila altı kez arasında tekrarlanan sıklıktaki bazı ani CO yükselmesi durumlarında 60 ila 130 mg/Nm³ arasında (yarım saatlik ortalama değerler) toz emisyonları rapor edilmiştir. Bunlar arasında, 1-13 dakika arasında süren ani CO yükselmesi sırasında toplam süresi 184 dakikaya varan ESP ani CO yükselme durmaları rapor edilmiştir [159, İrlanda, 2006] bildirilmiştir. Ancak, ani CO yükselmelerinin sıklığı örneğin Alman çimento tesislerinde asgariye indirilmiş ve Tablo 32’de gösterildiği gibi toplam süresi yıllık 1 ila 29 dakika aralığında olan ve toplam fırın çalışma süresinin sırasıyla % 0.001 - 0.009’unu oluşturan örnekler rapor edilmiştir.

Tablo 32. Bir Alman çimento fabrikasında ani CO yükselmesi sıklıklarının örnekleri

Yıl	Toplam süre	
	(dakika)	(toplam fırın çalışma süresinin %’si)
2000	12	0.003
2001	29	0.009
2002	1	<0.001
2003	6	0.001
2004	5	0.001

1.3.4.1.2 İnce toz emisyonları PM₁₀ ve PM_{2.5}

PM₁₀ ve PM_{2.5} toz emisyonları, tane 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 toz, nitrojen oksit ve sülfür gibi farklı prekürsör gazlar ile sülfat oluşturmak üzere reaksiyona giren amonyak, nitrat ve amonyum partikül madde içeren fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelebilir ve insan sağlığı sorunlarına neden olabilir. Çimento sanayinde, PM₁₀ ve/veya PM_{2.5}, pişirme ve soğutma prosesi sonucunda oluşabilir ancak, yan prosesler de ince toz oluşumuna yol açabilir.

Son birkaç yıl içinde bu çok ince toz 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 inceleme, toplam toz emisyonlarının büyük bir bölümünün atık gaz içindeki toplam toz konsantrasyonundan bağımsız olarak ince toz halinde salındığını göstermektedir. Elektrostatik çökticileri uygulamak suretiyle toz fraksiyonunun yaklaşık %90’ının 10 µm’den (PM₁₀) ve yaklaşık %50’sinin 2.5 µm’den (PM_{2.5}) daha az olduğu çimento sanayindeki örneklerden görülmektedir. Toplam toz emisyonları filtre örnekleme ölçümleri (düz filtre cihazı) ile ölçülmüştür. Tozu baca gazı akımından izokinetik şartlarda çekmek ve boyutları ayırtılmış partikül fraksiyonlarına ayırmak için kademeli ayırıştırıcılar kullanılmıştır. Bu nedenle ince tozun büyük bir kısmı toplam toz yükünü azaltılmak suretiyle azaltılabilir. Yüksek verimli tozsuzlaştırma sistemi ile donatılmış tesisler ince toz yükünün giderilmesine nispeten daha az katkıda bulunurlar [113, İrlanda, 2007], [117, Almanya, 2000]. Alman çimento fırınlarında toplam toz içinde ince toz dağılımı ile ilgili inceleme Tablo 33’de verilmektedir.

Tablo 33. Alman çimento fırınlarında toplam toz içinde ince toz dağılımı ile ilgili inceleme

Emisyon kaynağı		Toplam toz konsantrasyonu ¹⁾ (mg/Nm ³)	İnce toz fraksiyonu (%)			İnce toz konsantrasyonu (mg/Nm ³)		
			<2.5	<10	>10	<2.5	<10	>10
			<i>µm</i>					
Fırın (ESP) ²⁾	ESP'den sonra fırın baca gazı	15.4	51	87	13	7.9	13.4	2.9
Klinker Soğutucu (ESP)	ESP'den sonra klinker soğutucu baca gazı	14.0	68	99	1	9.5	13.9	≤ 0.1
Siklon ön ısıtıcı (ESP), direkt mod ³⁾	ESP'den sonra fırın baca gazı	2.3	84	97	3	1.9	2.2	≤ 0.1
Siklon ön ısıtıcı (ESP), bileşik mod ⁴⁾	ESP'den sonra 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 ayırıştırıcılar ile ayırıştırılmıştır.
2) Lepol fırın, şu anda kapatılmıştır.
3) Değirmen devre dışı
4) Değirmen devrede

Bölgesel Hava Kirliliği Bilgi ve Simülasyon Modeli (RAINS) yerel ve bölgesel hava kirliliğinin kontrolü ile küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması arasındaki sinerjiyi ve dengeleri keşfetmek için genişletilmiştir. Bu yeni Sera Gazı ve Hava Kirliliği Etkileşimleri ve Sinerjileri modeli (GAINS) tüm ölçekler arasında yararları azami seviyeye çıkartan kirlilik kontrol stratejilerinin aranmasına yardımcı olur.

RAINS modeli, Tablo 34'te gösterildiği gibi PM₁₀ ve PM_{2.5} 'in ham gazın (arıtılmadan önce) içindeki toplam partikül maddenin (78 g/Nm³) %60'ını temsil ettiğini göstermektedir. Toz azaltma teknikleri ile azaltma verimlilikleri örnekleri Tablo 35'te gösterilmiştir.

Tablo 34. RAINS modeli uyarınca tozdaki ham gaz konsantrasyonlarının örnekleri

Parametre	Ham gaz konsantrasyonu
Toplam partikül madde (TPM)	130 g/Nm ³
PM ₁₀	TPM'nin %42'si
PM _{2.5}	TPM'nin % 18'i

Tablo 35. Toz azaltma teknikleri ile RAINS modeli uyarınca azaltma verimlilikleri örnekleri [172, Fransa, 2007]

Teknik	Azaltma verimliliği (%)		
	Toplam partikül madde	PM ₁₀	PM _{2.5}
Siklon	74.4	52.86	30
ESP 1	95.8	94.14	93
ESP 2	98.982	97.71	96
ESP 3	99.767	99.51	99
Torbalı filtre	99.784	99.51	99
Sulu yıkayıcı	98.982	97.71	96

Yayılmış toz emisyonları

Yayılmış toz emisyonları malzemelerin ve katı yakıtların depolanması ve taşınması sırasında ortaya çıkabilir ve örneğin açık depolamadan, hammadde konveyörlerinden ve aynı zamanda karayolu taşımacılığı nedeniyle yol yüzeylerinden kaynaklanabilir. Klinkerin/çimentonun ambalajlanması ve sevkiyatı nedeniyle oluşan toz da önemli olabilir. Yayılma emisyonlarının etkisi ile toz düzeylerinde yerel bir artış meydana gelebilir, ancak, proses sırasında oluşan toz emisyonlarının (genellikle yüksek bacalardan) daha büyük bir alanda hava kalitesi üzerinde etkisi olabilir.

Tozlu malzemelerden toz emisyon salınımı olasılığı olması halinde konveyör ve elevatörler kapalı sistemler olarak inşa edilir. Kamyonlar tarafından kullanılan yollar yaygın toz emisyonlarını önlemek için periyodik olarak asfaltlanır ve temizlenir. Ayrıca bu emisyonları önlemek için tesis alanında su püskürtme uygulanır. Mümkün olan yerlerde kapalı depolama sistemleri kullanılır. [76, Almanya, 2006].

Azot oksitler

Klinker pişirme prosesi azot oksitlerin (NO_x) oluşumuna neden yüksek sıcaklıkta bir prosestir. 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 üretimine neden olan iki ana kaynak 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:

- Atık yakıtlar su içerdiği veya daha fazla oksijen gerektirdiği takdirde (düşürülmüş olan alev sıcaklığı üzerinde etki), birincil ateşleme sırasında oluşan NO_x düşük olabilir. Etkisi alev soğutma ile kıyaslanabilir.
- Kaba taneli yakıt bir azaltma bölgesi oluşturduğu takdirde ikincil ateşleme/ön kalsinatör ateşlemesi sırasında oluşan NO_x düşük olabilir [97, CEMBUREAU, 2007].

Ayrıca, fırın sıcaklığının $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'den az olduğu yetersiz bir sıcaklık bölgesine NO_x azaltımı için NH_3 enjekte edildiği takdirde NH_3 'ün oksitlenmesi yoluyla da NO_x oluşabilir. Termal NO_x $1050\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Klinker kalitesi nedeniyle, yanma süreci, yanma havası içindeki moleküler azotun kısmi oksidasyonu sonucunda azot monoksitin olduğu oksitleyici koşullarda gerçekleşir. Termal NO_x , ağırlıklı olarak bu reaksiyonu elde etmek için yeterince sıcak olan fırının pişirme bölgesinde üretilir. Pişirme bölgesinde üretilen termal NO_x miktarı hem pişirme bölgesinin sıcaklığına hem de oksijen içeriğine bağlıdır (hava fazlalığı faktörü). Termal NO_x için reaksiyon hızı sıcaklıkla birlikte artar ve

bu nedenle, daha sıcak pişirme bölgesi gerektiren pişirilmesi zor olan 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 (fazla hava faktörü). Aynı fırını arka uçta daha fazla oksijen içerecek şekilde çalıştırmak (fazla hava faktörü), pişirme bölgesinde daha fazla termal NO_x oluşumuna yol açacaktır (ancak SO₂ ve/veya CO emisyonları azalabilir).

NO ve NO₂, çimento fırını egzoz gazlarının içindeki hakim azot oksitlerdir. Yakıt içindeki azot bileşiklerinden kaynaklı yakıt NO_x daha düşük öneme sahiptir. Çimento döner fırın sistemlerinde ana ateşleme alanında yakıt NO (azot monoksit) oluşumu önemsizdir. Bir çimento fırınından kaynaklanan NO_x emisyonları normal olarak yakıt kullanımı yerine hava kaynaklı azot ile ilişkilidir. Döner fırınlarda egzoz 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 NO_x, ikincil bir ateşleme ünitesinde hakim olan daha düşük sıcaklıklardaki yakıtın içinde mevcut olan azotun yanması sonucunda oluşur. Yakıtın içindeki azot, N₂ gazını oluşturmak üzere diğer azot atomları ile birleşir veya yakıt NO_x oluşturmak için oksijenle reaksiyona girer. Bir ön kalsinatörde hakim olan sıcaklık 850-950 °C aralığında olup, önemli ölçüde termal NO_x oluşturmak için yeterli derecede yüksek değildir, ancak yakıt NO_x oluşur. Benzer şekilde, bir süspansiyonlu ön ısıtma fırınının fırın çıkış borusu veya ön ısıtıcı ızgarasının kalsinasyon odası gibi fırın sisteminin arka ucunda ikincil yakıt ateşlemenin diğer türleri yakıt NO_x oluşumuna yol açabilir. Bu nedenle yakıtın % 60'ına kadar olan bölümünün kalsinatörde yakılabileceği ön kalsinatör fırınlarında yakıt 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. Sıcaklık ve oksijen içeriğinin yanı sıra (hava fazlalık faktörü), NO_x oluşumu, alevin şekli ve sıcaklığı, yanma odası geometrisi, yakıtın reaktivitesi ve azot içeriği, nemin varlığı, mevcut olan reaksiyon zamanı 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 edilen) yayarlar. Sürekli olarak ölçülen emisyonlar 24 saatlik ortalamaların yıllık ortalaması olarak rapor edilmiştir. Ölçülen değerler standart koşullar altında bir m³ kuru gazla ilişkin değerlerdir [94, Avrupa Birliği, 2004], [97, CEMBUREAU, 2007].

Avusturya'da yıllık ortalama NO_x emisyonları 2004 yılında 645 mg/Nm³ (standart koşullarda sürekli ölçüme dayalı yıllık ortalama) olmuş ve bu değerler yıllık ortalama değer olarak ölçülen 313-

795 mg NO_x/Nm³ arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük aralık değerleri farklı tesislerde ölçülmüştür.

Avusturya'da bulunan tüm fırınlarda birincil önlemler/teknikler kullanılmakta olup, üç fırında alev soğutma, iki fırında kademeli yanma vardır ve ikisi pilot aşamasında olan beş fırın

SNCR tekniği ile donatılmıştır. 2007 yılında Avusturya'da bulunan tüm çimento fırınları SNCR ile donatılmıştır [92, Avusturya, 2006].

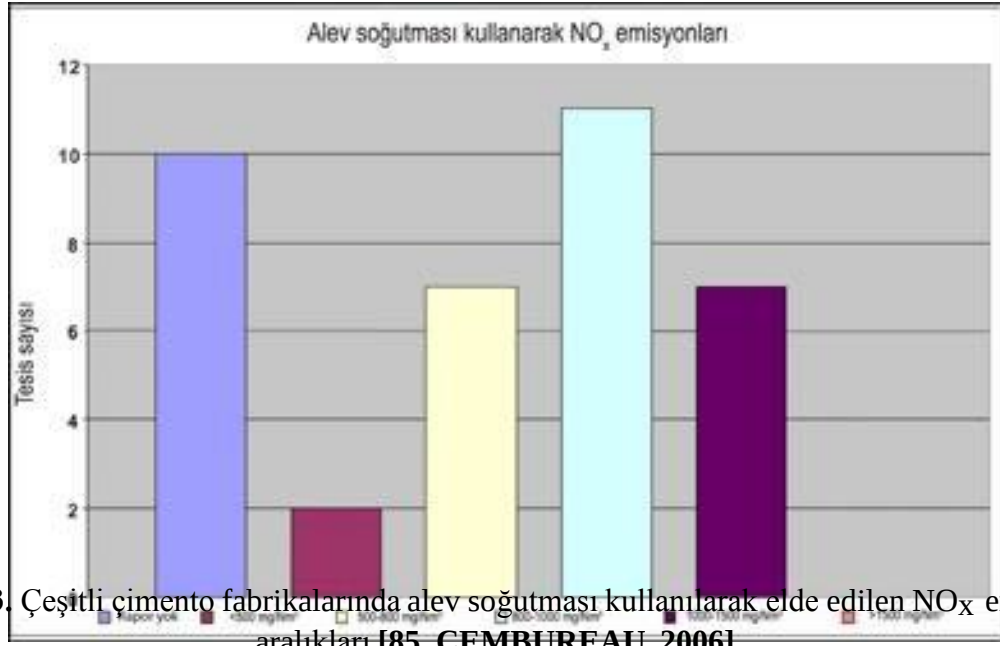
2006 yılında Almanya'da sekiz fırın kademeli yanma tekniği ile işletilirken, 34 fırında NO_x için SNCR tekniği kullanılmıştır. 43 döner fırında yapılan arıtılmış gaz ölçümünde ortalama yıllık 200-800 mg/Nm³ NO_x emisyonu konsantrasyonu aralığı ölçülmüştür. Ulusal mevzuatı gereğince 2007 yılından itibaren Alman çimento fırınlarında NO_x emisyonunun en az 500 mg/Nm³ sınırında tutulması gerekir. Almanya'da faaliyette bulunan SNCR tesislerinin çoğu %10–50 NO_x azaltım oranları ve 500 mg/Nm³ 'ün altında NO_x emisyon seviyeleri olacak şekilde tasarlanmış ve/veya çalıştırılmıştır. Prosese entegre edilmiş olan ölçümler/teknikler ile birlikte, izin belgesinde belirtilen bireysel emisyon limit değerine bağlı olarak, 200-500 mg/Nm³ arasında günlük ortalama emisyon değeri elde edilmiştir [76, Almanya 2006], [168, TWG CLM, 2007], [173, Almanya, 2007].

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

Finlandiya çimento fabrikalarında yıllık ortalama değer olarak ölçülen NO_x emisyonları 500 ila 1200 mg/Nm³ arasında değişmektedir [63, Finlandiya, 2006]. Çek Cumhuriyeti'nde, 400-800 mg/Nm³ arasında NO_x emisyonları ölçülmüştür [112, Çek Cumhuriyeti, 2006]. Fransa'da 2001 yılında 33 çimento fabrikasında ölçülen NO_x emisyonlarının ortalama değeri 666 mg/Nm³ olmuştur [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, TWG CLM, 2008].

Beyaz çimento üretimi ile ilgili olarak bazı hammaddeler pişirme işlemi sırasında klinker haline dönüşmekte zorlanmakta olup, kristalografi veya mineralojilerine bağlı olarak bunlar için daha yüksek alev sıcaklıkları gerekmektedir. Beyaz klinkerle ilgili özel bir durum ise, eriyebilen metallerin yokluğu, klinker sıcaklıklarının gri klinker için gerekli 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].

NO_x azaltımı için alev soğutma kullanılır. Azaltım oranları/verimlilikleri %10-35 olarak rapor edilmiştir. Alev soğutma kullanılarak elde edildiği bildirilen emisyon aralıkları Şekil 33'te gösterilmiştir. 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).



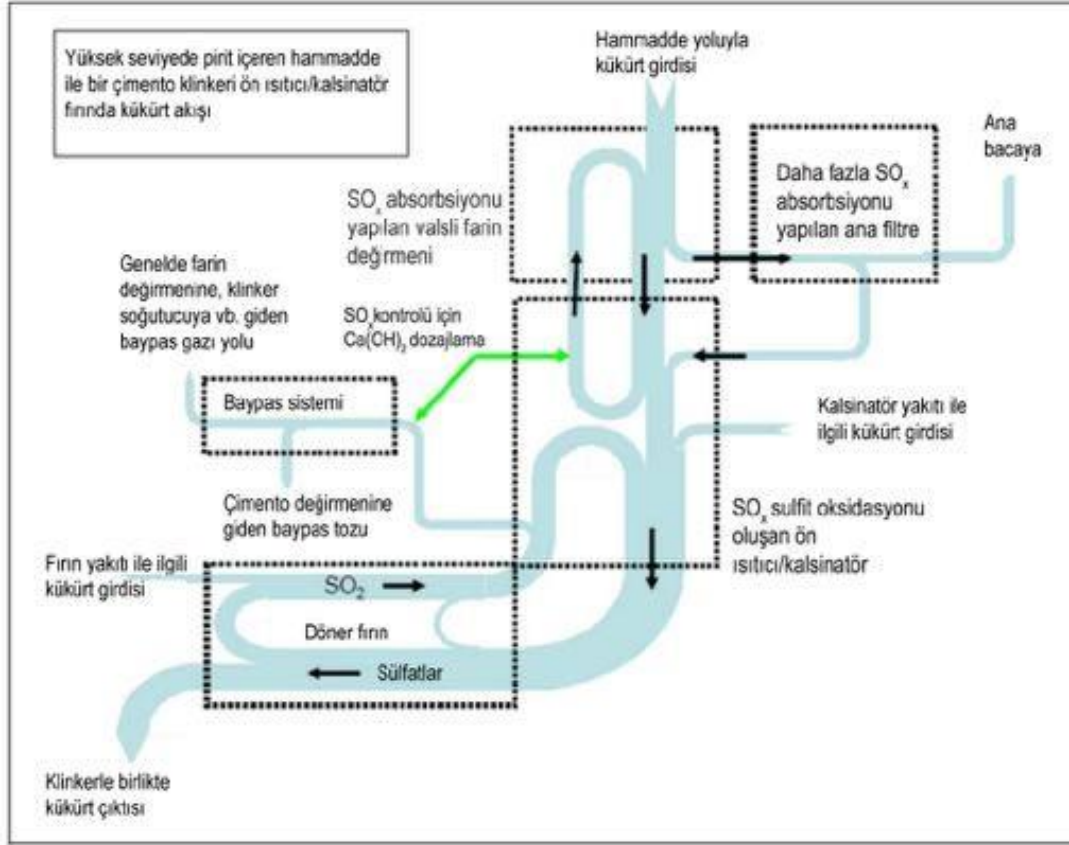
Şekil 33. Çeşitli çimento fabrikalarında alev soğutması kullanılarak elde edilen NO_x emisyon aralıkları [85, CEMBUREAU, 2006]

Kükürt dioksit

Çimento tesislerinden kaynaklanan SO₂ 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 sistemde gerçekleşen kükürt dolaşımına bağlıdır. Kükürt, egzoz gazları içindeki SO₂, klinkerin içindeki CaSO₄ ve diğer kombine bileşikler ve toz gibi fırın sistemin farklı çıktılarından salınır. Ancak, kükürtün büyük bir bölümü klinkerin bünyesi içine yerleşir veya proses tarafından sistemin dışına atılır.

Kendi yataklarına bağlı olarak, hammaddeler sülfat veya sülfid şeklinde bağlı kükürt içerebilir. Sülfatlar döner fırın sistemlerinin sinterleme bölgesinde mevcut olan ve lokalize edilmiş indirgen koşullar ve yakıt ve atıkların yanması ile arttırılabilecek olan 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 çıkartılır. Buna karşın sülfidler ön ısıtıcıda okside olurlar ve kısmen kükürt dioksit şeklinde salınırlar.

Yakıt ile fırın sistemine girmiş olan kükürt okside olarak SO₂ halini alır ve sinterleme bölgesinin, kalsinasyon bölgesinin ve ön ısıtıcının alt kademesinin güçlü alkali doğası gereği önemli SO₂ emisyonlarına neden olmaz. Bu kükürt, sinterleme bölgesinde kısmi sülfat ayrışmasından kaynaklanan minör SO₂ konsantrasyonları birlikte fırın sisteminin kalsinasyon bölgesine girer. Kalsinasyon bölgesinde SO₂ diğerlerinin yanısıra (inter alia) hammaddelerden kaynaklanan alkaliler ve alkali sülfatlar ile reaksiyona girer. Kısmen karbondan arındırılmış farin ile temas ettiğinde, fazla SO₂ önce CaSO₃ ve sonra CaSO₄'e dönüşür. Bu sülfatlar tekrar döner fırına girerler. Bu şekilde, klinker vasıtasıyla dışarı atılan kükürt ile dengede olan kükürt döngüleri oluşturulur (Şekil 34).



Şekil 34. Ön ısıtıcı/ön kalsinatörlü bir çimento fırınında kükürt akış diyagramı

Bir döner fırının kalsinasyon alanı fırın egzoz gazları içinden SO_2 'yi tutmak için ideal koşullar sağlar. Ancak, SO_2 emisyonları fırın sisteminin çalışma koşullarının, örneğin döner fırındaki oksijen konsantrasyonunun, SO_2 tutma için optimize edilmemiş olduğu zamanlarda oluşabilir. Ayrıca, sıcaklık, nem içeriği, gazın alıkoyma süresi, gaz fazında oksitlerin konsantrasyonu, katı yüzey alanının varlığı, vb. gibi çeşitli faktörler reaksiyonun verimliliğini etkileyebilir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Organik sülfür içeren hammaddeler kullanıldığında ve özellikle hammadde kaynaklı kükürt, hemen oksitlenebilir türde olduğunda (ör. pirit ya da markasit olarak) yüksek SO_2 emisyonları beklenebilir. Sülfatik hammadde bileşenlerin aksine bu hemen oksitlenebilir bileşenler, üst siklon aşamaları gibi erken safhalarda SO_2 'ye dönüşebilirler.

Bu koşullar altında, ikincil emisyon kontrol önlemleri/teknikleri kullanılmadığı sürece hammadde kaynaklı SO_2 emisyonu konsantrasyonları, $1,2 \text{ g/Nm}^3$ gibi yüksek olabilir ve bazı durumlarda daha da yükselebilir.

Ancak, çok az uçucu kükürt içeren veya hiç içermeyen hammaddeleri kullanan fırınların SO_2 emisyonları açısından çok az sorunları vardır ve baca gazındaki emisyon konsantrasyonları bazı fırınlarda azalma olmaksızın 10 mg/Nm^3 'ün altındadır ve kullanılan hammaddedeki uçucu sülfür seviyesinin artması ile birlikte SO_2 emisyon konsantrasyonları da yükselir.

Örneğin sönmüş kireç kullanımı gibi ikincil kontrol önlemlerini / tekniklerini kullanmak suretiyle SO₂ emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir.

İndirgen koşullar altında bir miktar SO₃ üretilmesine ve H₂S'nin açığa çıkmasına rağmen, SO₂ salınacak olan ana (%99) kükürt bileşiğidir. Hammaddenin içinde bulunan ve sülfidler olarak ortaya çıkan kükürt ve organik olarak birleşmiş olan kükürt buharlaşacak ve %30'luk bölümü veya daha fazlası ön ısıtıcının ilk kademesinden dışarı salınabilecektir.

Kalsinasyon alanının aksine, oluşan SO₂'nin %40 ila 85'lik bölümü ön ısıtıcıda tekrar tutulur. Fırın egzoz gazlarının su buharı içeriği dışında, SO₂'nin siklon ön ısıtıcıda CaCO₃ tarafından tutulmasını etkileyen en önemli parametreler ham gazın toz içeriği ve özellikle en üst siklon kademesindeki ham gazın oksijen konsantrasyonudur. Fazla oksijen (tatmin edici çimento ürün kalitesi için %1 ila 3 oranında O₂ fırında muhafaza edilir) normal olarak salınan tüm sülfid bileşiklerini derhal okside ederek SO₂ haline dönüştürür. Uzun fırınlarda SO₂ ile alkali maddeler arasındaki temas çok iyi değildir ve atık yakıtlar gibi yakıtların içindeki kükürt önemli miktarda SO₂ emisyonlarına yol açabilir.

Gaz şartlandırma kulesi/ buharlaştırma soğutucunda SO₂ tutulması yaklaşık %10 ile göreceli olarak düşüktür. Bunun aksine, öğütme-kurutma ünitesinde malzemenin ufulanması devamlı olarak SO₂ tutmaya müsait olan yeni ve oldukça etkin partikül yüzeylerinin ortaya çıkmasına neden olur. Kurutma prosesi, absorpsiyonu arttırmak için gaz atmosferinin daima su buharı ile zenginleştirilmiş olmasını sağlar. Bileşik modunda çalışan tesislerden elde edilen deneyim, farin değirmeninde %20 ila 70 arasında SO₂ tutulabileceğini göstermiştir. SO₂ tutulmasını etkileyen faktörler arasında hammaddenin nemi, değirmenin sıcaklığı, değirmen içinde alıkoyma süresi ile öğütülmüş malzemenin inceliği yer alır. Bu nedenle, farin değirmenini fırın içindeki SO₂ 'yi azaltmak amacıyla çalıştırılabilmesi için farin öğütülmesinin optimize edilmesi önemlidir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Kükürtün çoğunun klinkerin içinde sülfat olarak kalacağı gerçeğine rağmen, uçucu kükürt içeriği yüksek olan hammaddelerden kaynaklanan SO₂ emisyonları önemli olabilir ve bir ana kirlenici olarak kabul edilebilir.

Normal işletme koşullarından sapma

Kükürtün birleşme etkinliğini azaltan azaltım koşulları altında gerçekleşen yanma gibi normal işletme koşullarından sapmaya neden olan olaylar SO₂ emisyonlarının artmasına yol açar:

- Ön kalsinatörde tamamlanmamış yanma veya iri taneli atık yakıtların fırının arka ucunda düzgün olarak yanmaması
- çok zor yanabilen yakıt karışımlarını yakan fırınlarda oluşabilecek aşırı derecede sıcak pişirme bölgesi
- Fırın yükleme sırasında alkaliler vasıtasıyla oluşan kükürt fazlası
- fırın ile ön ısıtıcı kademeleri arasında aşırı kükürt devridaim seviyeleri

SO₂'nin büyük bir kısmı absorbe edilerek çimento klinkerinin ve çimento fırını tozunun (CKD) içine hapsedilir. Atık yakıt 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.

Beyaz çimento imalatında çeşitli koşullar ve bunların bileşimleri bazı özel durumlarda yakıt kükürtün klinkerin içinde alıkonulması yeteneğinin önemli ölçüde azalmasına ve bu nedenle daha yüksek SO_2 emisyonlarına neden olur. Bu koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- farinin zor yanabilir olması
- hammaddelerin yüksek derecede saflığı nedeniyle fırına beslenen malzemelerin düşük alkali içeriği
- genel olarak indirgeyici atmosfer gibi fırın koşulları
- fırın konfigürasyonu: Lepol fırınlar yaygındır ve modern ön ısıtıcılı fırınlarda siklonların sayısı, hammaddenin kimyasal bileşimi uyarınca kısıtlanabilir. (alkali-kükürt dengesi [120, İspanya, 2007]).

Karbon oksitler (CO_2 , CO)

Karbondioksit (CO_2)

CO_2 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 katkılı olarak öğütülmesi nedeniyle ton başına çimento olarak bakıldığında CO_2 emisyonları azalır. Bunun yaklaşık %60'ı kalsinasyon prosesi esnasında oluşur, bakiye % 38'i ise yakıtın yanması ile ilgilidir. Yakıtın karbon içeriğinin yanması sonucunda oluşan CO_2 emisyonları hem özgül ısı ihtiyacı hem de yakıtın karbon içeriği ile kalorifik değerinin oranı ile doğrudan orantılıdır. Yanmadan kaynaklanan CO_2 emisyonları gittikçe artan şekilde azaltılmış olup, esas olarak yakıt etkinliği daha fazla olan fırın proseslerinin uygulanması sonucunda son 25 yılda yaklaşık %30'luk azaltım olmuştur.

CO_2 emisyonları ve emisyon ticareti planı ile ilgili bilgiler, Topluluk içinde sera gazı emisyonu ticaretine izin veren bir plan oluşturan ve 2008/01/EC sayılı Konsey Direktifi'ni tadil eden Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 13 Ekim 2003 tarih ve 2003/87/EC sayılı Direktifi ile Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2003/87/EC sayılı Direktifi uyarınca sera gazları emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması için rehber ilkeler oluşturulmasına dair Avrupa Komisyon'unun 29 Ocak 2004 (2004/156/EC) tarihli kararında bulunabilir [99, Avrupa Birliği, 2003]. Ayrıca, Emisyon Ticareti Planı Direktifi kapsamında sera gazları emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması ile ilgili bilgi, Avrupa Komisyonu'nun 29 Ocak 2004 (2004/156/EC) tarihli kararında bulunabilir [122, Avrupa Komisyonu, 2004].

Karbon Monoksit (CO)

Klinker pişirme işlemi sırasında oluşan CO ve organik olarak bağlı karbon emisyonlarının kaynağı normal olarak doğal hammaddeler yoluyla giren küçük miktarlardaki organik bileşenlerdir (jeolojik tarih boyunca kayaların içine yer alan organizmaların ve bitkilerin kalıntıları). Bunlar fırın besleme malzemelerinin ön ısıtılması sırasında dönüştürülerek CO ve CO_2 oluşturmak üzere okside olurlar. Bu proseste, toplam organik karbon gibi küçük miktarlarda organik eser gazlar da oluşur. Bu nedenle, klinker pişirme prosesi esnasında temiz gazın CO içeriği ve içindeki organik eser gazlar yanma durumu hakkında bir sonuca varmaya izin vermez.

Ancak, ilave CO emisyonları, ikincil ateşleme sırasında yetersiz yanma ve uygun olmayan pişirme koşullarından kaynaklanabilir. Öte yandan, CO emisyonu oranındaki böyle bir

artışın NO_x emisyonlarındaki azalma ile aynı zamana rastladığı belirtilmelidir. Ancak azaltım koşullarının SO_x emisyonları üzerinde olumlu bir etkisi olabilir.

Elektrik santralleri gibi enerji dönüşüm tesislerinde egzoz gazındaki CO ve organik bağlı karbon konsantrasyonları yakıtların yanma oranına ilişkin bir ölçüdür. Buna karşılık, klinker pişirme prosesi, klinker kalitesi nedeniyle 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 beher kg klinker için 1.5 ila 6 g organik karbon getirilir. Çeşitli kökenlerden gelen farinlerin kullanıldığı testler, hammaddenin içindeki organik bileşiklerin %85–95 arasındaki bölümünün %3 oksijen varlığında CO₂'ye dönüştüğünü ancak aynı zamanda %5-15'inin CO'ya dönüştüğünü göstermiştir. Bu koşullar altında uçucu organik karbon bileşikleri (VOC) olarak salınan oran %1'in çok daha altındadır. Şekil 1.34 'te gösterildiği gibi CO konsantrasyonu 1000 mg/Nm³ kadar yüksek olabilir, 2000 mg/Nm³'ü geçebilir ve hatta bazı durumlarda 5000 mg/Nm³'ten daha yüksek olabilir. Ancak, 29 adet Alman döner fırınında devamlı olarak ölçülmüş olan CO emisyon konsantrasyon değer örneklerinin çoğu, yıllık ortalama değer olarak 200 ila 2200 mg/Nm³ aralığındadır (CO tespit sınırı 1.8-2.5 mg/ Nm³) [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [168, CLM TWG 2007]. Malzeme bunker, taşıma konveyör ve besleyicinin katı yakıtın besleme oranının en az iniş çıkışla sürekli olmasını sağlayacak şekilde tasarlanması esastır. Aksi takdirde substokiyometrik yanma oluşarak CO'nun %0.5'ten daha yüksek olan kısa dönemli tepe noktalarına ulaşmasına yol açabilir. Bu durum herhangi bir ESP azaltımının patlamayı önlemek için otomatik olarak kapatılması gibi ek bir soruna yol açacaktır.

Toplam organik bileşikler (TOC)

Genel olarak ısı (yanma) prosesinde uçucu organik bileşiklerin (ve karbon monoksit) oluşumu genellikle yetersiz yanma ile ilişkilidir. Çimento fırınlarında emisyonlar, kullanılan fırının türü, fırındaki gazların yüksek alıkoyma süresi, yüksek sıcaklık, alevin tabiatı (2000 °C) ve fazla oksijen koşulları nedeniyle normal kararlı çalışma koşulları altında düşük olacaktır. Bunlar organik bileşiklerin yüksek bir verimlilik oranı (>%99.9999) ile ayrıştırıldığı ve yok edildiği proses koşullarıdır [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007]. Konsantrasyonlar devreye alma veya anormal işletme koşulları sırasında artabilir. Bu olaylar örneğin haftada bir iki defa veya iki veya üç ayda bir gibi değişen sıklıklarla oluşabilir.

Uçucu organik bileşiklerin (VOC'lar) emisyonu, fırına beslenen malzemelerin prosesin ilk aşamalarında (ön ısıtıcı, ön kalsinatör) ısıtılması ile birlikte farinin içinde bulunan organik madde ısınıp uçucu hale geldiğinde oluşur. Organik madde 400 ila 600°C arasındaki sıcaklıklarda salınır. Çimento fırınlarından çıkan egzoz gazının VOC içeriği, TOC (*Toplam Organik Karbon*) olarak ölçüldüğünde, genelde 1 ila 80 mg/Nm³ arasındadır. Ancak, bazı nadir durumlarda hammaddenin özelliklerinden dolayı emisyonlar 120 mg/Nm³'e ulaşabilir.

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

PCDD/F, fırın ve proses tasarımı, yanma şartları, besleme özellikleri ile tipi ve operasyon emisyon kontrol ekipmanlarının türü ve çalışmasına bağlı olarak çeşitli formasyon mekanizmalarının bir araya gelmesi sonucunda oluşur. Ayrıca, organik maddelerin varlığında herhangi bir klorun eklenmesi potansiyel olarak ısı (yanma) prosesinde 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 Bölüm 1.2.4 bakınız). PCDD/F ve bunların sonraki emisyonlarının oluşumu, aşağıda belirtilen beş faktörün eşzamanlı olarak var olmasını gerektirir:

- hidrokarbonlar
- klorürler
- bir katalizör:
 - bazı raporlarda Cu^{2+} 'nin (ve Fe^{2+} 'nin) katalitik etkisi olduğu belirtilmiştir.
- uygun bir sıcaklık penceresi:
 - 200 ila 450 °C arasında, azami 300 - 325 °C'de
- uygun sıcaklık penceresinde uzun bir alıkoyma süresi

Buna ek olarak, gaz akışı içinde moleküler oksijenin mevcut olması gereklidir. Formasyon hızı, oksijen konsantrasyonu ile birlikte 0.5 'lik bir reaksiyon derecesiyle artar.

Yukarıda belirtildiği gibi, PCDD/F reformasyonunun de novo sentezi yoluyla ve sıcaklık penceresinde 450 °C'den 200 °C'ye soğutma suretiyle oluştuğu bilinmektedir. Bu nedenle, fırın sisteminden ayrılırken gazların bu aralıkta hızla soğutulması önemlidir. Uygulamada, gelen hammaddeler fırın gazlarıyla ön ısıtmaya tabi tutuldukları için bu durum ön ısıtma sistemlerinde meydana gelmektedir. PCDD/F'yi yok eden yüksek sıcaklık nedeniyle ön ısıtıcıda yüksek PCDD/F konsantrasyonları olması beklenmez. PCDD/F yaklaşık 925 °C sıcaklıkta hızla ayrışır. Ayrıca, gaz soğuk bölgelere taşınırken, bu yok oluş, malzemenin daha sıcak bölgelere taşınması şeklindeki dinamik proses tarafından desteklenir. Fırın besleme malzemesi tarafından absorbe edilmiş 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) bölgelerde, fırın besleme malzemesine yeniden sublime olurlar. Ayrıca, fırında uzun alıkonma 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 zaman bile çimento sanayindeki PCDD/F emisyonlarının düşük olarak sınıflandırılabilirliğini göstermiştir. Ölçüm verileri, farklı çalışma koşullarında faaliyet gösteren ve ana brülör ile fırının girişine (ön ısıtıcı/ön kalsinatör) beslenen çok çeşitli atık ve tehlikeli atıkları kullanan yaş ve kuru fırınlardan toplanmıştır. Bu araştırmalarda Avrupa'da çimento üretiminin aşağıda belirtilen nedenlerle nadiren PCDD/F emisyonlarının önemli bir kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır:

- Birincil önlemler/teknikler uygulandığı takdirde çimento fırınlarının çoğu 0.1 ng I-TEQ/Nm³ emisyon seviyesini karşılayabilir
- atıkların yakıt olarak ve ana brülöre, fırın girişine veya ön kalsinatöre beslenen hammadde olarak kullanılması POP'ların (*Kalıcı Organik Kirleticiler*) emisyonu etkilemez ve değiştirmez gibi görünmektedir [88, SINTEF, 2006].

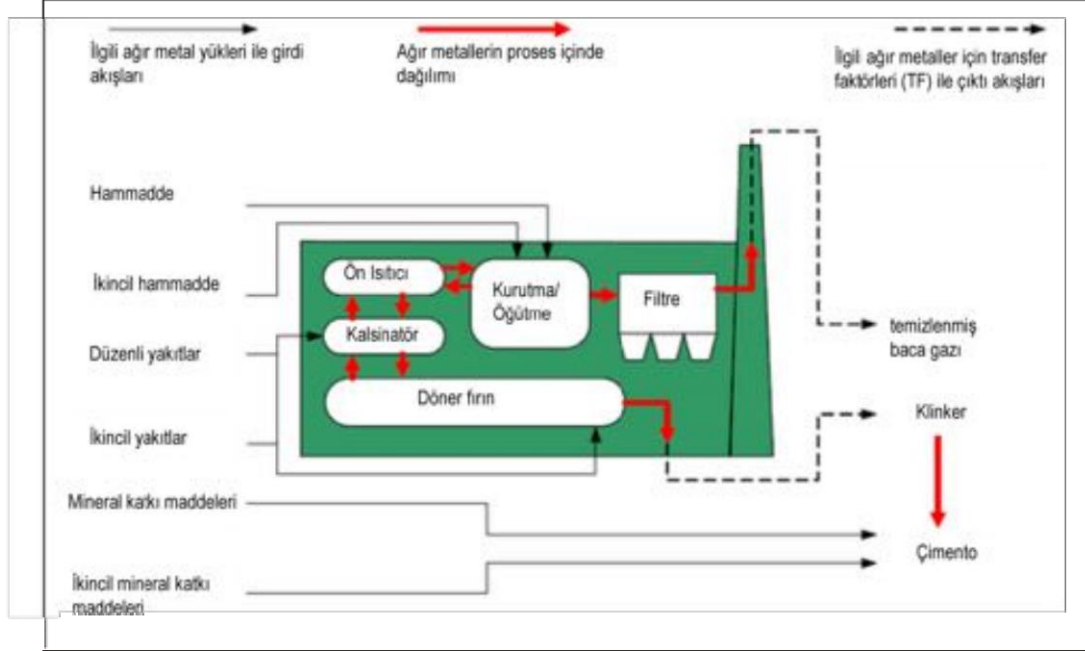
2004 yılında PCDD/F emisyonları ile ilgili örnek veriler AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde yer alan farklı tesislerden toplanmıştır. Temiz gazda yapılan PCDD/F ölçümlerinin değerleri spot ölçümlerden toplanmıştır. Ölçülen değerler standart koşullar altında 1 m³ kuru gaza ilişkin değerlerdir [97, CEMBUREAU, 2007]. Rapor edilen veriler, Avrupa'da bulunan çimento fırınlarının çoğunun, tehlikeli atık yakma tesisleri ile ilgili Avrupa mevzuatında (Konsey Direktifi 2000/76/EC) sınır değer olan 0.1 ng I- TEQ/Nm³ emisyon konsantrasyonuna uymakta olduklarını belirtmektedir. Almanya'da 39 döner fırının (süspansiyonlu ön ısıtıcı fırınlar ve Lepol fırınlar) temiz gazında ölçülen PCDD/F konsantrasyon değerleri, genelde emisyon konsantrasyonlarının 0.1 ng I- TEQ/Nm³'ün çok altında olduğunu, bunun yanı sıra ortalama konsantrasyon miktarının 0.02 ng I- TEQ/Nm³'ten az olduğunu göstermektedir. 26 ölçümde hiçbir 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 ateşleme prosesi için kullanılan değişik yakıtlarla ilgili olarak yapılmıştır. Örneğin atıktan elde edilen yakıtlar (RDF) gibi atık yakıt kullanan fırınlarda PCDD/F emisyon faktörü 0.83-133 ng I- TEQ/tklinker aralığında değişir ve bu sonuçlar ile emisyon faktörü 0.67-246 ng I- TEQ/tklinker aralığında değişen konvansiyonel yakıt besleme sonuçları arasında epey benzerlik vardır. [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].

Metaller ve bileşikleri

Hammaddeler ve yakıtlar her zaman metal içerirler. Konsantrasyonları bulundukları yerlere bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir ve atmosfere emisyon yayma potansiyelleri çok karmaşık mekanizmalar tarafından etkilenir. Ayrıca, yakıt olarak kullanılan atıkların metal konsantrasyonları atığın menşesine göre değişir. Metal bileşikleri, metallerin uçuculuğuna ve tuzlarına bağlı olarak dört sınıf altında toplanabilir:

1. Ateşe dayanıklı veya uçucu olmayan veya bu tür bileşikler içeren metaller, örneğin; Ba, Be, Cr, As, Ni, V, Al, Ti, Ca, Fe, Mn, Cu ve Ag:
 - o bu metaller klinker tarafından tümüyle absorbe edilirler ve klinker ile birlikte dışarı atılırlar ve böylece fırın sistemi içinde dolaşıma girmezler. Egzoz gazındaki tek emisyon toz yoluyla gerçekleşir ve bu nedenle sadece toz girdisine ve toz ayrıştırma etkinliğine bağlıdır. Sonuç olarak emisyonları genelde çok düşüktür.
2. Yarı uçucu olan veya bu tür bileşikler içeren metaller: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K ve Na:
 - o bu metaller 700 ila 900 °C arasındaki sıcaklıklarda sülfatlar veya kloridler 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 veya uçucu bileşiği olan metal:
 - o talyum bileşikleri (örneğin; TIG) 450 ila 550 °C arasında, ve ısı eşanjörü olan fırınlarda, birikebilecekleri yer olan ön ısıtıcının üst alanında yoğunlaşırlar (iç sirkülasyon).
4. Civa: uçucu olan veya uçucu bileşiği olan metal:
 - o civa ve civa bileşikleri fırının ve ön ısıtıcının içindeki çoğu bölümden geçerler ve atık gazın ısisına bağlı olarak ham gaz tozu tarafından sadece kısmen adsorbe edilirler [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006].

Ön ısıtmalı çimento fırınlarında kuru proste metallerin izlediği yol Şekil 35'te gösterilmiştir.



Şekil 35. Ön ısıtmalı çimento fırınlarında kuru proste metallerin izlediği yol

Klinker pişirme prosesi sırasında bireysel metallerin davranış ve emisyon seviyesi uçuculuğa, fırın içine giriş senaryosuna, özellikle atıklar veya tehlikeli atıklar kullanıldığında hammaddeler ve yakıtlar içindeki metalik elementlerin konsantrasyonlarına, prosesin türüne ve en önemlisi, ana baca üzerindeki toz toplama sistemlerinin çökeltme 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 girebilirler, ve fırın sisteminin daha soğuk bölümlerinde fırın besleme malzemeleri üzerinde yoğunlaşabilirler. Yakıtlardan kaynaklanan metaller ilk olarak yanma gazlarına girerler ancak fırının ve ön ısıtıcının alıkoyma kapasitesi sayesinde son derece küçük bir oranda yayılırlar. Klinker üretiminde ham madde: yakıt kütle oranı yaklaşık 10:1 olduğundan, ham madde 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 ham madde üzerinde yoğunlaşmak üzere sinterleme sıcaklıklarında kısmen gaz evresine alınır. Bu durum fırın sisteminde fırın ve ön ısıtıcı ile sınırlı olan veya kurutma öğütme ünitesinde de yer alan bir döngüsel etkiye yol açar (iç döngüler). Metaller ön ısıtıcı alanında büyük ölçüde yoğunlaştığı takdirde, bunlar fırın yükü 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 bileşikler kolaylıkla buharlaşır. Bunlar tümüyle klinker matrisi içinde tutulmazlar. Talyum ve bileşikler 450 ila 500 °C derece arasındaki sıcaklıklarda siklon ön ısıtıcının üst bölgesinde yoğunlaşır. Bu nedenle fırın sistemine giren talyumun büyük bir bölümü ön ısıtıcıda alıkoşulur. Sonuç olarak, ön ısıtıcı, hammadde kurutma ve egzoz gazı arıtma arasında bir döngü oluşturulabilir (iç ve dış). Talyumun emisyon seviyesi, dış döngünün konsantrasyon seviyesi ve toz toplayıcının toplama etkinliği ile belirlenir. Örneğin ESP tozunun talyum konsantrasyonu, talyum döngüsünün konsantrasyon seviyesi için bir ölçüdür [60, VDI 2094 Almanya, 2003].

Ayrıca, ancak daha küçük bir ölçüde, kadmiyum, kurşun, selenyum ve bunların bileşikler özellikle kolayca uçucu hale gelirler. Kalsinasyon besleme stoğu ile reaksiyona girdikleri veya kalsinasyon odasının soğuk alanlarında, ön ısıtıcıda veya daha sonraki kurutma tesislerinde çökelti haline geldikleri zaman kolaylıkla uçabilen metal bileşiklerin bir iç döngüsü oluşur.

Toz ile birlikte yoğunlaşmış uçucu bileşikler toz ayırıcılarda ayrılarak farine geri gönderildiğinde 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 konsantrasyonu besleme stoğuna ve fırın sisteminin içindeki yeniden dolaşıma bağlıdır. Özellikle, kömür ve atık yakıtların kullanılması metallerin prosese girişini arttırabilir. Fırın sistemine giren metallerin değişik uçuculuğa sahip olmaları ve yüksek sıcaklık nedeniyle, çimento fırın sisteminde bulunan sıcak gazlar da gaz halinde metal bileşikler içerir. Denge araştırmaları, uçuculuğu yüksek olan elementlerin klinkerin içinde alıkonulma süresinin düşük olduğunu ve bunun sonucunda bu maddelerin fırın sisteminin içinde biriktiklerini göstermiştir. [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996].

Kadmiyum ve talyum emisyonlarının değerleri, döner fırınların temiz gazında yapılan 262 spot Σ (Cd, Tl) ölçümü sonucunda elde edilmiştir. Emisyonlar kullanılan yakıtla ilgili olmaksızın değişmektedir. Bunun nedeni, kadmiyum ve talyumun gaz ile birlikte kaçacak kadar uçucu olmaması ve bunların esas olarak toz ve klinkerde konsantre olmalarıdır. Bu nedenle emisyonlar yakıtlardan çok toz alma cihazının verimliliğine bağlıdır [97, CEMBUREAU, 2007].

Çimento fırın sistemlerinin temiz gazında 1996 ila 1998 yılları arasında yapılan ölçümlerden elde edilen çeşitli metal bileşiklerin konsantrasyon aralıkları örnekleri Tablo 35'te gösterilmiştir.

Tablo 36. Çimento fırın sistemlerinin temiz gazında 1996 ila 1998 yılları arasında yapılan ölçümler

Bileşik	Konsantrasyon 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⁾ Konsantrasyon, su buharı içeriğinin çıkarılmasından sonraki standart sıcaklık ve basınç şartları ile ilgilidir; partikül kaynaklı ve filtreden geçen toplam fraksiyonlar; Örneklem dönemi için ortalaması alınan tek ölçümlerin sonuçları	

Cıva

Cıva ve bileşikleri özellikle kolayca uçucu hale gelirler (yüksek uçuculukta metal). Cıva toksik bir metalik element olup cıva kirliliği küresel, yaygın ve kroniktir ve bu yüzden tesislerden atmosfere yapılan emisyonların azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle, cıva emisyonlarını kontrol etmek için fırın sistemi içine cıva girişini sınırlamak gerekebilir. Cıva ve bileşikleri fırın sisteminde ve/veya ön ısıtıcıda tamamen çökelmez veya alıkonulmaz ve bu nedenle, klinkerin içinde tutulamaz. Gazın soğuması nedeniyle egzoz gazının izlediği yol üzerinde çökelirler ve atık gazın sıcaklığına bağlı olarak ham madde partikülleri tarafından kısmen adsorbe edilirler. Bu bölümü fırın egzoz gazı filtresi üzerine çökler. Bu nedenle, cıva sadece konsantrasyon düzeyinin ve emisyonların esas olarak egzoz gaz koşulları tarafından belirlendiği dış döngüde zenginleştirilebilir. Cıva emisyonlarında uzun döngü artışı önlemek için, dış döngünün konsantrasyon limitini kısıtlamak örneğin, filtre sisteminde toplanan tozun bir bölümünü devamlı olarak veya aralıklarla dışarıya atmak gerekebilir. Ayrıca, egzoz gazı sıcaklığının düşmesi ile cıvanın çökmesi ve bu nedenle giderilmesi artar. Siklon ön ısıtıcı fırın sistemlerinde yapılan ölçümlerden elde edilen bilgiler, %90'dan fazla cıvanın 130 °C'nin altındaki egzoz gazı sıcaklıklarında oluşan partiküllerin üzerinde bulunduğunu göstermektedir. Daha sonra fırın sisteminin toz toplayıcısı içindeki cıva bileşikleri tamamen ayrılır. Toz toplayıcısının yüksek toplama etkinliği nedeniyle döner fırın sistemlerinin temiz gazındaki cıva konsantrasyonları genellikle deteksiyon sınırının altındadır.

Toz toplayıcıdan gelen toz çimento değirmenine geri gönderilebilir. Atık yakıtların kullanılması durumunda, fırının cıva girdisi düzenli olarak sınırlandırılabilir. Cıva emisyonlarını azaltmak için başka bir olasılık ise tozun filtre edilmesi sırasında cıvanın

ve bileşiklerinin çökmesini arttırmak için şartlandırma kulesinden sonra egzoz gazı sıcaklığını azaltmaktır. Ayrıca, bir Alman fabrikasında, baca gazına adsorban olarak aktif karbon enjekte edilmiştir [12, Hollanda, 1997], [76, Almanya, 2006], [86, EUR1TS, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

Hidrojen klorür ve hidrojen florür (HCl ve HF)

Kloridler ve floridler küçük ilave bileşenlerdir. Bunlar fırın sistemine hammadde ve/veya yakıt gibi değişik girdilerle girebilirler. Bu maddeler için düzenli periyodik izleme yapılması uygundur.

Gaz halindeki inorganik klor bileşikleri

Klor bileşikleri, klinker pişirme prosesindeki hammadde ve yakıtların içinde yer alan küçük ilave bileşenlerdir. Bunlar fırın sistemine farklı girdiler yoluyla ve fırın sistemindeki ateşleme prosesi esnasında girebilirler ve alkali kloridleri oluşturmak üzere fırına şarj edilen malzemelerin içinde bulunan alkaliler ile reaksiyona girerler. Başlangıçta buhar halinde olan bu bileşikler, 700 ila 900 ° sıcaklıklarda fırın besleme malzemesi veya fırın tozu üzerinde yoğunlaşırlar ve daha sonra tekrar döner fırın sistemine girer ve tekrar buharlaşırlar. Bunlar döngüsel davranış gösterir ve döner fırın ile ön ısıtıcı arasındaki alanda zenginleştirilebilirler. Fırın girişindeki bir baypas alkali klorür döngülerinin etkili bir şekilde azalmasını sağlar ve böylece işletme arızalarını azaltır. Belirli bir tesise özel olarak, 0.2 g Cl/kg klinker klorür girdisi ile fırın egzoz gazları akışının bir kolu baypas yoluyla başka bir yöne çevrilir ve ön ısıtıcının alt bölümünde birikmeleri önlemek için soğutulur. Gaz akışı soğutulurken, gaz halindeki alkali klorür bileşikleri fırın toz partikülleri üzerinde yoğunlaşır ve daha sonra bir toz toplama vasıtasıyla sistemden çıkartılabilir. Toplanan baypas tozu kontrollü şartlar altında çimento değirmeni besleme akışına geri döndürülür.

Klinker prosesi sırasında gaz halindeki inorganik klor bileşikleri Avrupa çimento fabrikalarında hiç salınmaz veya çok az miktarlarda bulunur. Döner fırın sistemlerinin egzoz gazında tespit edilen gaz halindeki inorganik kloridler, genellikle temiz gaz tozunda bulunan aşırı ince taneli alkali klorid fraksiyonlarına atfedilebilir [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [86, EUR1TS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Gaz halindeki inorganik flor bileşikleri

Döner fırınlarda mevcut olan 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. Kalsiyumun büyük miktarda fazlalığı nedeniyle, gaz halindeki flor bileşiklerinin ve özellikle hidrojen florürün emisyonları sanal olarak dışarıda bırakılmıştır. Gaz ölçüm filtresinden geçebilen aşırı ince toz fraksiyonları döner fırın sistemlerinde az miktarda bulunan gaz halindeki flor bileşiklerini simüle edebilir. Az miktardaki flörürler fırın tozu ile örneğin CaF_2 şeklinde dışarı atılırlar.

Gaz halindeki inorganik flor bileşikleri

Döner fırınlarda mevcut olan 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. Kalsiyumun büyük miktarda fazlalığı nedeniyle, gaz halindeki flor bileşiklerinin ve özellikle hidrojen florürün emisyonları sanal olarak dışarıda bırakılmıştır. Gaz ölçüm filtresinden geçebilen aşırı ince toz fraksiyonları döner fırın sistemlerinde az miktarda bulunan gaz halindeki flor bileşiklerini simüle edebilir. Az miktardaki flörürler fırın tozu ile örneğin CaF_2 şeklinde dışarı atılırlar.

Amonyak (NH₃)

NH₃ emisyonları hammaddelerden kaynaklanır ve prosesin ilk aşamalarında oluşur. Çimento fırınlarında oluşan egzoz gazının NH₃ içeriği 200 mg/Nm³'e kadar yükselebilir. İlave NH₃, reaksiyona girmemiş amonyağın değişken emisyonlarının da oluşabileceği (tepkimeye girmemiş amonyak) seçici katalitik olmayan azaltım (SNCR) tekniği gibi azaltma tekniklerinden kaynaklanabilir. 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 arasında olduğunu göstermiştir. Ayrıca 1998 yılında bu tesislerden biri yıkayıcı çözeltisi içindeki amonyağı temizleyerek iniş ve çıkışları dengeleyen bir SO_x yıkayıcısı ile donatılmıştır. Bu yıkayıcının bacasından yayılan amonyak emisyonları 1998 yılından itibaren sürekli olarak ölçülmüştür. Yıkayıcı devrede olduğu için kısa vadeli tepe noktaları 125 mg/Nm³'e kadar ulaşmaktadır. Bu durum birikmiş olan bir miktar amonyağın yeniden salımı için yıkayıcı çözeltisinin 53°C'den 59°C'ye çıkartılması ve dengenin değiştirilmesi nedeniyle 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 bir devrede düşük sıcaklıklarda çalışır ve çimento silosundan amonyak kokusu çok nadiren algılanır.

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. Fırın besleme malzemelerinin ön ısıtılması sırasında oluşan düşük konsantrasyonlardaki benzen emisyonları, doğal hammaddeler (jeoloji süreç boyunca kaya içine yerleşen organizmaların ve bitkilerin kalıntıları) vasıtasıyla giren küçük miktarlardaki organik bileşenlerden kaynaklanır.

Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)

Bazen özel çalışma koşulları altında bu maddelerin ölçümü gerekli görülebilir.

Diğer organik kirleticiler

Çimento üretim sürecinden kaynaklanan diğer organik kirleticiler, örneğin, klorobenzenler ile eş düzlemlili kongenerler (coplanar congeners) ve kloronaftalinler de dahil olmak üzere PBC (poliklorlu bifeniller)'dir.

Bazen özel çalışma koşulları altında bu maddelerin ölçümü gerekli görülebilir.

Atık malzeme kullanımının emisyon davranışı ve enerji verimliliğine etkileri

Emisyon davranışı

Klinker yakma prosesinden kaynaklanan toz emisyonları atıkların kullanılmasından etkilenmez. Mevcut bilgilere göre, ön ısıtıcı ve toz toplayıcının partiküllere bağlı metalleri alıkoyma 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 akılda tutulmalıdır.

Klinker üretim prosesinden kaynaklanan metal emisyonlarını belirleyen faktörler, her bir metalin döner fırın sistemi içindeki davranışları ile girdi durumu ve toz toplayıcının toplama verimliliğidir. Girdi durumu da kullanılan hammaddeler ve yakıtlardaki metal konsantrasyonlar tarafından belirlenir.

Klinker üretimi için hammadde: yakıt kütle oranı yaklaşık 10:1'dir ve bu durum hammadde ile ilgili girdilerin emisyonlar için belirleyici olduğu anlamına gelir.

İşletme uygulamasında atıkların kullanımı bireysel elementlerin fırın sistemine toplam girişlerinin atmasına veya azalmasına neden olabilir. Uçucu olmayan metaller büyük ölçüde klinker matrisinin içine hapsolmuşlardır ve klinker akışı ile fırın sisteminden çıkarlar. Pb ve Cd gibi yarı uçucu metaller fırın sisteminde kararlı döngüler oluştururlar. Bu elementler döngüden çıkartılırlar ve büyük miktarı klinker akışı veya toz içinde tutulurlar. Uçuculukları nedeniyle özel durumda onlar Hg ve Tl'dir. Proses sıcaklıkları ile yüksek uçuculuğun birleşimi yetersiz arıtma kapasitesinin oluşumuna yol açar ve girdi yükü ile baca içi emisyon konsantrasyonu arasında tesise özgü bir bağlantı oluşturur. Egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak civa toz toplayıcının içinde partikül kaynaklı olarak ve/veya buhar şeklinde bulunur. Bu nedenle, civa ve uçucu metal emisyonlarını kontrol edebilmek için fırına civa ve metal girişini sınırlandırmak gerekebilir. Karışık atık fraksiyonlarından geri kazanılmış yakıtları yakarken uçucu metal girişlerini izlemek için rutin bir mal kabul analizi yapılabilir.

İnorganik egzoz gazı bileşenleri olan NO_x, HCl ve HF besleme stoğu seçiminden etkilenmez. Mevcut bilgilere göre, fırın için uygun besleme noktasını kullanmak suretiyle çimento üretim prosesinde atıkların kullanılmasının bu emisyonlar üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Farin ile aynı yoldan sisteme giren uçucu sülfür bileşikleri veya uçucu organik bileşikler girdilerinin atık kullanımı ile arttırılmaması kaydıyla aynı durum SO₂, CO and TOC bileşenleri emisyonları için de geçerlidir. Oluşan SO₂, ek önlemler/teknikler olmaksızın döner fırında veya ön kalsinatörde klinkere bağlanır.

Döner fırın sistemlerdeki yanma koşulları PCDD/F emisyon konsantrasyonlarının düşük olmasını sağlar. PCB içerebilen atık yağ gibi kalıcı organik maddelerin ilgili konsantrasyonlarını içeren atık maddeler, bunların güvenilir bir şekilde imha edilmesini sağlamak için ana ateşleme sistemi yoluyla beslenirler. Bireysel olayda besleme noktası seçimi konusunda şüpheler olduğu takdirde, atıkları kullanarak ve kullanmadan referans ölçümler yapılmalıdır. İşletmede uygulanan kapsamlı ölçüm programlarının göstergelerine göre kullanılan atık ne olursa olsun PCDD/F emisyonları öngörölmüş olan 0.1 ng I-TEQ/ m³ 'ün çok altındadır.

İkincil ateşlemeye beslenen atıklar girdi ve proses parametreleri için niteliksel sınırlamalar gerektiren döner fırının 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.

Enerji verimliliği üzerindeki etkiler

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

Atık kullanımının ürün kalitesine etkileri

Klinker pişirme prosesinde atıkların kullanılması çimento ürünlerinin metal konsantrasyonlarını değiştirebilir. Ham madde ve yakıtlar vasıtasıyla gerçekleşen toplam girdilere bağlı olarak atık kullanma sonucunda ürünün içindeki bireysel elementlerin konsantrasyonu azalabilir veya artabilir.

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 yayılan metal emisyonları düşüktür. Kapsamlı testlerin sonuçları metallerin çimento tuğla matrisi içine sıkıca bağlanmış olduklarını doğrulamaktadır. Ayrıca, kuru olarak ambalajlanmış beton metallerin salınımlarını önlemeye yardımcı olan yüksek difüzyon direncine sahiptir.

Beton ve harç testleri, eluatlar içindeki metal konsantrasyonlarının örneğin ulusal mevzuat tarafından öngörülenden çok daha düşük olarak belirlendiğini göstermiştir. Değişik ve kısmen aşırı koşullar altında depolama, çevre ile ilgili herhangi bir salınımaya yol açmamıştır. Bu durum numunenin sızdırmazlık testi öncesinde ezilmesi veya ufalanması durumunda da geçerlidir.

Atık maddelerin dikkatli şekilde seçimi ve izlenmesi, atıklarının kullanımının çevreye zarar verecek boyutta metal emisyonlarına yol açmamasını sağlar. Metal emisyonları, geçerli hava kirliliği kontrol standartlarından çok daha düşüktür. Atık kullanımının ürünün çevre kalitesi üzerinde herhangi bir olumsuz 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, TWG CLM, 2007].

Proses kayıpları/atıklar

Çimento üretiminden kaynaklanan proses kayıpları/atıklar esas olarak aşağıda belirtilen malzemelerden oluşur:

- farinin hazırlanması sırasında hammaddelerden ayrılan istenmeyen kayalar
- baypas akışından ve bacadan dışarı çıkartılan fırın tozu
- yarı ıslak proseste kullanılan oldukça alkali olan ve askıda katı madde içeren filtre preslerinden gelen filtre süzüntüsü
- Örneğin gaz çökelticisi gibi gaztemizleme ünitelerinden kaynaklanan toz
- baca gazı arıtma sisteminden kaynaklanan kullanılmış emici maddeleri (granüler kireçtaşı, kireçtaşı tozu).
- Ambalajlama aşamasında oluşan ambalaj atıkları (plastik, ahşap, metal, kağıt, vb.).

Yukarıda belirtilen toplam proses kayıplarının bazı bölümleri proses ihtiyaçları ve ürün özellikleri nedeniyle geri dönüştürülebilir ve tesis içinde yeniden kullanılabilir. Tesis içinde geri dönüştürülemeyen malzemeler diğer sanayilerde kullanılmak veya dışarıdaki atık dönüştürme veya atık bertaraf etme tesislerine verilmek üzere tesisin dışına çıkartılır. Fırın tozu doğrudan çimento üretim prosesi içinde yeniden kullanılabilir veya başka amaçlar için kullanılabilir

PCDD/F'ler de atıkların ve katı maddelerin içinde bulunur ve 2006 yılında yapılan bir çalışma sonucunda aşağıda belirtilen bilgiler rapor edilmiştir:

- çimento fırın tozu (CKD) ve filtre tozu
 - ortalama konsantrasyon 6.7 ng I-TEQ/kg
 - azami konsantrasyon 96 ng I-TEQ/kg
- klinker
 - ortalama konsantrasyon 1.24 ng I-TEQ/kg
 - azami konsantrasyon 13 ng I-TEQ/kg.

Ayrıca bu çalışma, diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında proses kayıpları/atıklar içindeki çimento üretiminden kaynaklanan dioksin seviyelerinin balık, tereyağı, anne sütü gibi gıdalarla aynı büyüklükte olduğunu ve tarım arazilerine uygulanan kanalizasyon çamurunun beher kilogramı için 100 ng TEQ olan izin verilen azami konsantrasyondan daha düşük olduğunu göstermiştir [88, SINTEF, 2006].

Sıvı Atıklar

Genel olarak, çimento üretiminde sıvı atık 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 suya hiçbir emisyon yapılmaz.

Yarı yaş proseste sulu harç kullanılır ve filtre preslerinde suyu alınır. Yaş proseste su hammaddeleri öğütürerek sulu harç oluşturmak için kullanılır. Kullanılan hammaddeler genellikle yüksek oranda nem içerir. Sulu harç doğrudan fırına gönderilerek içindeki su buharlaştırılır veya önce sulu harç kurutucusuna gönderilir.

Bazen soğutma prosesinde klinkeri soğutmak için kullanılan su, klinker malzemesindeki yüksek sıcaklık nedeniyle doğrudan buharlaşır.

Gürültü

Gürültü emisyonları tüm çimento üretim prosesi esnasında 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 emisyonları oluşmasına neden olabilir:

- boşaltma şutları ve besleme bunkerleri
- hammadde,yakıtlar, klinker ve çimentonun kırılması, ezilmesi, öğütülmesi ve elenmesi ile ilgili tüm işlemler,
- egzoz fanları
- blowerlar
- 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 İngiltere, 2006].

Kokular

Koku emisyonları iyi işletilen bir tesiste çok nadir olarak bir sorun oluşturur. Hammaddeler, ön ısıtıcıda ısıtıldığı zaman yanmayan ve sadece piroliz olan yanıcı bileşenler (kerogenler) 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 fırınlarda karşılaşılan bir sorundur).

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

İzleme

Parametrelerin ve emisyonların izlenmesi

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

- basınç
- sıcaklık
- O₂ içeriği
- NO_x
- CO, ve ayrıca SO_x konsantrasyonu yüksek olduğunda
- SO₂ (CO’yu NO_x ve SO₂ ile optimize etmek için 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):

- egzoz hacmi (hesaplanabilir, ancak bazıları tarafından karmaşık olduğu düşünülmektedir)
- nem (hesaplanabilir, ancak bazıları tarafından karmaşık olduğu düşünülmektedir)
- sıcaklık
- toz
- O₂
- NO_x
- SO₂, ve
- CO.

Aşağıda belirtilen maddeler için uygun şekilde düzenli periyodik izleme yapılmaktadır:

- metaller ve bileşikleri
- TOC
- HCl
- HF
- NH₃, ve
- PCDD/F.

Ancak, TOC, NH₃, HCl ve HF'yi sürekli olarak ölçmek ve izlemek ve PCDD/F ile PCB'yi 1 ila 30 günlük analizler için devamlı olarak örneklemek de mümkündür. Ayrıca AB-27'nin iki Üye Ülkesinde Hg devamlı olarak ölçülmektedir.

Özel çalışma koşulları altında bazen aşağıda belirtilen maddelerin ölçülmesi gerekli görülebilir:

- BTX (benzen, toluen, ksilen)
- PAH (poliaromatik hidrokarbonlar), ve
- diğer organik kirleticiler (örneğin, klorobenzenler ile eş düzlemli kongenerler ve kloronaftalinler de dahil olmak üzere PBC (poliklorlu bifeniller), vb.)

Uçucu metal içeriği yüksek olan atıkların hammadde veya yakıt olarak kullanılmaları halinde metallerin ölçülmesi özellikle önemlidir. Ayrıca, kullanılan yakıt, proses koşullarına ve emisyonların ilgisine bağlı olarak ilave ölçümler yapılması gerekebilir. Avrupa düzeyinde ve ulusal düzeydeki mevcut yasal düzenlemelerin gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır, örneğin; atıkların beraber yakılması durumunda Atık Yakma Direktifinin (WID, 2000/76/AT) koşullarının yerine getirilmesinin gerektiği dikkate alınmalıdır [59, Avrupa Birliği, 2000]. Çimento fırınlarında atık kullanıldığı takdirde ve özellikle kanalizasyon çamuru kullanılması halinde, düzenli olarak yapılan sürekli toz, NO_x, SO₂ ve CO emisyonlarına ilaveten çoğu kez (bazı durumlarda sürekli olarak) çimento fırınlarının egzoz gazından yayılan TOC ve civa emisyonları izlenir. Alman çimento fabrikalarında sürekli olarak yapılan civa ölçümleri ile ilgili daha fazla bilgi çimento sanayi ile ilgili sonuç ve öneriler bölümünde bulunabilir. Kullanılan atık yakıtların girdilerine ve türlerine, proses koşullarına ve emisyonların ilgisine bağlı olarak HCl, HF, ağır metaller, benzo-a-piren, benzen ile poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD'ler) ve dibenzofuranlar (PCDF'ler) için

ilave ölçümler yapılmaktadır. Ayrıca, atıkların kullanımı halinde örneğin yılda bir şekilde sık sık tekrarlanan ölçümler yapılmaktadır [76, Almanya, 2006].

Tesisin ilk IPCC (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü) izni için müracaat ederken verilerin sunumu için tüm bu maddelerin en az bir kez ölçülmüş olması uygundur.

İlave bilgi Genel İzleme Prensipleri Referans Dokümanında bulunabilir [151, Avrupa Komisyonu, 2003]

4 – MEVCUT EN İYİ TEKNİKLERİN (MET) BELİRLENMESİNDE DİKKATTE ALINAN KRİTERLER

Bu bölümde işbu belgenin kapsadığı sanayilerde genel olarak yüksek seviyede çevre koruma sağlama potansiyeli olduğu düşünülen tedbirler/teknikler belirtilmiştir. Yönetim sistemleri, prosesle bütünleşmiş tedbirler/teknikler ve sistem sonu (end of pipe) çıkışı tedbirleri/teknikleri dahil edilmiştir, ancak optimum sonuçları ararken bu üçü arasında belirli bir miktar örtüşme olduğu görülmektedir.

Önleme, kontrol, minimizasyon ve geri dönüşüm işlemleri ile malzeme ve enerjinin yeniden kullanımı dikkate alınmıştır.

IPPC Direktifinin hedeflerine ulaşmak amacıyla önlemler/teknikler tek başlarına veya kombinasyonlar halinde sunulabilir. BAT'ın belirlenmesi esnasında dikkate alınması gereken bazı genel hususlar bu Direktifin IV numaralı Ekinde listelenmiş olup, bu bölümde yer alan önlemler/teknikler bu hususların birine veya daha fazlasına yöneliktir. Ölçümlerin/tekniklerin karşılaştırılabilmesini ve IPPC Direktifinde verilen BAT tanımı karşısında objektif bir değerlendirme yapılabilmesini sağlamak amacıyla her tedbiri/tekniki özetlemek için mümkün olduğunca standart bir yapı kullanılmıştır.

Bu bölümün içeriği önlemlerin/tekniklerin eksiksiz bir listesi olmayıp başka önlemler/teknikler mevcut olabilir veya geliştirilebilir ve bunlar IPPC ve BAT çerçevesinde eşit olarak geçerli olabilir.

Her önlemler/tekniki özetlemek için kullanılan standart yapı Tablo 1.30 'da gösterilmiştir. Ancak, Aşağıda belirtilen elementler arasındaki sınırlar belli bir ölçüde örtüştüğü için, bu yapı bireysel durumları yansıtacak şekilde esnek tutulmuştur.

Tablo 37: Bu bölümde tanımlanan her önlemler/teknik ile ilgili bilgilerin dökümü

Dikkate alınan bilginin türü	Dahil edilen bilginin türü
Tanım	Tedbirin / tekniğin teknik açıklaması (gerektiğinde çizimler, şemalar dahil)
Sağlanan çevresel faydalar	Tedbirin/teknikin işaret ettiği başlıca çevresel faydalar (enerji, su, hammadde tasarrufları ile üretim verim artışı ve enerji verimliliği, vb. dahil)
Çapraz medya etkileri	Tedbirin/teknikin kullanılmasının diğer medyaya olan başlıca çevresel yan etkileri. Diğerlerine kıyasla tedbirin/teknikin çevresel etkilerinin detayı
Operasyonel veriler	Önlemleri/teknikleri kullanarak çalışan tesislerin tüketim ve emisyon seviyeleri ile ilgili veriler (kullanılan referans koşullar ve izleme yöntemleri dahil). Tedbirin/teknikin nasıl işleyeceğine, sürdürüleceğine ve kontrol edileceğine dair diğer ilgili bilgiler
Uygulanabilirlik	Örneğin tesisin yaşını (yeni veya mevcut), tesisin büyüklüğünü (büyük ya da küçük), halen uygulanmakta olan tedbirleri/ teknikleri ve ürünün türü ve kalitesini göz önüne alarak tedbirini/ tekniğin uygulanabileceği tesis türlerinin belirtilmesi
Ekonomi	Giderler (yatırım ve işletme) ve muhtemel tasarruflar (örneğin azaltılmış hammadde veya enerji tüketimi, atık giderleri) veya gelirler ile ilgili bilgiler ile bu giderlerin/tasarrufların veya gelirlerin nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin detaylar
Uygulamaya yönelik itici güç	Uygulamaya yol açan veya uygulamayı etkileyebilen yerel koşullar veya gereksinimler. Uygulama ile ilgili çevre dışındaki nedenler hakkında bilgi (örneğin; verimlilik artışı, güvenlik)
Örnek tesisler	Tedbirin/teknikin uygulandığı ve bilginin toplanarak bu bölümün yazılması için kullanıldığı tesise (tesislere) atıfta bulunmak.
Kaynak literatür	Bu bölümü yazmak için kullanılan ve tedbir/teknik ile ilgili daha fazla bilgi içeren literatür veya diğer kaynak malzemeler (örneğin; kitaplar, raporlar, araştırmalar, web siteleri)

Azaltma önlemlerinin/tekniklerinin maliyeti kullanılan çimento fırınının türü, tesislerinin büyüklüğü, önlemlerin/tekniklerin etkinliği ve bireysel uygulama koşulları ile ilgili olarak değerlendirilmelidir.

4.1 Hammadde tüketimi

Tanım ve sağlanan 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) veya mamul çimento ürünleri ile karıştırılmak suretiyle gerçekleşir.

Uygun atıkların hammadde olarak kullanımı doğal kaynakların girdisini azaltabilir, ancak bu durum fırın prosesine giren maddeleri her zaman tatmin edici bir şekilde kontrol etmek suretiyle gerçekleştirilmelidir.

Çapraz medya etkileri

Doğal maddelerin tasarrufu

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

Atıkların kalite kontrolü ve emisyon izleme maliyetleri artabilir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak bu tedbir kalite kontrol, uçucu organik maddeler ve ağır metal içeriği konularında çimento sanayine uygulanabilir.

Ekonomi

Hammadde maliyetleri düşürülebilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Ekonomik değerlendirmeler.

4.2 Enerji tüketiminin azaltılması (enerji verimliliği)

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

4.2.1 Termal enerji kullanımının azaltılması

Termal enerji kullanımı, fırın sisteminde termal enerji optimizasyon önlemlerini/tekniklerini uygulamak gibi değişik önlemleri/teknikleri değerlendirmek ve uygulamak suretiyle azaltılabilir. Örneğin; nem içeriği, yanabilirlik, değişik özellik ve değişken parametrelere sahip yakıtların kullanımı ve bir gaz baypas sisteminin kullanılması gibi hammadde özellikleri şeklindeki çeşitli faktörler, modern çimento fırınlarının enerji tüketimini etkiler.

Önlemler/teknikler tek başlarına uygulanabilir. Ancak tüm önlemler/teknikler birbirleri ile bağlamli olarak düşünölmelidir.

Ayrıca fırının üretim kapasitesinin enerji ihtiyacı üzerinde etkisi vardır.

4.2.1.1 Fırın sistemleri

Tanım

Entegre kalsinatör ve tersiyer hava kanalı olan çok kademeli (dört ila altı kademeli) siklon ön ısıtıcılı fırın sistemleri yeni tesisler ve büyük çaplı yenilemeler için standart teknik olarak düşünölmektedir. 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 değişik ünitelerinde uygulanabilir:

- soğutucu:
 - o Örneğin sabit ön ızgara gibi modern bir klinker soğutucusunun monte edilmesi
 - o Daha eşit soğutma havası dağılımı sağlayacak şekilde daha yüksek akış direnci oluşturan soğutucu ızgara plakalarının kullanılması
 - o Ayrı ızgara bölümlerine kontrollü soğutma havası sağlanması
- fırın:
 - o yüksek kapasite kullanımı
 - o optimize edilmiş uzunluk:çap oranı
 - o giren yakıt türüne göre optimize edilmiş fırın tasarımı
 - o optimize edilmiş fırın ateşleme sistemleri
 - o muntazam ve kararlı işletme koşulları
 - o proses kontrollerinin optimizasyonu
 - o tersiyer hava kanalı
 - o hemen hemen stokiyometrik ancak oksitleyici olan fırın koşulları
 - o mineralleştiricilerin kullanımı
 - o giren hava sızıntısının azaltılması
- kalsinatör:
 - o düşük basınç kaybı
 - o fırın besleyicisinde sıcak farinin eşit dağılımı
 - o düşük alkali sirkülasyonu nedeniyle asgari kaplama oluşumu
 - o farinin kapsamlı ön kalsinasyonu
- ön ısıtıcı:
 - o siklonlarda düşük basınç kaybı ve yüksek ısı geri kazanım derecesi
 - o yüksek siklon toplama oranı
 - o gaz kanalı en kesitleri boyunca eşit farin dağılımı
 - o iki hatlı ön ısıtıcıda katı ve gaz akımlarının eşit dağılımı
 - o siklon kademeleri (toplam üç ila altı siklon)
- malzeme elleçleme:
 - o hammaddelerin ve yakıtların düşük nem içeriği
 - o yüksek kalorifik değeri olan kolay yanabilen yakıtlar
 - o fırın besleme malzemesinin homojenizasyonu ve eşit beslenmesi (hassas ölçüm)
 - o yakıtların homojenizasyonu ve eşit beslenmesi
- değirmenler:

o değirmenlerin bileşik çalışması.

Sağlanan çevresel faydalar

Termal enerji tüketiminin azalması

Çapraz medya etkileri

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

Alev soğutmanın kullanılması için, enerji verimliliğini azaltan suyu buharlaştırmak amacıyla ilave ısı gerekebilir.

Daha az sayıda siklon olması, baca gazının ön ısıtıcıdan çıkması sırasında daha yüksek termal kayıplara neden olur.

Operasyonel veriler

Kısa vadeli performans testinin (örneğin 36 saatlik performans testi) optimize edilmiş koşulları altında termal enerji kullanımı 2900 – 3300 MJ/ton klinker'dir. Normal işletme koşullarından sapmalara yol açan olaylar nedeniyle (örneğin devreye alma devreden çıkarma) yıllık ortalama değerler yaklaşık 160 – 320 MJ/ton klinker kadar daha yüksektir.

Tesislerin bazı atık yakıt türlerini kullanmaya uygun olduğu ve özellikle buna göre tasarlandığı durumlarda termal enerji tüketimi halen 3120 - 3400 MJ/t klinker aralığında olabilir. Kullanılan atık yakıtların örneğin kalorifik değer, reaktivite, irilik gibi özellikleri enerji verimliliğini etkiler [92, Avusturya, 2006], [162, A TEC, 2006], [171, A TEC, 2007].

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

Siklon ön ısıtıcı kademeleri arttıkça fırın prosesinin enerji verimliliği de artar. En düşük enerji tüketimi beş veya altı siklonla elde edilebilir. Ancak, siklon kademelerinin sayısı esas olarak hammaddenin nem içeriği uyarınca tespit edilir.

Uygulanabilirlik

Uygun olan siklon kademelerinin sayısı, iş yapma kapasitesi ile yerel hammaddelerin nem içeriği ve yanabilirlik açısından büyük değişiklikler göstermesi nedeniyle atık egzoz gazı ısısı 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 ısıtıcı tesislerin enerji tüketimini etkileyebilir:

- nem içeriği ve yanabilirlik gibi hammadde özellikleri
- değişik özellikleri olan yakıtların kullanılması
- gaz baypas sisteminin kullanılması
- hedeflenen klinker kalitesi

- fırın ebadı ve kapasitesi.

Ekonomi

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

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Enerji maliyetleri ile emisyon ticareti enerji verimliliğine yönlendirilmesini sağlar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [76, Almanya, 2006], [81, CastleCement İngiltere, 2006], [84, CEMBUREAU, 2006], [86, EUR1TS, 2006], [92, Avusturya, 2006], [136, Avrupa Komisyonu, 1993], [153, Castle Cement İngiltere, 2007], [154, CEMEX İngiltere, 2006], [162, A TEC, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [171, A TEC, 2007], [181, Avrupa Komisyonu, 2008].

4.2.1.2 Hammadde özellikleri

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

İstenilen iş yapma kapasitesi ve hammaddelerin nem içeriği genel enerji verimliliğini etkiler. Malzemelerin tercihen atık egzoz gazı ısı ile kurutulmaları gerektiğinden bu parametreler kullanılacak olan uygun sayıdaki siklon kademelerinin sayısını belirler. Nem oranı yükseldikçe enerji ihtiyacı da yükselecektir. Ayrıca, siklon sayısının fazla olması, ön ısıtıcıdan baca gazları atılan termal kayıpların azalmasını sağlayacağı dikkate alınmalıdır.

Çapraz medya etkileri

Bazı yakıtlar, hammadde olarak kullanılan ve fırın sistemi içinde kurutularak beher ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden olan bir kısım yaş mineralleri de içerirler.

Operasyonel veriler

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 egzoz gazı kullanılarak tamamlanır. Kurutma için gerekli olan enerji ihtiyacının azaltıldığı 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 ilave olarak yaklaşık 90 MJ/ton klinker gerektirecektir. Üç kademeli siklonlar kullanıldığında enerji ihtiyacındaki ilave artış 250 MJ/ton klinker olacaktır. Üç kademeli siklonlar sadece çok yaş malzemenin mevcut olduğu özel durumlarda kullanılır.

Ancak hammaddenin nem içeriği %8.5'ten fazla ve en çok %10-11 olduğunda ısının kurutma prosesi esnasında (farin değirmeni) kullanılabilmesi için daha az siklon kademesi olması (örneğin dört adet) tercih edilir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak çimento sanayine uygulanabilir.

Ekonomi

Veri mevcut değildir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

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

4.2.1.3 Yakıt Özellikleri

Tanım

Kullanılan yakıtların yeterli kalorifik değer, düşük nem içeriği, yeterli kükürt içeriği, metaller, halojen bileşikler ve uçucu maddeler ile hava sürükleyici enjeksiyon gibi özelliklerinin fırının özgül enerji tüketimi üzerinde olumlu etkileri vardır.

Kömür veya linyit gibi fosil yakıtların kısmen veya tamamen fırın sistemi dışında ve hatta çimento tesisi dışında kurutularak hazırlanması, enerji tüketimi üzerindeki önemli etkilerden bir olması nedeniyle fırın sisteminin enerji verimliliğinin artmasına yol açar. Örneğin linyit % 50’nin üstünde nem oranı ile çıkartılır ve çimento tesisine teslim edilmeden önce kurutulması gerekir. Ayrıca, yakıtların kurutulması için atık ısı kullanımı termal enerjinin tasarruf edilmesini sağlar. Yüksek nem oranına sahip olan yakıtların yerine kurutulmuş yakıtların getirilmesi, fırın sisteminde klinkerin ton başına enerji tüketiminin azalmasını sağlar.

Sağlanan çevresel faydalar

Kalsinatörü en yüksek reaktiviteden en düşük reaktiviteye kadar çeşitli sınıflardaki yakıtlarla çalıştırabilme uygulaması enerji verimliliğini etkiler. Düşük reaktiviteye sahip veya kaba taneli yakıtyerine ince öğütülmüş kuru ve yeterli kalorifik değere sahip yakıt kullanılması enerji verimliliğinin artmasını sağlar.

Çapraz medya etkileri

Bazı yakıtlar, hammadde olarak kullanılan ve fırın sistemi içinde kurutularak beher ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden olan bir kısım yağ mineralleri de içerirler.

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

Atık yakıtlar ile birlikte daha az reaktif veya kaba taneli olan yakıtların yüksek ikame oranı, termal enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılması gereken yakıt miktarının artışı ile ilgilidir.

Yakıtları fırın sisteminin dışında kurutmak için ilave enerji kullanılabilir.

Operasyonel veriler

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 farklılık olduğunu göstermiştir.

Düşük reaktiviteye sahip veya kaba taneli olan yakıt kullanımı ile kıyaslandığında ince öğütülmüş kömür kullanımı enerji ihtiyacını örneğin 300 MJ/ton klinker'den 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 bazı atık yakıt türlerini kullanmaya uygun olduğu ve özellikle buna göre tasarlandığı durumlarda termal enerji tüketimi halen de 3120 - 3400 MJ/t klinker kadar düşük olabilir. Kullanılan atık yakıtların parametreleri ve örneğin kalorifik değer, reaktivite, irilik gibi özellikleri enerji verimliliğini etkiler [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 İngiltere, 2006], [163, Castle Cement İngiltere, 2006],[168, TWG CLM, 2007].

Uygulanabilirlik

Prensip olarak her türlü çimento fırınına uygulanabilir.

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

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

Ekonomi

Değişik türdeki fosil ve/veya atık yakıtlar ile bunların hazırlanma maliyetleri çok farklıdır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Ekonomik gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de ve özellikle Avusturya ve İngiltere'de bulunan çimento tesisleri

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

4.2.1.4 Gaz baypas sistemi

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Düşük seviyede klor, kükürt ve alkali içeren hammadde ve yakıtlar fırın ile ön ısıtıcı arasındaki iç dolaşımdan kaynaklanan zenginleştirme döngüsünü asgariye indirebilir. Ayrıca,

fırın giriş alanında, kalsinatörde ve iki alt kademedeki tortu oluşumu, daha yüksek konsantrasyonlar nedeniyle asgariye indirilebilir. Fırının asgariye indirilmiş arızalarla düzgün olarak çalışması enerji verimli klinker üretimi için esas olduğundan, kemer oluşumu sonucu çalışmayı durdurmadan kaçınılmalıdır.

Alkalilerin, klorun ve daha düşük derecede kükürdün düşük olan dolaşımı fırın girişinde gaz baypası kullanımını asgariye indirebilir Prosesin gazını kısmen gidermek suretiyle klor kükürt ve alkalilerin yanı sıra diğer maddeler de deşarj edilmiş olur.

Çapraz medya etkileri

Sıcak hammaddenin ve sıcak gazın giderilmesi, giderilen fırın giriş gazının yüzdesi başına yaklaşık 6-12 MJ/ton klinker daha fazla özgül enerji tüketimine yol açar. Bundan dolayı, gaz baypası kullanımının asgariye indirilmesinin özgül enerji tüketimi üzerinde olumlu etkisi vardır.

Uygulanabilirlik

Prencip olarak çimento sanayine uygulanabilir.

Ekonomi

Veri mevcut değildir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Proses tekniği gereksinimleri

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

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

4.2.1.5 Çimento ürünlerinin klinker içeriğinin azaltılması

Tanım

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

Sağlanan çevresel faydalar

Enerji kullanımının azaltılması

Havaya yapılan emisyonların azaltılması.

Doğal kaynak tasarrufu

Düzenli atık depolama sahalarında depolanan atık malzemelerin önlenmesi.

Çapraz medya etkileri

Çimento tesisinde nihai ürüne dolgu maddelerini ve ilave maddeleri eklemek, malzemelerin depolanmasının ve taşınmasının kontrolü ile nihai çimento ürününün kalite gereksinimlerinin kontrolünü sağlar.

Operasyonel veriler

Avrupa’da çimentonun ortalama klinker içeriği % 80 – 85’dir. Birçok çimento üreticisi klinker

içeriğini daha da düşürecek teknikler üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Rapor edilen bir teknikte, ürünün kalitesini/performansını muhafaza ederek ve üretim maliyetini arttırmaksızın klinkerin %50’sinin değiştirildiği belirtilmektedir. Çimento standartlarında klinker içeriği %20’den az olan ve geri kalan kısmını yüksek fırın cürufunun oluşturduğu bazı çimento türleri tanımlanmaktadır. Ancak, düşük klinker içerikli çimento türleri sadece özel kullanım için amaçlanmıştır.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak çimento sanayine uygulanabilir.

Ekonomi

Veri mevcut değildir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Ekonomik gereksinimler.

Uygun atık maddelerin bulunabilirliği

Teknik özellikler ve karbon verimliliği ile ilgili gereksinimler

Çimento standartları uyarınca gereksinimler.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [168, TWG CLM, 2007]

4.2.2 Elektrik enerjisi kullanımının azaltılması

Tanım

Elektrik enerjisi kullanımı, güç yönetim sistemlerinin kurulması ve klinkerin ufalanması için gerekli olan yüksek basınçlı öğütme valsleri ile fanlar için farklı hızlarda çalışan tahrikler gibi enerji tasarruflu ekipmanların kullanılması ve bazı durumlarda eski hammadde değirmenlerinin yeni değirmenler ile değiştirilmesi yoluyla asgariye indirilebilir. Elektrik kullanımı, gelişmiş izleme sistemleri kullanmak ve sisteme giren hava kaçaklarını azaltmak suretiyle de azaltılabilir. İlerideki bölümlerde açıklanan örneğin proses kontrol optimizasyonu gibi bazı azaltım tekniklerinin de enerji kullanımı üzerinde olumlu etkileri vardır.

Sağlanan çevresel faydalar

Elektrik kullanımının azaltılması ve asgariye indirilmesi.

Kaynak tasarrufu ile emisyon ve atıkların azaltılması.

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir

Operasyonel veriler

Bazı durumlarda eski hammadde değirmenleri yeni alternatif değirmenler ile değiştirilerek elektrik kullanımı asgariye indirilmiştir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak tüm çimento fırınlarına uygulanabilir

Ekonomi

2006 yılında elektrik enerjisi kullanımı genelde toplam çimento üretim maliyetinin % 15-25'ini oluşturmıştır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Ekonomik gereksinimler, maliyet tasarrufu

Yerel koşullar

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri [76, Almanya, 2006], [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [181, Avrupa Komisyonu, 2008], [182, TWG CLM, 2008]

4.2.3 Proses seçimi

Tanım

1993 yılında Avrupa Komisyonu tarafından çimento sektöründe enerji teknolojileri ile ilgili olarak başlatılan bir çalışmada gösterildiği gibi seçilen proses tüm kirleticilerin emisyonlarını etkileyecek ve aynı zamanda enerji kullanımı üzerinde önemli bir etkisi olacaktır. Örneğin proses modifikasyonları, öğütme prosesi ve farin hazırlamadaki iyileştirmeler ile enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi gibi bir dizi teknik iyileştirmeler veya modifikasyonlar ile bunlara karşılık gelen enerji tasarrufu potansiyelleri belirlenmiştir [136, Avrupa Komisyonu, 1993].

Hammadde kurutma ve ön ısıtma için gerekli olan termal enerji esas olarak hammaddenin nem içeriğine bağlıdır. Nem içeriği ne denli düşük ise enerji ihtiyacı da o denli düşük olacaktır.

Yeni tesisler ve büyük çaptaki tesis yenilemeleri için çok kademeli ön ısıtmalı ve ön kalsinatörlü kuru proses fırını son teknoloji ürünü olarak kabul edilir. Avrupa'da faaliyet gösteren yaş proses fırınları ile yarı kuru ve yarı yaş proses fırınlarının yenilendikleri zaman genellikle kuru prosese dönüştürülmeleri beklenmektedir [12, Hollanda, 1997].

Sağlanan çevresel faydalar

Enerji tüketiminin azaltılması

Kaynakların tasarrufu ile emisyon ve atıkların azaltılması

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir.

Operasyonel veriler

Modern çimento fabrikalarında giren hammaddenin nemi %8,5'ten az ise, kurutma işlemi dört veya beş kademeli ön ısıtıcının egzoz gazını kullanarak ve ilave ısı olmaksızın tamamlanabilir. Bir örnekte görüldüğü gibi, en verimli tesise sahip olmak için izlenen strateji, yüksek nem oranı içeren tebeşir bazlı hammaddelere dayalı tesislerin kapatılmasını gerektirmiş olup tebeşirin nem oranı % 20'nin üzerindedir.

İngiltere'de (Padeswood Fabrikası), toplam ısı ihtiyacı 5649 MJ / ton klinker olan iki yaş proses fırını tek bir ön kalsinatörlü fırın ile değiştirilmiştir. Bu iki yaş proses fırını ile karşılaştırıldığında, 2006 yılında yeni kuru ön kalsinatörlü fırının toplam ısı ihtiyacı 3473 MJ/t klinker olmuş 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 kule sıcaklıklarının en üst dereceye ulaşmasına yol açması nedeniyle beş kademeli ön kalsinatörlü bir fırından beklenen daha yüksektir. Proses geliştirmenin bir parçası olarak kule sıcaklıkları azaltılacak ve bu durum toplam ısı tüketiminde yaklaşık 3150 MJ/t azalma sağlayacaktır. Fırında % 100'e kadar atık yakıt kullanılmasına izin verilmiştir, ancak 2008 yılında, operasyonel performans yaklaşık % 30 civarında gerçekleşmiştir [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [163, Castle Cement İngiltere, 2006], [182, TWG CLM, 2008].

Uygulanabilirlik

Prensip olarak çimento sanayinde yeni tesisler / büyük tesis yenilemeleri için uygulanabilir.

Ekonomi

Yaş prosten kuru prosese dönüşüm oldukça pahalı olup maliyet 100 milyon EURO' ya kadar çıkabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

Padeswood Fabrikası, Castle Cement İngiltere.

[12, Hollanda, 1997], [81, Castle Cement İngiltere, 2006] [136, Avrupa Komisyonu, 1993] [163,

Castle Cement İngiltere, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.2.4 Fırınlr ve Soğutuculardan/kojenerasyondan enerji geri kazanımı

Tanım

Buhar ve elektrik için kojenerasyon tesislerinin veya kombine ısı ve enerji santrallerinin kullanılması, prensip olarak çimento üretiminde uygulanmaktadır. Bu durum uzun zamandan beri süregelen eşzamanlı ısı ve elektrik ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesi ve konvansiyonel buhar döngüsü prosesleri işletmede

kullanılmaktadır. 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 fabrikasında düşük sıcaklıktaki egzoz gazından elektrik üretimi uygulaması yapılmıştır. Fazla ısı ağırlıklı olarak klinker soğutucusundan ve daha az ölçüde fırından çıkan gazlardan geri kazanılır.

Sağlanan çevresel faydalar

Fazla ısının prosesten geri kazanılması ile buhar ve elektrik gücünün beraber üretilmesi, enerji

maliyetleri bağımsızlığının artması ve CO2 emisyonlarının azalması.

Kaynakların tasarrufu ve emisyonların azaltılması.

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir.

Operasyonel veriler

Konvansiyonel buhar döngüsü prosesi ve Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesi İsveç'te bulunan Slite çimento fabrikasında konvansiyonel buhar döngüsü prosesi kullanılmaktadır. Geri kazanılabilir ısı, elektrik üretmek için bir buhar türbinini yeniden kullanan bir üçüncü şahıs tarafından işletilen ve çimento tesisinin bitişiğinde bulunan mevcut bir 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 yılından itibaren yapılan hesaplama uyarınca kazan ve buhar dağıtım sisteminin yatırım maliyeti 8 milyon EURO olmuş ve bunun % 25'i sübvansile edilmiştir. Yeniden kullanılan mevcut buhar türbini tesisin ekonomisine önemli katkılarda bulunmuş, ancak bunun için hiçbir maliyet hesaplanmamıştır. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık 50 GWh olup, tesislerinin toplam elektrik ihtiyacına eşittir.

Organik Rankine Çevrimi (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 harekete geçirme ortamının (pentan) kullanımına dayanmaktadır. Sonuçlar 1,1 MW elektrik gücünün verilen operasyon modunda üretilebileceğini göstermiştir. Elde edilen kullanılabilirlik oranı çimento fırınının çalışma süresinin% 97'si olmuştur. Klinker soğutucunun, klinker soğutucu egzoz havası vasıtasıyla çıkan 14 MW atık ısı çıktısı ve 300 - 350 °C arasında egzoz gazı sıcaklığı vardır ve bunun ortalama 9 MW'lık bölümü çekilmiştir. Lengfurt çimento fabrikasında kullanılan bu ORC tekniği yaklaşık 10 yıldır iyi durumda çalışmaktadır.

Klinker soğutuculardan veya fırından çıkan gazlardan bölgesel ısıtma için geri kazanım

Atık ısı, sıcak su temini için klinker soğutucudan da geri kazanılabilir. Çoğu durumda, kazan filtrenin temiz gaz tarafında bulunmakta olup, bu gibi durumlarda toz toplayıcının bir ESP olması gereklidir. Alternatif olarak, kazandan sonra tozsuzlaştırma cihazı olarak bir torbalı filtre monte edilmiş olduğu takdirde sağlam ve aşınmaya dayanıklı bir atık ısı kazanına ihtiyaç vardır. Atık ısı geri kazanımına dayalı sıcak su sistemleri ile donatılmış tesislerin arasında diğerlerinin yanı sıra Almanya'da bulunan Burglengenfeld fabrikası ile her ikisi de Türkiye'de bulunan Büyükçekmece ve Çanakkale fabrikaları bulunmaktadır. Skovde'de bulunan bir İsveç çimento fabrikasında da çıkış gazı alt kanalında bulunan bir ısı geri

kazanım kazanı yer almaktadır. Slite çimento fabrikasında olduğu gibi ısı geri kazanımı burada da tasarlanmış olan 2.5 MW yerine 1.2 MW ile beklenenden azdır. Buradaki durum Slite'taki duruma benzemekte olup, ön ısıtıcı kuleden kaynaklanan tipik ince tozun özellikleri etkili ısı alışverişini önlemektedir. Bu durum bir sorun olmaya devam etmekte olup, ön ısıtıcıdan çıkan gazın ısı kaynağı olarak kullanımını hem teknik hem de ekonomik açıdan zora sokmaktadır.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, yeterli ısı fazlası olduğu ve uygun proses parametreleri karşılanabildiği takdirde tüm çimento fabrikalarına uygulanabilir. Yerel koşullar ve maliyetle ilgili hususlar da göz önüne alınmalıdır.

Ekonomi

Tam kapsamlı büyük bir santralin maliyeti, beher MV kurulu elektrik gücü için ortalama olarak 0.8 ila 1.2 milyon EURO arasındadır. Almanya'da Lengfurt'ta bulunan tesis (Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesi) bunun yaklaşık 3.3 kat üzerindedir. Lengfurt ORC fabrikası 1 MW ile özellikle küçüktür; ancak, kısmen Alman hükümeti tarafından finanse edilmesi nedeniyle ekonomik açıdan uygundur.

Benzer bir şekilde Slite çimento fabrikasında (konvansiyonel buhar döngüsü prosesi), buhar türbini jeneratörü % 25 finansman desteği ile ve ekipmanın hayati ve pahalı parçası mevcut olmak kaydıyla temin edilmiştir. Sadece işletme gelirlerine bakarak bir su buharı kazanı ve elektrik üretim sistemine tam olarak yatırım yapılmasına gerekçe bulmak zordur.

Daha yeni ve etkili ön ısıtıcı kulelerinin ve klinker soğutucuların hatta ilave edilmesiyle kullanılmayan fazla ısı miktarı azalacak olup, ısının büyük bölümüne malzeme kurutma prosesi için ihtiyaç duyulması nedeniyle kojenerasyon için ekonomik ölçek uygun olmayabilecektir. Elektrik üretimi için fırın ve klinker soğutucudan atık ısının geri kazanımı her durum için ayrı ayrı 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
- Bir jeneratör tarafından tesis için kullanmak veya resmi elektrik şebekesine vermek üzere elektrik üretildiği takdirde.

Uygulamaya yönelik itici güç

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

Maliyetlerin azaltılması. Kaynakların tasarrufu.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

Yukarıda açıklanan iki adet atık ısı kojenerasyon santralının (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, TWG CLM, 2007], [181 Avrupa Komisyonu, 2008].

4.3 Genel Teknikler

4.3.1 Proses kontrol optimizasyonu

Tanım

Klinker pişirme prosesinin optimizasyonu genelde proses parametrelerini dengelemek suretiyle ısı tüketimini azaltmak, klinkerin kalitesini arttırmak ve ekipmanın ömrünü arttırmak (ateşe dayanıklı astar kaplama gibi) için yapılır. NO_x, SO₂ ve toz gibi emisyonların azaltılması bu optimizasyonun ikincil etkileridir. Fırının proses parametrelerinin tasarım değerlerine yakın olan düzgün ve istikrarlı bir şekilde çalıştırılması tüm fırın emisyonları için faydalıdır. Optimizasyon, ham malzemenin homojenizasyonu, muntazam kömür dozajlamanın sağlanması ve soğutucu faaliyetlerinin iyileştirilmesi gibi önlemleri/teknikleri kapsar. Katı yakıt besleme oranının asgari iniş ve çıkışlarla sabit olmasını 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 bölgeler nedeniyle oluşur. 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 de o denli düşük olur. Ancak bu durum düşük oksijen seviyelerindeki CO ve SO₂ artışlarına karşı dengelenmelidir [37, İngiltere, 1996].

Fırın proses optimizasyonlarının SO₂ emisyonları üzerindeki etkisi uzun yaş ve kuru fırınlarda yüksek ön ısıtıcılı fırınlarda ise çok düşüktür. SO₂ azaltımı, kalsinasyon prosesinden kaynaklanan CaO, düşük alev ve pişirme sıcaklıklarında azalan SO₂ uçuculuğu, fırındaki oksitleyici ortam ve kararlı fırın operasyonu nedeniyle oluşur [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

ESP’ler uygulandığında fırın bozulmaları ve Ani CO yükselmelerinden kaçınmak toz emisyonlarını azaltır ve bu uygulama aynı zamanda örneğin metaller gibi toza tutunan her türlü maddenin emisyonunu azaltır. Daha hızlı ölçüm yapabilen modern kontrol sistemleri ile daha yüksek devreden çıkartma kriterine izin verir ve böylece ani CO yükselmelerinin sayısını azaltır.

Bazı çimento ekipmanı tedarikçileri genelde NO_x seviyelerini izlemek suretiyle yanmanın kontrol edilmesine dayalı uzman otomatik kontrol sistemlerini geliştirmişlerdir [37, İngiltere, 1996].

Proses parametrelerinin ve emisyonun izlenmesi ve ölçülmesi, proses kontrol optimizasyonunun ve istikrarlı bir fırın prosesini elde etmenin vazgeçilmez bir parçasıdır.

Sağlanan çevresel faydalar

Azaltılmış alev ve pişirme sıcaklıkları NO_x emisyonlarının azalmasına yol açar. Ayrıca, yakıt tüketimi de azaltılabilir. ESP'leri kullanmak suretiyle fırın bozulmalarından ve Ani CO yükselmelerinden kaçınarak toz emisyonları azaltılır.

Çapraz medya etkileri

Emisyonların ve yakıt tüketiminin azaltılması

Operasyonel veriler

Başlangıçtaki NO_x seviyelerine bağlı olarak, uzun yaş ve kuru fırınlarda %30'a varan NO_x azaltımları ve %50'ye varan SO₂ azaltımları ve ön ısıtmalı fırınlarda bunların çok düşük oranları rapor edilmiştir. [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 unsurlar içerebilir. Proses kontrol optimizasyonunun SO₂ emisyonları üzerindeki etkisi uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda yüksek, ön ısıtıcılı fırınlarda ise çok düşüktür.

ESP'leri kullanmak suretiyle ani CO yükselmelerinin yönetimi çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Proses kontrol optimizasyonu önlemleri/tekniklerinin maliyeti çok değişkendir ve 5 milyon EURO' ya kadar ulaşır.

Genelde NO_x seviyelerini izlemek suretiyle yanmanın kontrol edilmesine dayalı gelişmiş uzman otomatik kontrol sistemleri için gerekli yatırım yaklaşık 300000 EURO olup, gerekli olan ölçme ve dozajlama sistemlerinin tesise monte edilmesi için ilave bir yatırım gerekebilir.

Fırın optimizasyonu esas olarak işletme maliyetlerini azaltmak, kapasiteyi arttırmak ve ürün kalitesini geliştirmek için yapılır. Optimize edilmiş bir fırının işletme giderleri genellikle optimize 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.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [37, İngiltere, 1996] [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.3.2 Yakıt ve Hammadde seçimi

Tanım

Fırına giren tüm maddelerin dikkatlice seçilmesi ve kontrol edilmesi emisyonların azalmasına neden olabilir. Örneğin hammaddelerin ve yakıtın sülfür 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 vardır. Örneğin yakıt kökürdü, 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 çökticilerin performansını bozan alkalın kloridlerin (ve diğer metal kloridlerin) oluşumunu azaltır. Yüksek alkali malzemeler, nihai üründe yüksek alkali içeriği olmasını 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.

Konvansiyonel yakıtların ve hammaddelerin yerine değişik türde atıklar kullanılabilir. Ancak, bu atıkların belirli özellikleri ve parametreleri üzerinde dikkatli bir kalite kontrolü yapılması esastır. Uygun bir kalorifik değeri ve reaktivitesi ile düşük nem ve kirletici içeriği olacak şekilde seçilen yakıt olarak kullanılan atıklar fosil yakıtlardan tasarruf edilmesini sağlayabilir. Hammadde olarak kullanılan ve VOC, halojenli 108 bileşikler ve cıva içeren atıklar özellikle emisyonlar açısından sorun yaratabilir. Fırın sistemi içine uçucu metal içeriği yüksek olan malzemeleri beslemekten kaçınılmalıdır. Malzemelerdeki cıva içeriği asgariye indirilmelidir ve fırın sisteminin içine cıva girişinin sınırlandırılması gerekebilir. Bu bağlamda, atık maddelerin içindeki maddelerin konsantrasyon aralık örneklerinin sunulduğu. VOC /halojenli bileşikler içeren atıklar sadece uçucu bileşenler yeterli bir alıkoyma süresinin yanı sıra yüksek sıcaklıklarda ayrıştırılabildiği takdirde kullanılabilir. Atık kullanıldığı takdirde sistematik izleme yapmak gereklidir.

Sağlanan çevresel faydalar

Yakıtların ve hammaddelerin dikkatli bir şekilde seçilmesi emisyonu açan maddelerin girişini sınırlandırabilir. Atık yakıtların kullanılması fosil yakıtlardan tasarruf edilmesini sağlar ve ayrıca atıkların depolama sahalarında bertarafını azaltabilir.

Çapraz medya etkileri

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

Operasyonel veriler

Veri yoktur.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak çimento sanayinde önlemler/teknikler uygulanabilir. Organik maddelerin tamamen yanması sağlandığı ve atık girdi kontrolü ile emisyon kontrolü örneğin metaller ve dioksinlerde düşük seviyede emisyon oluşumunu garanti ettiği takdirde uygun atık malzemelerin hammadde olarak kullanımı uygulanabilir.

Ekonomi

Veri yoktur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri [74, CEMBUREAU, 2006], [76, Almanya, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.3.3 Atıkların yakıt olarak kullanılması

Tanım

Yeterli (net) kalorifik değere sahip olan seçilmiş atıklar, belirli spesifikasyonları ve özellikleri karşıladıkları takdirde çimento fırınında kömür gibi fosil yakıtların yerine yakıt olarak kullanılabilir. Çoğu kez, bunlar klinker pişirme prosesi için özel olarak hazırlanmış olan yakıtları sağlamak üzere sadece belirli bir ön arıtmadan sonra kullanılabilirler. Aşağıda belirtilenler gibi değişik kriterler fırının çalışması ve emisyonlar üzerinde etkili olabilecek olan atık yakıtların seçiminde belirleyici bir rol oynar:

- Fiziksel kriterler, örneğin; hava sürüklenme
- Kimyasal kriterler, örneğin; klor, kükürt, alkali ve fosfat içeriği, reaktivite ve uçucu metal içeriği.

Atık yakıtın özelliklerini garanti etmek için bir kalite güvence sisteminin olması gereklidir. Bu sistem özellikle numune alma, numune hazırlama, analiz ve dış izleme ile ilgili hükümler içerir. İlave faydalı bilgiler Avrupa Standardizasyon Komitesi’nin CEN/TC 343 'Geri Kazanılmış Katı Yakıtlar' gibi teknik spesifikasyonlarında bulunabilir.

Yakıtların fırına beslenme şeklinin kullanılan atıkların türüne ve özelliklerine bağlı olarak emisyonlar üzerinde etkisi olabileceği için yakıtların fırına ilave edildikleri noktalar dikkate alınmalıdır. Genel olarak, ana brülör vasıtasıyla beslenen yakıtlar en yüksek yanma sıcaklıklarına maruz kalırlar. Tüm besleme noktaları için sıcaklıklar ve kalma süreleri fırının tasarımına ve çalışmasına bağlıdır. Atık Yakma Direktifi’nin (WID), gereksinimlerini karşılamak için proses gazları 850 °C sıcaklığı iki saniye boyunca korumak zorundadır. % 1’den fazla klor içeriği olan atıkları kullanırken işletme koşulları 1100n°C sıcaklık ve iki saniye kalma süresi olmalıdır.

Emisyonlarını kontrol etmek için bazı ilave çevresel ekipmanlar monte edilebilir. Çevre, güvenlik ve kalite standartlarını sağlamak için özel kontrol ve proses önlemleri/teknikleri gereklidir.

Tehlikeli atıkların (sıvı atık yakıtlar) kullanımı ile ilgili olarak, örneğin depolama, besleme gibi elleçleme işlemleri sırasında güvenlik yönetimi dikkate alınmalıdır. Ayrıca, ön arıtmaya tabi tutulmuş ve tasnif edilmiş atık fraksiyonlarından elde edilen atık yakıtların kullanımı sırasında kendi kendine tutuşma potansiyeli olan malzemeler için güvenlik yönetimi düşünülmelidir.

Sağlanan çevresel faydalar

Atık yakıtların seçimi, aşağıda belirtilen ana noktaların da dahil olduğu birçok birbirleri ile ilişkili

düşünceler tarafından yönlendirilir:

- Emisyonların azaltılması, örneğin; fosil CO₂, NO_x
- Hammadde kullanımının azaltılması, örneğin; fosil yakıtlar ve hammaddeler.

Çapraz medya etkileri

Değişik türdeki atık yakıtların örneğin nem, kalorifik değer gibi özellikleri beher ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketimini etkileyebilir, örneğin; düşük (net) kalorifik değer ve yüksek nem içeriği beher ton klinker için gerekli olan özgül enerji tüketiminin artmasına neden olabilir. Aynı enerji ihtiyacını elde etmek için kullanılan daha düşük kalorifik değeri olan atık yakıtların miktarı konvansiyonel yakıtlar ile kıyaslandığında daha fazladır.

Örneğin yüksek uçucu metal konsantrasyonları gibi özelliklerine bağlı olarak atık yakıtların emisyonlar üzerinde etkileri olabilir. Bu durum kontrol edilebilir ve uygun girdi kontrolü vasıtasıyla asgariye indirilebilir.

Operasyonel veriler

Kullanılan yakıt karışımını değiştirirken klinkerin ton başına özgül enerji tüketimi yakıt türüne ve kullanılan yakıtların kalorifik değerine bağlı olarak çeşitli nedenlerle farklı olabilir. Fosil yakıtların kalorifik değerlerinin (ortalama, net) örneğin standart kömür için 26 - 30 MJ/kg, standart fueloil için 40 - 42 MJ/kg olduğu, plastik malzemelerin ise 17 ila 40 MJ/kg arasında kalorifik değere sahip olduğu literatürde belirtilmiştir. Bu atıkların kalorifik değerlerinin çok değişken olduğu ve 40'a MJ /kg'a kadar ulaştığı dikkate alınmalıdır. Çimento fırınlarında kullanılan hayvan atıklarının (karkas atıkları) kalorifik değerlerinin 14 ila 22 MJ/kg arasında olduğu rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak organik maddenin tamamen yanması halinde önlemler/teknikler çimento sanayinde uygulanabilir. Atık girdi kontrolü ile emisyon kontrolü, örneğin metaller ve PCDD/F gibi emisyonların düşük seviyede olmasını garanti eder.

Ekonomi

Fosil yakıtların kullanımı ile karşılaştırıldığında atık yakıtların kullanımı işletme maliyetlerini azaltabilir. Enerji kullanımı genellikle üretim maliyetlerinin % 30-40'ını oluşturur. Bu nedenle yakıt maliyetleri çimento üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Maliyetlerin atık yakıtların türlerine ve yerel koşullara göre değişmelerine rağmen atık yakıtlar konvansiyonel fosil yakıtlardan daha ucuz olabilir. Ancak, atık yakıtlar çoğu kez ilave masraflara yol açacak şekilde ön işleme tabi tutulmalı ve çimento fırınında kullanılmaları için yeterli homojenliğe getirilmelidir. Ayrıca ilave izleme ve analiz maliyetleri oluşabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Ekonomik gereksinimler.

Yakıt giderlerinin azaltılması

Yerel koşullar.

Kaynakların mevcudiyeti

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

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

4.4 Toz emisyonları (partikül madde)

Bu bölümde yönlendirilmiş toz emisyonlarını ve yayılmış toz emisyonlarını önleyecek önlemler/teknikler tanımlanmıştır. Bu bağlamda ilave bilgiler Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar konulu BREF ile Kimya Sektöründe Genel Atık Su ve Atık Gaz Arıtım/Yönetim Sistemleri konulu BREF’te bulunabilir [95, İsveç, 2006], [96, Avrupa Komisyonu, 2006].

4.4.1 Tozlu işlemler için önlemler/teknikler

Tanım

Yayılmış toz emisyon kaynaklarını ağırlıklı olarak hammaddelerin, yakıtların ve klinkerin depolanması ve taşınması ile üretim alanında kullanılan araç trafiği oluşturur. Olası yayılmış toz kaynaklarını asgari seviyeye indirmek için basit ve doğrusal bir saha yerleşim düzeni olması tavsiye edilir. Tesisin bakımının doğru ve eksiksiz bir şekilde yapılması her zaman hava kaçaklarının ve dökülme noktalarının azaltılması suretiyle yayılmış tozun azaltılması gibi dolaylı bir sonuca varılmasını sağlar. Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanılması da yayılmış tozun azaltılmasına ve sürekli olarak sorunsuz çalışma yapılmasına yardımcı olur.

Yayılmış tozun azaltılması ile ilgili değişik önlemler /tedbirler aşağıda sunulmuş olup, bunları tek başlarına veya birlikte uygulamak mümkündür:

- öğütme eleme ve karıştırma gibi tozlu işlemleri kapalı/örtülü hale getirin
- yayılmış toz emisyonlarının tozlu malzemeden kaynaklanma ihtimali olduğunda kapalı sistemler olarak inşa edilmiş olan konveyörler ve asansörlerin üzerini kapatın
- hava kaçaklarını ve dökülme noktalarını azaltın, tesisi tamamlayın
- otomatik cihazları ve kontrol sistemlerini kullanın
- sorunsuz çalışmayı sağlayın
- Tesisin doğru ve eksiksiz bakımı için seyyar ve sabit vakum temizleyiciler ile temizleme:
 - bakım işlemleri sırasında veya taşıma sistemlerinde bir sorun olduğunda malzemelerde dökülme meydana gelebilir. Temizleme işlemleri sırasında yayılmış toz oluşumunu önlemek için vakum sistemleri kullanılmalıdır. Yeni binalar kolaylıkla sabit vakumlu temizleme sistemleri ile donatılabilir, mevcut binalar ise normal olarak seyyar sistemler ve esnek bağlantılar ile daha kolay donatılacaktır
 - belirli durumlarda pnömatik taşıma sistemleri için sirkülasyon prosesi tercih edilebilir
- Havalandırma ve torbalı filtrelerde 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 torbalı filtre vasıtasıyla giderilir
- otomatik taşıma sistemi olan kapalı depo kullanın:
 - klinker siloları ve kapalı tam otomatik hammadde depolama alanları yüksek hacimli stokların oluşturduğu yayılmış toz sorununa en etkili çözüm olarak

- kabul edilir. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında yayılmış toz oluşumunu önlemek için bu tür depolar bir veya daha fazla torbalı filtre ile teçhiz edilir
- yeterli kapasiteye sahip olan, devre kesici anahtarlı seviye göstergeleri olan ve doldurma işlemleri sırasında oluşan toz taşıyan havanın üstesinden gelmek için filtreleri olan depolama silolarını kullanın
 - Sevk ve yükleme işlemleri için, çimento yükleme için toz giderme sistemi ile donatılmış olan ve kamyonun yükleme zeminine doğru konumlandırılmış olan esnek doldurma borularını kullanın.

Sağlanan çevresel faydalar

Yayılmış toz emisyonlarının azaltılması.

Makinelelerin etrafını kapatmak suretiyle gürültünün azaltılması da mümkündür.

Çapraz medya etkileri

Vakum sistemleri kullanılması nedeniyle enerji tüketiminde artış olur

Bakım yapıldığında ilave atıklar oluşabilir.

Operasyonel veriler

Önleme /teknikle ilgili belirli bireysel duruma bağlıdır

Uygulanabilirlik

Önlemler/teknikler prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Önleme /teknikle ilgili belirli bireysel duruma bağlıdır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

İşyeri için sağlık ve güvenlik gereksinimleri.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

[76, Almanya, 2006], [168, TWO CLM, 2007]

4.4.2 Dökme depolama alanları ve istifler için önlemler/teknikler

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Tozlu mineral hammadde veya yakıt depolama yerlerinden havaya salınan yayılmış toz emisyonlarının azaltılması için bu gibi istifler veya dökme depolama alanları perdeleme, duvar örme ile veya dikey bitkilerle (açık istifi rüzgardan korumak için suni veya doğal rüzgar kesiciler) kapatılabilir veya örtülebilir.

Yayılmış toz azaltılmasına ilişkin bazı önlemler/teknikler aşağıda belirtilmiştir:

- Açık istif rüzgar koruması:
 - Tozlu malzemeleri açık havada istifler halinde depolamadan kaçınılmalıdır, ancak bunların varlığı durumunda uygun şekilde tasarlanmış rüzgar önleyicileri kullanmak suretiyle yayılmış tozu azaltmak mümkündür

- Su püskürtme ve kimyasal toz bastırıcılar:
 - Yayılmış tozun kaynaklandığı nokta iyice tespit edildiği takdirde, bir su püskürtme enjeksiyon sistemi kurulabilir. Toz partiküllerinin nemlendirilmesi bir araya toplanmalarını sağlar ve böylece tozun çökmesine yardımcı olur. Ayrıca, su püskürtmenin genel etkinliğini arttırmak için çeşitli maddeler bulunmaktadır.
- asfaltlama, yol ıslatma ve temizlik hizmetleri:
 - kamyonlar tarafından kullanılan alanlar mümkün olduğu takdirde asfaltlanmalı ve yüzeyleri mümkün olduğunca temiz tutulmalıdır. Yolların ıslatılması, özellikle kuru havada yayılmış toz emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca bunlar yol temizleme makineleri ile temizlenebilir. Yayılmış toz emisyonlarını asgariye indirmek için iyi temizlik hizmetleri uygulamaları yapılmalıdır.
- İstiflerin nemlendirilmesi:
 - İstiflerde oluşan yayılmış toz emisyonları, yükleme ve boşaltma noktalarını yeterli derecede nemlendirmek ve yükseklikleri ayarlanabilen bantlı konveyörler kullanmak suretiyle azaltılabilir.

Depolama alanlarının yükleme ve boşaltma noktalarında yayılmış toz emisyonlarının kaçınılmaz olduğu durumlarda, bu emisyonlar, boşaltma yüksekliğini yığının değişken yüksekliği ile mümkünse otomatik olarak veya boşaltma hızını azaltarak eşleştirmek suretiyle azaltılabilir.

Çapraz medya etkileri

Sahaları ıslak tutarken su tüketimi artar

Vakum sistemleri ile su püskürtme sistemlerinin kullanılması nedeniyle enerji tüketiminde artış olur.

Bakım yapıldığında ilave atıklar oluşabilir.

Operasyonel veriler

Önlemler/teknikle ilgili belirli bireysel duruma bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Önlemler/teknikler prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Önlemler/teknikle ilgili belirli bireysel duruma bağlıdır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

İşyeri için sağlık ve güvenlik gereksinimleri.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri, İspanya’da Gador fabrikası.

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

4.4.3 Yönlendirilmiş toz emisyonlarının azaltılması

Çimento fabrikalarından kaynaklanan toz emisyonlarının değişik ana kaynak noktaları vardır. Bunlar fırın sistemleri, klinker soğutucuları ile hammadde, çimento ve kömür değirmenleri ve yardımcı proseslerdir. İnce tozun (PM10, PM2.5) büyük bir bölümü toplam toz yükünün azaltmak ve yüksek verimli tozsuzlaştırma sistemleri kullanmak suretiyle azaltılabilir. Bu işler için geçmişte çeşitli tozsuzlaştırma cihazları kullanılmıştır, ancak 2007 yılında toz azaltma için kullanılan ana kuru baca gazı filtre sistemleri, torbalı filtreler, elektrostatik çöktürücüler (ESP'ler) veya her ikisinin bileşimi olan hibrid filtrelerdir. Bazı durumlarda, sinterlenmiş lamel filtrelerin kullanıldığı rapor edilmiştir ancak bunlar çimento fırını uygulamalarında kullanılmamıştır.

Malzemelerin taşınma ve depolamasından ve hammaddelerin ve yakıtların ezilmesinden ve öğütülmesinden kaynaklanan yayılmış toz emisyonları da önemli olabilir. Bu bölümün metni içinde yer alan işletme verilerinin özeti Tablo 1.31'de verilmiştir. Bu tabloda genel bir bakış verilmiş olup aşağıda verilen uygun bölüm ve paragraflarla bir arada okunmalıdır. ESP'lerin ve torbalı filtrelerin kendilerine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Normal çalışma esnasında her ikisi de çok yüksek tozsuzlaştırma verimliliğine sahiptir. Yüksek CO konsantrasyonu, fırını çalıştırma, fırını kapatma veya bileşik çalışmadan (hammadde değirmeni devrede) doğrudan çalışmaya (hammadde değirmeni devre dışı) geçme gibi özel koşullarda ESP'lerin verimliliği önemli ölçüde azalabilir, buna karşın torbalı filtrelerin verimliliği daha az etkilenir. ESP'ler ve torbalı filtreler %99 partikül alıkoymanın üzerinde yüksek genel verimliliğe sahiptir ve her ikisi de partikül boyutuna bağlıdır. Her iki türdeki filtre sistemine yeterli verimliliği sürdürebilmeleri için uygun (periyodik) bakım yapılmalıdır. Egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak değişik türde filtre ortam kullanılmalıdır. Torbalı 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, TWG CLM, 2008].

Tablo 38: Çimento üretim prosesinde toz kontrolü önlemlerine/tekniklerine genel bakış

Önem/teknik	Uygulanabilirlik	Emisyon verileri ⁵⁾		Maliyet ³⁾	
		mg/Nm ³ ¹⁾	kg/ton ²⁾	Yatırım	İşletme
Elektrostatik çöktürücüler	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucular, çimento değirmenleri	<10 - <20 <10 - <20 <10	0.02 - 0.05 0.02 - 0.05 0.02		
Torbalı filtreler	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucular, Değirmenler (hammadde, çimento, kömür değirmenleri)	<5 <5 <10	0.01 0.01 0.02		
Hibrid filtreler	Tüm fırın sistemleri, klinker soğutucular, çimento değirmenleri	<10-20	0.02-0.05		
Yayılmış toz azaltma	Tüm tesisler	-	-	-	-

¹⁾ Fırın sistemleri için normal olarak günlük ortalamaları belirtir, kuru gaz, 273 K, 101.3 kPa ve % 10 O₂
²⁾ kg/ton klinker: 2300 mVton klinker baz alınmıştır
³⁾ Emisyonları 10 - 30 mg/Nm³'e düşürme maliyeti. Normal olarak günlük 3000 ton klinker fırın kapasitesine ve 500 g toz/Nm³'e kadar olan ilk emisyonlara atıfta bulunmaktadır.
⁴⁾ Emisyon verileri bu bölümün ilgili paragrafında bulunabilir

Bu değerler tipik aralıkları temsil ederler ve genel bakış geçerli olduğu yerlerde filtre tozu ve giderilen toz miktarlarının tahmin edilmesini mümkün kılar[76, Almanya, 2006].

4.4.3.1 Elektrostatik çökticiler (ESP'ler)

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Elektrostatik çökticiler (ESP'ler) partikül maddelerin hava akımı içinde izlediği yol üzerinde

elektrostatik bir alan oluşturur. Partiküller negatif yüklü hale gelirler ve pozitif yüklü toplama plakalarına doğru taşınırlar. Toplama plakaları periyodik olarak sallanarak veya titreşerek malzemeleri yerlerinden çıkartır ve altta bulunan toplama hunilerine düşmelerini sağlarlar. Partiküllerin yeniden sürüklenmelerini asgariye indirmek ve böylece baca gazının görünürlüğünü etkileme potansiyelini asgariye indirmek amacıyla ESP'lerin sallanma döngülerinin optimize edilmesi önemlidir. ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve yüksek nem oranı şartlarında çalışabilme yetenekleridir.

Bir ESP'nin performansı aşağıda belirtilenler gibi çeşitli operasyonel parametrelere bağlıdır:

- gazın nem içeriği
- baca gazının kimyası
- baca gazının akış hızı
- partikül boyut dağılımı ve kimyasal bileşim
- partikülün elektriksel direnci
- partikül yükleme oranı
- gaz sıcaklığı
- başlatma ve durdurma işlemi
- elektrik alanının gücü
- elektrotların alanı ve şekli
- SO₂ konsantrasyonu
- Nem içeriği
- Değişik işletme koşullarının geçiş safhaları.

Performans özellikle malzemelerin elektrotlar üzerinde birikerek bir yalıtım tabakası oluşturması ve bu nedenle elektrik alanını küçülmesi nedeniyle bozulabilir. Bu durum, yüksek miktarda klorun ve kükürdün fırın prosesine girerek alkali metal kloridleri ve sülfatları oluşturması halinde meydana gelir. Alkali metal kloridleri mikron altı toz (0.1 - 1 µm) oluşturabilir ve yüksek özgül toz direncine (10¹² —10¹³ Ω/cm arasında) sahip olduğundan elektrotlar üzerinde izolasyon tabakaları oluşturur ve bu nedenle toz gidermede sorunlara yol açar.

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

Çapraz medya etkileri

Alkali metal kloridleri ve sülfatları ile mikron altı toz partikülleri oluşabilir.

Yüksek CO konsantrasyonlarında patlama riski ortaya çıkar.

Artan giderme etkinliği ile birlikte elektrik enerjisi tüketimi artar.

Bakım yapıldığında ilave atıklar oluşabilir.

Tozlar tekrar kullanılabilir.

Operasyonel veriler

İyi havalandırma ile birlikte yeteri derecede boyutlandırılmış ESP'ler ve optimize edilmiş bir ESP temizleme rejimi seviyeleri, aylık ortalama olarak (kuru gaz, 273 K, % 10 O₂) 5 - 15 mg/Nm³ seviyelerine düşürebilir. Partiküllerin tasarlanmış toplama verimliliği % 99,99'dan daha fazladır ve bu nedenle sadece birkaç mg/Nm³ emisyon 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 ve bu durum yüksek uygulanabilirliğe sahip olmalarına ve prosesteki aksaklıklara karşı nispeten duyarsız olmalarına neden olmaktadır. Mevcut ESP tesisleri genelde tümüyle değiştirilmeden yenilenebilir ve bu nedenle maliyetler sınırlandırılabilir. Bu işlem eski tesislere daha modern elektrotlar takmak veya otomatik voltaj kontrolü monte etmek suretiyle yapılabilir. Ayrıca, ESP'den gaz geçişini iyileştirmek veya ilave kademeler eklemek mümkündür. 2006 yılında, iyi tasarlanmış ve iyi bakımlı olan birçok ESP <10 mg/ Nm³ (günlük ortalama değer) toz emisyon seviyeleri elde etmiştir. 10 mg/ Nm³'ten daha az emisyonları olan bir ESP en modern proses kontrol uygulamasına, optimal yüksek gerilim malzemelerine, uygun boyutlandırmaya ve uygun sayıda elektrik alanlarına sahip olacak şekilde imal edilebilir.

ESP'ler tozun yanı sıra varsa dioksinler ve metaller gibi toz partiküllerine tutunan maddeleri degiderir.

ESP'lerin ebadı ve elektrik tüketimi temiz gaz toz içeriğinin azalmasıyla katlanarak artar. Bir ESP'nin optimum çalışması sıcaklık ve nem gibi tanımlanmış ham gaz koşullarına bağlıdır. Bir ESP'nin ömrü, tavsiye edilen tüm bakımların düzgün olarak yapılması kaydıyla onlarca yıl olabilir. Rutin bakımın bir parçası olarak çekiçler ve yataklar gibi bazı parçaların birkaç yıl çalışmadan sonra düzenli olarak değiştirilmeleri gerekir.

Uygulanabilirlik

Yüksek verimlilikleri, düşük basınç kayıpları, kolay bulunabilirlikleri ve enerji verimlilikleri nedeniyle elektrostatik çökticiler döner fırın gaz egzoz gazından ve klinker soğutucu egzoz gazından toz toplamak amacıyla başarıyla uygulanmışlardır. ESP'ler, fırın egzoz gazından, baypas gazından veya ızgaralı soğutucudan çıkan havadan tozun toplanması için hemen hemen tüm çimento fırınlarında kullanılabilir.

ESP'lerin çimento sanayinde kullanılan değişik türdeki proseslere uygulanabilirliği konusunda

herhangi bir kısıtlama olmadığı mevcut literatürde belirtilmiştir. Ancak ESP'ler yatırım maliyetleri ve devreye alma ve devreden çıkartma sırasındaki verimlilikleri (nispeten yüksek emisyonlar) nedeniyle çoğu zaman çimento değirmeni tozsuzlaştırması için seçilmezler.

ESP'lerin özelliği yüksek sıcaklık (yaklaşık 400 °C'ye kadar) ve yüksek nem oranı şartlarında çalışabilme yetenekleridir. Bu önlemin /teknğin en büyük dezavantajı yüksek klor ve kükürt girişleri yüzünden oluşabilecek yalıtım tabakası ve malzeme birikimi nedeniyle verimliliklerinin düşmesidir. ESP'lerin genel performansı için ani CO yükselmelerinin önlenmesi önemlidir.

Bazı durumlarda baca gazları içindeki CO seviyeleri yükseldiğinde ESP'lerin güvenlik nedenleriyle kapatılmaları gerekebilir (ani CO yükselmeleri).

Ekonomi

2000 yılında 3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, ilk 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 EURO olmuştur ve istendiği takdirde şartlandırma kulesi ve filtre fanı için 0.6-0.8 milyon EURO ilave edilecektir. Aynı fırın ESP'sinin işletme gideri ise beher ton klinker için yaklaşık 0.1 - 0.2 EURO olmuştur. 3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, ilk emisyon seviyeleri 20 g/Nm³'e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği 10 - 50 mg/Nm³ olan bir fırının klinker soğutucusu için ve saatte 160 ton çimento kapasitesi olan, ilk emisyon seviyeleri 300 g/Nm³'e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği 10 - 50 mg/Nm³ olan bir bilyalı çimento değirmeni için bir ESP'nin yatırım maliyeti 0.8 - 1.2 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için 0.09 - 0.18 EURO olmuştur.

2006 yılında, fırın egzoz gazını tozsuzlaştırma (fırın: 3000 t/gün) için gerekli yatırım maliyetinin 4.5 ila 6 milyon EURO arasında olduğu rapor edilmiştir. Bu geniş fiyat aralığı yerel imalat maliyetlerine, montaj maliyetlerine (büyük ölçüde farklı olabilir) ve fırının ve ESP'nin (bir verimlilik fonksiyonu olan) ebadına bağlıdır. İşletme ve bakım giderleri normalde düşüktür. Aradaki fark büyük ölçüde güç tüketiminin ve bakım giderlerinin yerel olarak değerlendirilmesine bağlıdır [76, Almanya, 2006].

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

İşyeri için sağlık ve güvenlik gereksinimleri.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri

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

4.4.3.2 Torbalı filtreler

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Torbalı filtreler etkin toz toplayıcılardır. Torbalı filtrasyonun temel prensibi gazı geçiren ancak tozu tutan bir kumaş membran kullanmaktır. Temelde, filtre ortamı geometrik olarak düzenlenir, ancak Şekil 1.60'ta gösterildiği gibi silindirik filtre torbaları (dikey asılı olan) genellikle yatay olarak monte edilen filtre cepleri arasında bir ayırım yapılmıştır. Başlangıçta, toz her ikisinde de yüzey lifleri üzerinde ve kumaşın derinliğine doğru birikir, ancak yüzey tabakasında toz biriktikçe tozun kendisi hakim 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 akımlı mekanik titreşimli veya sallamalı ve titreşimli basınçlı hava darbesi (jet puls filtreler) yer alır. Torbalı 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.

Çeşitli örgü ve örgü olmayan kumaşlardan yapılmış olan filtre torbaları mevcuttur. Yüksek sıcaklık uygulamaları 'normal' olarak tedarik edilenlerden daha egzotik kumaş türlerine ihtiyaç duyulmasına yol alacaktır. Ancak bunların da değişik çeşitleri mevcuttur. Modern sentetik kumaşlar 280 °C ‘ye varan oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Farklı torbalı filtrelerin temel özellikleri ve maliyet cetvelleri Tablo 1.32 'de gösterilmiştir.



Şekil 36: İngiltere’de bir çimento fabrikasında kullanılan torba filtre ve filtre malzemesi örneği [82, CEMEX Rugby İngiltere, 2006]

Çapraz medya etkileri

Artan giderme etkinliği ile birlikte artan elektrik enerjisi kullanımı.

Temizlik döngüsü için artan basınçlı hava.

Bakım yapıldığında ilave atıklar oluşabilir.

Sinterlenmiş lamel filtreler kullanıldığında gürültü emisyonu oluşabilir.

Operasyonel veriler

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’dan daha yüksek olabilir ve bu nedenle, iyi tasarlanmış ve iyi bakımlı olan torbalı filtrelerle 5 mg/Nm³’ten daha düşük emisyonlar elde edilebilir (kuru gaz, 273 K, %10 O₂). Torbalı filtre, tozun

yanı sıra varsa dioksinler ve metaller gibi toz partiküllerine tutunan maddeleri de giderir.

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

Tablo 39: Değişik filtre ortamlarının temel özellikleri ve maliyet cetvelleri
[86, EURITS, 2006], [81, Castle Cement İngiltere, 2006] [134, CEMBUREAU/Federhen, 2007]

Çimento üretim prosesinde ve çimento tesislerinde fiberlerin teknik uygulaması											
Fiberlerin türleri (marka belirlenmemiştir)		Sıcaklık (°C)		Asitlere dayanma	Alkalilere dayanma	Hidroliz/sıcak nem	Oksidasyon/oksijen >% 13	Çimento fabrikası uygulaması için aşınma mukavemeti	Yüzey işlemi olmadan filtrasyon etkinliği	Filtrasyonu ve ekonomik yönü iyileştirmek için kimyasal veya mekanik yüzey işlemi	Monte edildiği alan birimi başına nispi maliyet
		Nominal	En Yüksek	Dayanıklılık sıcaklıklar ve birleşim seçimleri nedeniyle değişebilir							
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				Vasat	Zayıf				Çok iyi		Düşük
Polyester	PES	150	160	Düşük	Vasat	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Proses için evet, yayılmış toz kolektörlerinin siloları için hayır	Düşük
Poliakrilonitril kopolimer	PAN	110	120	İyi	Vasat	Mükemmel	Mükemmel	İyi	İyi		Düşük
Poliakrilonitril homopolymer >% 95		125	135						İyi		Düşük
Naylon			205	Zayıf – Vasat arası	Mükemmel			Mükemmel	Mükemmel		
Aramid (meta)/aromatik poliamid	AR/PA	180	200	Vasat	İyi	Vasat	Mükemmel	İyi	İyi	Proses gaz arıtma uygulamaları için evet	
Polivilyenesülfid	PPS	180	200	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Zayıf	İyi	İyi		Orta
Poliimid	PI	180	240	Vasat	Vasat	Vasat	İyi	İyi	Mükemmel	Fiber yapısı nedeniyle gerekli değil	Yüksek
Cam elyaf dokuma	GF	280	280	HF dışında İyi	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	Vasat	Düşük filtrasyon hızı tavsiye edilmektedir	Orta
ePTFE Membran ile Cam elyaf (genişletilmiş)	GF+Mem	260	280					Vasat	Üstün	Membran nedeniyle dahil edilmiştir	Yüksek
Politetrafloroetilen	PTFE	250	260	Üstün	Üstün	Üstün	Üstün	Vasat	Zayıf	Şiddetle tavsiye edilir	Çok yüksek
Çimento fabrikalarına özgü orta ila büyük çaplı satın almaların ortalama maliyetleri tabloda gösterilmiştir. Maliyetler enerji ve filtre ortamı nedeniyle değişir.											
Maliyet cetveli	Düşük	Ambalajlı, montajsız filtre kumaşı beher m ² için fabrika teslimi 10 EURO'ya kadar									
	Orta	Ambalajlı, montajsız filtre kumaşı beher m ² için fabrika teslimi 10 ila 20 EURO									
	Yüksek	Ambalajlı, montajsız filtre kumaşı beher m ² için fabrika teslimi 20 ila 40 EURO									
	Çok yüksek	Ambalajlı, montajsız filtre kumaşı beher m ² için fabrika teslimi 40 EURO'nun üzerinde									

Uygulanabilirlik

Bu önlem/teknik prensip olarak çimento sanayinde kullanılabilir ve fırın egzoz gazındaki tozun, baypas gaz tozunun veya ızgaralı soğutucuların egzoz havasındaki tozun toplanması uygulaması için hemen hemen tüm fırınlarda kullanılabilir. Torbalı filtrelerin çimento sanayinde kullanılan değişik türdeki proseslere uygulanabilirliği konusunda herhangi bir kısıtlama olmadığı mevcut literatürde belirtilmiştir. Ancak nem ve sıcaklık dikkate alınmalıdır.

Torbalı filtrelerin performansı, esas olarak filtre ortamının baca gazı ve tozunun özellikleri ile uyumlu olması, 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 filtrasyona karşı dirençtir. Bu değer filtre ortamının ve tozun özelliklerine bağlıdır. Bir filtrenin tasarımı için temel parametre hacimsel akıştır. Bu nedenle, filtrenin türüne, tozun ve gazın miktarı ve özelliklerine bağlı olan filtre sınıflandırılması tespit edilmelidir.

Torbalı filtrelerin hizmet ömrü ile enerji ve bakım ihtiyaçları termal ve mekanik gerilimden etkilenmektedir. Gaz akış hızı, toz keki kalınlığı, gözeneklilik ve temizleme döngüsü artırımı verimini etkileyebilir. Ortamdaki basınç düşüşünün azaltılması, sürekli izleme ve dedektörler sayesinde muhtemel sızıntıların hızlı bir biçimde 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, alçak basınçlı puls jet temizleme sistemi kullanmak suretiyle verimliliğin artırılabilirliğini ve aynı zamanda elektrik tüketiminin asgariye indirilebileceğini, ayrıca gürültü emisyonu yönünden büyük avantajlar sağlanacağını göstermiştir. Bu sistem döner fırınların egzoz gazını tozsuzlaştırmak için ve bunun yanı sıra alkali baypasını, klinker soğutucuyu, değirmenleri ve klasifikatörleri tozsuzlaştırmak için kullanılır.

Siklonlar, torbalı filtreler ile birlikte klinker soğutucu sistemlerine uygulanabilir. Bir siklon / Santrifüj ayırıcının içinde çıkan atık gaz akışından elimine edilecek olan toz partikülleri santrifüj hareket tarafından ünitenin dış duvarına doğru zorlanır ve sonra birimin altında bulunan bir delik vasıtasıyla elimine edilirler. Santrifüj kuvvetleri gaz akışını bir silindirik kap (siklonik ayırıcılar) veya üniteye monte edilen bir döner pervane (mekanik santrifüj ayırıcılar) vasıtasıyla aşağıya doğru bir spiral hareketle yönlendirmek suretiyle oluşturulabilir. Çimento sanayinde, siklonlar sıcaklığın düşürülmesi için bir hava ısı eşanjörü ile ve örneğin soğutma egzoz gazlarından toz giderme için bir torbalı filtre sistemi (torbalı filtre) ile birleştirilir. Bir siklon toz konsantrasyonunu %70 oranında azaltabilir. Bir hava ısı eşanjörü ve torbalı filtre ile birleştirildiğinde, 5 - 7 mg/Nm³’lük düşük emisyon değerlerinin yanı sıra % 99.99’a varan yüksek temizlik verimliliği elde edilebilir. Ancak siklonun ebadı (örneğin 25 m uzunluk, 6.4 m yükseklik, 6.4 m çap) ve birleştirilen ısı eşanjörünün ebadı 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 sinter lamellerin çok dayanıklı olduklarını ve az bakım istediklerini göstermiştir. Bu modern filtre ortamının başlıca avantajları çıkan atık gazlardan toz temizleme verimliliğinin çok yüksek oluşu ile birlikte basınç düşüşlerinin az olması ve aşınmaya karşı yüksek dayanıklılıktır. Filtre geometrisi kompakt bir yapıya sahip olmasını sağlar ve filtre çok sıkışık yer şartlarında monte edilebilir. Kompakt gürültü koruma muhafazası kullanmak suretiyle gürültü emisyonları asgariye indirilebilir [144, Adlhoch, 1996].

Ekonomi

3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, ilk emisyon seviyesi 500 g/Nm^3 e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ olan bir fırına yeni bir torbalı filtre ilave etmenin maliyeti yaklaşık 1.5 – 6 milyon EURO’ dur ve istendiği takdirde şartlandırma kulesi ve filtre fanı için 0.6-0.8 milyon EURO ilave edilmesi gereklidir. Fırın egzoz gazlarını tozsuzlaştırmada % 99.99’ dan fazla ayırma verimliliği elde etmek için gerekli torbalı filtre tesislerinin (torbalı filtreler) yatırım maliyeti kullanılacak filtre torbalarının türüne ve sayısına bağlı olarak 4 milyon ila 8 milyon EURO arasında değişebilir. Tablo 1.32’ de gösterildiği üzere bir filtre torbasında beher Nm^2 başına 10 EURO maliyetle bakım masrafının düşük olduğu görülmektedir. Ancak, fırın egzoz filtrelerinde binlerce torba bulunabilir ve bu nedenle çok geniş bir filtre torbası alanı binlerce Nm^2 ’ ye tekabül edebilir. İşletme ve bakım giderleri büyük ölçüde güç tüketiminin ve bakım giderlerinin yerel olarak değerlendirilmesine bağlıdır.

Şartlandırma kuleleri genelde torbalı filtre işlemleri için uygulanabilir sıcaklıklar elde etme amacıyla uygulanır. Aynı fırın torbalı filtresinin maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.10 - 0.35 EURO’ dur. 3000 ton klinker/gün kapasitesi olan, ilk emisyon seviyesi 20 g/Nm^3 e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ olan bir fırın için havadan havaya ısı eşanjörü ile ızgaralı klinker soğutucu için fitler fanı olan bir puls jet torbalı filtrenin maliyeti yaklaşık 1.0 milyon - 1.4 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.10-0.15 EURO’ dur. 160 ton çimento/gün kapasitesi olan, ilk emisyon seviyesi 300 g/Nm^3 e kadar ulaşan ve temiz gaz toz içeriği $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ olan bir bilyalı çimento değirmeni için puls jet torbalı filtrenin yatırım maliyeti filtre fanı dahil yaklaşık 0.3 milyon - 0.5 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.03 -0.04 EURO’ dur [9,CEMBUREAU, 1997 Kasım].

İşletme maliyetlerini optimize etmek amacıyla değişik çimento fabrikaları optimize edilmiş basınçlı puls jet temizleme sistemlerini monte etmişlerdir. Torbalı filtrelerin maliyetlerinin azaltılmasını etkileyen üç faktör filtre alanının yüklenmesi, filtre basınç farkı ve temizleme sistemidir. Bu parametrelerin karşılıklı etkileşimleri nedeniyle amaç mümkün olan en yüksek *hava:filtre* alanı oranını, mümkün olan en düşük basınç farkını ve mümkün olan en düşük temizlik basıncını elde etmektir. % 12 ila % 25 arasında toplam maliyet indirimi (yatırım ve işletme maliyetleri) rapor edilmiştir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

İşyeri için sağlık ve güvenlik gereksinimleri.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

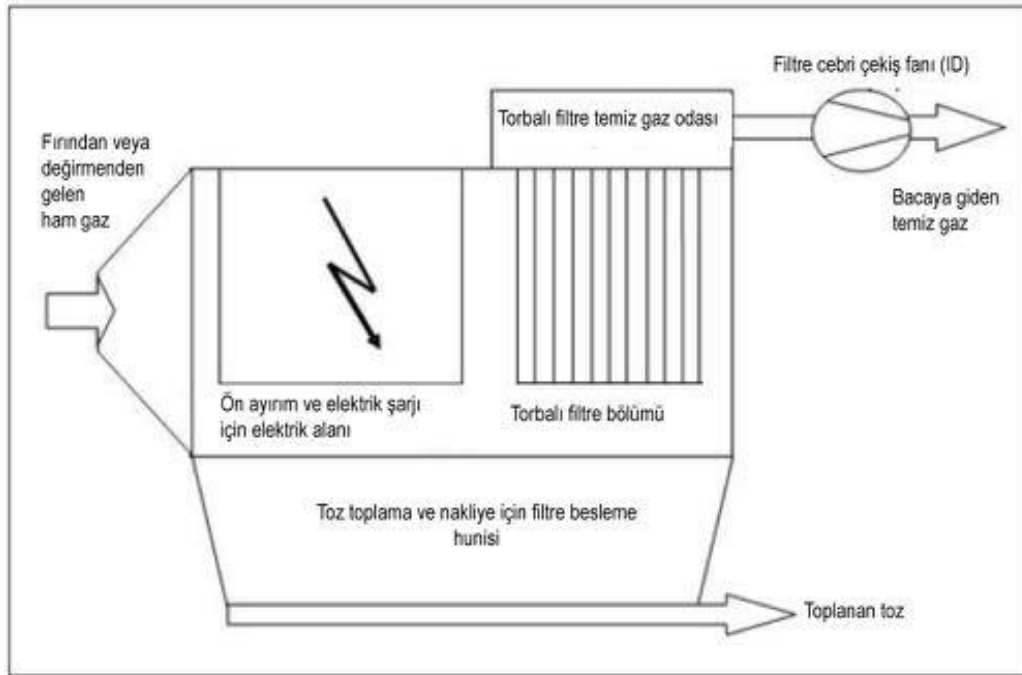
AB-27’de bulunan çimento tesisleri; Güney Afrika’da Dudfield çimento fabrikası (Hava-hava ısı eşanjörü ve torbalı filtre tesisleri (torbalı filtreler) ile birlikte siklon kullanımı, Almanya’da bulunan çimento fabrikası (sinter lamel filtrelerin kullanımı).

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

1.4.4.3.3 Hibrid filtreler

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Hibrid filtreler ESP’lerin ve torbalı filtrelerin aynı cihazda birleştirilmiş halidir. Bunlar genellikle mevcut ESP’lerin dönüştürülmesi yoluyla oluşurlar. Eski ekipmanların kısmen tekrar kullanılmasını sağlarlar. Bir hibrid filtrenin çalışma prensibi Şekil 1.61’de gösterilmiştir.



Şekil 37: Toz toplamak için hibrid filtre
[135, CEMBUREAU/Federhen, 2007]

Çapraz medya etkileri

Yüksek CO konsantrasyonlarında (ani CO yükselmeleri) patlama riski doğar.

Bakım yapıldığında ilave atıklar oluşabilir.

ESP'lere kıyasla daha az su kullanımı.

Torbalı filtrelerle kıyasla daha az proses kaybı/atığı.

Operasyonel veriler

Fırınlara monte edilen hibrid filtrelerden yayılan toz emisyonlarının günlük ortalama değer olarak <10 ila 20 mg/Nm^3 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Ancak iyi korunmuş torbalı filtrelerden 10 mg/Nm^3 'ün altında toz emisyonları elde edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Önlemler/teknikler prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

İspanya'da bulunan Sagunto fabrikası ve Gador fabrikası, AB-27'de bulunan çimento tesisleri.

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

4.5 Gaz halindeki bileşikler

4.5.1 NOx emisyonlarının azaltılması

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

- Alev soğutma, örneğin yüksek su içeriği, sıvı/katı atıklar
- düşük NOx brülörleri
- Fırın ortası ateşleme
- Farinin pişirilebilirliğini arttırmak için mineralleştiricilerin ilave edilmesi (mineralleştirilmiş klinker)
- Kademeli yanma (konvansiyonel veya atık yakıtlar) aynı zamanda ön kalsinatör ile birlikte ve optimize edilmiş yakıt karışımı kullanarak
- proses optimizasyonu

Ayrıca NOx azaltımı için aşağıda belirtilenler gibi ikincil önlemler/teknikler kullanılabilir:

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

Çevresel nedenler/ güvenlik nedenleri ve ekonomik nedenlerle NOx azaltma işlemine tercihen prosese entegre edilmiş önlemler/teknikler ve kontrol önlemleri /teknikleri, kademeli yanma ve alev soğutma, geliştirilmiş ateşleme tekniği, optimize edilmiş soğutucu bağlantıları ve yakıt seçimi gibi genel birincil önlemleri /teknikleri uygulamak suretiyle başlamalıdır ve ayrıca bunlar NOx emisyonlarını da azaltır (örneğin; seçilmiş atıkların kullanılması). Bazı iyi optimize edilmiş ön ısıtıcı fırın sistemleri ve ön ısıtıcı/ön kalsinatör fırın sistemleri sadece birincil önlemler/teknikler ile veya kademeli yanma ile kombine edilmiş olarak ve ayrıca yakıt karışımı kullanımı ile prosese entegre edilmiş önlemler/tekniklerin kombinasyonu ile 500 mg NOx/Nm^3 'ten daha az değer elde etmektedir. Bu seviyeye ulaşamama nedenleri

arasında ham karışımların örneğin pişirilebilirlik gibi hammadde özellikleri ile yakıt karışımları ve fırın sistemi tasarımları bulunmaktadır.

Çimento üretimi sırasında oluşan ve örneğin NO_x emisyonlarının azaltımı üzerinde olumlu etkileri olan (ancak kümülatif olmayabilir) önlemlerin/tekniklerin genel açıklaması Tablo 1.34’te verilmiştir. Söz konusu tablo bu bölümün metni içinde verilmiş olan işletme verilerinin özetini içermekte olup ilerideki bölümlerde yer alan ilgili paragraflarla birlikte okunmalıdır.

Tablo 40: Çimento üretim prosesinde oluşan NO_x emisyonlarının azaltılması için önlemler/teknikler [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, TWG CLM, 2008], [185, Hackl ve Mauschwitz, 2003]

Önlem/teknik	Uygulanabilirdiği fırın sistemleri	Azaltım etkinliği (%)	Emisyon verileri ¹⁵⁾		Maliyet verileri ³⁾	
			mg/Nm ^{3 1)}	kg/t ²⁾	Yatırım (Milyon EURO)	İşletme EUR/t klinker
Alev soğutma ⁵⁾	Tümü	0-35	Birincil’den <500-1000 ⁹⁾ ’e azaltıldı	1.15-2.3		
Düşük NO _x brülörü	Tümü	0-35	500- 1000	1.15-2.3		
Birincil önlemler/teknikler EGTE1 2003 ⁴⁾	Tümü	25	1400’dan 1050’ye azaltıldı	2.4		
Fırın ortası ateşleme	Uzun	20-40	Bilgi Yok	-		
Mineralize klinker	Tümü	10-15	Bilgi Yok	-		
Kademeli yanma	Ön kalsinatörlü	10-50	<450-1000 ⁹⁾	1.04-2.3		
	Ön ısıtıcı					

SNCR ^{4) 5) 6) 12)}	Ön ısıtıcı ve ön kalsinatör lü	30 ila 90 ¹⁰⁾	<200 ^{10,11)} - 500 ¹⁴⁾	0.4-1.15		
	Izgara ısıtıcı ön	35	<500 ¹⁶⁾ - 800 ^{5,6)}	1.15-1.84		
SCR ⁷⁾	Muhtemelen ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü olanların tümü	43 ¹³⁾ -95	<200 ⁸⁾ - 500	0.23-1.15		

- 1) Normal olarak günlük ortalamalara atıfta bulunmaktadır, kuru gaz, 273 K, 101.3 kPa ve %10 O₂
- 2) kg/ton klinker: 2300 mVton klinker baz alınmıştır
- 3) Normal olarak 3000 ton klinker/gün fırın kapasitesi ile 2000 mg NO_x/Nm³ 'e varan ilk emisyonlara atıfta bulunmaktadır
- 4) EGTEI'nin 2000 yılında 1100 t/gün fırın kapasitesi için yaptığı maliyet tahmini
- 5) 2000 yılına Fransa'da Çevre Bakanlığı, ADEME ve AT1LH işbirliği ile yapılan deney 2000 (2003 yayını)
- 6) CEMBUREAU 2006 yılında NO_x azaltılmasına katkı, yıllık ortalama değerler.
- 7) Almanya ve İtalya, 1500 mVton klinker fırın kapasitesi bazında maliyet verileri
- 8) Almanya, İtalya ve İsveç'ten deneme testi sonuçları ve 2007 yılında SCR kullanan bir İtalyan çimento fabrikasının test sonuçları; 1997 yılında Avrupa'da bulunan iki tedarikçi çimento sanayi için 100- 200 mg/Nm³ performans seviyesinin garanti edildiği büyük ölçekli SCR teklif etmiştir.
- 9) Bir Fransız çimento fabrikasının test sonuçları (proje 10), ön kalsinatör fırın, ilk NO_x seviyesi 1000 mg/Nm³ ; erişilen NO_x seviyesi 800 mg/Nm³
- 10) İsveç çimento fabrikaları, yıllık ortalama değer, ilk NO_x seviyesi 800 - 1000 mg/Nm³ , tepkiye uğramamış amonyak 5 - 20 mg/Nm³ , yüksek verimli SNCR, tepkiye uğramamış amonyak dikkate alınmalıdır
- 11) Almanya: günlük ortalama değer olarak 200 - 350 mg/Nm³ , tepkiye uğramamış amonyak dikkate alınmalıdır
- 12) Ham gaz akışındaki NO_x seviyesine bağlı olarak düşük NO_x emisyon aralığı daha yüksek NH₃ (tepkie uğramamış amonyak) emisyonlarına yol açabilir,
- 13) Bir örnek fabrikanın deney testi ve uzun vadeli çalışma sonuçları.
- 14) Prosese entegre edilmiş önlemler/teknikleri ile birlikte; ilk NO_x seviyesi 1200 mg/Nm³ ; Fransız Çimento NO_x emisyonlarını azaltma önlemleri/teknikleri için Sanayi Rehberi, Fransa/ADEME/MEDD
- 15) Emisyon verileri bu bölümün ilgili paragraflarında bulunabilir
- 16) [92, Avusturya, 2006], [185, Hackl ve Mauschwitz, 2003].

1.4.5.1.1 Alev soğutması

Tanım

Bir akışkanın (sıvı) veya iki akışkanın (sıvı ve basınçlı hava veya katı maddeler) enjekte edilmesi şeklinde değişik enjeksiyon yöntemleri kullanmak suretiyle suyun yakıtı veya doğrudan aleve ilave edilmesi veya daha yüksek su içeriği olan sıvı/katı atıkların kullanım ısıcılığı azaltır ve hidroksil radikallerinin konsantrasyonunu artırır. Bu durumun pişirme bölgesinde NO_x azaltımı üzerinde olumlu etkisi olabilir

Sağlanan çevresel faydalar

Yanma bölgesinde NO_x'in azaltılması.

NO_x emisyonlarının azaltılması .

Çapraz medya etkileri

Suyu buharlaştırmak için ilave ısı gerekebilir ve bu durum fırının toplam CO₂ emisyonlarına kıyasla biraz daha fazla CO₂ emisyonuna (yaklaşık % 0.1 – 1.5) neden olur.

Fırın ateşleme prosesinin enerji verimliliği azalır.

Su enjeksiyonu fırın işletim sorunlarına neden olabilir ve klinker çıktısının azalması klinkerin

kalitesini düşürebilir.

Operasyonel veriler

% 10 – 35 arasında azaltım oranı/verimi olduğu rapor edilmiştir. <500 –1000 mg/Nm³ emisyon aralıkları rapor edilmiştir (yıllık ortalama değerler).

Uygulanabilirlik

Alev soğutması çimento imalatı için kullanılan her türlü fırına uygulanabilir.

Ekonomi

3000 t/gün kapasiteli bir fırının yatırım maliyetinin 0.2 milyon EURO' ya kadar ulaşacağı ve işletme maliyetinin beher ton klinker için 0.25 EURO' ya kadar olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca, Tablo1.34'te gösterildiği gibi, NOx emisyonlarını %35'e kadar azaltma verimliliğini elde etmek için 0.2milyon EURO' ya varan yatırım maliyetleri ve beher ton klinker için 0.5 EURO' ya varan işletme maliyetleri olduğu rapor edilmiştir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri

[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.1.2 Düşük NOx brülörleri

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Düşük NOx brülörlerinin (dolaylı ateşleme) tasarımlarının detayları değişebilir, ancak temel olarak yakıt ve hava fırına eş eksenli borular vasıtasıyla enjekte edilir. Birincil hava oranı stokiometrik yanma için gerekli olan havanın % 6-10'una düşürülmüştür (geleneksel brülörlerde genellikle % 10 –15). Eksenel hava dış kanala yüksek momentumla enjekte edilir. Kömür merkezi boru veya orta kanal vasıtasıyla üflenebilir. Hava girdabı için üçüncü bir kanal kullanılır ve girdap ateşleme 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 NOx oluşumunun azaltılmasına yol açacaktır.

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir.

Operasyonel veriler

Başarılı tesislerde %35'e varan NOx azaltımları elde edilebilir ve 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 her zaman NO_x emisyonlarında azalma olmaz.

Brülörün ayarı optimize edilmelidir. İlk brülör düşük birincil hava yüzdesi ile çalıştığı takdirde düşük NO_x brülörünün etkisi marjinal olacaktır.

Ekonomi

3000 ton klinker/gün kapasiteli bir fırın için yeni bir düşük NO_x brülörünün yatırım maliyeti yaklaşık 150000 ila 450000 EURO arasındadır. Ancak bir brülörün düşük NO_x brülörü ile değiştirilmesi halinde yatırım maliyeti 600000 EURO'ya yükselebilir ve ince kömür depolama ve ölçümünü tadil etmek için ilave çalışma yapmak gerekebilir. Mevcut ateşleme sisteminde doğrudan ateşleme kullanıldığı takdirde, düşük birincil hava akışıyla yanmayı sağlamak üzere dolaylı ateşleme sistemi ile değiştirilmelidir ve bu durum 3000 ton klinker/gün kapasiteli bir fırın için yaklaşık 600000 ila 800000 EURO ilave yatırım maliyeti anlamına gelmektedir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan 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, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.1.3 Kademeli yanma

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Kademeli yanma, özel olarak tasarlanmış ön kalsinatörü olan çimento fırınlarında uygulanır. Birinci yanma kademesi döner fırında klinker pişirme prosesi için optimum koşullar altında meydana gelir.

İkinci yanma kademesi fırın girişinde bulunan bir brülördür ve sinterleme bölgesinde oluşan azot oksitlerin bir bölümünü ayrıştıran indirgeyici atmosferi oluşturur. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık özellikle NO_x'i yeniden elementer azota dönüştüren reaksiyon için çok uygundur. Üçüncü yanma kademesinde kalsinasyon yakıtı bir miktar tersiyer hava ile kalsinatöre beslenir ve orada da bir indirgeyici atmosfer oluşturur. Bu sistem yakıttan NO_x oluşumunu ve aynı zamanda fırından çıkan NO_x'i azaltır. Dördüncü ve son yanma kademesinde geriye kalan tersiyer hava artıkları yakmak üzere sisteme "üst hava" olarak beslenir.

Kalsinatörler özellikle yakıt girişinin bulunduğu yer, yakıt fırın besleme malzemesi ve tersiyer havanın dağılım şekli ve geometrik konfigürasyon açısından birbirlerinden farklıdır.

Kademeli yanma tekniği, genel olarak sadece ön kalsinatörle donatılmış fırınlarda kullanılabilir. Ön kalsinatörü olmayan siklon ön ısıtıcı sistemlerinde önemli tesis modifikasyonları gereklidir. Bunun sonucunda üretim kapasitesinde artış elde edilemediği takdirde, imalatçılar "küçük" tersiyer hava kanalları sistemi ve bir kalsinatör ile buna çözüm önermektedirler. Böyle bir durumda, fırından ihtiyaç duyulan toplam ısının sadece yaklaşık

% 10- 25 arasındaki küçük bir oranı kalsinatörden geçirilir, ancak bu azot oksitlerin ayrışması için indirgeyici bir bölge oluşturmaya yeterlidir. Öte yandan, fırın girişinde %10 ateşleme olan bir fırından elde edilen deneyimler, bunun her zaman yeterli bir azaltım bölgesi yaratmak için yeterli olmadığını göstermektedir.

Parça yakıt yakıldığı zaman bir azaltım bölgesi olduğu için, parça yakıt (örneğin lastikler) yakılmasının kademeli yanma tekniğinin başka bir şekli olması mümkündür. Ön ısıtıcı/ön kalsinatörlü fırınlarda parça yakıt fırın girişinde veya ön kalsinatörde eklenebilir.

Parça yakıt yakmanın NOx azaltımı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu rapor edilmiştir (% 20 – 30’a varan azaltım) [76, Almanya,2006]. Ancak parça yakıt yakıldığında kontrollü bir azaltım ortamı yaratmak çok zordur [9,CEMBUREAU, 1997 Kasım].

Çapraz medya etkileri

Yanma işlemi ön kalsinatörde tamamlanamadığı takdirde CO ve SO₂ emisyonları artabilir ve yüksek verimliliğe ulaşmaya çalışıldığında CO ve tıkanma sorunları olduğu rapor edilmiştir.

Operasyonel veriler

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 NOx/Nm³’ün altında(günlük ortalama değer) emisyon seviyeleri elde edilmiş olup,düşük oranda reaktif yakıtlar ile 800 - 1000 mg/Nm³ (günlük ortalama değer) elde edilmiştir. İkincil yakıtların kullanılması sırasında benzer NOx azaltımı olduğu rapor edilmiştir.

2002 yılında Fransa’da yapılan testler sırasında (örneğin %100 kükürtlenmiş petrokoku yakıt olarak kullanarak kademeli yanma ile çalışan ön kalsinatör) 1000 mg/Nm³’lük ilk NOx seviyeleri elde edilerek yaklaşık 200 mg/Nm³ NOx azalımı sağlanmıştır. Ancak, bu sadece testlerin kısa dönemlerinde ve pişirilebilirlik için optimal farin kullanmak suretiyle elde edilmiştir. Daha aşırı çalışma koşullarında daha düşük NOx emisyon seviyeleri elde edilebilir. Ancak, çoğu kez bu çalışma koşulları fırınlar ve kalsinatörlerde birikmeleri arttırmak gibi operasyonel sorunlara yol açmaktadır.

CO emisyonlarında artış sadece nispeten kısa kalma süresi olacak şekilde tasarlanmış olan ve yanmanın düzgün bir biçimde optimize edilmediği çok az sayıdaki tesiste görülür.

Bazı durumlarda çeşitli kademelere sahip ateşleme sistemleri tedarikçileri tarafından %50’ye varan NOx azaltımlarının mümkün olduğu belirtilmiştir. Ancak, bir yandan CO emisyonlarını sınırlandırıp diğer yandan da bu seviyede NOx azaltımı için garanti edilen değerleri sağlamak zordur.

Uygulanabilirlik

Kademeli yanma tekniği genel olarak sadece ön kalsinatörü olan fırınlarda uygulanabilir. Ön kalsinatörü olmayan siklon ön ısıtıcı sistemleri için tesislerde önemli ölçüde modifikasyon yapmak gereklidir.

Ön kalsinatörlü fırınlar, çimento fırınında ve ön kalsinatör fırınında oksidasyon/azaltım seviyelerinin bağımsız olarak ayarlanabilmelerini mümkün kılmaktadır. Yakıt bölümlerinin enjeksiyonu daha düşük NOx emisyonlarının oluşmasına yol açabilir.

Lepol fırının ızgarasına yakıt ilave etmek önemli ölçüde NO_x azaltımı sağlayabilir; ancak diğer emisyonların gelişmesine/artmasına neden olabilir.

Ön kalsinatörsüz siklon ön ısıtıcı fırınlar NO_x emisyonlarının azaltılmasını mümkün kılar, ancak yerel azaltım bölgesi nedeniyle SO₂ ve VOC emisyonları artabilir. Bu emisyonlar devamlı olarak izlenmelidir.

İngiltere’de bir *fırın ortası kademeli yanmalı uzun fırın* birkaç yıldan beri faaliyet göstermektedir.

Ekonomi

Bir ön kalsinatörlü fırına kademeli yanma monte etmek için gerekli olan yatırım maliyeti, mevcut kalsinatörün tasarımına bağlı olarak 0,1 milyon ila 2,0 milyon EURO arasındadır. 3000 ton/gün kapasiteli bir ızgaralı soğutucusu olan bir ön ısıtıcı fırın için ön kalsinatör ve tersiyer kanal yatırım maliyeti yaklaşık 1 milyon ila 4 milyon EURO’ dur. 3000 ton/gün kapasiteli ve uydu ön ısıtıcı bir ön ısıtıcı fırını, ızgara soğutuculu ön kalsinatör fırınına dönüştürmek için gerekli yatırım maliyeti yaklaşık 15 milyon ila 20 milyon EURO’ dur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda, 1997], [42, Billhardt/Kuhlmann/Ruhland /Schneider/Xeller, 1996 Ekim], [76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Avusturya, 2006], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008], [185, Hackl ve Mauschwitz, 2003]

4.5.1.4 Fırın ortası ateşleme

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda parça yakıtların yakılması nedeniyle oluşan azaltım bölgesi NO_x emisyonlarını azaltabilir. Uzun fırınların genelde 900-1000 °C sıcaklık bölgesine erişememeleri nedeniyle ana brülörden geçemeyen (örneğin lastikler) atık yakıtların kullanılmasını sağlamak için bazı tesislerde fırın ortası ateşleme sistemleri kurulmuştur [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım].

Çapraz medya etkileri

Atık yakıtların yanma oranı zincirlerin yanmasına neden olabilir veya ürün kalitesi üzerinde etkili olabilir.

Operasyonel veriler

Bu türde birkaç tesis vardır ve bazı durumlarda %20-40 NO_x azalımı rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Fırın ortası ateşleme prensip olarak döner fırınlara uygulanabilir.

Yakıtların yanma oranı çok kritik olabilir. Çok yavaş olduğu takdirde yanma bölgesinde ürün

kalitesini önemli ölçüde etkileyebilecek azaltım koşulları oluşabilir. Çok yüksek olduğu takdirde fırının zincir bölümü aşırı derecede ısınabilir ve bunun sonucunda zincirler yanabilir.

Mekanik tasarım koşullarına göre yakıt, sadece aralıklı olarak ve fırının her devrinde bir kez enjekte edilebilir. Isı girdisinin devamlılığını sağlamak amacıyla araç lastikleri veya konteynırlar içindeki diğer atık yakıtlar gibi katı ve yavaş yanan yakıtlar kullanılabilir.

1100 °C'nin altında olan bir sıcaklık aralığı %1'den fazla klor içeriği olan tehlikeli maddelerin kullanımını engeller.

Ekonomi

Fırın dönüştürme ve yakıt elleçleme ekipmanlarının yatırım maliyeti 0,8 milyon – 1,7 milyon EURO civarında ve yıllık işçilik ve bakım giderleri de benzer miktarlarda olabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri.

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [21, BCA, 1997 Ekim], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.1.5 Mineralize klinker

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Florin gibi mineralleştiricilerin hammaddeye eklenmesi klinker kalitesini ayarlamak ve sinterleme bölgesinin sıcaklığını azaltmak için uygulanan bir tekniktir. Pişirme sıcaklığını azaltmak/düşürmek suretiyle NOx oluşumu da azaltılmış olunur.

Çapraz medya etkileri

Aşırı miktarda kalsiyum flüorür eklenmesi HF emisyonlarında artışa neden olabilir.

Enerji ihtiyacında azalma.

Eklemeler nihai ürün kalitesini etkileyebilir.

Operasyonel veriler

NOx azalımı %10 ila 15 arasında olabilir, ancak %50'ye varan azalımlar rapor edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Bu önlem/teknik prensip olarak döner fırınlara uygulanabilir.

Ekonomi

Mineralleştiricilerin fiyatına bağlıdır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[10, Cementa AB/Hagstrom, 1994], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007]

4.5.1.6 Proses optimizasyonu (NOx)

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Fırın işletme ve ateşleme koşullarının düzeltilmesi ve optimize edilmesi, fırın işletme kontrolünün ve/veya yakıt besleme homojenizasyonunun optimize edilmesi gibi proses optimizasyonu, NOx emisyonlarını azaltmak için uygulanabilir. Proses kontrol önlemleri /teknikleri, geliştirilmiş bir dolaylı ateşleme tekniği, optimize edilmiş soğutucu bağlantıları ve yakıt seçimi ve optimize edilmiş oksijen seviyeleri gibi genel birincil optimizasyon önlemleri / teknikleri uygulanmıştır. 2007 yılına kadar,prosese entegre edilmiş önlemleri / teknikleri kullanmak suretiyle NOx emisyonlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Çapraz medya etkileri

Enerji ihtiyacında azalma

Operasyonel veriler

Proses kontrol optimizasyonu önlemlerinin / tekniklerinin uygulanmasıyla NOx emisyonları 500 ila1000 mg/Nm³ arasında seyretmiştir. Bazı modern ve iyi optimize edilmiş ön ısıtıcı fırın sistemleri ve ön ısıtıcı / ön kalsinatörlü fırın sistemlerinde prosesle entegre edilmiş olan tüm önlemlerin /tekniklerin uygulanması suretiyle 500 mg/Nm³’ten daha düşük NOx emisyon seviyeleri elde edilebilir.

Uygulanabilirlik

Hammaddelerin kalitesi (ham karışımın yanma özellikleri), yüksek derecede uçucu olan yakıtların varlığı ve fırın sisteminin tasarımı yukarıda belirtilen seviyeyi elde edememe nedenleri arasında yer almaktadır.

Ekonomi

Proses optimizasyonunun amacı maliyetleri iyileştirmektir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[76, Almanya, 2006], [101, Fransa/A DEM E/MEDD, 2002], [103, CEMBUREAU, 2006], [168,TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.1.7 Seçici katalitik olmayan azaltım (SNCR)

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Seçici katalitik olmayan azaltımda (SNCR) NO’yuN₂’ye indirmek için yanma gazına amonyak suyu (% 25’e kadar NH₃), amonyak öncül bileşikler veya üre solüsyonu enjekte edilir. Reaksiyon yaklaşık 830 ila 1050 °C sıcaklık penceresinde optimum etkiye sahiptir ve

enjekte edilen maddelerin NO ile reaksiyona girebilmeleri için yeterli alıkoyma süresi sağlanmalıdır.

Üre veya amonyak suyunun optimize edilmiş sıcaklık penceresini belirlemek için laboratuvar deneyleri ile tam ölçekli denemelerin yapılması gereklidir. Doğru sıcaklık penceresi genelde süspansiyonlu 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.

En yaygın NH₂-X ajanı % 32'ye kadar ulaşan üre ve daha sonra %27'ye kadar ulaşan amonyak suyudur [85, CEMBUREAU, 2006]. Diğer üretim proseslerinden elde edilen atık solüsyonlar da amonyak taşıyıcıları olarak kullanılabilir [76, Almanya, 2006]. Endüstriyel ölçekte kullanılabilecek olan diğer muhtemel azaltım ajanları ise amonyak gazı, amonyum tuzu solüsyonları, kurutulmuş üre (üre hapları), üre solüsyonları, 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 önlemleri / teknikleri gerekebilir. Çoğu uygulama sırasında ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırın sistemlerinde SNCR için amonyak suyunun en iyi ajan olduğunu deneyimler göstermiştir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım]. En yüksek verimli NO_x azaltımını elde etmek ve tepkiye uğramamış amonyak oluşumunu (tepkiye uğramamış amonyak oluşumu) azaltmak için olumlu ve iyi bir amonyak stokiometrik dağılımının olması önemlidir. Enjekte edilmiş olan azaltım reaktifinin- amonyak suyu veya üre solüsyonu- optimal kullanımını sağlamak ve yüksek NO_x azaltım verimliliğini elde etmek için SNCR' nin tasarımı ve işletimi konusunda aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmalıdır. Göz önüne alınması gereken bu hususlar SNCR sisteminin optimal şekilde teknik ve ekonomik olarak çalışmasını sağlayacaktır:

- Ajanı 830 ila 1050 °C olan uygun sıcaklık penceresinde enjekte ediniz; tepkiye uğramamış
- amonyak veya amonyak yanması oluşmasını önlemeyi amaçlayınız- amonyak yanması potansiyel bir ikincil NO_x kaynağıdır.
- sıcaklık penceresi değiştiği takdirde – püskürtme memelerinin bulunduğu yeri ayarlayınız;
- muhtemelen çoklu püskürtme memesi kademeleri bu sorunu çözmek için uygun olacaktır;
- mümkünse enjeksiyonun sıcaklık profilini oluşturunuz ve böyle bir ihtiyacı karşılamak üzere
- devamlı olarak izleyiniz
- aşağıda belirtilenleri değiştirmek suretiyle enjekte edilen sulu solüsyonun püskürtme açısını ve penetrasyon derinliğini ayarlayınız:
 - solüsyonun su içeriği
 - atomize havanın basınç seviyesi
 - püskürtme ucunun bulunduğu yer, ve
 - enjekte edilen amonyağın yönü
- Kademelerde bulunan ve geçici olarak kullanılmayan püskürtme memeleri – ısının neden olacağı aşınmayı önlemek için ideal olarak hava ile soğutunuz; sadece arada sırada kullanılan püskürtmemelerini aşırı hava tüketimini önlemek için çıkartınız.
- stokiometrik enjeksiyonun fazla veya eksik olmasını önlemek için enjeksiyon alanının doğru miktarda amonyak solüsyonu ile yeterince kaplanmış olduğundan emin olunuz. Bunu yapmak suretiyle aşırı miktarda tepkiye uğramamış amonyak oluşması veya işlem görmemiş NO'nun SNCR' yi baypas etmesi önlenabilir.

- Gerekli olduğu takdirde ve mümkün olduğunda her siklon dizesindeki (çiftli besleyici kanallar) NOx seviyesini ölçünüz ve enjeksiyonu buna göre düzenleyiniz
- azaltılmış NOx kütle dengesi vasıtasıyla enjekte edilen amonyaktaki stokiyometriyi ve fazla amonyak enjekte edilmediğini kontrol ediniz. Bunu yapmak suretiyle aşırı miktarda tepkiye uğramamış amonyak oluşması önlenir. Ayrıca stokiyometri bire ne kadar yakınsa işin ekonomisi de o denli iyi olacaktır.

Tesisin halihazırda bir kademeli yanma sistemi ile donatılmış olması halinde, SNCR tekniğinin kullanımının daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tekniklerin birlikte kullanımı, sıcaklıkların, alıkoyma sürelerinin ve reaksiyon bölümündeki gaz ortamının birbirlerine uyacak şekilde ayarlanmalarını gerektirir. Bu iki azaltım tekniğinin aynı anda uygulanması konusunda tecrübe edinebilmek amacıyla ön kalsinatör ile teçhiz edilmiş çeşitli fırın tesislerinde işletme denemeleri yapılmıştır. Denemeler, bu iki tekniğin birleştirilmesinin prensip olarak mümkün olduğunu göstermiştir. Bir kademeli kalsinatörün oksitleyici bölgesi ile azaltım bölgesine azaltım ajanı enjekte etmek suretiyle NOx emisyonlarının azaltılması sağlanabilir. Azaltım bölgesine yapılacak enjeksiyona kıyasla CO emisyonlarının artma olasılığı daha düşük olduğu için oksitleyici bölgeye enjeksiyon yapmak daha olumludur. Farklı kalsinatör teknikleri nedeniyle, SNCR tesisatının tasarımı ve kontrolü ilgili tekniğe göre uyarlanmalı ve optimize edilmelidir. Azaltım ajanı alt siklon kademesinden hemen önce eklendiği takdirde, reaksiyona giren ajanların doğru sıcaklık penceresinde alıkoyma süreleri önemli miktarda bir NOx azalmasını sağlamaya yeterli olmayacaktır. Sonuç olarak, tepkiye uğramamış amonyak oluşumunun artma olasılığı yüksektir. Öte yandan, çeşitli denemeler azaltım ajanının 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 fabrikalarında kullanılan SNCR tekniğinin geliştirilmiş halidir. Amonyak suyu (%25 amonyak solüsyonu) kademeli püskürtme memeleri (üfleme boruları) vasıtasıyla kontrollü şartlar altında ön ısıtıcının içine enjekte edilir. Üfleme borularının düzenlenme şekli besleme kanalındaki sıcaklık profili tarafından belirlenir. Amonyak suyunun enjeksiyonu, üfleme borularının yanındaki ön ısıtıcının ölçülmüş olan sıcaklık profili tarafından proses kontrolüne tabi tutulur. İyi bir amonyak dağılımı sayesinde tepkiye uğramamış NH₃ oluşumu ve amonyak suyu tüketimi azaltılabilir. Bu SNCR tekniği 1996/1997 yıllarında iki İsveç fabrikasına ve en az bir Alman fabrikasına kurulmuştur.

Tepkiye uğramamış amonyak oluşumu

Amonyakın sıcaklık aralığı 830-1050°C olan bir fırın sistemine enjekte edilmesi önemlidir. Sıcaklık bu seviyenin altına düştüğü takdirde dönüştürülmemiş amonyak salınır (tepkiye uğramamış NH₃ oluşumu olarak adlandırılır) ve çok daha yüksek sıcaklıklarda amonyak oksitlenerek NOx 'e dönüşür. Tepkiye uğramamış NH₃ daha yüksek NH₃:NO₂ molar oranlarında, örneğin yaklaşık 1.0-1.2 molar oranında oluşabilir. Diğer sanayi sektörlerinde, tepkiye uğramamış NH₃ oluşumu bazen filtrenin arasından geçen baca egzoz gazının üzerinde beyaz bir tüy gibi görünen amonyak tuzları aerosollerinin oluşumuna yol açabilir. Araştırmalar çimento fabrikaları tarafından çok daha düşük düzeylerde aerosol oluşturulduğunu göstermiştir. Kullanılmayan amonyak oksitlenebilir ve NOx 'e dönüşebilir ve atmosferde bulunan su ve tepkiye uğramamış NH₃, çimento değirmenine geri dönüşümü olmayan amonyakla zenginleştirilmiş toz oluşumuna neden olabilir. Tepkiye uğramamış NH₃ oluşumu ihtimali SNCR tesislerinin tasarımı sırasında dikkate alınmalıdır. Daha yüksek

dozlar tepkiye uğramamış NH_3 oluşumuna neden olabileceği için NO_x azaltım sadece isteğe bağlı olarak arttırılmaz. SNCR sisteminin doğru bir şekilde çalışması (uygun kontrol sistemi, optimize edilmiş NH_3 suyu enjeksiyonu) normalden daha yüksek amonyak emisyonlarının oluşumuna yol açmaz.

Çapraz medya etkileri

Amonyak suyu azaltım ajanı olarak kullanıldığında tepkiye uğramamış amonyak yukarıda tanımlandığı şekilde oluşabilir ve dönüştürülmemiş amonyak salınır. Azot oksit (N_2O) emisyonları da oluşabilir, ancak bunlar sadece küçük bir rol oynamakta olup, konsantrasyonlarının yaklaşık olarak tespit sınırına eşit olan 1 ila 5 mg/Nm^3 arasında olduğu spot testleri vasıtasıyla ortaya çıkartılmıştır.

Ayrıca, azaltım ajanının kalsinatörün karıştırma odasından önce kalsinatör yakıtının halen yanmaya devam ettiği alanda enjekte edilmesi halinde karbon monoksit (CO) emisyonlarında artış olabilir.

Suyun buharlaşması için gerekli olan ilave ısı ekzotermik DeNO_x reaksiyonunun ortaya çıkardığı ısı ile dengelenir ve bu durum CO_2 emisyonlarında küçük bir artışa yol açar. Sulu amonyağın nakliyesi ve depolanması çevre için potansiyel bir tehlikedir ve bazı ilave güvenlik önlemlerini/tekniklerini gerektirir. Amonyak üretiminin ve solüsyonun seyreltilmesi için gerekli suyun nakliyesinin yapacağı etkilere de dikkat edilmesi gerekir.

Azaltım ajanı olarak üre kullanıldığında elde edilecek olan ana nihai ürünler amonyak ve karbondioksittir. Ürenin ayrışması sonucunda azot oksit (N_2O) emisyonları ile çeşitli izosiyanik asit (HNCO) ve azot oksit (NO) konsantrasyonlarının olduğu rapor edilmiştir. Ürenin N_2O seviyesi sulu amonyağın N_2O seviyesinden her zaman çok daha yüksektir. Üreden azot oksit elde edilmesi sıcaklığa göre değişir. Çalışmalar yüksek NO_x azaltımının ve azami N_2O oluşumunun aynı sıcaklık penceresinde gerçekleştiğini göstermiştir. İzosiyanik asidin büyük bir kısmı amonyak ve karbon dioksit olarak hidrolize edilecektir, ancak; SNCR tesislerinde tepkiye uğramamış izosiyanik asit oluşumları rapor edilmiştir. Ayrıca, yapılan bir çalışma göstermiştir azot oksit (N_2O) ve izosiyanik asite (HNCO) ilaveten enjekte edilen ürenin de siyanik iyonlar (NCO) oluşturacağını göstermiştir. Amonyagın SNCR şartlarında kullanılması halinde bu ürün oluşmamaktadır. Ayrıca, üre kullanımının amonyak kullanımına nazaran daha fazla karbon monoksit (CO) emisyonu oluşturduğu bildirilmiştir.

Operasyonel veriler

2006 yılında faal olan SNCR tesislerinin çoğu ilk NO_x seviyesine bağlı olarak, % 30 ->50 NO_x azaltım oranlarına (0.5 - 0.9 olan $\text{NH}_3:\text{NO}_2$ molar orantısı ile) ve <350 - 800 mg/Nm^3 arasında emisyon seviyelerine (günlük ortalama değerler) göre tasarlanmış ve/veya işletilmiştir.

Daha yüksek azaltım oranları için tasarlanmış olan ve/veya işletilen tesislerde aşağıda belirtildiği gibidaha iyi sonuçlar elde edilecektir (yüksek verimli SNCR). Her ikisi de % 80 oranında azaltımı garanti eden iki değişik tedarikçi tarafından sağlanan SNCR tesisine sahip olan iki fabrikada % 80 -90 azaltım oranı elde edilmekte olup (800 - 1100 mg/Nm^3 ilk NO_x seviyesi ile), bu oran ölçülen yıllık ortalama değer olarak 200 mg/Nm^3 'ten az NO_x emisyonuna tekabül etmektedir. Ayrıca, 2006 yılında bir İsveç tesisinde 190 mg/Nm^3 NO_x emisyonu (yıllık ortalama değer) olduğu rapor edilmiştir.

Prosesle entegre edilmiş önlemler/teknikler ile kombine edilmiş olan % 80 - 90 azaltım oranları ile çalışan yüksek verimli SNCR tesisleri vasıtasıyla ilk seviyeler 2000 mg/Nm³'ün üzerinde iken günlük olarak ortalama 500 mg/Nm konsantrasyon elde edilebilir [43, Wulf-Schnabel/Lohse, 1998].

Yüksek verimli SNCR ve tepkiye uğramamış amonyak oluşumu

1996/97 yıllarında iki İsveç fabrikasına ve en az bir Alman fabrikasına yüksek verimli SNCR monte edilmiştir. Söz konusu İsveç fabrikalarında (toplam üç fırınlı) kuru proses siklon ön ısıtıcılı/ön kalsinatörlü fırınlar kullanılmaktadır. 1.0 - 1.2 NH₃:NO molar oranıtısı uygulandığında > % 80 azaltım elde edilmiş ve bu zamana kadar günlük ortalama NH₃ miktarında 20 mg/Nm³'e varan bir artış ölçülmüştür. N₂O ve CO emisyonları ölçümünde önemli bir artış görülmemiş ve çimentoda herhangi bir NH₃ izine rastlanmamıştır. 2001 yılında bir fabrikada ilk molar oranıtısı 1.0-1.2 (NH₃ molunun mevcut NO_x moluna oranı) olarak bulunmuş, bu da bertaraf edilen NO_x için ortalama %80 azaltım verimliliği ile 1.2 ile 1.4 olarak hesaplanmış, ikinci fabrikada ise amonyak oranıtısının 1.2 - 1.4mol/mol (mevcut NO_x'in enjekte edilen NH₃'e oranı) arasında veya 1.5 - 1.8 (azaltılan NO_x'in enjekte edilen NH₃'e oranı) arasında olduğu tespit edilmiştir. NO_x emisyon seviyesinin 200 mg/Nm³ olduğu (yıllık ortalama değer) rapor edilmiştir. 200 mg/Nm³ olan bu emisyon seviyesinin ilk NO_x seviyesi 800 -1000 mg/Nm³ olan, azaltım oranı %80 olan ve istikrarlı bir işletim prosesine sahip olan her iki İsveç fabrikasında 1998 yılından beri elde edilmekte olduğu dikkate alınmalıdır.

Almanya'da SNCR (azaltım ajanı %25'lik amonyak suyu) üretim kapasitesi 3000 t klinker/gün olan dört kademeli siklon ön ısıtıcılı bir fırına monte edilmiştir. 500 - 1200 mg/Nm³ arasında (günlük bazda) ilk NO_x seviyeleri olduğu rapor edilmiştir. Birkaç yıllık süre boyunca elde edilen uzun vadeli deneyimler, herhangi bir önemli tepkiye uğramamış amonyak oluşumu olmaksızın 500 mg NO₂/Nm³ veya daha düşük emisyon seviyelerinin (günlük ortalama değer) devamlı olarak elde edilebileceğini göstermiştir.

2007 yılında yapılan uzun vadeli bir testin (altı aylık performans testi) son sonuçları 0.7 - 0.8 ve 1.4 -1.5'e karşılık gelen NH₃:NO molar oranıtılarını uygulamak suretiyle 350 mg/Nm³ ve 200 mg/Nm³ NO_x emisyon değerlerinin (günlük ortalama değerler) elde edildiğini göstermiştir. Bu performans testleri esnasında NH₃ emisyonları devamlı olarak ölçülmüştür. Ancak, NH₃ ölçümleri sonucunda özellikle değirmen devre dışı iken çalışma esnasında 200 mg/Nm³ NO_x tutmak suretiyle önemli ölçüde (azami 50 - 200 mg/Nm³) tepkiye uğramamış amonyak oluşumu belirlenmiştir. Bütün olarak 350 mg/Nm³ emisyon seviyesi (NH₃: üç aylık ortalama değeri 21 mg/Nm³) ile karşılaştırıldığında 200 mg/Nm³ emisyon seviyesini (NH₃: üç aylık ortalama değeri 11 mg/Nm³) elde etmek için tepkiye uğramamış amonyak oluşumu iki misli daha fazla olmuştur. Bu durumda değirmen devre dışı iken çalışma oranı yaklaşık %10-20 olmuştur. Performans testi esnasında farin ve ESP tozu içinde amonyaka ilişkin bir zenginleşme gözlenmemiştir. Yapılan testler amonyak emisyonlarının dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Yukarıda belirtilen proses nedeniyle oluşan tepkiye uğramamış amonyak, azaltım ajanlarının stokiyometrik oranın üzerinde ilaveedilmelerinin sınırlarını belirler [160, Almanya, 2007], [173, Almanya, 2007].

2004 yılında İrlanda'da kısa vadeli SNCR deneyleri yapmak suretiyle yürütülen araştırmalar fırının ön ısıtıcısından sonra ham gazın içinde 4 ila 26 mg/Nm³ arasında (% 10 O₂) olan düşük NH₃ konsantrasyonları olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni ise yüksek verimli azaltım reaksiyonuna ve sadece çok az miktarlarda reaksiyona girmeyen amonyak oluşumuna neden

olan optimize edilmiş enjeksiyon konfigürasyonudur. Bu konsantrasyonlar iki enjeksiyon konfigürasyonunu (standart koşullar; $\text{NH}_3:\text{NO}$ molar oranı bir (1) ve NO_x azaltım oranı % 50) test etmek suretiyle ölçülmüştür.

Tepkiye uğramamış NH_3 oluşumu, azaltım ajanlarının stokiyometrik oranının üzerinde ilave edilmelerinin sınırlarını belirler [123, İrlanda, 2005].

Uygulanabilirlik

SNCR ve yüksek verimli SNCR prensip olarak döner çimento fırınlarına uygulanabilir. Enjeksiyon bölgeleri fırın prosesinin türüne göre değişir.

Uzun ıslak ve kuru proses fırınlarında gerekli olan doğru sıcaklığı ve alıkoyma süresini elde etmek çok zordur. Uzun kuru fırını olan sadece bir fabrika ile uzun ıslak fırını olan bir fabrika (Danimarka)SNCR azaltımını başarıyla uygulamış ve % 40 ila 50 arasında verimliliğe ulaşmışlardır.

Amonyak ile ilgili depolama riskleri amonyak suyunu %25 konsantrasyon ile depolayarak azaltılır.

Ekonomi

İlk NO_x emisyonları 2000 mg/Nm^3 'e kadar olan ve %85'e kadar (diğer bir deyişle $300 \text{ mg NO}_x/\text{Nm}^3$ 'ekadar) NO_x azaltımı olan 3000 ton/gün kapasiteli ön ısıtıcılı fırın için azaltım ajanı olarak amonyaksuyu kullanan bir SNCR'nin yatırım maliyeti 0.5 - 1.2 milyon EURO olup bu maliyet amonyak suyunun depolanması ile ilgili yerel yönetmeliklerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Aynı fırın için işletme maliyeti beher ton klinker için 0.3 - 0.5 EURO olup, bu maliyet esas olarak enjekte edilen amonyağın maliyeti tarafından belirlenir [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [85, CEMBUREAU,2006].

1996/97 yıllarında iki adet İsveç fabrikasına SNCR monte edilmiştir. Fırının biri için SNCR montajının yatırım maliyeti yaklaşık 1.2 milyon EURO (SNCR montajı için 0.65 milyon EURO ve ayrıca amonyak suyu depolamak için EUR 0.55 milyon EURO) ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.55 EURO olmuştur. Toplam maliyet (yatırım + işletme maliyeti) beher ton klinker için 0.6 EURO' dan az olmuştur. Diğer fırın için yatırım maliyeti yaklaşık 0.55 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.3 EURO olmuştur. Bu tesisler için yüksek performanslı SNCR tesislerine yatırım yapmanın itici gücü İsveç Hükümetinin NO_x emisyonları ile ilgili politikası olmuştur. Bu politikaya göre, azaltılmış olan beher kilo NO_x (NO_2 olarak) için toplam maliyeti(yatırım+işletme) 4.5 EURO' dan (40 SEK) daha düşük olan herhangi bir azaltma yatırımı Kabul edilebilir.

2004 yılında Alman çimento sanayi tarafından yapılan ve SNCR tekniğini kullanan 26 çimento

fabrikasını kapsayan bir araştırma ortalama yatırım maliyetlerinin 0.5 ila 0.75 milyon EURO arasında olduğunu ortaya koymuştur. Ancak Fransa 1 milyon EURO' ya varan maliyetler olduğunu rapor etmiştir. Azaltım ajanı için depo inşa edilmesi yatırım maliyetinin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır.

Amonyak solüsyonu kullanmak suretiyle orta ila yüksek oranda NO_x azaltımı için beher ton klinker başına 0.5 ila 0.7 EURO arasında toplam maliyet olduğu belirtilmiştir. 1500 t/gün klinker kapasitesi olan bir döner fırın için yapılan detaylı maliyet hesaplamaları sonucunda NO_x azaltım oranına bağlı olarak beher ton klinker için 0.4 ila 1.2 EURO arasında özel maliyetler olduğu ortaya koyulmuştur.

Yapılan ilave hesaplamalar sonucunda 3500 t/gün kapasiteli bir fırın ve 850 ila 250 mg/Nm³ arasında NO_x azaltımı için yatırım maliyetinin 0.88 milyon EURO ve işletme maliyetinin beher ton klinker için 0.40 EURO olduğu ortaya koyulmuştur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan tesisler, İsveç ve Almanya’da (Maerker) bulunan yüksek verimli SNCR tesisleri[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagstrom, 1994], [20,Rother, 1996 Ocak,], [24, Junker, 2001], [41, Kupper/Brentrup, 1992], [42, Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller, 1996 Ekim], [43, Wulf-Schnabel/Lohse, 1998], [76,Almanya, 2006]], [85, CEMBUREAU, 2006], [101, Fransa/ADEME/MEDD, 2002], [105, VARA,2006], [114, İsveç, 2006], [123, İrlanda, 2005], [131, YARA, 2007], [160, Almanya, 2007], [168,TWG CLM, 2007], [173, Almanya, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.1.8 Seçici katalitik azaltım (SCR)

Tanım

SCR yaklaşık 300-400 °C sıcaklık aralığında NH₃’ün ve bir katalizörün yardımıyla NO ve NO₂’yi N₂’ye indirger. Bu teknik diğer sanayilerde (kömür yakıtlı elektrik santralleri, atık yakma tesisleri) NO_x azaltma için yaygın olarak kullanılır. Çimento sanayinde temel olarak iki sistem kabul edilir: bunlar bir tozsuzlaştırma ünitesi ile baca arasındaki düşük toz konfigürasyonu ve bir ön ısıtıcı ile tozsuzlaştırma ünitesi arasındaki yüksek toz konfigürasyonudur. Düşük toz egzoz gazı sistemleri egzoz gazlarının tozsuzlaştırmadan sonra yeniden ısıtılmalarını gerektirir ve bu nedenle ek enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir. Teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı yüksek toz sistemleri tercih edilir. Ön ısıtıcı sisteminin çıkışında atık gaz sıcaklığı genelde SCR işlemi için doğru sıcaklık aralığında olduğu için bu sistemler yeniden ısıtma gerektirmez.

SCR yüksek toz sistemleri ile potansiyel olarak % 85-95 oranında büyük NO_x emisyon azaltımları elde edilebilir ve 2008 yılına kadar çimento sanayinde sadece yüksek toz sistemleri test edilmiştir.

2008 yılında AB-27’de toplam olarak iki adet tam ölçekli üretim çalışması yapılmış ve SCR tekniğinin geliştirilmesi ile ilgili teknik ve ekonomik belirsizlikleri ortadan kaldırmak için deneyim elde edilmiştir. En önemli belirsizlikler gaz içinde bulunan ve 100 g/Nm³’e ulaşabilen yüksek toz konsantrasyonları, toz temizleme önlemleri/teknikleri, katalizörün türü ve ömrü ile toplam yatırım ve işletme maliyetleridir. Ayrıca elde edilen tecrübeler uygun tasarımın ve katalizörlerin kimyasal bileşiminin çok önemli olduğunu göstermektedir.

Yüksek azaltım potansiyeli, başarılı deneme testleri, iki adet tam ölçekli SCR tesisi ve SCR’nin diğer sektörlerde bulunan benzeri tesisler için en gelişmiş teknik olduğu göz önüne alındığında SCR çimento sanayi için ilgi çekici bir tekniktir. Avrupa’da çimento sanayine 100-200 mg/Nm³’lük performans düzeyi garanti edilmiş tam ölçekli SCR teklif eden en az iki

tedarikçi vardır. Ancak, SCR için gerekli olan yatırım harcaması halen SNCR için gerekli olan yatırım harcamalarından daha yüksektir. [12,Hollanda, 1997].

Sağlanan çevresel faydalar

NO_x emisyonlarının azaltılması.

Katalizörlerin aynı zamanda hidrokarbonları da gidermeleri nedeniyle ve bu tekniğin bu amaca

yönelik olarak tasarlanması halinde SCR genelde VOC ve PCDD/Fs emisyonlarını da azaltacaktır.

Çapraz medya etkileri

SCR reaktöründe bulunan dahili tozsuzlaştırma sistemi ve ilave basınç kayıpları nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyacı artabilir.

Düşük toz egzoz sistemleri egzoz gazlarının tozsuzlaştırma işleminden sonar tekrar ısıtılmalarını gerektirir ve bu durum ilave enerji maliyetlerine ve basınç kayıplarına neden olabilir.

Katalizörler geri dönüştürülmeli veya bertaraf edilmelidirler.

Operasyonel veriler

1990'lı yıllarda Almanya, İtalya ve İsveç'te bulunan ilk deneme tesislerinde yapılan denemeler

neticesinde umut verici sonuçlar elde edilmiştir. NO_x emisyon seviyeleri yaklaşık 100 - 200 mg/Nm³ olmuş ve hiçbir katalizör aktivite kaybı meydana gelmemiştir. 1996 ila 2000 yılları arasında Avusturya çimento fabrikalarında küçük bölümler üzerinde (egzoz gazının %3'ü) yüksek toz konfigürasyonu ile üç deneme testi yapılmıştır. Bunlardan biri NO_x azaltma verimliliği açısından başarılı olmuş ancak devam ettirilmemiştir. Ortaya koyulan kaygılardan biri katalizörün operasyonel varlığı olmuştur. Yapılan iki deneme çalışması ağır metaller ve alkali metal bileşiklerinin etkisiyle katalizörün birkaç hafta sonra etkisizleşmesi yüzünden başarılı olmamıştır. Fabrikaların birinde yaklaşık 5000 saatlik çalışma süresinden sonra katalizörlerde önemli ölçüde aşınma meydana gelmiştir [18, Gölner, 2001],[92, Avusturya, 2006].

Yüksek toz SCR sistemi kullanan ilk tam ölçekli örnek SCR tesisi ilk olarak 2000 yılında Almanya'da Hükümet tarafından sağlanan finansmanla inşa edilmiş ve 2001 yılından 2006 yılına kadar çalışmıştır. Ancak 2008 yılında tesis halen katalizör türlerinin geliştirilmesini beklemektedir. SNCR ile karşılaştırıldığında bu sistemde daha az NH₃ kullanılmakta ve sonuçta amonyakla ilgili işletme giderleri daha düşük olmaktadır. NO_x azaltma verimliliği genellikle % 59 ila %67 arasındadır. Ancak, normalin dışında 3000 mg/Nm³ ve daha yüksek gaz konsantrasyonlarının mevcut olduğu çalışma koşullarında %80'in üzerinde olan NO_x azaltma verimlilikleri gözlenmiştir. Normal çalışma koşullarında, SCR NO_x emisyonlarını ilk ham gaz konsantrasyonları olan 1000 ila 1600 mg/Nm³'tenyaklaşık 400 ila 550 mg/Nm³'e düşürür. NH₃ tüketimi 0,8 ila 0,9 molar orantısı ile SNCR uygulamasına kıyasla çok daha düşüktür. Hammaddeden kaynaklanan NH₃'ün aynı zamanda reaktörde azaltım ajanı olarak görev yaptığı ve bu nedenle artık NH₃ emisyon seviyesinin çok düşük olduğu dikkate alınmalıdır. Bu Alman tesisinde, SCR genel olarak 300 mg/Nm olan NO_x emisyon seviyesini elde etmek suretiyle NH₃ emisyonlarının 1 mg/Nm³'ün altında kalmasını sağlamıştır. Bu sonuçlar

özellikle sadece üç katalitik katmanla elde edilmeleri ve buna rağmen artık NH_3 emisyon seviyesinin $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ civarında olması nedeniyle söz konusu tekniğin potansiyelini ortaya koymaktadır.

İtalya’da bir SCR tesisi NO_x azaltımına yönelik faaliyet göstermektedir. NO_x azaltımı için 1720 t/gün kapasiteli (izin verilen kapasite 2400 t/gün) bir fırın hattı olan tam ölçekli bir yüksek toz SCR sistemi 2006 yılından beri faaliyet göstermektedir. Yedi katalizör katmanı (seviyesi) için öngörülen modülleri içeren odanın boyutları Şekil 1.66’da gösterildiği genişlik 4 m, uzunluk 6 m ve yükseklik 27 m’dir.

Monte edilen katalizörlerin hacmi her seviye için 21 m^3 ve üç seviye için toplam 63 m^3 olup, 2400 t/gün olan izin verilen kapasiteye ulaşmak amacıyla ileride monte edilecek iki adet ilave seviye için 42 m^3 ’lük boş yedek kapasiteye sahiptir. Katalizörler 5 veya 6 bar basınçlı hava ile otomatik olarak temizlenir ve bu iş için kompresör hattının tüketimi beher ton klinker için 2.5 kWh ’dır. 7000 saatlik çalışmadan sonra katalizörlerin azaltım etkinliklerinde hiçbir azalma görülmemiştir.



Şekil 38: Bir SCR tesisi örneği
[140, İtalya, 2007]



Şekil 39: SCR tekniği için kullanılan bireysel bir katalizör örneği
[140, İtalya, 2007]



Şekil 40: SCR tekniği için kullanılan bir modül konumu örneği
[140, İtalya, 2007]

Azaltım ajanı olarak konsantrasyon oranı % 25 olan amonyak solüsyonu kullanılır. Gaz debisi $110.000\text{ m}^3/\text{saat}$ iken fırın koşullarına ve kullanılan yakıt tipine bağlı olarak akış saatte 3 ila 300 litre arasında değişir. Amonyak solüsyonu $320 - 350^\circ\text{C}$ olan uygun sıcaklık rejiminin bulunduğu en üst siklonun altındaki gaz akışı içine enjekte edilir. İlk 10 aylık işletme süresi boyunca ortalama amonyak solüsyonu tüketimi $0,7 - 1\text{ kg/t}$ klinker olmuş ve NO_x emisyonları $450\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ’ün (%10 O_2) altına düşürülmüştür. Ancak bu İtalyan tesisinden elde edilen raporlar ve test sonuçları, bu SCR tekniği tasarımının NO_x emisyonlarını bacada $<200\text{ mg}/\text{Nm}^3$ e (fiili O_2 %’si) düşürebileceğini göstermiştir.

Giriş NO_x seviyesine ve NH_3 enjeksiyon oranına bağlı olarak, NO_x azaltım verimliliği % 43-95 arasında değişir. % 10 O_2 olarak yapılacak düzeltmeler daha düşük NO_x konsantrasyonlarının oluşumunu sağlayacaktır. Söz konusu SCR tekniği tesis edilmeden önce, baca gazının içinde bulunan ve hammaddelerden kaynaklanan amonyak 50 - 150

mg/Nm³ olarak ölçülmüştür. Daha sonra bu miktardaki amonyak SCR prosesi tarafından kullanılmış ve bunun sonucunda 1 mg/Nm³'ten daha düşük olan ve molar orantısı (enjekte edilen NH₃: NO_x) birden az olan NH₃ emisyonları elde edilmiştir. Bu NO_x azaltım tekniğini kullanan bir Alman çimento fabrikası ve bir İtalyan çimento fabrikası tarafından rapor edilen SCR tekniği parametreleri, emisyonları ve maliyetleri Tablo 1.35 'te gösterilmiştir.

**Tablo 41: SCR parametreleri, emisyonları ve bildirilen maliyetler
[85, CEMBUREAU, 2006]**

Teknik	Uygulanabildiği fırın sistemleri	Azaltım etkinliği (%)	Bildirilen emisyonlar		Bildirilen maliyetler	
			mg/Nm ³ (günlük ortalama değer)	Kg NO _x /t klinker	Yatırım (EURO/ton klinker)	İşletme (EURO/ton klinker)
SCR	Muhtemelen tümü	43-97	300-500 ¹⁾	0,15 – 1,0	2,5 ²⁾ 3,2-4,5 ^{3) 4)}	1,75-2 ³⁾

¹⁾ Bir örnek fabrikanın deney testi ve uzun vadeli çalışma sonuçları
²⁾ Tam ölçekli tesis için UBA Almanya tarafından yapılan maliyet tahmini (fırın kapasitesi 1500 t klinker/gün, 1200 mg/Nm³ ilk emisyon seviyesi ve 200, 500 ve 800 mg/Nm³'lük nihai seviyeler (günlük ortalama değer)
³⁾ Alman Çimento Sanayi Derneği (VDZ) tarafından hesaplanan maliyet olup, tam ölçekli bir tesisin işletme giderleri ile yatırım amortismanını içermektedir (fırın kapasitesi 1500 t klinker/gün, 1200 mg/Nm³ ilk emisyon seviyesi ve 200, 500 ve 800 mg/Nm³'lük nihai seviyeler)
⁴⁾ En yüksek tutar bir İtalyan çimento fabrikasının SCR sistemine ait olup, katalizör elementleri için 0,9 milyon EURO

Uygulanabilirlik

SCR sadece ön ısıtıcılarda test edilmiş ve yarı-kuru (Lepol) fırınlarda deneme testleri yapılmıştır, ancak prensip olarak sıcaklık penceresine bağlı olarak tüm fırınlara uygulanabilir.

Yüksek toz seviyelerinin varlığı katalizörlerin büyük ölçüde dayanıklı ve etkin olmalarını gerekli kılmakta olup katalizörlerin tasarım ve kimyasal bileşimleri de çok önemlidir. Diğer sanayilerde düşük toz çalışması için tasarlanmış olan katalizörler çimento fabrikalarında yüksek toz çalışması için uygun olmayabilir. Bir SCR reaktöründe yüksek toz operasyonu yapılması sırasında tıkanmaları ve faaliyet kayıplarını önlemek için katalizörün mekanik dayanıklılığının yüksek olması, düşük toz operasyonu için normalden daha geniş bir alan olması ve bir entegre tozsuzlaştırma sisteminin mevcut olması gereklidir. Katalizörün uygun kimyasal bileşiminin ne olduğu çimento fırınlarından çıkan yüksek tozlu atık gazlar ile denemeler yapmak suretiyle değerlendirilmelidir. Ayrıca, modülleri tutan odasının boyutları ve kullanılan tabakaların miktarları nedeniyle SCR tekniğini monte edebilmek için yeterli alan olmalıdır.

Henüz çimento sanayi için uygun olan standart bir katalizör yoktur. Kullanılmakta olan çeşitli türdeki katalizörler halen denemeye tabi tutulmaktadır.

Ekonomi

SCR tekniğinin kullanılması sonucunda tesis büyüklüğüne ve gerekli görülen NO_x giderme verimliliğine bağlı olarak ton başına 1,25 ila 2,00 EURO maliyet olduğu görülmüştür. SNCR tekniğinin aksine SCR tekniğine yön veren SNCR sisteminden 4 ila 9 kat fazla olan yatırım maliyetleridir. Katalizörlerin kullanımı işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca, enerji tüketimi esas olarak basınç düşmesinden ve katalizör için temizleme havasından kaynaklanmaktadır. SCR'nin kendisine özgü maliyeti ton başına EUR 1,75 EURO civarına düşmüştür.

Slite, İsveç'te bulunan Cementa AB'de 5800 ton klinker/gün kapasiteli süspansiyon ön ısıtıcı/ön kalsinatörlü bir kuru proses fırını bulunmaktadır. 1993 yılında SNCR'nin çıkışına monte edilen deneme amaçlı bir yüksek toz SCR'sini yaklaşık bir yıl boyunca çalıştırmışlar ve SNCR'nin çıkışına monte edilecek tam ölçekli bir SCR'nin maliyetinin ne olacağını araştırmışlardır. Bu da SCR'ye giren ilk NO_x seviyesinin 200 mg/Nm³'ten daha düşük olacağı anlamına gelir. Tahmini yatırım maliyeti yaklaşık 11,2 milyon EURO, işletme maliyeti klinkerin beher tonu için yaklaşık 1,3 EURO ve klinkerin ton başına toplam maliyeti 3,2 EURO olmuştur. SCR için ilave olarak azaltılan NO_x'in kilogram maliyeti 5,5 – 7,3 EURO olmuştur. Şirkete göre bu maliyetler çok yüksektir ve makul değildir.

3000 ton klinker/gün kapasitesi olan bir ön ısıtıcı fırının yatırım maliyeti 3,5 milyon – 4,5 milyon EURO olarak tahmin edilmiş ve maliyetlere ilişkin göstergelerin tedarikçi tarafından sağlanmış olduğu ve tesiste yapılacak tadilatı içermediği belirtilmiştir.

Avusturya, Almanya, Hollanda ve İsveç'te fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Çimento sanayinde SCR tekniğinin tahmini maliyetleri çok değişiktir ve ana değişkenler üretim maliyetleri ile katalizörlerin ömrüdür.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler. SCR uygulamaları daha yüksek NO_x azaltma verimliliği elde etmeye veya NO_x'in ve örneğin hammaddelerden kaynaklanan amonyak gibi diğer kirleticilerin aynı anda azaltımlarını sağlamaya uygun olabilir.

Örnek tesisler

Solnhofer Portland-çimento fabrikası (Almanya), Monselice çimento fabrikası (İtalya).

Kaynak literatür

[4, Avusturya, 1998] [8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [12, Hollanda,1997], [18, Goller, 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, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

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 farini eşit olarak dağıtma, pişirme prosesi içinde azaltım koşullarının oluşmasını önleme ve hammadde ve yakıtların seçimi gibi birincil proses optimizasyon önlemlerini/tekniklerini dikkate almaktır. Ayrıca Fırın yüklendiğinde SO₂'nin tutulabilmesi için fırın giriş alanındaki oksijen konsantrasyonu son derecede önemlidir. Uzun fırınlarda oksijen içeriğinin artırılması SO₂ seviyesini azaltır ve NO_x seviyesini artırır. Ancak belirli bir ürün kalitesini elde edebilmek için klinker pişirme prosesi fazla 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 her zaman yeterli oksijen ikmali vardır. Fırın arka çıkışındaki oksijen içeriğini ayarlayarak NO_x/ SO₂/CO optimizasyonu yapmak suretiyle çevreyi koruyucu bir denge sağlamaya çalışılmalıdır.

Önlemlerin/tekniklerin yeterli olmadığı bu gibi durumlarda ilave boru çıkışı önlemleri/tedbirleri alınabilir. Çimento üretimi esnasında ve ağırlıklı olarak ön ısıtıcı ve baypas prosesinden kaynaklanan SO₂ emisyonları üzerinde olumlu etkisi olan, diğer bir deyişle azalma sağlayan önlemlerin/tekniklerin genel görünümü Tablo 1.36’da verilmiştir. Bu Bölümün metni içinde mevcut olan operasyonel verilerin özeti Tablo 1.36’da verilmiş olup, bunlar daha sonraki Bölümlerde yer alan ilgili paragraflarla birlikte okunmalıdır. Bu bağlamda atıkların beraber yakılması sırasında WID gereksinimlerinin karşılanması gerekir [59, Avrupa Birliği, 2000].

Tablo 42: SO₂ kontrolü ve azaltılmasına ilişkin tekniklere genel bakış

Önlemler/ Teknikler	Uygulanabildiği fırın sistemleri	Azaltım etkinliği (%)	Emisyon verileri		Maliyet	
			mg/Nm ³ ¹⁾	Kg/ton ²⁾	Yatırım (milyon EURO)	İşletme (EURO/t)
Soğurucu malzeme ilavesi	Tümü	% 60 – 80	<200 – 400 ⁵⁾	0.23 – 0.92	0.2 – 0.3	0.1 – 0.4
Sulu yıkayıcı	Tümü	>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⁾ Normal olarak kuru gaz, 273 K, 101.3 kPa ve % 10 O₂ olan günlük ortalamalara ilişkindir.
²⁾ kg/ton klinker: 2300 m³/ton klinker baz alınmıştır
³⁾ Bu maliyet aynı zamanda 2000 ton klinker/gün fırın kapasitesine ve 50 – 600 mg SO₂/Nm³ ilk emisyonu ilişkin SNCR prosesini de içerir, 1997 yılı maliyet verileridir.
⁴⁾ Elde edilebilecek nihai emisyon seviyesi sulu yıkayıcının monte edilmesinden önceki ilk SO₂ değerine bağlıdır ve daha yüksek olabilir
⁵⁾ 1200 mg/Nm³’lük ilk SO_x seviyesi

Avrupa çimento sanayisinde yarı yaş ve kuru yıkayıcılar kullanılmaz. Bu tekniklerin dayandığı

prensip, kimyasal veya fiziki soğurma ajanlarını enjekte etmek suretiyle egzoz gazının içinde bulunan SO₂’nin nötr hale getirilmesidir. Bu tekniklerin uygulanması sonucunda elde edilecek reaksiyon ürünleri ise çözünmüş veya kuru tuzlardır. Avrupa’da sirkülasyonlu akışkan yataklı kuru yıkayıcının monte edilmiş olduğu tek tesis olan ve Untervaz, İsviçre’de bulunan fabrika 2003 yılında ekonomik nedenlerle ve daha düşük oranda teknik nedenlerle kapatılmıştır.

4.5.2.1 Soğurucu malzeme ilavesi

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Çimento sanayinde kullanılan ikincil emisyon kontrol önlemleri/teknikleri, ‘kuru katkı maddesi prosesi’ (hammaddeye sorbent ilave etme) veya ‘kuru soğurma prosesi’ (gaz akımına sorbent enjekte etme) olarak adlandırılan prosesi kullanmak suretiyle sönmüş kireç ilavesidir. Kireç ilavesinin başkibir avantajı ise kalsiyum içeren katkı maddesinin doğrudan klinker pişirme prosesine katılabilen reaksiyon ürünlerini oluşturmaktır.

Sönmüş kireç ilave etmek için optimum sıcaklık 350 ile 400 °C arasında olup, gazın su ile zenginleştirilmesi halinde 150°C’nin altındadır. 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 yüklenebilir veya doğrudan fırın besleme malzemesinin içine ilave edilebilir. Sönmüş kireç (Ca(OH)₂), sönmemiş kireç (CaO) veya yüksek CaO içerikli aktif uçucu kül suyun çöğlenme

noktasına yakın sıcaklıklarda egzozgazının geçiş yoluna enjekte edilir ve bunun sonucunda SO₂'nin tutulması için daha uygun koşullar oluşur. Çimento fırın sistemlerinde bu sıcaklık aralığı farin değirmeni ile toz toplayıcının arasındaki alanda bulunmaktadır. 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 proseste azaltım verimliliğini etkileyen faktörler üst siklon kademelerindeki kısa alıkoyma süreleri (asgari iki saniye) ile egzoz gazının içerisinde %30'un üstünde olan yüksek CO₂ seviyeleridir.

Çapraz medya etkileri

Aşırı kireç enjeksiyonunun farin kalitesi üzerindeki etkisi.

Operasyonel veriler

Sönmüş kireç ilave etmenin SO₂'yi azaltma potansiyeli bir taraftan ilk SO₂ seviyesi ve egzoz gazı koşulları, diğer taraftan ise ilgili tesis içinde oluşan kükürt döngülerinin konsantrasyon seviyeleri tarafından belirlenir. Süspansiyon ön ısıtıcı fırın sistemlerinde soğurucu enjeksiyonu yoluyla % 60 ila % 80 arasında SO₂ azaltımları elde edilebilir. İlk seviyeler 400 mg/Nm³'ten yüksek olmadığı takdirde yaklaşık 100 mg/Nm³ elde etmek teorik olarak mümkündür. 1200 mg/Nm³'e varan ilk SO₂ seviyeleri olduğunda 400 mg/Nm³'lük bir azalma elde etmek mümkündür. 1200 mg/Nm³'ten daha yüksek olan ilk SO₂ seviyeleri önemli miktarlarda soğurucu kullanılmasını gerektirir ve bu durum maliyet açısından uygun olmayabilir. Ayrıca, sülfür döngülerinin daha yüksek olan ilk konsantrasyonları kalsinasyon alanında birikintilerin oluşmasına ve dolayısıyla proseste düzensizliklere neden olur.

Bu nedenle, bu teknik uygulandığında daha yüksek seviyedeki kükürtün fırına geri döndürülmesinden dolayı daha yüksek kükürt devridaimi ve fırın istikrarsızlığı riski oluşabilir.

Uygulanabilirlik

Soğurucu ilavesi prensip olarak tüm fırın sistemlerine uygulanabilir, ancak en çok süspansiyon ön ısıtıcılarda kullanılmaktadır. Doruk noktadaki SO₂ emisyonlarını azaltmak için ESP'nin

kullanılmasından önce egzoz gazına kuru NaHCO₃ enjekte eden en az bir adet uzun yaş çimento fırını vardır. Fırın besleme malzemesine kireç ilave edilmesi granüllerin/nodüllerin kalitesini düşürür ve Lepol fırınlarında akış sorunları yaratır.

Kuru soğurma prosesi (gaz akımına soğurucu enjekte etme) kuru veya yaş olarak uygulanabilir. Ön ısıtıcı fırınlarında sönmüş kirecin doğrudan egzoz gazına enjekte edilmesinin sönmüş kirecin fırın besleme malzemesine ilave edilmesinden daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. SO₂'nin kireçlere reaksiyona girmesi sonucunda oluşan CaSO₃ ve CaSO₄ daha sonra hammaddeyle beraber fırına girer ve klinkerin içine yerleşir. Bu teknik orta derecede SO₂ konsantrasyonlarını içeren gaz akımlarını temizlemek için uygundur ve hava sıcaklığı 400°C'den fazla iken uygulanabilir. En yüksek azaltım oranları 600°C'yi aşan sıcaklıklarda elde edilebilir. Yüksek özgül yüzey alanı ve yüksek gözenekliliği olan Ca(OH)₂ bazlı bir soğurucunun kullanılması tavsiye edilir. Sönmüş kirecin reaktivitesi yüksektir ve bu nedenle 3 ila 6 arasında olan Ca(OH)₂/SO₂ molar oranları uygulanmalıdır. SO₂ konsantrasyonları yüksek olan gaz akımları, soğurucunun stokiyometrik miktarını 6-7 kat fazlasını gerektirir ve bu durum işletme maliyetlerinin yüksek olması anlamına gelir.

Ekonomi

Soğurucu ilavesi işlemi doruk noktalarına ulaşıldığı durumlarda sınırların aşılmasını sağlamak amacıyla çeşitli tesislerde kullanılmaktadır. Bu durum ise genel olarak soğurucu

ilavesinin devamlı birleşim olmadığı ancak özel durumlarda gerektiği takdirde yapıldığı anlamına gelmektedir.

3000 mg/Nm³'e varan ilk SO₂ konsantrasyonu, %65'e varan azaltım ve ton başına 85 EURO sönmüşkireç maliyeti olan 3000 ton klinker/gün kapasiteli bir ön ısıtıcı fırının yatırım maliyeti yaklaşık 0.2milyon - 0.3 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.1 - 0.4 EURO'dur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan 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,TWG CLM, 2007]

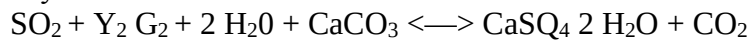
4.5.2.2 Sulu yıkayıcı

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

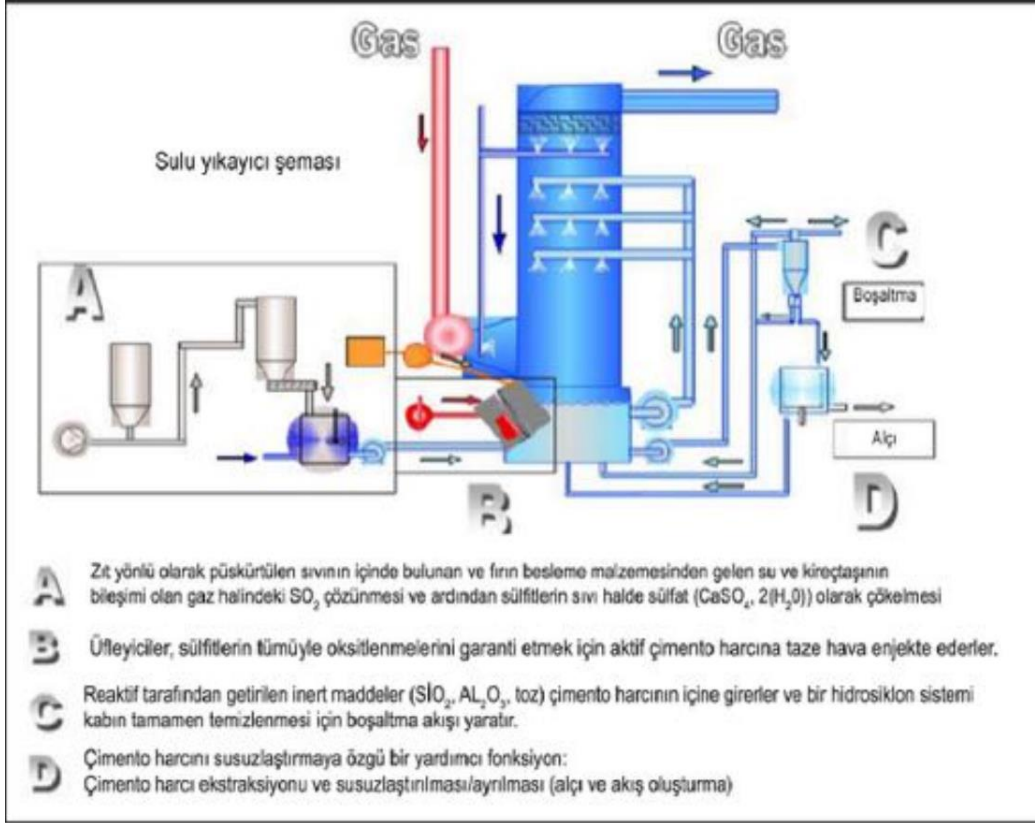
Sulu yıkayıcı, kömür yakıtlı elektrik santrallerinde baca gazı kükürt giderme işlemi için en çok

kullanılan tekniktir. SO₂ emisyonlarının azaltılması için yaş proses uygulaması çimento üretim

prosesinde kullanılan bir tekniktir. Sulu yıkama aşağıda verilen kimyasal reaksiyona dayalıdır:



SO_x, püskürtme kulesine püskürtülen bir sıvı/sulu harç tarafından soğurulur. Soğurucu görevini yapankalsiyum karbonattır. Sulu yıkama sistemleri, tüm baca gazı kükürt giderme (FGD) yöntemlerininoluşturduğu çözünür asit gazlarının giderilmesinde en yüksek verimliliğini en düşük stokiyometrikfaktör fazlalığı ve en düşük katı atık üretim oranı olacak şekilde sağlar. Ancak, sulu yıkayıcılar HQ, artık toz ve daha düşük ölçüde metal ve NH₃ emisyonlarını da önemli ölçüde azaltır. Bir suluyıkayıcının temel çalışma sistemi prensibi Şekil 1.69'da gösterilmiştir.



Şekil 41: Bir sulu gaz yıkayıcının temel çalışma özellikleri [91, CEMBUREAU, 2006]

2008 yılında Avrupa çimento sanayinde yedi adet fiilen kullanılan ve bir adet kullanımı planlanan suluyıkayıcı vardır ve tamamı püskürtme kulesidir. Egzoz gazına ters akıntı şeklinde püskürtülen suluharc yıkayıcının alt bölümünde bulunan bir geri dönüşüm tankının içinde toplanır ve oluşan sülfat butankın içinde hava ile oksitlenerek kalsiyum sülfat dihidratı oluşturur. Dihidrat ayrıştırılır ve bumalzeme alçının fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak çimento öğütmede kullanılabilir, su iseyıkayıcıya geri gönderilir.

Kuru yıkayıcı ile karşılaştırıldığında, yaş proseste çimento fırını tozu (CKD) oluşturma potansiyeli çokdaha düşüktür ve doğal alçı kaynakları korunmuş olur. Avrupa'da sirkülasyonlu akışkan yataklı kuruyıkayıcının monte edilmiş olduğu tek tesis olan ve Untervaz, İsviçre'de bulunan fabrika 2003 yılındaekonomik nedenlerle ve daha düşük oranda teknik nedenlerle kapatılmıştır. Normal olarak çimentoüretim prosesi esnasında veya gaz yıkama uygulamaları sırasında amaç atık toz oluşturmamaktır. Yaşkükürt giderme proseslerinde $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ oluşur ve doğal alçı yerine ve çimento içinde birmodülasyon ajanı olarak entegre olmuş şekilde izlemede kullanılır. Kuru/yarı kuru kükürt gidermeproseslerinde büyük miktarda $CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O$ ürünü oluşur ve bunlardan H_2O çimento kalitesi içinzararlıdır ve çimentonun içine entegre olma ihtimali kısıtlıdır. Bu nedenle, kuru yıkayıcı ürünlerininçoğunun tekrar fırına geri gönderilmeleri veya bertaraf edilmeleri gereklidir.

Çapraz medya etkileri

Enerji tüketiminde artış

Baca gazı kükürt giderme (FGD) nedeniyle atık üretimi artar, ve bakım yapıldığında ilave atık oluşabilir.

Artan CO₂ emisyonları
Artan su tüketimi.
Suya yapılan emisyonlar ve artan su kirlenme riski.
Artan işletme maliyetleri.
Doğal alçı yerine suni alçı kullanılması

Operasyonel veriler

Elde edilen SO₂ azalımı %95'in üzerinde olabilir. İsveç'te bulunan Cementa AB'de 5800 ton klinker/gün kapasiteli bir ön ısıtıcı fırın görev yapmakta olup, baca gazındaki 800 - 1000 mg/Nm³ ilkSO₂ konsantrasyonu sonuçta <10 mg/Nm³ seviyesine düşmektedir. İngiltere'de bulunan CastleCement'te 2500 ton klinker/gün kapasiteli bir ön ısıtıcı fırın görev yapmakta olup, baca gazındaki ilkSO₂ konsantrasyonunun günlük ortalaması yaklaşık 800 -1400 mg/Nm³ ve bazı zamanlar doruk değeri2000 mg/Nm³'ün üzerinde olmaktadır. Ayrıca, 2002 ila 2006 yılları arasındaki yıllık ortalama SO₂emisyonları 207 mg/Nm³ olarak rapor edilmiştir ve hammaddenin yüksek kükürt içeriğinedeniyle günlük azami ortalamalar 248 ila 296 mg/Nm³ arasında değişiklik göstermiştir.

Uygulanabilirlik

Sulu yıkayıcı, alçı üretmek için uygun (yeterli) SO₂ seviyeleri olan her türlü çimento fırınına monte edilebilir.

Ekonomi

2008 yılında İngiltere'de bulunan Castle Cement'te Ribblesdale fabrikasına takılan sulu yıkayıcının yatırım maliyeti tedarikçi tarafından enflasyonu da gözönüne almak suretiyle 23 milyon EURO olarak tahmin edilmiştir. 2000 yılında Castle Cement yıkama ünitesinin yatırım maliyetinin (fabrikadayapılan tadilatlar dahil) 7 milyon EURO olduğu ve işletme maliyetinin beher ton klinker için yaklaşık0.9 EURO olduğu rapor edilmiştir. 1998 yılında İsveç'te bulunan Cementa AB'nin yatırım maliyeti yaklaşık 10 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için yaklaşık 0.5 EURO olmuştur.

1990'lı yılların sonlarında 3000 mg/Nm³'e kadar ilk SO₂ konsantrasyonu ve 3000 ton klinker/gün fırın kapasitesi için yatırım maliyeti 6 milyon- 10 milyon EURO ve işletme maliyeti beher ton klinker için0.5-1 EURO olmuştur. Ayrıca, 1998 yılında bir Avusturya çimento fabrikasında bir sulu yıkayıcının(SO₂ emisyonlarını 200 mg/Nm³'ün altında olacak şekilde azaltan) yatırım maliyeti 5.8 milyon EURO ve 2008 yılına kadar yıllık işletme maliyeti 140000 EURO olmuştur. 2008 yılında Avrupa çimentosanayi tarafından yatırımmaliyetlerinin 6 milyon EURO ile 30 milyon EURO arasında olduğu ve işletme maliyetlerinin beher ton klinker için 1-2 EURO olduğu rapor edilmiştir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.
Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

Cementa AB (İsveç), Castle Cement (İngiltere), Retznei fabrikası (Lafarge, Avusturya), Dunbar(İngiltere), Trebovlje (Slovenya), Untervaz (İsviçre). [8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cementa AB/Hagstrom, 1994], [11,Coulburn, 2001], [24, Junker, 2001], [81, Castle Cement İngiltere, 2006], [86, EURITS, 2006], [92,Avusturya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [114, İsveç, 2006], [132,

CEMBUREAU/Federhen,2007], [168, TWG CLM, 2007], [175, Lafarge, 2007], [182, TWG CLM, 2008], [183,Szednyj/Schindler, 2005]

4.5.2.3 Aktif karbon

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

SO₂, organik bileşikler, metaller, NH₃, NH₄ bileşikleri, HCl, HF ve artık toz gibi kirleticiler (bir ESPveya torbalı filtreden sonraki) aktif karbon üzerine adsorpsiyon yoluyla egzoz gazından uzaklaştırılabilir. Aktif karbon filtresi enjeksiyon tekniği için kullanılır veya modüler bölme duvarları olan bir dolgu yatak şeklinde oluşturulur. 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 soğurucu ile değiştirilir. Doymuş olan koku fırında yakıt olarak kullanmak suretiyle hapsedilmiş olan maddeler sisteme geri döndürülür ve büyük oranda çimento klinkeri içine sabitlenir.

Çapraz medya etkileri

Aktif karbondan kaynaklanan atıklar tehlikeli atıklar olarak yönetilmelidir.

Operasyonel veriler

Avrupa çimento sanayinde halen mevcut olan tek aktif karbon filtresi Siggenthal, İsviçre’de bulunan çimento tesisine monte edilmiştir. Siggenthal’in fırını 2000 ton klinker/gün kapasiteli dört kademeli siklon ön ısıtıcı fırındır. Ölçümler SO₂, metaller ve PCDD/F’leri bertaraf etme verimliliğinin yüksek olduğunu göstermiştir. 100 gün süren bir deneme sırasında, filtre girişindeki SO₂ konsantrasyonları 50 ile 600 mg/m³ arasında değişmiş, bunun yanısıra çıkış konsantrasyonları her zaman 50 mg/Nm³’ün çok altında kalmıştır. Toz konsantrasyonları 30 mg/Nm³’ten 10 mg/Nm³’ün çok daha altınadüşmüştür.

Uygulanabilirlik

Aktif karbon filtresi tüm kuru fırın sistemlerine monte edilebilir. 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’nun izlenmesi ve kontrol edilmesi bu proses için özellikle önemlidir.

Ekonomi

Siggenthal’deki sistemde SNCR prosesi de vardır ve 1999 yılında Zürih şehri yaklaşık 15 milyon EURO olan toplam yatırım maliyetinin yaklaşık %30’unu finanse etmiştir. Bu azaltma sistemine yapılan yatırım yürütülmüş kanalizasyon çamurunun çimento fabrikasında yakıt olarak kullanılmasına sağlamak amacıyla yapılmıştır. İşletme maliyetleri artabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

Siggenthal, İsviçre [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [10, Cémenta AB/Hagström, 1994], [12, Hollanda, 1997], [86, EURITS, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.3 Karbon oksit (CO) emisyonlarının ve ani CO yükselmelerinin azaltılması

Tanım

Fırının/farin değirmeninin egzoz gazı CO₂, N₂, su buharı ve oksijen gibi diğer farklı bileşenlerin yanı sıra daha az ölçüde NO ve SO_x ve ayrıca daha az ölçüde CO içerir.

Mümkün olduğunda organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin seçimi de CO emisyonlarını azaltır. Eksik yanmadan kaynaklanan karbon monoksit (CO) emisyonları genelde verim kaybı olduğunu gösterir. Bu nedenle operatör fırınlarının CO emisyonlarını kısıtlamaya çalışır. Yanma ile ilgili olarak optimizasyon ve beslenen yakıt kalitesi, brülör özellikleri ve konfigürasyonu, fırın baca çekişi, yanma sıcaklığı ve kalma süresinde yapılacak iyileştirmeler CO emisyonlarını azaltabilir.

Ayrıca, yakıt enerjisi kullanımını azaltan tüm önlemler/teknikler de CO₂ emisyonlarını azaltır.

Mümkün olduğunda organik madde içeriği düşük olan hammaddelerin ve karbon içeriğinin kalorifik değere olan oranının düşük olduğu yakıtların seçimi CO emisyonlarını azaltır.

Ani CO yükselmeleri

Ani CO yükselmeleri nedeniyle oluşan toz emisyonları ESP'lerde ve bir ölçüde hibrid filtrelerde meydana gelir. Baca gazları içindeki CO seviyeleri yükseldiğinde ESP'ler güvenlik nedeniyle kapatılmalıdır.

ESP'nin duruş süresini azaltmak için sistematik olarak uygulanacak bir adım adım yaklaşıma ihtiyaç vardır:

☐ Aşağıda belirtilenler nedeniyle oluşan ani CO yükselmelerinin nedenleri gibi ani CO yükselmelerini etkileyen ana faktörlerle ilgili amaçlar belirleyiniz ve durum değerlendirmesi yapınız:

o Proses bozulmaları

o Hammaddede organik madde fazlalığı nedeniyle arka plandaki yüksek CO seviyeleri

o Yakıt besleme sistemindeki aksaklıklar

o Yanma prosesindeki bozulmalar

☐ Mevcut durum ile optimum durumları karşılaştırınız ve değerlendiriniz, optimizasyon potansiyelinin belirlenmesi ve önceliklerin tespiti– boşluk analizi

☐ Proses optimizasyonu, analiz sistemi, kullanılabilirliğin, güvenilirliğin ve hızın sağlanması, reaksiyon optimizasyonu ile ilgili önlemler/teknikler.

Ayrıca, herhangi bir nedeni belirlemek ve karşıt önlemleri/teknikleri uygulamak için aşağıda belirtilen

bilgilere ihtiyaç vardır:

☐ Analiz ekipmanlarının güvenilirliği, kullanılabilirliği ve dinamik davranışı hakkında bilgi

☐ CO gelişme istatistikleri hakkında bilgi

☐ Kullanılan yakıtlar, yakıt besleme sistemi ve proses ile ilgili bilgi.

Yakıtın fırın sistemine taşmasını önleyecek ve yanma sisteminin istikrarlı bir şekilde çalışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış olan yakıt besleme sistemleri ani CO yükselmelerini asgariye indirebilir.

Bir çimento fırındaki CO seviyesini kontrol etmek amacıyla baca gazlarının içindeki CO'yu devamlı olarak izlemek için bir otomatik CO ölçüm cihazı kullanılır. Bu önlemin/teknikğin reaksiyon süresi ve çalışmayı durdurma prosesi açısından optimize edilmesi ve bakımının

uygun bir şekilde yapılması gerekir. İdeal CO izleme sistemi kısa bir tepki süresine sahip olmalı ve ön ısıtıcı kulesi çıkışı veya yaşıfırın uygulaması olduğu takdirde fırın girişi gibi CO kaynağına yakın bir yerde bulunmalıdır. Buna rağmen, tüm sistemin ölü zamanlı analizinin-kanal hacmi nedeniyle tutma süresi de dahil olmak üzere- yapılması gerekir. İdeal olarak CO gazı örneğinin emme noktasından analiz cihazına gidişi içingeçen ölü zaman 20-30 saniye civarında olacaktır (analiz gecikme süresi). Buna 10-30 saniye ilavegecikme süresi eklemek suretiyle azami analiz reaksiyon süresi değerinin yaklaşık %85'ine ulaşmadan önceki azami ölü zaman bulunur. Toplam ölü zaman, çok erken veya çok geç olmadan ne zamantedbir alınacağını belirler. CO sinyal eğimi daha ayrıntılı bir analizi yapıldığı takdirde, ESP yüksek gerilim sisteminin ne zaman kapanması gerektiği ve ani CO yükselmesi durumunun kritik bölgeden uzaklaşmasını hesaplamak suretiyle ne zaman yeniden tam olarak işletmeye alınabileceği konusunda daha doğru bir tahmin yapılabilir.

CO izleme gecikme süresi, örnek akışını arttırarak, örnekleme noktası ile analiz cihazı arasındaki mesafeyi kısaltarak, analiz sistemindeki hacmi azaltarak ve hızlı elektronik raporlama sinyali ile azaltılabilir. Mahallinde kullanılan hızlı sistemlerin <3 saniye tepki süreleri vardır ancak bunlar yüksek toz yüklü gazlar karşısında sınırlamalara tabidirler. Genel olarak sıkı bir bakım ve kalibrasyon sistemi olması esastır. Ancak analiz cihazı aralıkları ve bileşenleri CO için %5 ve CH₄ için %3 olan kritik sınırlara uygun olmalıdır.

Ani CO yükselmesi durdurulamadığı takdirde, tüm tutuşma kaynaklarına ve özellikle ESP'lerin yüksek gerilim ekipmanlarına özel olarak dikkat edilmesi gerekir. Yüksek gerilim ekipmanlarında meydana gelecek bir kesinti en son ve arzu edilmeyen bir durumdur. 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 kritik sınır > % 8 CO veya CH₄tür. Gerçekte, ani CO yükselmesi gaz hattı içinde hızla hareket ederek analiz sistemi herhangi bir alarm vermeden önce bir tutuşma kaynağının kritik alanına varacaktır.

Bu nedenle, harekete geçme seviyesi teorik seviyeden çok daha düşük olmalıdır ve ayrıca, özellikle yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında, CH₄ ve H₂ konsantrasyonlarına bağlıdır.

Aksamalar ağırlıklı olarak işletmeye başlama safhasında olur. Güvenli çalışma için, ESP'yi koruy gaz analiz cihazları tüm çalışma safhalarında bağlantı halinde olmak zorundadır. Fabrikanın duruş süresi faal olan bir yedekleme sistemi kullanılarak azaltılabilir.

Sağlanan çevresel faydalar

Patlama risklerinin, ani CO yükselmelerinin, CO ve toz (partikül madde) emisyonlarının azaltılması.

Çapraz medya etkileri

Ani CO yükselmeleri nedeniyle toz (partikül madde) emisyonları meydana gelebilir.

Operasyonel veriler

Baca gazı içinde konsantrasyonu % 0.1'e varan CO ile hammaddelerin içerdiği karbon nedeniyle oluşan ilave CO bulunabilir.

Devamlı ölçümler sonucunda 200 ila 2200 mg/Nm³ arasında olan (yıllık ortalama değer) CO emisyonları rapor edilmiştir.

Ani CO yükselmeleri birkaç dakika hatta saniye içinde oluşur ve hızla işletmeyi durdurma sınırınayaklaşır. Ani CO yükselmelerinin tekrar etme sıklığı asgariyeindirilebilir ve yılda 1 – 29 dakika arasında olan ve toplam fırın çalışmasının sırasıyla % 0.001 -0.009’unu temsil eden toplam zaman aralıklarının örnekleri rapor edilmiştir[158, Almanya, 2007].

ESP’lerde ani CO yükselmelerini önlemek için kullanılabilecek olan birincilönlemlerin/tekniklerinörneği Tablo 1.38’de açıklanmıştır. Standart kademeli işlemlerde ilk önce yakıt beslemesi ve yüksekgerilim seviyesi azaltılır. Daha sonra yakıt beslemesi tamamen kesilir ve yüksek gerilim trafolarıotomatik olarak devreden çıkar. Bu aşamadan sonra fanları çalıştırmak suretiyle sistemin temizlenmesigerekir. Gerekli olan temizleme süresi gecikme süresinin tespitinde izlenen yolu izlemek suretiyletespit edilebilir.

Tablo 43: ESP’lerden ani CO yükselmelerini önlemeye yönelik birincil önlemlerin/tekniklerin örnekleri [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [83, CEMBUREAU, 2006]

Ani CO yükselmelerini önlemeye yönelik birincil önlemler/teknikler		
Ölçüm noktası	CO Seviyesi	Önem
Ön ısıtma kulesi içinde	0.5	Alarm, ön kalsinatör/fırın girişi ateşleme sisteminin kapatılması
	1.2	Ana ateşleme sisteminin kapatılması
	2.5	Elektrikli çökelticinin yüksek geriliminin
Ön ısıtma kulesinden sonra	0.5	Alarm, ön kalsinatör/fırın girişi ateşleme sisteminin kapatılması
	0.8	Ana ateşleme sisteminin kapatılması
	1.5	Elektrikli çökelticinin yüksek geriliminin
	0.5	ESP yüksek gerilim teçhizatının yeniden devreye

Uygulanabilirlik

Ani CO yükselmelerinin azaltılması ile ilgili önlemler/tedbirler her türlü fırına uygulanabilir.

İkincil ateşlemesi olan fırınların baca gazlarını devamlı olarak izlemek amacıyla bir otomatik COizleme cihazı uygulamak suretiyle, herhangi bir ani CO yükselmesi sırasında ateşleme sisteminin sıralıolarak kapatılması ve bu sayede filtrelerin işletme güvenliklerinin artırılması sağlanabilir.

Değişik yakıtların ve özellikle katı yakıtların kullanımı yanma sisteminin istikrarsız olarak çalışmasınayol açabilir ve ani CO yükselmelerine neden olabilir. Yakıt besleme sistemleri yakıtın herhangi birzamanda fırın sistemine taşmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Katı yakıtların taşınma özellikleribu açıdan özellikle önemli bir husustur ve yakıt hazırlama ve besleme sistemlerinde engelleme vetıkanmaları önlemek için dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

Torbalı filtreler

Aşırı ortamlarda çalışan torbalı filtrelerde sorunlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle işletme sırasında COseviyesi her zaman mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. ESP’lerde olduğu gibi, CH₄ ve H₂ gibiilave yanıcı gaz bileşenleri kritik seviyeyi düşürecektir, örneğin yaklaşık % 2 hidrojen olduğundakritik seviye yaklaşık %5’e düşecektir.

Torbalı filtreler için belirgin potansiyel tutuşma kaynakları, suni liflerin sürtüşmesi nedeniyle oluşan statik yükler veya hibrid filtrelerde (ESP ile torbalı 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 hibrid toz toplayıcılar için torba destek kafesinin hücre plakasına bağlanarak topraklanması tavsiye edilmektedir. ESP sisteminde olduğu gibi CO'nun dışarı atılarak temizlenmesi gerekmektedir. Kömür değirmenlerinin temizlenmesi tercihen fırın gazı, CO₂ veya N₂ gibi bir etkisiz gaz vasıtasıyla yapılmalıdır.

Ekonomi

Veri yoktur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27'de bulunan çimento tesisleri

Ani CO yükselmeleri kontrolü rehber ilkeleri [83, CEMBUREAU, 2006] [60, VDI 2094 Almanya, 2003], [158, Almanya, 2007], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.4 Toplam organik karbon emisyonlarının (TOC) azaltılması

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Normal şartlar altında uçucu organik bileşik (VOC) emisyonları genelde düşüktür, ancak, tesislerde kullanılan hammaddenin organik uçucu içeriği nedeniyle daha yüksek olabilir. İmkân olduğu takdirde uçucu organik bileşik içeriği yüksek olan doğal veya atık ham maddeler hammadde besleme güzergâhı yoluyla fırın sistemine beslenmemeli ve halojen içeriği yüksek olan yakıtlar ikincil ateşlemede kullanılmamalıdır.

Yüksek VOC konsantrasyonları olduğu takdirde diğer sektörlerde olduğu gibi aktif karbon üzerine adsorpsiyon düşünülebilir.

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir.

Operasyonel veriler

Avrupa çimento fırınlarından rapor edilen TOC emisyonları 1 ila 40 mg/Nm³ arasındadır (yıllık ortalama değerler) ve hammadde özelliklerine bağlı olarak daha yüksek olabilir.

Atıkların beraber yakılması sırasında WID gereksinimlerinin karşılanması gerekir [59, Avrupa Birliği, 2000].

Uygulanabilirlik

Bu önlemler/teknikler prensip olarak çimento fırınlarında uygulanabilir.

Ekonomi

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

[9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [59, Avrupa Birliği, 2000], [76, Almanya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.5.5 Hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florürün (HF) azaltılması

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Düşük seviyede klor ve düşük seviyede flor içeren hammaddelerin kullanımı klor ve flor emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca, soğurucu enjeksiyonu veya yıkayıcı 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. Bu bileşikler döngüsel bir davranış gösterir ve döner fırın ile ön ısıtıcı arasındaki alanda zenginleşebilirler. Fırın girişinde bir baypas kullanımı alkali klorür döngülerinin etkili bir şekilde azalmalarını sağlar. Ayrıca, klor seviyeleri düşük olan hammadde ve yakıtların kullanımı düşük klor sirkülasyonuna yol açar ve fırın ve ön ısıtıcı arasındaki iç dolaşımdan kaynaklanan zenginleştirme döngüsünü asgariye indirebilir.

Döner fırınların içinde mevcut olan florun %90 ila 95’i klinkerin içinde tutulur ve geriye kalan kısmı toz ile bağlanarak pişirme prosesi şartlarında istikrarlı olan kalsiyum florürü (CaF₂) oluşturur.

Çapraz medya etkileri

Baypas sisteminin kullanılması (sıcak ham malzemenin ve ham gazın giderilmesi) daha yüksek özgül enerji tüketimine ve bertaraf edilecek daha fazla atık oluşmasına yol açar.

Operasyonel veriler

HCL emisyonları için en iyi performans verilerinin 0 ila 8 mg/Nm³ arasında olduğu (yıllık ortalamadağır) ancak bunun hammadde ve yakıtların klor içeriğine bağlı olduğu rapor edilmiştir.

Çimento fırınlarındaki HF emisyonları için HF cinsinden ifade edilen en iyi performans verileri 0.6mg/Nm³’ün altındadır (yıllık ortalama değır).

Atıkların beraber yakılması sırasında Atık Yakma Direktifi gereksinimlerinin karşılanması gerekir [59,Avrupa Birliği, 2000].

Uygulanabilirlik

Bu önlemler/teknikler prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Veri yoktur.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[59, Avrupa Birliği, 2000], [76, Almanya, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [168, TWG CLM,2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.6 Poliklorlu dibenzo-p-dioksin (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuran (PCDF) emisyonlarının azaltılması Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Çimento fırınlarından salınan PCDD/F emisyonları genelde çok düşük seviyededir; ancak bunları asgariye indirmek için aşağıda belirtilen genel önlemler/teknikler uygulanabilir:

- Düzgün ve istikrarlı bir fırın prosesi ile proses parametresi ayar noktalarına yakınlaşılması tüm fırın emisyonları ve enerji kullanımı açısından yararlıdır. Bu durum aşağıda belirtilenleri uygulamak suretiyle elde edilebilir:
 - o Bilgisayara dayalı otomatik kontrol sistemini de içeren proses kontrol optimizasyonu
 - o Modern yakıt besleme sistemlerinin kullanımı
- Yakıt enerjisinin aşağıda belirtilen şekilde asgariye indirilmesi:
 - o Mevcut fırın sistemi konfigürasyonunu göz önüne alarak ön ısıtma ve ön kalsinasyon
- Fırına giren maddelerin dikkatli bir şekilde seçimi ve kontrolü
 - o 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 asgariye indirmek için kullanılması gereken en önemli birincil önlemler/tekniklerin aşağıda belirtilenler olduğu düşünülmektedir:

- Fırın egzoz gazlarının uzun yaş ve uzun kuru fırınlarda ön ısıtma olmaksızın 200°C’nin altında olacak şekilde hızla soğutulması. Bu özellik modern ön ısıtıcı ve ön kalsinatörlü fırınların bünyesinde bulunmaktadır.
- Organik klorlanmış malzemeler içerdikleri takdirde atıkların hammadde karışımının bir parçasını oluşturacak şekilde hammadde beslemesi olarak kullanılmasını kısıtlamak veya önlemek
- Çalışmayı başlatma ve durdurma sırasında atık yakıt beslemesi yapmamak
- Kritik proses parametrelerinin, örneğin homojen ham karışımı ve yakıt beslemesinin, düzenli dozajın ve oksijen fazlalığının izlenmesi ve stabilizasyonu [86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006]
- Halojen içeriği yüksek olan yakıtlar ikincil ateşlemede kullanılmamalıdır.

Yüksek PCDD/PCDFs konsantrasyonları olduğu takdirde diğer sektörlerde olduğu gibi aktif karbon üzerine adsorpsiyon düşünülebilir.

Çapraz medya etkileri

Baca gazı oluşu içinde bulunan bir su püskürtme sisteminden oluşan egzoz gazı su verme sistemlerinin enerji verimliliği üzerinde etkisi olabilir. .

Operasyonel veriler

Birincil önlemler/teknikler uygulandığı takdirde çimento fırınlarının çoğu 0.1 ng I-TEQ/Nm³ lükemiyon seviyesini sağlayabilir [88, SINTEF, 2006]. 2004 yılında yapılan spot ölçümler, AB-27 ve AB-23+ ülkelerinde bulunan fırınların çoğunun birincil önlemleri/teknikleri uygulamak suretiyle <0.03 ve 0.05 ng I-TEQ/Nm³ arasında emisyon seviyeleri elde ettiklerini göstermiştir. Ayrıca, birçok çimento fabrikası tarafından yıllık ortalama değer olarak <0.03 ngI-TEQ/Nm³ emisyon seviyeleri elde edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Bu önlemler/teknikler prensip olarak çimento fırınlarında uygulanabilir. Yaş fırınlarda fırın sonrası işletme koşullarının kontrol edilmesi PCDD/F emisyonlarını düşürebilir.

Ekonomi

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Yerel koşullar.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

4.7 Metal emisyonlarının azaltılması

Tanım ve sağlanan çevresel faydalar

Uçucu metal içeriği yüksek olan malzemeleri fırın sistemine beslemekten kaçınılmalıdır. Klinker vetozun içinde bulunan diğer metallerle birlikte yüksek emisyonlara yol açacağı için Hg ve Tl gibi uçucumetal içeriği yüksek olan malzemelerin kullanımı özellikle denetlenmelidir. Fırına giren malzemelerindikkatli bir şekilde seçilmeleri ve örneğin kullanılan atık malzemelerin özelliklerini garanti eden birkalite güvence sistemi kullanmak suretiyle garanti edilmiş olan özellikleri emisyonları azaltabilir.

Metallerin ve özellikle talyumun çimento fırın sisteminin iç ve dış döngülerinde birikmesi fırınınçalışma süresinin ve bununla birlikte emisyonların artmasına yol açar. Bu durum söz konusu döngüleriengelemek suretiyle kısmen veya tamamen azaltılabilir. Ancak iç ve dış döngüler arasındaki yakınbağlantı sadece dış döngüyü engellemenin yeterli olacağı anlamına gelir. Bu engelleme, toztoplayıcının içinde birikmiş olan tozu farine karıştırması için geri göndermeden atmak suretiylegerçekleştirilebilir. Kimyasal bileşimi uygun olduğu takdirde atılmış olan bu çimento fırını tozuçimento öğütme aşamasında doğrudan ilave edilebilir [27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996].

Salınan metaller (cıvanın bir bölümü hariç) büyük ölçüde toza bağlı oldukları için metalleri azaltmastratejileri toz azaltma stratejileri kapsamında yer almaktadır. Tozun etkin bir şekilde giderilmesi metal emisyonlarını azaltır. Cıva emisyonlarını asgariye indirmenin bir yolu egzoz sıcaklığınıazaltmaktır. Uçucu olmayan bileşenler prosesin içerisinde kalır ve fırından çimento klinkeribileşiminin bir parçası olarak çıkar. Uçucu metallerin (özellikle cıva) konsantrasyonu yüksekolduğunda özellikle malzemelerin (özellikle cıva) uçucu metal

içerikleri asgariye indirilmelidir ve bumaddelerin fırın sistemine girişlerini kısıtlamak gerekebilir.

Ayrıca aktif karbon üzerine absorbe edilmeleri de bir seçenektir. Yarı uçucu metaller ince dumanşeklinde yoğunlaşır ve uçucu olmayan metallere nazaran daha düşük bir giderme verimi ile tutulurlar.

Uçucu olmayan metaller fırın sistemine girdiklerinde büyük ölçüde klinkerin içinde tutulurlar.

Çapraz medya etkileri

Tozun etkin bir şekilde giderilmesi metal emisyonlarını da azaltır.

Operasyonel veriler ve uygulanabilirlik

Toz haline getirilmiş aktif karbonu enjekte edildiğinde cıva aktif karbon tarafından adsorbe edilir. Bu önlemin/teknğin cıva (metalik veya iyonik) giderme etkinliğinin yaklaşık %85 ila %95 olduğu raporedilmiştir. Bunun sonucunda 0.01 - 0.03 mg/Nm³ Hg emisyonu oluşur. Ancak bu önlem/teknik için herhangi bir endüstriyel referans yöntemi yoktur.

Statik aktif karbon veya kok filtre, cıva ile PCDD/F'lerin modüler bölme duvarlar ile dolgu yatakhline getirilmiş aktif karbon filtre tarafından adsorbe edilmelerini içerir. Bu önlemin /teknğinkullanılması Hg emisyonlarının 0.03 mg/Nm³'ün altında olmasını sağlar. Filtreler doyduğu takdirdeperiyodik olarak değiştirilmelidir. Kullanılmış aktif karbon ile PCDD/F'ler gibi atıklar ve cıva gibidiğer kirleticiler tehlikeli atıklardır ve buna göre yönetilmelidirler [86, EURITS, 2006].

Ancak, AB-23+ ülkelerinde kullanılmakta olan sadece bir adet aktif karbon filtre vardır ve bu da İsviçre'de Siggental'de bulunmaktadır.

Atıkların beraber yakılması sırasında Atık Yakma Direktifi gereksinimlerinin karşılanması gerekir [59,Avrupa Birliği, 2000].

Ekonomi

Fırına beslenen malzemelerin özelliklerini garanti etmek için gerekli olan bir kalite güvence sistemi ilave masraf yapılmasına neden olacaktır.

Etkin bir toz giderme sayesinde aktif karbon filtreler için yapılan yüksek harcamaların önüne geçilebilir.

İsviçre'de bulunan Siggental fabrikası toplam yatırım giderlerinin yaklaşık %30'unu oluşturan yaklaşık 15 milyon € Zürih Şehri tarafından finanse edilmiştir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Örnek tesisler

Siggental, İsviçre

Kaynak literatür

[27, Karlsruhe Üniversitesi, 1996], [59, Avrupa Birliği, 2000], [86, EURITS, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008].

4.8 Değişik baca gazı azaltma önlemleri/teknikleri ile emisyonların azaltılması için kullanılabilir birincil önlemler/tekniklere ilişkin maliyet verileri örnekleri

4.8.1 Toz azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri

Toz azaltma önlemlerinin/tekniklerinin maliyet hesaplamaları ile ilgili örnekler Tablo 1.39’da gösterilmiştir. İncelenmek üzere ESP’ler ve torbalı filtreler gibi farklı toz azaltma önlemleri/teknikleridüşünülmüştür. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, toz bertarafetme masrafları sözkonusu tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Tablo 44: Toz azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet verileri örnekleri [9, CEMBUREAU, 1997 Kasım], [76, Almanya, 2006], [100, Fransa, 2006], [102, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2003], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008].

Toz azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri					
Parametre	Birim	Azaltma önlemi/teknik			
		ES		Torbalı filtre	
Referans alınan		I ⁰	II	I ⁰	II
Kapasitesi	Behr ton klinker/öün	110			
Ömrü	yıl	35			
Fabrika faktörü	Saat/yıl	768			
Yatırım Maliyeti	k EURO	150			
Yıllık olarak	k EUR				
Faiz oranı	%/100/yıl	4			
Kontrol	yıl	10			
Toplam	k EURO	184.94			
Toplam	k	5.25E-04			
Sabit İşletme	%/yıl ²⁾	4			
Toplam	k EURO	60			
Toplam	k	1.70E-04			
Değişken işletme	k EURO/t	3.15E-04			
Behr ton klinkerin maliyeti	k EURO/ton	1.01E-03			
Behr ton azaltılmış	k EURO/t PM				
Azaltılmamış	t PM/t	0.1			
Azaltılmış	t PM/t	0.000046			
Toplam	k EURO/t	0.00			
Toplam	EURO/t				
Değişken işletme giderlerinin tespiti					

Toz azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri					
Parametre	Birim	Azaltma önlemi/teknik			
		ES P		Torbali filtre	
İşçilik ihtiyacı (λ^1)	adam- yıl/t klinke r				
Ücretler (c^1)	k EURO/adam- yıl				
Toplam	k EURO/ton klinke r				
Toz bertaraf etme maliyeti⁷⁾					
Toplam	k EURO/ton klinke r				
Toplam değişken işletme giderleri	k EURO/ton				

4.8.2 NO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri

1995 yılında AB-15'in ortalamasını temsil eden kapasiteye (1100 t/gün) sahip bir referans çimentofabrikası ile değişik kapasitedeki örnek fabrikalar için NO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet hesaplamaları örnekleri Tablo 1.40'ta gösterilmiştir. İncelenen NO_x azaltma önlemleri/teknikleri SNCR, SCR ve NO_x birincil önlemleri/teknikleridir. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup, SNCR için kullanılan amonyak giderleri söz konusu tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Yatırım ve işletme maliyetleri elde edilen örneğin 200 ve 500 mg/Nm³ gibi elde edilen değişik NO_x seviyeleri için hesaplanmıştır. 200mg/Nm³'lük hedef NO_x seviyesinde SCR işletme maliyetleri açısından daha etkin olduğu görülmektedir de toplam spesifik maliyetler açısından büyüklüğü SNCR ile aynı seviyededir [76, Almanya, 2006].

Tablo 45: NO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet örnekleri[76, Almanya, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [100, Fransa, 2006], [102,Fransa/DFIU/IFAREKarlsruhe, 2003], [105, YARA, 2006], [168, TWG CLM, 2007], [182, TWG CLM, 2008]

NO _x azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri						
Parametre	Birim	Azaltma önlemi/teknik ¹⁾				
		NO _x birincil önlemleri/teknikleri ⁰⁾	Alev soğutma ⁸⁾	Kademeli ⁷⁾ yanma	SNCR ⁰⁾	SCR
Referans alınan Tesisin tanımı						
Kapasitesi	ton klinker/gün	1100	3000	3000	1100	1500 ⁷⁾
Kapasitesi	ton klinker/yıl /	352000				
Ömrü	yıl	35			35	
Fabrika faktörü	Saat/yıl	7680			7680	
Yatırım Maliyeti	Milyon EURO					
Spesifik yatırım maliyeti	EURO/t klinker					
Yıllık olarak hesaplanan yatırım maliyeti	k EURO					
Faiz oranı	%/100/yıl	4				
Kontrol ekipmanlarının ömrü	yıl	8				
Toplam	k EURO	37.13				
Toplam	k EURO/t klinker	1.05E-04	up to 2.5E-04			
Sabit İşletme Giderleri	%/yıl ²⁾	4				
Toplam	k EURO	10				
Toplam	k EURO/t klinker	2.84E-05				
Değişken işletme giderleri	k EURO/t klinker	2.64E-05				
Beher ton klinkerin maliyeti	k EURO/t klinker	1.60E-04				
Beher ton azaltılmış NO _x ³⁾ maliyeti	k EURO/t NO _x azaltılmış					
Azaltılmamış emisyon	t NO _x /t klinker	0.00322 1400 mg/Nm ³				
Azaltma etkinliği ¹⁾	%	25				
Toplam	k EURO/t NO _x azaltılmış	0.2				
Katalizör değiştirme maliyeti	EURO/t klinker					
Değişken işletme						
Elektrik maliyeti ³⁾						
İlave elektrik ihtiyacı (λ ^e) ⁴⁾	kWh/t klinker	0.44 20 kW				
Elektrik fiyatı (c ^e)	EURO/kWh	0.0569				
Toplam	k EURO/t klinker	2.48E-05				
Amonyak giderleri ⁶⁾						
NH ₃ suyu depolama	milyon EURO					
ef ⁵⁾ azaltılmamış	T kirletici/t klinker	-				

NO. azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri						
Parametre	Birim	Azaltma önlemi/teknik ¹⁾				
		NO _x birincil önlemleri/teknikleri ⁰⁾	Alev soğutma ⁸⁾	Kademeli ⁷⁾ yanma	SNCR ⁰⁾	SCR
Salınan NO _x için NH ₃ /NO _x (mol/mol) oranı		-			1.5	
Spesifik NH ₃ ihtivacı (λ ⁵⁾)	t/t giderilen kirlletici	-			0.89	
NH ₃ fiyatı (c ⁵⁾)	EURO/t	-				
Giderme etkinliği (η)	%	-				
Toplam	k EURO/t klinker	-				
İşçilik maliyeti⁵⁾						
İşçilik ihtivacı (λ ¹⁾)	adam-yıl/t klinker	7.10E-07				
Ücretler (c ¹⁾)	k EURO/adam-yıl	37.234				
Toplam	k EURO/t klinker	2.64E-05				
Toplam değişken işletme giderleri	k EURO/t	2.48E-05				
Toplam maliyet (yatırım ve işletme)	EURO/t klinker					

4.8.3 SO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin örnek maliyet verileri

1100 t/gün kapasiteli bir referans çimento fabrikası için SO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet hesaplamaları örnekleri Tablo 1.41'de gösterilmiştir. İncelenen SO_x azaltma önlemleri/teknikleri soğurucu enjeksiyonu ve/veya sulu yıkayıcılardır. Değişken işletme maliyetleri elektrik ve işçilik giderlerini içermekte olup atık bertaraf etme ve kireç giderleri sözkonusu tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Tablo 46: SO_x azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet örnekleri [100, Fransa, 2006], [102, Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe, 2003], [168, TWG CLM, 2007]

SO _x azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve maliyetleri			
	Birim	Azaltma önemi/tekniki	
		Soğurucu enjeksiyonu ⁰⁾	Sulu yıkayıcı % 75 ⁰⁾
Referans alınan Tesisin tanımı			
Kapasitesi	ton klinker/gün	1100	1100
Kapasitesi	ton klinker/yıl	352000	352000
Egzoz gazı akışı ¹⁾	Nm ³ /saat		105417
Ömrü	yıl	35	35
Fabrika faktörü	saat/yıl	7680	7680
Yatırım maliyeti	k EURO		
Yıllık olarak hesaplanan yatırım maliyeti	k EURO		
Faiz oranı	%/100/yıl		
Kontrol ekipmanlarının ömrü	yıl		
Toplam	k EURO	24.66	678.10
Toplam	k EURO/t klinker		
Sabit İşletme Giderleri	%/yıl ²⁾		
Toplam	k EURO		
Toplam	k EURO/t klinker		
Değişken işletme giderleri	k EURO/t klinker		
Beher ton klinkerin maliyeti	k EURO/t klinker		
Beher ton azaltılmış SO_x maliyeti	k EURO/t azaltılan SO _x		
Azaltılmamış emisyon faktörü	t SO _x /t klinker	0.0023 1000 mg/Nm ³	0.00368 1600 mg/Nm ³
Azaltma etkinliği	%	60	75
Toplam	k EURO/t azaltılan SO _x	0.573	1.144
Değişken işletme giderlerinin tespiti			
Elektrik maliyeti³⁾			
İlave elektrik ihtiyacı (λ^e) ⁴⁾	kWh/t of klinker	1.53 70 kW	8.18 375 kW
Elektrik fiyatı (c ^e)	EURO/kWh	0.0569	0.0569
Toplam	k EURO/t klinker	8.69E-05	4.66E-04
Atık bertaraf etme maliyeti			
Kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (ef _{azaltılmamış}) ⁶⁾	t kirletici/t klinker	0.0023	-
Atık bertaraf ihtiyacı (λ^s)	t/t giderilen kirletici	0	-
Spesifik atık bertaraf maliyeti (c ^s)	EURO/t		-
Giderme etkinliği (η)	%	60	-
Toplam	k EURO/t klinker	0	0
Kireç maliyeti/Kireçtaşı maliyeti			
Kirleticinin azaltılmamış emisyon faktörü (ef _{azaltılmamış}) ⁶⁾	T kirletici/t klinker	0.0023	0.00368
	Salınan SO _x 'in Ca/S (mol/mol) oranı	2.2	
	Giderilen SO _x 'in Ca/S (mol/mol) oranı		1.02

SO. azaltma önlemlerinin/tekniklerinin yatırımları ve malivetleri	
	Birim
Spesifik sorbent ihtiyacı (λ^s)	t kireç/t giderilen kirletici
Spesifik kireçtaşı ihtiyacı (λ^s)	t kireç/t giderilen kirletici
Sorbent fiyatı (c^s)	EURO/t
Giderme etkinliği (η)	%
Toplam	k EURO/t klinker
İşçilik maliyeti⁵⁾	
İşçilik ihtiyacı (λ^1)	adam-yıl/t klinker
Ücretler (c^1)	k EURO/ adam-yıl
Total	k EURO/t klinker
Toplam değişken işletme giderleri	k EURO/t klinker

4.9 Proses kayıpları/Atıklar

Tanım

Toplanan toz mümkün olduğu takdirde üretim prosesine geri dönüştürülebilir. Bu geri dönüştürmedoğrudan fırının veya fırın besleme malzemesinin içine (bu durumda alkali metal içeriği sınırlayıcıfaktördür) veya bitmiş çimento ürünü içine karıştırılmak suretiyle yapılabilir. Geri dönüşümümükün olmayan malzeme için alternatif kullanım alanları bulunabilir.

Sağlanan çevresel faydalar

Hammadde tasarrufu ile proses sırasında oluşan atık maddelerin azaltılması

Çapraz medya etkileri

Toplanan tozun hammadde olarak kullanması için sınırlayıcı faktör toplanan tozun metal içeriğidir vebu içerik metal emisyonları üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir.

Ayrıca, toplanan tozun hammadde olarak kullanması için diğer bir sınırlayıcı faktör de toplanan tozunklor içeriğidir ve geri dönüşümün ürünün kalite gereksinimlerine uygun olacak şekilde uyarlanmasıgerekir (fırına besleme veya nihai çimento ürünleri ile karıştırma).

Operasyonel veriler

Veri sağlanmamıştır.

Uygulanabilirlik

Proses kayıplarının/atıklarının yeniden kullanımı prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Veri sağlanmamıştır.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [75, Estonya, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, TWG CLM, 2007].

4.10 Gürültü

Tanım

Çimento üretim prosesinin çeşitli aşamalarında oluşan gürültüyü azaltma imkanları bu bölümde ele alınmıştır.

Gürültü emisyonları genellikle önlemlerin/tekniklerin doğrudan gürültünün kaynağında uygulanması suretiyle azaltılabilir. Gürültü kaynakları örneğin hammaddelerin çıkartılması ve işlenmesi ile çimento/klinker üretimi, kırma üniteleri, öğütme ve hazırlama üniteleri, çimento fırınları, örneğin çimento son işlem değirmenleri, bantlı konveyörler, filtre üniteleri ile örneğin uydu soğutucular, vb gibi fırınların soğutma sistemleridir. Gürültü emisyonları ocakta patlatmadan başlayarak nihai ürünlerin sevkiyatına kadar olan tüm proses zinciri boyunca oluşur.

Çimento fabrikalarında gürültü seviyelerini komşu çevreyi koruyacak düzeye indirmek için aşağıda belirtilen türde çeşitli gürültü azaltma önlemleri/teknikleri uygulanır:

- gürültülü birimlerin etrafının kapatılması
- birimlerin titreşimlerinin yalıtımı
- dayanıklı malzemede kullanılarak şutların içten ve dıştan kaplanması
- malzeme dönüşüm ekipmanlarını içeren işlemlerin yapılacağı ses geçirmez binalar
- gürültüden korunma duvarlarının yapımı
- egzoz bacaları için çıkış susturucuları
- ses yalıtımlı binalarda bulunan kanalların ve nihayetinde blowerların tecrit edilmesi.

Yukarıda belirtilen gürültüden korunma önlemlerinin /tekniklerinin uygulanması mümkün olmadıgı takdirde ve binanın içinde bulunan gürültülü birimlerin, fırınların ebatları ve tesisatları gibi nedenlerle taşınmasının mümkün olmaması halinde, korunan alan ile örneğin fırın veya depolama alanı gibi gürültülü faaliyet alanı arasına binaların yapılması veya büyüyeabilen ağaçlar ve çalılar gibi doğal engellerin yapılması şeklindeki ikincil gürültüden korunma önlemlerinin/tekniklerinin uygulanması gerekecektir. Kapatılan alanların kapıları ve pencereleri gürültülü faaliyetler esnasında kapalı tutulmalıdır.

Sağlanan çevresel faydalar

Gürültü emisyonlarının azaltılması.

Çapraz medya etkileri

Belirtilmemiştir.

Operasyonel veriler

Veri mevcut değildir.

Uygulanabilirlik

Gürültünün azaltılmasına ilişkin önlemler/teknikler prensip olarak çimento sanayinde uygulanabilir.

Ekonomi

Gürültüden korunma önlemleri /teknikleri nedeniyle ilave yatırım ve bakım masrafları oluşabilir.

Uygulamaya yönelik itici güç

Yasal gereksinimler.

Örnek tesisler ve kaynak literatür

AB-27’de bulunan çimento tesisleri.

[45, Schorcht, 2006] [81, Castle Cement İNGİLTERE, 2006] [168, TWG CLM, 2007]

4.11 Kokularla ilgili genel hususlar

Hidrokarbon emisyonları nedeniyle oluşan kokular, termal art yakma ile, aktif karbon filtresi kullanarak veya kokudan sorumlu hammaddeyi fırının sıcak bölgesine besleyerek önlenabilir.

Kokuların kükürt bileşenleri nedeniyle oluşması halinde, yakıtın ve/veya hammaddenin değiştirilmesibir çözüm olabilir.

Ayrıca kokular hammadde veya yakıt olarak kullanılan atıkların depolanmaları nedeniyle de oluşabilir. Atık malzemelerin depolama yerleri kapalı hale getirilebilir veya atık depolama sistemleri kullanılabilir.

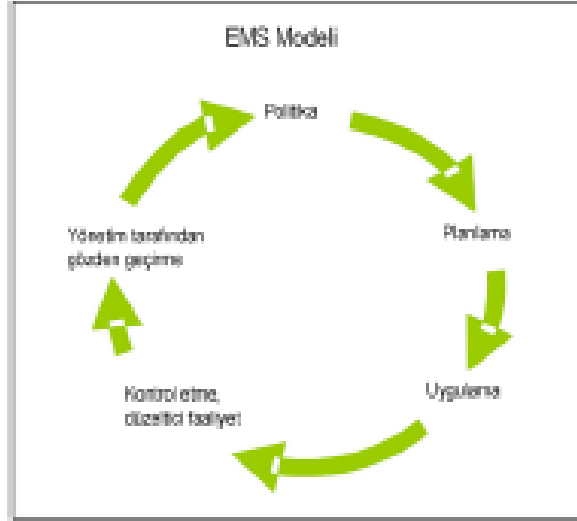
4.12 Çevre yönetim araçları

Tanım

En iyi çevre performansı genellikle en iyi tekniğin uygulanması ve en etkin ve verimli biçimde kullanılması sonucunda elde edilir. Bu husus IPPC Direktifinde “teknikler” teriminin tanımında “*hemkullanılan teknoloji, hem de tesisin tasarlanması, inşa edilmesi, bakımının yapılması, işletilmesi vedevre dışı bırakılması yöntemi*” olarak belirtilmiştir.

IPPC tesisleri için bir Çevre Yönetim Sistemi (EMS) operatörlerin tasarım inşa etme, bakım, işletmeve devre dışı bırakma konularını sistematik ve kanıtlanabilir bir şekilde ele almak için kullanabilecekleri bir araçtır. EMS, çevre politikasının geliştirilmesi, uygulanması, sürdürülmesi,gözden geçirilmesi ve izlenmesine yönelik organizasyon yapısını, sorumlulukları, uygulamaları,prosedürleri, prosesleri ve kaynakları içerir. En etkin ve verimli Çevre Yönetim Sistemleri, bir tesisingenel yönetim ve işletmesinin ayrılmaz bir parçasını oluşturan sistemlerdir.

Tüm etkin çevre yönetim sistemleri, sürekli gelişim nosyonu içermektedir. Bu da, çevre yönetimsisteminin sonuçlanan bir projeden ziyade, bir proses olması demektir. Çeşitli süreç tasarımları vardır,ancak çevre yönetim sistemlerinin çoğu planla-yap-kontrol et-uygula döngüsüne (diğer şirket yönetimbağlamalarında yaygın olarak kullanılan) dayanmaktadır. Bu döngü tekrar eden dinamik bir model olup, bir döngünün bitişi bir sonraki döngünün başlangıcını oluşturur.



Şekil 42: Bir EMS modelinde devamlı gelişme

Avrupa Birliği içinde, pek çok kuruluş gönüllü olarak EN ISO 14001:2004 veya AB Eko-Yönetim ve Tetkik Programı EMAS’a dayalı çevre yönetim sistemlerini uygulamaya karar vermişlerdir. EMAS, EN ISO 14001’in yönetim sistem gereksinimlerini kapsamakta, ancak yasal uygunluk, çevreperformansı ve çalışanların katılımı hususlarına daha fazla önem vermektedir. Ayrıca, yönetim sisteminin dışarıdan onaylanmasını ve bir kamu çevre beyanının doğrulanmasını gerektirir (EN ISO14001’de dış doğrulamanın alternatifi kendisi tarafından yapılan beyandır). Ayrıca standartlaştırılmamış EMS’leri uygulamaya karar veren birçok kuruluş vardır.

Hem standartlaştırılmamış sistemler (EN ISO 14001:2004 ve EMAS) hem de standartlaştırılmış (“isteğe uyarlanmış”) sistemler prensip olarak **organizasyonu** kuruluş olarak alırlar, ancak IPPC Direktifi kapsamında düzenlenen kuruluş **tesis** olduğu için (Direktif Madde 2’de açıklandığı gibi) bubelgede, organizasyonun örneğin ürünler ve hizmetlerle ilgili tüm aktivitelerini içermeyen daha dar biryaklaşım izlenmiştir.

Bir IPPC tesisi için Çevre Yönetim Sistemi (EMS) aşağıda belirtilen bileşenleri içerebilir:

- üst yönetimin bağlılık taahhüdü
- bir çevre politikasının tanımlanması
- amaç ve hedeflerin planlanması ve belirlenmesi
- işlemlerin uygulanması ve yapılması
- kontrol ve düzeltici faaliyet
- yönetim tarafından gözden geçirme
- düzenli bir çevre bildirisinin hazırlanması
- bir belgelendirme kuruluşu veya dış EMS doğrulayıcısı tarafından onaylanma
- tesisin ömrü sonunda devreden çıkartılması ile ilgili tasarım düşünceleri
- daha temiz teknolojilerin geliştirilmesi
- kıyaslama.

Bu özellikler aşağıda daha detaylı olarak açıklanmıştır. Tümü EMAS’ın içinde yer alan (b) ile (h)arasındaki bileşenler ile ilgili detaylı bilgi için okuyucu aşağıda belirtilen kaynak literatüre başvurabilir.

a. Üst yönetimin bağlılık taahhüdü:

Başarılı bir **EMS**'nin (*Çevre Yönetim Sistemi*) ön şartı üst yönetimin bağlılık taahhüdüdür. Üst yönetimin aşağıda belirtilenleri yapması önemlidir:

- çevre yönetimini şirket gündeminde üst sıraya yerleştirmek, görünür kılmak ve güvenilirliğini sağlamak
- çevre yönetiminden sorumlu bir üst düzey yönetici belirlemek
- bir çevre yönetim kültürünün oluşmasına yardımcı olmak ve gerekli olan uygulamaya yönelik güçleri oluşturmak
- çevreye yönelik amaçlara ulaşmak için bir strateji (uzun vadeli vizyon) tanımlamak
- çevreye yönelik olan bu amaçlara ulaşmak için şirket hedeflerini belirlemek
- uzun vadeli vizyona ulaşmak için kısa ve orta vadeli somut eylemleri tanımlamak
- özellikle yeni tesislerin veya önemli tesis yenileme planlamalarının yapımı esnasında entegrekirlilik önleme ve kontrolünün sağlanması amacıyla karar verme sürecini entegre edecek ortamı sağlamak
- entegre kirlilik önleme ve kontrolünün sürekli olarak sağlanabilmesi için şirketi yatırımyapmaya ve satın alma kararları vermeye yönlendirmek. Entegre kirlilik önleme ve kontrolü, yardımcı tesisler ve yatırım ekipmanlarının satın alınması, planlama, üretim ve bakım ile çevreyönetiminin dahil olduğu entegre karar verme ve faaliyetler yoluyla elde edilir.
- bir çevre politikası tanımlamak, aşağıda (b)'ye bakınız.

b. Bir çevre politikasının tanımlanması

- Üst yönetim tesis için bir çevre politikası tanımlamaktan ve bu politikanın aşağıda belirtildiği şekilde olmasından sorumludur:
- faaliyetlerin doğasına, ölçeğine ve çevresel etkilerine uygundur
- ham maddenin, enerjinin ve suyun verimli kullanımı da dahil olmak üzere kirlilik önleme ve
- kontrolüne ilişkin bir taahhüt içerir
- geçerli olan tüm ilgili çevre mevzuatı ve yönetmeliklerine ve organizasyonun bağlı olduğu diğer gereksinimlere uymak için bir taahhüt içerir
- çevre ile ilgili amaç ve hedefleri belirlemek ve gözden geçirmek için bir çerçeve sağlar
- belgelenmiş ve tüm çalışanlara tebliğ edilmiştir
- kamunun ve tüm ilgili kişilerin erişimine açıktır.

c. Planlama ve amaç ve hedeflerin belirlenmesi:

Aşağıda belirtilenlerin mevcut olması önemlidir:

- çevre üzerinde önemli etkileri olabilecek faaliyetleri tespit etmek ve bu bilgileri güncel tutmak için tesisin çevresel yönlerini belirleyecek prosedürler
- çevresel yönleri belirlemek ve tesisin IPPC Direktifi amaçları ile ilgili çevresel performansını optimize edecek planlama ve satın almayı etkilemek için yeni prosesler, birimler ve ekipmanlar, hammadde ve yardımcı maddelerde veya yakıtlarda değişiklikler, iyileştirmeler, onarmalar ve değiştirmeler için yapılacak önerileri değerlendirmek için prosedürler
- yukarıda belirtilen değişikliklerin yapılmasını ve değişiklikler uygulandıktan sonra ve proses başlatılmadan önce kontrol yapılmasını mümkün kılan prosedürler
- Kuruluşun tabi olduğu ve faaliyetlerinin çevresel yönlerine uygulanan yasal ve diğer şartların tanımlanması ve bunlara erişim için prosedürler

- Kuruluşun tabi olduğu yasal ve diğer şartları ve ilgili tarafların görüşlerini dikkate almak
- suretiyle belgelenmiş çevresel amaç ve hedefleri oluşturmak ve gözden geçirmek
- Tüm ilgili görev ve seviyelerde amaç ve hedeflere ulaşmak için sorumluluklar ile bunlara
- ulaşmak için kullanılacak araçların ve zaman dilimlerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere birçevre yönetim programı oluşturmak ve düzenli olarak güncelleştirmek
- enerji, su, hammadde ve yardımcı maddelerin verimli olarak kullanıldıklarını incelemek
- amacıyla denetimler yapmak.

d. Uygulama ve işlemlerin yapılması

Prosedürlerin bilinmesini, anlaşılmasını ve bunlara uyulmasını sağlayacak sistemlerin olması önemlidir, bu nedenle etkili bir çevre yönetimi aşağıda belirtilenleri içerir:

(i) Yapı ve sorumluluk

- belirli bir yönetim temsilcisinin atanması (üst yöneticiye ilave olarak (yukarıdaki (a)maddesine bakınız)) dahil olmak üzere görevlerin, sorumlulukların ve yetkilerin tanımlanması, belgelendirilmesi, rapor edilmesi ve duyurulması
- insan kaynakları ile özel beceriler, teknikler ve mali kaynaklar da dahil olmak üzere çevreyönetim sisteminin uygulanması ve kontrolü için gerekli olan kaynakları sağlamak.

(ii) Eğitim, farkında olma ve yetkinlik

- her görev için gerekli olan beceri ve yetkinliklerin tanımlanması, belgelendirilmesi ve duyurulması
- çalışmalarını faaliyetin çevresel etkilerini önemli derecede etkileyebilecek olan tüm personelin karşılaşabilecekleri hazırlık, devreye alma, rutin çalışma ve olağandışı durumlar gibi tüm çalışma şekilleri için uygun eğitim almalarını sağlamak amacıyla eğitim ihtiyaçlarını belirlemek.

(iii) İletişim

- tesisin çeşitli seviyeleri ve görevleri arasındaki iç iletişime ilişkin prosedürler ile tesis dışında bulunan ilgili taraflar ile diyalog kurulmasını sağlayacak prosedürlerin ve tesis dışında bulunan ilgili taraflardan gelen iletişimin alınması, belgelendirilmesi ve uygun olduğunda cevaplandırılmasına ilişkin prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi.

(iv) Çalışanların katılımı

- öneri-defteri sistemi veya proje bazında grup çalışmaları veya çevresel komiteler gibi uygun katılım şekilleri uygulamak suretiyle çalışanların yüksek düzeyde çevre performansı elde etmeyi amaçlayan prosese katılmalarını sağlamak.

(v) Dokümantasyon

- yönetim sisteminin ana unsurlarını ve bunlar arasındaki ilişkileri tanımlamak ve ilgili dokümanlara yönlendirmeyi sağlamak amacıyla basılı veya elektronik ortamda güncel bilgileri oluşturmak ve sürdürmek.

(vi) Etkili proses kontrolü

- proseslerin ve ekipmanların (kirlilik önleme ve kontrol ekipmanları dahil) hazırlık,devreye alma, rutin çalışma, durdurma ve olağandışı durumlar gibi tüm çalışmaşekillerinde yeterli derecede kontrolü
- temel performans göstergelerinin (örneğin akış, basınç, sıcaklık, bileşim, miktar) ve buparametreleri ölçmeye ve kontrol etmeye ilişkin yöntemlerin (örneğin tartı sistemleri,ölçüsistemleri, hesaplamalar, numune alma ve analiz) belirlenmesi
- olağandışı işletme koşullarını belgelendirmek ve analiz etmek suretiyle temel nedenlerinibelirlemek ve bu tür olağandışı olayların tekrarlanmamasını sağlamak için bu nedenlerlealelmak (bu durum nedenlerin belirlenmesinin suçun bireylere atılmasından dahaönemli olduğubir “suçlamama” kültürü ile kolaylaştırılabilir).

(vii) Bakım programı

- Bakım için ekipmanların teknik tanımına, normlara, vb. ve ayrıca ekipman arızalarına vebu arızaların sonuçlarına dayalı bir yapısal program oluşturmak (önleyici ve düzelticibakım dahil)
- Rutin bakımlara, arızalara ve/veya olağan dışı durumlara bakarak çevre performansındakimuhtemel azalmaları veya çevre performansının geliştirilebileceği yerleri belirlemek
- Uygun kayıt tutma sistemleri ve tanı testleri ile bakım programını desteklemek
- Bakımın planlanması ve yürütülmesi için açıkça sorumluluk vermek

(viii) Acil duruma hazır olma ve müdahale

- Kazaların ve acil durumların olma ihtimallerini belirlemek ve bunlara müdahale etmek vebunlarla ilgili çevresel etkilerin önlenmesi ve azaltılması için prosedürler oluşturmak vesürdürmek.

e. Kontrol ve düzeltici faaliyet (ayrıca kıyaslamaya (k) bakınız):

(i) İzleme ve ölçme

- çevre üzerinde önemli etkisi olabilecek operasyon ve faaliyetlerin temel özelliklerini düzenli olarak izlemek ve ölçmek için belgelendirilmiş prosedürler oluşturmak vesürdürmek. Bunun içinde performansın izlenmesi, ilgili operasyonel kontroller ve tesisinçevresel amaç ve hedeflerine uygunluk ile ilgili bilgilerin kaydedilmesi de yer almaktadır [151, Avrupa Komisyonu,2003]).
- ilgili çevre mevzuatına ve düzenlemelerine uyulmasını periyodik olarak değerlendirmek için belgelendirilmiş bir prosedür oluşturmak ve sürdürmek.

(ii) Düzeltici ve önleyici faaliyet

- İzin koşullarına, diğer yasal gereksinimlere ve taahhütlere uyumsuzluğu ele almak vearaştırmak amacıyla sorumluluk ve yetkileri tanımlamak için prosedürler oluşturmakvesürdürmek
- olağandışı olayların neden olduğu herhangi bir etkiyi azaltmak ve sorunun boyutunauygun ve karşılaşılan çevresel etki ile orantılı olan düzeltici ve önleyici faaliyetibaşlatmak ve tamamlamak için harekete geçmek.

(iii) Kayıtlar

- eğitim kayıtları ile denetim ve incelemelerin sonuçları da dahil olmak üzere okunaklı, tanımlanabilir ve izlenebilir çevre kayıtlarına ilişkin prosedürlerin oluşturulması ve sürdürülmesi.

(iv) Denetim

- periyodik çevre yönetim sistemi denetimleri için program (veya programlar) ve prosedürler oluşturmak ve sürdürmek. Bu gibi bir program (veya programlar) personel ile yapılan görüşmeleri, çalışma koşullarının ve ekipmanların incelenmesini ve kayıt ve belgelerin gözden geçirilmesini içerir. Çalışanlar tarafından (iç denetim) veya şirketi dışındaki kişiler tarafından (dış denetim) tarafsız ve objektif bir şekilde yapılan her denetimin sonunda, denetimin kapsamı, sıklığı ve yöntemleri ile çevre yönetim sisteminin planlanan düzenlemelere uygun olup olmadığını ve doğru olarak uygulanıp uygulanmadığını ve sürdürülüp sürdürülmediğini tespit etmek üzere denetimlerin yapılması ve sonuçlarının rapor edilmesi ile ilgili sorumlulukları ve gereksinimleri içeren yazılı bir rapor düzenlenir
- duruma göre denetim veya denetim döngüsünü faaliyetlerin türüne, boyutuna ve zorluğuna, ilgili çevresel etkilerin önemine, daha önceki denetimler sırasında tespit edilmiş olan sorunların önemine ve aciliyetine ve çevresel sorunların geçmişine bağlı olarak üç yılı aşmayan aralıklarla tamamlamak- daha önemli çevresel etkileri olan daha karmaşık faaliyetler daha sık denetlenir.
- Denetim sonuçlarının takip edilmesini sağlamak için uygun mekanizmaların var olması.

(v) Yasal uyumun periyodik olarak değerlendirilmesi

- Geçerli çevre mevzuatı ile tesisin elinde bulunan çevre ruhsatının (ruhsatlarının) şartlarına uyumun gözden geçirilmesi
- Değerlendirmenin belgelendirilmesi.

f. Yönetim tarafından gözden geçirme:

- Çevre yönetim sisteminin uygunluğunun, yeterliğinin ve etkinliğinin devamını sağlamak için üst yönetim tarafından ve kendisi tarafından belirlenecek aralıklarla gözden geçirilmesi
- Yönetimin bu değerlendirmeyi yapabilmesi için gerekli bilgilerin toplanmasını sağlamak □ gözden geçirmenin belgelendirilmesi.

g. Düzenli bir çevre bildirisinin hazırlanması:

- tesisin çevresel amaçları ve hedefleri karşısında elde ettiği sonuçlara özel önem veren bir çevre bildirisi hazırlamak. Bu bildiri düzenli olarak ve emisyonların önemine, atık üretimine, vb. bağlı olarak yılda bir defa veya daha az sıklıkla hazırlanır. Bu bildiri ilgili tarafların bilgi ihtiyaçları göz önüne alınır ve bildiri halka açıktır (örneğin elektronik yayınlarda, kütüphanelerde, vb.). Bir bildiri oluştururken, operatör mevcut olan ilgili çevre performans göstergelerini bu göstergelerine aşağıda belirtilen özelliklere sahip olduklarından emin olduktan sonra kullanabilir:

i. tesisin çevresel performansına ilişkin doğru değerlendirmenin yapılması

ii. anlaşılabilir ve açık olması

iii. tesisin çevre performansının gelişmesinin değerlendirilmesi için yıl bazında karşılaştırma yapmaya imkan vermesi

iv. uygun görüldüğü şekilde sektörel, ulusal veya bölgesel ölçütler bazında karşılaştırma yapmaya imkan vermesi

v. uygun olan düzenleyici gereksinimler ile karşılaştırma yapmaya imkan vermesi.

h. Bir belgelendirme kuruluşu veya dış EMS doğrulayıcısı tarafından onaylanma:

□ doğru olarak yapıldığı takdirde sistemin itibarını arttıracak şekilde yönetim sisteminin, denetim prosedürünün ve çevre beyanının akredite edilmiş bir belgelendirme kuruluşu veya dış EMS doğrulayıcısı tarafından incelenerek doğrulanmasının sağlanması.

i. Tesisin ömrü sonunda devreden çıkartılması ile ilgili tasarım düşünceleri

- öngörülmesi olmanın tesisin faaliyetin sonunda devreden çıkarılmasını daha kolay, daha temiz ve daha ucuz hale getireceği için yeni tesisin tasarlanması sırasında tesisin faaliyetin sonundadevreden çıkartılmasının yaratacağı çevresel etkinin gözönüne alınması,
- devreden çıkartma, arazinin (ve yeraltı suyunun) kirlenmesi şeklinde çevresel riskler ile büyük miktarda katı atık oluşturur. Önleyici teknikler prosese özeldir, ancak genel hususlar aşağıdabelirtilenleri içerebilir:
 - i. yeraltı yapılarından kaçınmak
 - ii. sökmeyi kolaylaştıran özellikler içermek
 - iii. zararlı maddelerden kolaylıkla arındırılabilir bitmiş yüzeyler seçmek
 - iv. hapsedilmiş kimyasal maddeleri en aza indiren ve boşaltmayı ve temizlemeyikolaylaştıran ekipman konfigürasyonu kullanmak
 - v. aşamalı kapatmayı mümkün kılacak esnek, kendi kendine yeten üniteler tasarlamak
 - vi. mümkün olan yerlerde biyolojik olarak çözünebilen ve geri dönüştürülebilen malzemelerkullanmak.

j. Daha temiz teknolojilerin geliştirilmesi:

□ mümkün olan en erken tasarım aşamasında içeriğe dahil edilen tekniklerin daha etkili ve dahaucuz olmaları nedeniyle çevre koruma, operatör veya yüklenicileri tarafından yürütülen prosetasarım faaliyetlerinin ayrılmaz bir özelliği olmalıdır. Temiz teknolojilerin geliştirilmesininindikkate alınması örneğin Ar-Ge faaliyetleri veya çalışmaları yoluyla oluşabilir. İç faaliyetlerealternatif olarak- uygun olduğunda- taahhüt edilen işteki son gelişmelerden diğer operatörlerveya ilgili alanda faaliyet gösteren araştırma enstitüleri tarafından haberdar edilmek şeklinededüzenlemeler yapılabilir.

k. Kıyaslama:

- enerji verimliliği ve enerji tasarrufu faaliyetleri, girdi malzemelerinin seçimi, havaya yapılan emisyonlar, suya yapılan deşarjlar (örneğin EPER, Avrupa Kirlenici Emisyon Kaydı'nı kullanmak suretiyle), su tüketimi ve atık üretimi için yapılanlar da dahil olmak üzere sektörel, ulusal veya bölgesel ölçütlerle sistematik ve düzenli karşılaştırmalar yapmak.

Standartlaştırılmış ve standartlaştırılmamış EMS'ler (Çevre Yönetim Sistemleri):

Bunlar standartlaştırılmış veya standartlaştırılmamış ("isteğe uyarlanmış") sistem şeklinde olabilir. EN ISO 14001:2004 gibi uluslararası kabul gören bir standartlaştırılmış sistemi uygulamak ve busisteme bağlı olmak özellikle düzgün bir şekilde yapılan bir dış doğrulamaya tabitutulduğundaEMS'nin daha güvenilir olmasını sağlayabilir. EMAS geçerli çevre mevzuatına uyumu sağlayan çevrebeyanı ve mekanizması vasıtasıyla kamuoyu ile kurduğu etkileşim nedeniyle ilave güvenilirlik sağlar. Ancak, standartlaştırılmamış olan sistemler de düzgün bir şekilde tasarlanmaları ve uygulanmalarıkaydıyla prensip olarak aynı derecede etkili olabilir.

Sağlanan çevresel faydalar

EMS'yi uygulamak ve ona bağlı kalmak operatörün dikkatinin tesisin çevre performansına odaklanmasını sağlar. Özellikle, normal ve olağandışı durumlarda açık bir şekilde belirlenmiş işletme prosedürlerinin bulundurulması ve bunlara uyulması ve bunlara ilişkin olarak belirlenen sorumluluk çizgileri tesisin ruhsat koşullarının ve diğer çevresel amaç ve hedeflerinin her zaman karşılanmasına sağlayacaktır.

Çevre yönetim sistemleri tipik olarak tesisin çevre performansının devamlı olarak iyileşmesini sağlar. Başlangıç noktası ne kadar zayıfsa, kısa vadede daha önemli iyileşmelerin olması beklenebilir. Tesisin mevcut genel çevre performansı iyi olduğu takdirde EMS operatörün yüksek performans seviyesini korumasına yardımcı olur.

Çapraz medya etkileri

Çevre yönetim teknikleri tesisin genel çevresel etkisine yönelik olarak tasarlanmış olup IPPC Direktifinin entegre yaklaşımı ile uyumludur.

Operasyonel veriler

Tüm önemli tüketim (enerji dahil) ve emisyonlar, finansal planlama ve yatırım döngüleriyle birlikte kısa, orta ve uzun vadede operatör tarafından koordineli biçimde yönetilir. Bu durum, emisyonların kısa vadeli boru-sonu çözümlerin uygulanmasının operatörü uzun vadede daha yüksek enerji tüketmeye bağlı kılacağı ve genelde çevre açısından daha yararlı çözüm potansiyeli olan yatırımları yapmasını erteleteceği anlamına gelmektedir. Bu durum çapraz medya konularını dikkate almayı gerektirmekte olup, bu konular ve ayrıca maliyet ve maliyet-fayda ile ilgili yol gösterici bilgiler Ekonomi ve Çapraz Medya Etkileri Referans Dokümanında [179, Avrupa Komisyonu, 2006] ve Enerji Verimliliği ile ilgili Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında [181, Avrupa Komisyonu, 2008] verilmiştir.

Uygulanabilirlik

Yukarıda tanımlanan bileşenler genelde tüm IPPC tesislerine uygulanabilir. EMS'nin kapsamı

(örneğin detay seviyesi) ve türü (standartlaştırılmış veya standartlaştırılmamış) tesisin türü, boyutu ve karmaşıklığı ile maruz kalabileceği çevresel etkilerin aralığı ile ilgilidir.

Ekonomi

İyi bir EMS'yi oluşturmanın ve sürdürmenin maliyetini ve ekonomik yararlarını doğru olarak tespit etmek zordur. Yapılmış olan çeşitli çalışmalar çimento (kireç, magnezyum oksit) sektörünün boyutunu veya karmaşıklığını yansıtmamaktadır. Ayrıca EMS kullanmanın sağladığı ekonomik yararlar vardır ve bunlar sektörden sektöre büyük değişiklikler gösterir. Bazı Üye Ülkelerde tesisin sertifikaya sahip olması halinde düşük denetim ücretleri tahsis edilmektedir. Sistemin doğrulanmasına ilişkin dış giderlerin tahmini tutarı Uluslararası Akreditasyon Forumu (<http://www.iaf.nu>) tarafından yayınlanan rehber vasıtasıyla belirlenebilir.

Uygulamaya yönelik itici güçler

Çevre yönetim sistemleri aşağıda belirtilen örnekler gibi çeşitli avantajlar sağlayabilir:

- şirketin çevre koşullarının içyüzünü daha gelişmiş şekilde anlama
- gelişmiş karar verme tabanı
- artan personel motivasyonu
- işletme maliyetinin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması için ek fırsatlar
- geliştirilmiş çevre performansı
- geliştirilmiş şirket imajı
- azaltılmış yükümlülük, sigorta ve riayet etmeme giderleri
- çalışanlar, müşteriler ve yatırımcılar için artan cazibe
- düzenleyicilerin artan güveni ve bunun sonucunda düzenleyici denetiminin azalması olasılığı
- çevre grupları ile artan ilişkiler.

Devam etmekte olan araştırma süreci takip edilmeli ve iyileştirme ve daha fazla geliştirme için incelemeler yapılmalıdır. Sonuçlar bu BLM BREF dokümanının bir sonraki gözden geçirilmesi sırasında dikkate alınmalı ve cıva emisyonlarının devamlı ölçümü ile ilgili genel kantitatif beyanlarda bulunabilmek amacıyla bu konu ile ilgili bilgi ve veriler toplanmalıdır.

Son TWG toplantısında karşılıklı mutabakat seviyesi

İşin Çimento ile ilgili kısmına ilişkin sonuçlar Eylül 2008’de yapılan son TWG toplantısında kararlaştırılmıştır. Bu son TWG toplantısında tartışılan ana konular BAT ile ilgili sonuçlar olmuştur. Çimento sanayi için BAT önerileri her olay bazında ele alınmıştır.

Bu son TWG toplantısında çimento endüstrisi ile ilgili BAT (Mevcut En İyi Teknikler) konusunda yüksek seviyede karşılıklı mutabakat sağlanmış ve hiçbir görüş ayrılığı kaydedilmemiştir. Bu nedenle

– tüm bilgi değişim dönemi boyunca geriye dönük olarak da görüldüğü gibi- bilgi değişim sürecinin başarılı olduğu düşünülebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarla ilgili tavsiyeler

Bilgi değişimi ve bunun çimento sanayi için sağladığı sonuç, örneğin bu dokümanın çimento ile ilgili kısmı, çimento üretimi esnasında kirliliğin entegre bir şekilde önlenmesi ve kontrol edilmesinin başarılması konusunda ileriye yönelik olarak atılmış önemli bir adımı temsil etmektedir. Aşağıda belirtilen konularda bundan böyle yapılacak olan çalışmalar bu sürecin devam etmesini sağlayacaktır:

- x Nisan 2008 tarihinde yayınlanmış olan IEF rehber dokümanında yer alan rehber bilgileri dikkate almak suretiyle bazı önlemlerin/tekniklerin performansının ve özellikle potansiyel BAT’ın tesis seviyesinde değerlendirilmesini mümkün kılacak verilerin toplanması
- x prosesin türü, kullanılan atıklar (türleri, miktarları) ve emisyonlar arasındaki ilişki ile ilgili bilgilerin toplanması
- x BAT’ın tespitinde dikkate alınacak tüm önlemlere/tekniklere ilişkin maliyet verilerinin (örneğin yatırım, işletme giderleri) toplanması
- x Azaltma önlemleri/tekniklerine ilişkin maliyet verileri ile azaltma etkinliklerine ilişkin verilerin toplanması
- x enerji tüketiminin minimize edilmesi veya enerji verimliliğinin artırılmasına ilişkin seçenekler ile ilgili bilgi ve verilerin toplanması
- x enerji tüketimi ile ilgili verilerin ve kullanılan fırın türlerine göre en iyi performans verilerinin toplanması

- x NO_x emisyonlarının azaltılması ve özellikle SCR ve SNCR tekniği ile ilgili bilgi ve verilerin toplanması
- x NH₃ emisyonları ile ilgili bilgilerin toplanması
- x Örneğin SO_x emisyonları azaltımı gibi çoklu kirlilik azaltıcı önlem/teknik olarak kabul edilen aktif karbon ile ilgili daha fazla bilgi toplanması
- x Yetkili makamların izin yükümlülüklerini/şartlarını kontrol edebilmelerini teminen emisyon izleme ve izleme sıklıkları, örneğin periyodik ölçümler ile ilgili bilgi toplanması
- x İzleme Genel İlkeleri için Referans Dokümanın revizyonunun incelenmesi
- x TOC emisyonları ile ilgili bilgi ve verilerin toplanması
- x Metallerin (cıva) azaltılması için kullanılabilecek önlemler/teknikler ile ilgili verilerin toplanması ve araştırma yapılması
- x Tüm proses girdileri ve özellikle cıva ile ilgili bilgi ve verilerin toplanması
- x Atıklara yönelik girdi kriterleri ile ilgili bilgi ve verilerin toplanması
- x Çimento sanayinde kullanılan devamlı cıva emisyonları izleme önlemleri/teknikleri ile ilgili bilgilerin toplanması
- x akışkan yataklı çimento imalat tekniği ile ilgili bilgilerin toplanması

İleride yapılacak ARGE çalışmaları için önerilen konular

Çimento sanayinde NO_x azaltımı için SCR kullanımı ile ilgili olarak uygun katalizörün geliştirilmesi ve prosesin daha fazla geliştirilmesi konularında yapılması gereken bazı çalışmalar vardır.

Bunun yanı sıra AT, temiz teknolojiler, gelişmekte olan sıvı atık arıtma ve geri dönüştürme teknolojileri ve yönetim stratejileri ile ilgili bir dizi projeyi RTD programları vasıtasıyla başlatmakta ve desteklemektedir. Potansiyel olarak bu projeler ileride yapılacak BREF gözden geçirmeleri için yararlı katkılar sağlayabilirler. Bu nedenle okuyucular bu belgenin kapsamı ile ilgili olan her türlü araştırma sonucunu EIPPCB'ye bildirmeye davet edilmektedirler.

REFERANSLAR

- 3 Avusturya, U. (1997). "Basic criteria for BAT cement/Information for cement and lime BREF 2001", UBA-IB-560 Eylül 1997.
- 4 Avusturya, 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 Kasım). "BAT for the cement industry, Kasım 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 Hollanda (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 Ocak,). "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 Ekim). "International Cement Review/Information for cement and lime BREF 2001".
- 22 Japonya, 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 Karlsruhe Üniversitesi, G. (1996). "Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany - Volume II, Heavy Metal Emission Control (Ağustos 1996), (UBA Research report 104 02 360 (Ocak 1997))", UBA Research report 104 02 360 (Ocak 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 İngiltere (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 İngiltere (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/Brentrup (1992). "SNCR technology for NOx reduction in the cement industry, World Cement, p. 4-8, Mart 1992 / Information for cement and lime BREF 2001".
- 42 Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller (1996 Ekim). "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 Almanya (2006). "German contribution part I: Lime manufacturing industries",
Compilation by German National Working group and German lime industry.
- 47 Avrupa Komisyonu (2004). "Reference Document on Best Available Technique for
Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities".
- 48 Avrupa Komisyonu (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for
Management of the Waste Treatments Industries".
- 49 Avrupa Komisyonu (2000). "European waste catalogue", 2000/532/EC2,
(2001/573/EC).
- 50 Almanya (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 Norveç (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 İspanya (2006). "Energy consumption by various types of lime kilns".
- 56 EuLA (2006). "Metals database EuLA"
- 57 Avrupa Komisyonu (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for
Waste Incineration Industries".
- 58 Avrupa Komisyonu (2003). "Reference Document on Best Available Technique for
Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the
Chemical Sector".
- 59 Avrupa Birliği (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 Almanya (2003). "Emissionsminderung Zementwerke/Emission control
cement industry, VDI 2094, Mart 2003".
- 61 Fransa (2006). "Cost calculation regarding abatement techniques in lime industry (ESP,
fabric filter, deduster)", contribution for review.
- 62 Fransa/DFIU/IFARE Karlsruhe (2004). "EGTEI - Draft background document on lime
sector".
- 63 Finlandiya (2006). "Contributions: Information and emissions from Finnish cement and
lime plants".
- 64 Çek Cumhuriyeti (2006). "The lime industry in the Czech Republic".
- 65 Finlandiya (2006). "Template Emission components - Saxo Mineral Finland - lime".
- 66 Avusturya (2006). "The Austrian lime industry".
- 67 Avusturya (2006). "Plant visit report Austria Mayıs 2006".
- 68 EuLA (2006). "Database emissions lime manufacturing".
- 70 Macaristan (2006). "Raw material characteristics from Labatlan lime plant in Hungary".
- 71 Macaristan (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 Estonya (2006). "Review to BREF for Kunda, cement manufacturing and annexes".
- 76 Almanya, 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 Almanya (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 İngiltere (2006). "Presentations and contributions from British cement plants during site visits".
- 82 CEMEX Rugby İngiltere (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 Avrupa Komisyonu (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 Macaristan (2006). "Hungarian cement industry".
- 91 CEMBUREAU (2006). "Air emissions and alternative fuels in the European cement industry".
- 92 Avusturya (2006). "Austrian cement industry", Contribution with Annexes 1,2 and 3.
- 93 EuLA (2006). "NOx abatement in the lime industry".
- 94 Avrupa Birliği (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 İsveç (2006). "SNCR principle of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides (NO, NOx)".
- 96 Avrupa Komisyonu (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 Avrupa Komisyonu (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 Avrupa Birliği (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 Fransa (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 Fransa/ADEME/MEDD (2002). "The French Cement Industry Guide to NOx Emission reduction Measures", contribution for review.
- 102 Fransa/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, NOx abatement".
- 107 Belçika (2006). "Presentations and contributions from Belgium cement plant in Lixhe during site visit".

- 108 Avrupa Komisyonu (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 İspanyol MgO üreticileri (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 Avrupa Birliği (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 Çek Cumhuriyeti (2006). "The cement industry in the Czech Republic".
- 113 İrlanda (2007). "Report of PM 10's and PM 2.5's from air emission point".
- 114 İsveç (2006). "SNCR technique and NOx emissions in Swedish cement plants".
- 116 Fransa (2002). "The French Cement Industry Guide to NOx Emission Reduction Measures".
- 117 Almanya (2000). "Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten".
- 118 Almanya (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. pp. 34-42
- 120 İspanya (2007). "Information on white cement production".
- 122 Avrupa Komisyonu (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 İrlanda (2005). "Contributions regarding summary statement following short term SNCR trials at Limerick Works of Irish Cement".
- 124 Avrupa Komisyonu (2001). "Reference Document on the Best Available Technique in the Pulp and Paper Industry".
- 125 Avrupa Komisyonu (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 Portekiz (2007). "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants - volatile organic carbon emissions".
- 128 Portekiz (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 Avrupa Komisyonu, C., March Consulting Group, MAIN Management e Ingeniería 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 İtalya (2007). "Raw materials for white clinker production in Italy".
- 139 İtalya (2007). "Italian lime production".
- 140 İtalya (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 Avrupa Komisyonu (2003). "Reference Document on the General Principles of Monitoring".
- 152 Almanya (2007). "Lime Manufacturing Industries - Reduction of NOx emissions at a rotary kiln with preheater by using the SNCR technique (practical experience)".
- 153 Castle Cement İngiltere, P. W. (2007). "Application for variation to IPPC permit BL 1096, Solid Recovered Fuel (SRF) on kiln 4".
- 154 CEMEX İngiltere (2006). "Application for a variation under PPC to allow use of a fuel known as Climafuel", Permit BL 7248.
- 155 Almanya (2007). "Lime manufacturing industries - Co-incineration of waste".
- 156 Almanya (2007). "Lime manufacturing industries - German example for the use of solid wastes as fuels in a rotary kiln (additions)".
- 157 Almanya (2007). "Lime manufacturing industries - Minimisation of nitrogen oxide emissions by low NOx burners at annular shaft kilns".
- 158 Almanya (2007). "Cement Manufacturing Industries - Duration and frequency of CO trips".
- 159 İrlanda (2006). "Reports of CO emissions because of CO trips from cement plants in Ireland".
- 160 Almanya (2007). "German experience with a 6 months SNCR performance test".
- 161 Avusturya (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 İngiltere (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 Avrupa Birliği (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 Avrupa Birliği (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 İtalya (2007). "Information on costs for PFRK (lime) provided with the comments for draft 1 of the revised BREF".
- 170 Avusturya (2007). "Contribution on waste input criteria 2007".
- 171 A TEC (2007). "Statement regarding energy use in the cement plant W&P in Austria".
- 172 Fransa (2007). "Emissions of particles (PM 10 and PM 2.5) in the cement industry".
- 173 Almanya (2007). "Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: "Möglichkeit und Grenzen der SNCR Technik bei einer klassischen Drehofenanlage 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 Fransa (2008). "Contributions regarding emerging techniques in the cement industry (reduction of SOx , 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 Avrupa Komisyonu (2006). "Reference Document on Economics and Cross-Media Effects".
- 180 Mauschitz (2004). "Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V"
- 181 Avrupa Komisyonu (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 PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs - Part 4: Sampling and analysis of dioxin-like PCBs".
- 185 Hackl und Mauschitz (2003). "Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV".