

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİMENTO FABRİKALARINDA ALTERNATİF YAKIT
OLARAK KATI ATIKLARIN KULLANIMI**

Çevre Mühendisi Fatih TOSUN

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ahmet DEMİR

İSTANBUL,2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÇİMENTO ÜRETİMİ.....	2
2.1 Çimento Türleri	3
2.2 Çimentonun Ana Bileşenleri	4
2.3 Çimento Üretiminde Uygulanan Süreçler.....	5
2.3.1 Ham Maddenin Temini	7
2.3.2 Ham Maddelerin Depolanması ve Hazırlanması.....	7
2.3.2.1 Ham Maddelerin Öğütülmesi	9
2.3.3 Yakıtın Depolanması ve Hazırlanması	11
2.3.3.1 Yakıtın Depolanması	11
2.3.3.2 Yakıtların Hazırlanması	12
2.3.3.3 Atığın Yakıt Olarak Kullanılması	13
2.3.4 Klinker Pişirme.....	13
2.3.4.1 Fırın Çıkış Gazları	15
2.3.4.2 Klinker Soğutucuları.....	16
2.3.5 Çimentonun Öğütülmesi ve Depolanması	16
2.3.5.1 Klinkerin Depolanması	16
2.3.5.2 Çimentonun Öğütülmesi	16
2.3.5.3 Çimentonun Depolanması	17
2.3.6 Ambalajlama ve Sevk	18
2.4 Mevcut Tüketim ve Emisyon Düzeyleri	19
2.4.1 Ham Madde Tüketimi	19
2.4.2 Enerji Kullanımı	19
2.4.3 Emisyonlar	20
2.4.3.1 Azot oksitler	21
2.4.3.2 Kükürt Oksitler.....	22
2.4.3.3 Toz	23
2.4.3.4 Karbon monoksit (CO)	24
2.4.3.5 Uçucu Organik Bileşikler.....	24

2.4.3.6	Poliklorlu dibenzodioksin (PCDD) ve Dibenzofuran (PCDF).....	25
2.4.3.7	Ağır Metaller ve Bileşikleri	25
2.4.4	Atık	26
2.4.5	Gürültü	26
2.4.6	Koku.....	26
2.4.7	İzleme.....	27
2.5	Baca Gazı Emisyon Kontrol Teknikleri.....	28
2.5.1	NO _x Emisyonu Kontrol Teknikleri	28
2.5.2	SO ₂ Emisyonu Kontrol Teknikleri	30
2.5.3	Toz Emisyonu Kontrol Teknikleri.....	32
2.5.3.1	Kaçak Tozun Azaltılması.....	34
3.	ÇİMENTO TESİSLERİNDE KULLANILAN YAKIT TÜRLERİ.....	36
3.1	Kömür ve Asfaltit	36
3.2	Yağ Yakıtlar	37
3.3	Bitümlü Şeyl ve Doğal Gaz.....	37
3.4	Diğer Yakıtlar.....	37
3.4.1	Atık Lastikler.....	39
3.4.2	Elyaf Atıkları.....	41
3.4.3	Ekin Kalıntıları	41
3.4.4	Odun ve Talaş.....	41
3.4.5	Fuller Toprağı.....	41
3.4.6	Asidik Reçineler	42
3.4.7	Aritma Çamuru ve Depo Gazı.....	42
3.4.8	Evsel ve Sanayi Atıkları.....	43
3.4.8.1	Evsel Atıklardan Elde Edilen Yakıtların Kullanımında İşletmenin Durumu	44
3.4.9	Atık Yağlar.....	45
3.4.10	Endüstriyel Atıklar.....	48
3.5	Katı Atıkların Yakıt Olarak Kullanılmasının Faydaları	49
4.	AVRUPA ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DURUM DEĞERLENDİRMESİ.....	53
4.1	Avrupa Topluluğu'nun Atıklar için Hazırladığı Öncelik Direktifleri	54
4.1.1	Atıkların Azaltılması.....	54
4.1.2	Atıkların Geri Kazanımı	54
4.1.3	Atıkların Bertarafı.....	54
4.2	Atıkların Yakıt Olarak Kullanılması ile ilgili Yasal Çerçevesi	54
4.3	Avrupa Çimento Birliği (Cembureau)	58
5.	TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DURUM DEĞERLENDİRMESİ.....	59
5.1	Çimento Sektöründe Çevre Kirlenmesi	59
5.2	Çimento Sanayinde Yasal Çerçeve.....	62
5.2.1	II.Çimento Sanayi Çevre Deklarasyonu	62
6.	ALTERNATİF YAKIT OLARAK KATI ATIKLARIN KULLANILDIĞI ÇİMENTO FABRİKALARINDAN ÖRNEK ÇALIŞMALAR	64
6.1	Obourg Çimento Fabrikası – Belçika	64
6.2	Fransa Çimento Sektörü.....	65
6.3	ABD Çimento Sektöründe Lastik-Türevli Atık Kullanımı.....	66
6.4	Almanya Çimento Sektörü	66

6.5	Castle Çimento Fabrikası-İngiltere.....	67
6.6	Akçansa Çimento Fabrikası – Türkiye	67
7.	ATIKLARIN EK YAKIT OLARAK KULLANILMASINDA UYULACAK GENEL KURALLAR HAKKINDA TEBLİĞ	76
7.1	Yakıt Olarak Kullanılacak Atık Maddelerin Fabrika Alanında Depolanmasına Dair Esaslar	83
7.2	Atıkların Değişen Oranlarda Çimento Fabrikalarında Yakılması ile Oluşan Baca Gazı Emisyon Limit Değerlerinin Ek Yakıt Tebliğine Göre Hesabı.....	84
8.	ATIKLARIN ÖZEL İNSİNERATÖRLER İLE ÇİMENTO FIRINLARINDA YAKILMASININ CO ₂ EMİSYONU BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI103	
8.1	Karbon Dioksitin Azaltılması.....	103
8.1.1	Strateji 1 - Çimento Fırınlarının Verimliliğinin Arttırılması	104
8.1.2	Strateji 2 - Hammadde Alternatifi	104
8.1.3	Strateji 3 - Alternatif Yakıtların Kullanımı.....	105
8.2	Alternatif Yakıt Olarak Katı Atıkların Yakılmasında CO ₂ Emisyonu	106
8.2.1	Varsayımlar	107
8.2.1.1	Yakıt ve Atık Cinsleri	107
8.2.1.2	Kömür Yerine Kullanım	108
8.2.1.3	Kömürün Çıkarılması ve Taşınması	108
8.2.2	Senaryo – 1 : Atıkların İnsineratörde Yakılması.....	109
8.2.3	Senaryo – 2 : Çimento Fırınında Atık Yakma.....	112
8.2.4	Net CO ₂ Yüğü.....	116
9.	SONUÇLAR	117
	KAYNAKLAR.....	119
	EKLER	121
	Ek 1 Tehlikeli ve özel atıkları ilave yakıt olarak kullanmak üzere lisans alan firmalar (www.cevreorman.gov.tr)	122
	Ek 2 V _{atık} 'ın belirlenmesi için kullanılacak abaklar.....	123
		124
	ÖZGEÇMİŞ.....	126

SİMGELİSTESİ

Atm	Normal atmosfer (1atm=101325 N/m ²)
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
bar	(1.013 bar =1 atm)
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidroksit
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbondioksit
HCl	Hidroklorik asit
HF	Hidroflorik asit
H ₂ S	Hidrojen sülfür
kcal	Kilokalori (1 kcal= 4.19 kJ)
kg	Kilogram (1 kg = 1000 g)
kJ	Kilojul (1 kJ=0.24 kcal)
kWh	Kilowatt saat (1kWh=3600 kJ = 3.6 MJ)
K	Kelvin (0 °C=273.15 K)
µm	Mikrometre (1µm = 10 ⁻⁶ m)
mg	Miligram (1 mg = 10 ⁻³ gram)
mm	Milimetre (1 mm = 10 ⁻³ m)
Mt	Megaton (1Mt =10 ⁶ ton)
MJ	Megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 10 ⁶ joule)
ng	Nanogram (1 ng = 10 ⁻⁹ gram)
N ₂	Azot
Na	Sodyum
Nm ³	Normal metre küp (101.3 kPa, 273 K'de)
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NO _x	Azot Oksitler
O ₂	Oksijen
Pb	Kurşun
Pd	Paladyum
SO ₂	Sülfür dioksit
SO ₃	Sülfür trioksit
SO _x	Kükürt oksitler

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
EP	Elektrikli Çöktürücüler
EPA	Environmental Protection Agency
KÇ	Katkılı Çimento
PCDD	Poliklorinatlı dibenzodioksinler
PCDF	Poliklorinatlı dibenzofuranlar
PÇ	Portland Çimento
TCMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TÇ	Traslı Çimento
TE	Toksitlik eşdeğeri (dioksin ve furan)
TEQ	Uluslararası toksitlik eşdeğeri (dioksin ve furan)
TOC	Toplam organik karbon
TS	Türk Standardı
VOC	Uçucu organik bileşenler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çimento üretim akım şeması	2
Şekil 2.2 Hammaddenin depo edilişi (Akçansa)	8
Şekil 2.3 Hammadde içindeki karışım %'leri (Akçansa A.Ş.)	8
Şekil 2.4 Taş ocaklarından gelen ham maddelerin öğütücüye verilişi (Akçansa A.Ş.)	9
Şekil 2.5 Zincirli uzun yaş döner fırın (Cembureau raporu,1997).....	14
Şekil 2.6 Çimento üretim akım şeması (Akçansa A.Ş.).....	18
Şekil 2.7 Dökme ve paket halinde çimento (Akçansa A.Ş)	18
Şekil 2.8 1kg çimento üretiminde kütle dengesi (Cembureau raporu,1997).....	19
Şekil 3.1 Çimento fabrikasında atık lastiklerin depolanışı (Akçansa A.Ş)	40
Şekil 3.2 Atık lastiklerin otomosyonla fırına verilişi (Akçansa A.Ş)	40
Şekil 4.1 Dünya Genelinde 1995-2010 yılları arasında planlanan çimento üretimi (www.ecosmart.ca)	53
Şekil 6.1 Hammadde oranı	68
Şekil 6.2 Hammaddenin kırıcılardan sonra homojen olarak depo edilişi Akçansa A.Ş.	68
Şekil 6.3 Sırayla 1, 2 ve 3 nolu farin öğütücüleri Akçansa A.Ş.	69
Şekil 6.4 Siklonlar Akçansa A.Ş.....	69
Şekil 6.5 Elektrofiltreler Akçansa A.Ş.....	70
Şekil 6.6 Tesisteki sırasıyla üç döner fırın Akçansa A.Ş.	70
Şekil 6.7 Atık lastiklerin depo edilişi Akçansa A.Ş.....	71
Şekil 6.8 Atık lastiklerin otomosyonla fırına beslenişi Akçansa A.Ş.	72
Şekil 8.1 Senaryo 1'in akım şeması (Cembureau raporu,1997).....	110
Şekil 8.2 Senaryo 2'nin akım şeması (Cembureau raporu,1997).....	114

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Çimento sınıfları (tcma.org.tr)	3
Çizelge 2.2 Türk Standartlarındaki yeni çimento tipleri (tcma.org.tr)	4
Çizelge 2.3 Adi, beyaz ve sülfata dayanıklı portland çimentosunun analizi (tcma.org.tr)	5
Çizelge 2.4 NO _x emisyonunu azaltma teknikleri.....	29
Çizelge 2.5 SO ₂ emisyonlarını azaltıcı teknikler.....	31
Çizelge 2.6 Toz emisyonunu kontrol teknikleri	32
Çizelge 3.1 Atık araba lastiklerinin karakteristikleri (www.k-c-k.org).....	39
Çizelge 3.2 Fuller toprağının karakteristikleri (www.k-c-k.org)	42
Çizelge 3.3 Evsel atıklara ait bir elementel analiz sonucu (Gönüllü,1994).....	43
Çizelge 3.4 ÇTY türleri ile kömürün mukayesesi (Gönüllü,1994)	43
Çizelge 3.5 Müsaade edilen kirletici parametre sınır değerleri (A.Y.Kon.Yön.,2004).....	46
Çizelge 3.6 Fosil yakıtlar ile evsel arıtma çamuru ve atık araba lastiklerinin elementel karşılaştırılması (Zevenhoven,2001).....	51
Çizelge 4.1 Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan toz emisyonu sınır değerleri.....	55
Çizelge 4.2 Avrupa Topluluğu ülkelerinde sürekli toz ölçümünün öngörüldüğü üniteler	56
Çizelge 4.3 Avrupa Topluluğu ülkelerinde SO ₂ emisyonu sınır değerleri (www.k-c-k.org)..	57
Çizelge 4.4 Avrupa Topluluğu ülkelerinde NO _x emisyonu sınır değerleri (www.k-c-k.org)..	57
Çizelge 4.5 Maliyet unsuru göz önünde tutularak erişilebilir en iyi teknolojiye göre tespit edilmiş değişik filtre tipleri için dizayn ve işletme değerleri	57
Çizelge 4.6 Avrupa Topluluğu için önerilen toz, SO ₂ ve NO _x emisyonu sınır değerleri	58
Çizelge 5.1 Çimento üretiminde toz arıtım sistemlerinin kullanımı (www.tcma.org.tr).....	60
Çizelge 6.1 Döner fırınlara ait özellikler ve baca gazı debileri.....	70
Çizelge 6.2 Akçansa çimento atık yağ kabul kriterleri.....	72
Çizelge 6.3 Akçansa atık yağlar için yapılmış analiz sonuçları	73
Çizelge 6.4 Akçansa aylık ort. döner fırın toz emisyonları ,2005	74
Çizelge 6.5 Akçansa aylık ort. döner fırın baca gazı emisyonları ,2005	74
Çizelge 7.1 Ek yakıt olarak çimento fabrikalarında kullanılabilecek atıklar	76
Çizelge 7.2 Min.yarım saatlik ve max.sekiz saatlik bir süreçteki buhar ve gaz halindeki ağır metal emisyonları ile metal bileşiklerin ort.değerleri (T.A. Kon.Yön.).....	78
Çizelge 7.3 Çimento fabrikaları C _{proses} değerleri	80
Çizelge 7.4 %20 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	86
Çizelge 7.5 %50 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	87
Çizelge 7.6 %80 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	88
Çizelge 7.7 %100 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	89
Çizelge 7.8 %20 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	91
Çizelge 7.9 %50 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	92
Çizelge 7.10 %80 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	93
Çizelge 7.11 %100 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri	94
Çizelge 7.12 %20 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri.....	96
Çizelge 7.13 %50 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri.....	97
Çizelge 7.14 %80 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri.....	98
Çizelge 7.15 %100 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri.....	99
Çizelge 7.16 Atıkların değişen kullanım oranlarına göre uyulacak günlük ort. emisyon limit değerleri.....	101
Çizelge 7.17 Atıkların değişen kullanım oranlarına göre uyulacak ½ h ort. emisyon limit değerleri.....	102
Çizelge 8.1 1 ton atığın insineratörde ya da çimento fırınında yakılması sonucunda ortaya çıkan CO ₂ emisyonları.....	105
Çizelge 8.2 Varsayımların özeti ve kaynakları.....	107

Çizelge 8.3	1 ton atığın çimento fırınında ya da insineratörde yakılmasından oluşan CO ₂ emisyonunun özeti (Cembureau raporu,1997)	116
-------------	---	-----

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda, başından sonuna kadar gerek yönlendirmeleri ile gerek yaptığı bilimsel katkı ve destekleri ile bana yol gösteren Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı ve danışman hocam Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e teşekkür ederim. Tezimin oluşmasında ve her aşamasında kıymetli zamanlarını ayıran ve değerli katkılarını esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İsmail TORÖZ hocama teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmama tez safhasına kadar, desteklerini esirgemeyen ve kıymetli zamanlarını ayıran Akçansa A.Ş.'de görevli Kimya Müh. Doğan ÖZKUL'a ve Metalurji Müh.Okay KILINÇ ile İstanbul İl Çevre Müdürü M.Emin BİRPINAR ve Çevre Müh. Jale ÖZDOĞAN 'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenciliğim boyunca, gösterdikleri sabır ve anlayışla, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşime ve anne-babama gönülden teşekkür ediyorum.

ÖZET

Çimento sektörü, Türkiye'deki en önemli sanayi sektörlerinden biridir. Yüksek oranlarda üretim ve buna bağlı olarak yüksek miktarlarda fosil yakıt kullanımı, beraberinde büyük toz emisyonlarını, dolayısıyla hava kirlenmesini getirmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Avrupa Birliğine uyum sürecinde Avrupa'daki ve Türkiye'deki çimento sektörü için getirilen çevre standartları ve bununla birlikte çimento üretiminde kullanılan girdi ve çıktılarının kimyasal bileşimleri ile alternatif yakıt olarak katı atıkların kullanılması, çimento tozlarının toz tutuculardan önceki ve sonraki kimyasal bileşimleri, toz ayrıştırılması için kullanılmakta olan arıtım sistemlerinin hangi ünitelerde yaygın olarak kullanıldığı, çimento fabrikalarında ana toz kaynakları ve döner fırın baca gazlarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Bu bağlamda tezin 2.Bölümde Çimento üretimi ve aşamaları ile oluşan emisyonlar, 3.Bölümde Çimento üretiminde kullanılan yakıt türleri, 4.Bölümde Avrupa Birliğinde durum değerlendirmesine yer verilmiştir. 5.Bölümde Türkiye'deki Çimento sektörünün durum değerlendirilmesi yapılmış, 6.Bölümde alternatif yakıt olarak katı atık kullanan çimento fabrikalarından örnek çalışmalara yer verilmiştir. 7.Bölümde atıkların ek yakıt olarak kullanılmasında uyulacak genel kurallar hakkında tebliğ ve uygulama örnekleri, 8.Bölümde Avrupa Çimento Birliği'nin (Cembureau) yapmış olduğu bir takım kabuller ile atıkların çimento fırınları ile özel insineratörlerde yakılmasının CO₂ emisyonu açısından karşılaştırmasına yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Avrupa Birliği çevre direktifleri, çevre standartları, katı atık yönetimi, alternatif yakıt kullanımı, çimento sektörü.

ABSTRACT

The cement industry is one of the most important primary sectors of Turkey. High-energy consumption and dust emission make this industry significant for environmental pollution. Huge demand and production capacity cause huge emission as well.

In this study we are going to mention; As Turkey adopting EU, the new environment standards for the cement industry, The chemistry of inputs and outputs of cement production, use of solid waste as an alternative fuel The chemical formula of cement dust before and after dust separation, The use of refinement systems at dust separation stage, The main causes of dust in a cement factory is the exhaust of a rotary kiln.

As follow, in the second part about cement production and step by step its emissions in the third part about type of fuels used in the production, in the forth part about the cement industry in the EU, in the fifth part about the cement industry in Turkey, in the sixth part about some implementation of the use of solid waste as an alternative fuel and in the seventh part waste using for joint fuels in the public rules about law, in the eight part we are comparing cement kilns with the specialized incinerators in respect of The Europe Cement Union's regulation.

Keywords: Europe Union Environment Directions, Environment standards, Solid waste management, Alternative fuels consumption, The cement industry.

1. GİRİŞ

İnsanların yaptıkları her türlü faaliyet sonucu ortaya çıkan katı atıkların miktar ve özellikleri, nüfus artışı ve beraberindeki aktivitelerle birlikte hızla artmaktadır. Endüstriyel, tıbbi, tehlikeli ve evsel atıklardan oluşan toplam katı atıklar içerisinde miktar olarak evsel atıklar en fazla orana sahiptir.

Sürdürülebilir bir kalkınmada daha önceden birikmiş ve günümüzde de ortaya çıkan katı atık problemleriyle mücadele için etkin bir katı atık yönetim uygulamak gerekmektedir. Katı atık yönetiminin yasal, idari, planlama, finansal vb. bir çok boyutu vardır.

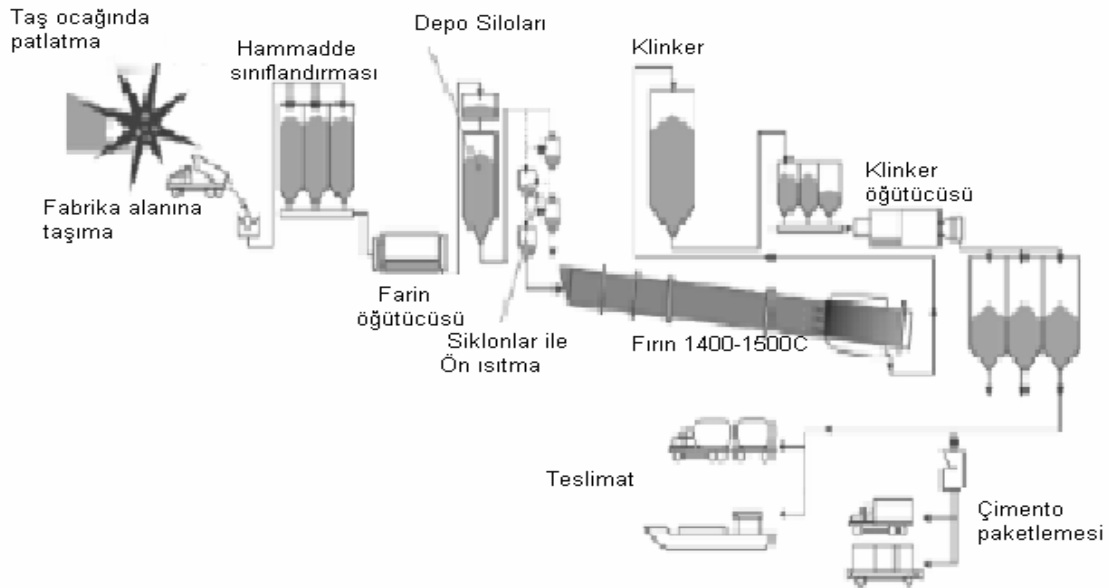
Bu bağlamda katı atıkların bertaraf edilmesi noktasında, çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanımı dikkate alınması gereken bir unsurdur. Türkiye çimento sanayi yılda 40 milyon ton çimento üretmekte ve bunun 10 milyon tonunu ihraç etmekte olup, tüm yurt sathına yayılmış 39 çimento fabrikasının olduğu göz önüne alındığında katı atıkların bu sanayide kullanımının ne kadar dikkate değer olduğu anlaşılmaktadır. Keza bununla birlikte Türkiye’deki çimento üretimini gerçekleştirmek için çimento fabrikalarının yıllık kömür gereksinimleri 6 milyon ton civarındadır. Yenilenemeyen bir fosil yakıt için bu miktar hayli yüksek olup, çimento sanayi, enerji kullanımı açısından daha verimli üretim yöntemlerinin yanı sıra kömüre alternatif olacak sürdürülebilir enerji kaynakları arayışına girmiş bulunmaktadır.

Çimento sanayinin, çeşitli katı atıkları alternatif yakıt olarak kullanması bir yandan fosil yakıtlardan tasarruf sağlarken bir yandan da atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması yoluyla ulusal atık sorununa katkıda bulunabilme imkanını sağlamaktadır.

Çimento sanayinde, alternatif yakıt olarak hangi atıkların kullanılabilceği ve kullanım sonucunda oluşacak baca gazı emisyonları için, 22.06.2005 tarihli, 25853 sayılı “Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ” esaslarına göre deneme yakması yapılarak baca gazı emisyonlarının, emisyon sınır değerlerin altında olması şartıyla lisans alınması gerekmektedir.

2. ÇİMENTO ÜRETİMİ

Çimento; kalker, kireç taşı, kil, demir cevherleri ve kum gibi doğada bol miktarda bulunan maddelerden elde edilmektedir. Maden ocaklarından getirilen bu maddeler kırıcılarda kırılır, değirmende öğütülür ve sınıflandırılırlar. Daha sonra sınıflandırılmış hammaddeler homojen bir karışım elde edilecek şekilde karıştırılırlar (farin adı verilen karışım). Farin değirmenlerinde istenilen boyuta indirgenen farin döner fırınlarda 1400-1500°C sıcaklıkta akkor haline gelinceye kadar pişirilir. Fırından çıkan yarı mamul maddeye klinker adı verilir. Klinkerin bir miktar alçı taşı ile karıştırılarak öğütülmesi sonucunda da çimento elde edilir. Şekil 2.1’de çimento üretim akım şeması verilmiştir.



Şekil 2.1 Çimento üretim akım şeması

Fırında istenen kimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için, hammaddenin 1500°C 'ye kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu sıcaklığa erişmek ve sürekliliğini sağlamak için yüksek miktarlarda yakıt tüketilmektedir. Kullanılan yakıt genelde kömürdür. Bu aşamada, kömürün ısı enerjisi gibi ısı enerjisi elde edilebilecek atık maddelerin kullanımı gündeme gelmektedir.

Yüksek ısı enerjisi değerine sahip otomobil lastiği, kullanılmış motor yağı gibi atıkların çöp toplama alanlarında emniyetli olarak muhafaza edilmesi zor ve beraberinde bir çok çevresel problemleri getirmektedir (tutuşma riski, koku problemi, sinekler için üreme ortamı, içme suyu kaynaklarının kirlenmesi, yanarak hava kirliliğine sebep olma vs.). Fakat bu ve bunun

gibi atıklar çimento fırınlarında yakılmak sureti ile bertaraf edilebilirler. Böylece fosil yakıtlardan tasarruf sağlanabilir. Çimento fabrikaları da gerekli ısı enerjisini daha ucuza elde etmenin yanında çimento yapımında gerekli bazı maddeleri de yakılan atıktan elde ederler.

Atıkların içerdikleri yüksek ısı enerjisi, bunların yakıt olarak kullanılması halinde bir değer haline gelmektedir. Bunun yanı sıra çimento fırını, bu maddelerin yakılması için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Çimento üretim prosesinin gereği olan yüksek ısı, yüksek türbülans ile uzun temas süresi atıkların emniyetli olarak yakılmasını sağlamaktadır.

2.1 Çimento Türleri

Çimentoların pek çok türleri vardır. Bunların çoğunluğu Portland türü veya Portland klinkeri ile belirli oranlarda başka bağlayıcılar karıştırılarak elde edilen türlerdir.

Günümüzde piyasada bulunan çimentolar TÇ 32.5 (Traslı çimento), PÇ 32.5 (Portland çimento), KÇ 32.5 (Katkılı çimento) ve yüksek dayanımlı Portland çimentoları olan PÇ 42.5 ve PÇ 52.5' tur. PÇ 32.5 – PÇ 42.5 – PÇ 52.5 salt Portland çimento klinkeri içerirler. TÇ 32.5 ve KÇ 32.5'da ise, çimento klinkeri dışında belirli oranlarda (% 40'a kadar varan oranlarda) doğal puzolan vardır. Simgeden sonra görülen sayı, standart çimento harçlarının 28 günlük küp basınç dayanımlarını N/mm^2 cinsinden verirler ($1N/mm^2=1$ Megapaskal (Mpa) $\cong 10$ kgf/cm^2)(N=Newton) (Akçansa).

Türk standartlarında üretimde kullanılan hammaddelerin türüne ve çimentonun mukavemetine göre ayrılmış sınıflar aşağıdaki Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Çimento sınıfları (tcma.org.tr)

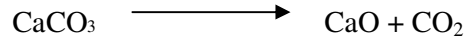
Çimento cinsi	katkısız	katkılı	trash	cürufu	uçucu küllü	sülfata dayanıklı	harç
TS NO	19	10156	26	20	640	10157	22
SEMBOL ve DAYANIM SINIFI	PÇ 32.5 PÇ 42.5 PÇ 52.5	KÇ 32.5	TÇ 32.5	CÇ 32.5 CÇ 42.5	UKÇ 32.5	SDÇ 32.5	HRÇ 16.0
KATKI CİNSİ		PUZOLAN	TRAS	CÜRUF	UÇUCU KÜL		PUZOLAN

Çizelge 2.2 Türk Standartlarındaki yeni çimento tipleri (tcma.org.tr)

TS NO	ÇİMENTO ADI	İŞARETİ
TS 12139	PORTLAND – CURUFLU ÇİMENTO	PCÇ / A
		PCÇ / B
TS 12141	PORTLAND – SİLİKA FÜME ÇİMENTO	PSFÇ
TS 12140	PORTLAND – KALKERLİ ÇİMENTO	PLÇ / A
		PLÇ / B
TS 12143	PORTLAND – KOMPOZE ÇİMENTO	PKÇ / A
		PKÇ / B
TS 12144	PUZOLANİK ÇİMENTO	PZÇ / A
		PZÇ / B
TS 10142	KOMPOZE ÇİMENTO	KZÇ / A
		KZÇ / B

2.2 Çimentonun Ana Bileşenleri

Çimento imalat sürecinin temel kimyası, kalsiyum karbonatın (CaCO_3) 900°C 'de çözülmesiyle başlar ve bu süreçten kalsiyum oksit ortaya çıkar (CaO , kireç) ve gaz halinde karbon dioksit (CO_2) serbest kalır;



Bu sürece kalsinasyon denir. Bunun sonucunda klinkerleme süreci başlar ve kalsiyum oksit yüksek ısıda silis, alümin ve demirli oksit ile reaksiyona girerek klinker adı verilen silikatları, alüminatları ve kalsiyum ferritlerini meydana getirir. Daha sonra klinkere alçı taşı, uçucu kül ve fırın cürufu katılarak çimento elde edilir. Çimentolarda dört ana bileşen vardır :

- 1- C_2S olarak kısaltılan $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ (bikalsiyum silikat),
- 2- C_3S olarak kısaltılan $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ (trikalsiyum silikat),
- 3- C_3A olarak kısaltılan $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ (trikalsiyum alüminat),
- 4- C_4AF olarak kısaltılan $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetrakalsiyum alümino ferrit).

Bunların dışında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve minör oksitler dediğimiz birleşmemiş CaO , MgO , bazı durumlarda Na_2O , K_2O ve erimeyen maddeler de (çoğunlukla SiO_2) bulunur. Çizelge2.3 'de adi, beyaz ve sülfata dayanıklı portland çimentosunun analizi verilmiştir.

Çizelge 2.3 Adi, beyaz ve sülfata dayanıklı portland çimentosunun analizi (tcma.org.tr)

	NPÇ %	BEYAZ PÇ %	SD PÇ %
SiO ₂	20.70(18.0-24.0)	22.50	20.50
Al ₂ O ₃	5.75(4.0-8.0)	4.50	3.75
Fe ₂ O ₃	2.50(1.5-4.5)	0.30	5.50
Mn ₂ O ₃	0.50(0.03-0.50)	0.03	0.05
TiO ₂	0.30(0.20-0.40)	0.33	0.30
P ₂ O ₅	0.15(0.05-0.30)	0.17	0.15
CaO	64.00(62.0-66.0)	67.50	64.50
MgO	1.00(0.7-4.0)	8.35	0.75
SO ₃	2.75(1.5-3.0)	2.50	2.20
K ₂ O	0.60(0.1-1.5)	0.10	0.40
Na ₂ O	0.20(0.1-0.9)	0.12	0.20
C ₃ S	4.51	55.8	63.4
C ₂ S	25.3	22.4	11.0
C ₃ A	11.0	11.4	0.6
C ₄ AF	7.6	0.9	16.7

2.3 Çimento Üretiminde Uygulanan Süreçler

Çimento üretim metot ve teknolojisinde en önemli farklılıklar fırın ünitelerinde kendini göstermektedir. Kuru ve yaş sistem dediğimiz iki türlü ana dizayn şekli olup, yaş sistemde farin adı verilen öğütülmüş ve homojenize edilmiş hammadde karışımı fırına verilmeden önce suyla karıştırılarak balçık halinde verilir. Buradaki gaye, farin karışımını sulayarak toz emisyonlarını yok etmektir ve sistemde siklonlar yoktur. Bu yaş sistem maliyet açısından kuru sisteme göre dezavantajlı olduğundan dolayı pek kullanılmamaktadır. Elektrik enerjisi tüketiminde yaş metodun 20 kWh/ton çimento mertebelerinde bir avantaj göstermelerine

karşın, kuru metot ısı enerjisi tüketiminde yaş metodun 1450-1650 kcal/kg klinker tüketimine 750-950 kcal/kg klinker ısı enerjisi tüketimi ile üstünlük göstermektedir. Yaş sistemde gerekli tahsisler yapıldıktan ve homojenize edildikten sonra zincirli uzun fırınlara sevk edilen çamur giriş tarafındaki zincir bölgesinde nemini kaybeder, orta bölgede kalsine olur, çıkış tarafındaki sinter bölgesinde klinkerize olur ve soğutucuya dökülür. Bu sistem ancak hammaddenin çok rutubetli ve sedimanter marn ve kilden oluşması halinde ekonomik olabilir (Cembureau raporu,1997).

Kuru sistemli çimento üretiminde ise konkasörde kırılmış hammadde, farin değirmeninde öğütülerek homojene edilir. Öğütme işlemi sırasında farin, fırından alınan yanma gazları ile siklonlardan geçirilerek kurutulur. Kurutma ve ısıtma işlemleri yaş ve lepol sistemden farklı olarak döner fırında yapılmamaktadır. Bu nedenle fırın boyu diğerlerine göre kısadır. Kuru sistem fırınlarda yalnızca kalsinasyon ve sinterleme işlemleri yapılmaktadır. Ön ısıtıcı ünitesinde döner fırın çıkışındaki gaz siklon kademelerinden geçerken enerjisini vererek soğur, homojene edilmiş farin ise ters yönde geçerken bu enerji ile ısınır ve kısmen kalsine olur. Kademe sayısı 4 veya daha fazla olabilmektedir. Kademe sayısı arttıkça ısı tasarrufu artar (Cembureau raporu,1997).

Kuru sistem fırınların ön kalsinasyon sistemini de içermesi durumunda yakıt döner fırınından başka kalsinatörde de yakılmaktadır. Kalsinatöre sekonder hava olarak soğutmadan sıcak gaz alınmaktadır. Ön ısıtıcılı kuru sistem döner fırında fırına girişteki kalsinasyon en fazla %40 iken, ön kalsinasyonlu sistemlerde bu değer %80-90 oranına kadar ulaşmaktadır. Ön kalsinasyonlu döner fırınlarda kalsinatörde düşük kalorili kömür kullanımı sağlanabildiği gibi, ısı tüketimi düşer (%5-10) ve fırın kapasitesi artar (Cembureau raporu,1997).

Çimento imalatında kuru ve yaş sitemler için dört ana işleme süreci söz konusudur ; kuru, yarı-kuru, yarıyaş ve yaş süreçler.

- **Kuru süreçte** ham maddeler öğütülür ve akıcı toz biçiminde farin olarak kurutulur. Kuru farin ön ısıtıcıya veya ön kireçlemeciye veya nadiren de olsa uzun kuru fırına verilir.
- **Yarı-kuru süreçte** kuru farin su ile peletlenir fırından önce ızgaralı ön ısıtıcıya veya kruva/ıstavroz ile donatılmış uzun fırına sürülür.
- **Yarı-yaş süreçte** çimento harcı filtre preslerinde öncelikle susuzlaştırılır. Filtre hamuru küçük topak/pelet olarak ekstrüde edilir/çıkartılır ve ızgaralı ön ısıtıcıya veya farin üretimi

için doğrudan filtre hamuru kurutucusuna verilir.

- **Yaş süreçte** (genelde yüksek nem içerikli) ham maddeler pompalanabilir çimento harcı üretmek için suda öğütülür. Çimento harcı doğrudan fırına verilir veya harç kurutucusuna beslenir.

Süreç seçimi büyük ölçüde ham maddelerin durumuna göre yapılır (kuru veya yaş). Dünya klinker üretiminin büyük bir kısmı hala yaş süreçlerde yapılır. Ancak Avrupa’da üretimin %75’inden fazlası kuru ham maddelerin varlığı sayesinde kuru süreçler ile yapılır. Yaş süreçler çok daha fazla enerji tüketir ve sonuç olarak daha pahalıdır. Yarı-kuru süreçlerde işleyen fabrikalar şirket genişlemesi veya büyük bir yenileme durumunda büyük olasılıkla kuru teknolojilere dönüşüm yapacaktır (Cembureau raporu, 1997).

Tüm süreçlerde aşağıdaki alt süreçler ortak olarak uygulanır:

- Ham maddenin temini,
- Ham maddeyi depolamak ve hazırlamak,
- Yakıtı depolamak ve hazırlamak,
- Klinker pişirme,
- Çimentoyu öğütmek ve depolamak,
- Ambalajlama ve sevk.

2.3.1 Ham Maddenin Temini

Çimento hammaddelerinde, karbonatlar ve kül mineraller şeklinde bulunan çimento ana bileşenleri (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3) doğadan temin edilen birer doğal kaynaktır. Çimento hammaddesi, üretim için uygun vasıflı kalker, kum, kil ve şist ocaklarından kitlelerin fiziki yapılarına bağlı olarak araçlarla taş ocaklarından sökülen ve kamyonlarla fabrikaya taşınan maddelerdir. Malzemeler yüzeyi açık olan ocaklardan kaya delme, patlatma, kazıma, taşıma ve kırma işlemleriyle çıkartılır. Ham maddelerin ilk kırılmasından sonra bunlar çimento fabrikasına depolanmak ve hazırlanmak üzere taşınır (Cembureau raporu,1997).

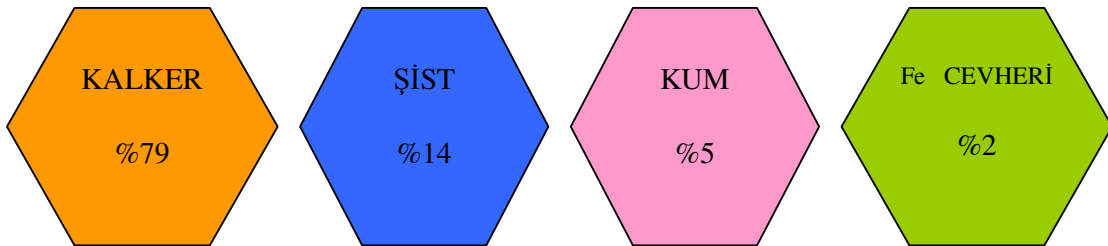
2.3.2 Ham Maddelerin Depolanması ve Hazırlanması

Kapalı depo gereksinimi hava koşullarına ve kırma tesisinden çıkan ham maddeler içindeki ince tanelerin miktarına bağlıdır. Şekil 2.2’de maden ocaklarından getirilen ham maddelerin akçansa çimento fabrikasının alanında depo edilişi görülmektedir



Şekil 2.2 Hammaddenin depo edilişi (Akçansa)

Bir fırın sistemine beslenen ham maddenin kimyasal açıdan mümkün olduğunca homojen olması gerekir. Bunun için beslenen maddenin ham madde öğütme tesisinde kontrol edilmesi gerekir. Maden ocağından çıkan ham madde nitelik olarak çeşitlilik gösterir, depo uzunluğu boyunca (veya depo kenarları boyunca) malzemenin sıralar veya tabakalar halinde yığılması yoluyla ilk ön homojenizasyon yapılabilir. Maden ocağındaki malzeme oldukça homojense, basit yığma ve ıslah/iyileştirme sistemleri kullanılabilir. Mineral katkı maddeleri gibi nispi olarak daha az miktarda kullanılan ham maddeler alternatif olarak silo veya bunkerlerde depolanabilir (Cembereau raporu,1997). Şekil 2.3’de hammadde içindeki karışım oranları görülmektedir.



Şekil 2.3 Hammadde içindeki karışım %'leri (Akçansa A.Ş.)

2.3.2.1 Ham Maddelerin Öğütülmesi

Değirmene beslenecek olan bileşenlerin ağırlık bakımından doğru bir şekilde ölçülüp oranlanması tutarlı bir kimyasal bileşimin elde edilmesi için önem arz eder. Bunun sebebi fırının istikrarlı olarak işlemlerini sağlamak ve yüksek kaliteli bir ürün elde etmektir. Ölçme ve oranlama öğütme sisteminin enerji etkinliği açısından da önemli faktörlerdir. Ham maddenin değirmene beslenmesi için ağırlıklı olarak kullanılan ölçüm ve oranlama ekipmanları paletli besleyici ve tartılı bantlı besleyicidir. (Cembereau raporu,1997). Şekil 2.4’de taş ocaklarından gelen ham maddelerin öğütücüye verilişi görülmektedir.



Şekil 2.4 Taş ocaklarından gelen ham maddelerin öğütücüye verilişi (Akçansa A.Ş.)

Ham maddelerin öğütülmesi, kuru ve yarı-kuru fırın sistemleri :

Ham maddeler kontrollü oranlarda öğütülür ve gerekli kimyasal bileşimi içeren homojen bir karışıma dönüşene kadar karıştırılır. Kuru ve yarı-kuru fırın sistemlerinde ham madde bileşenleri öğütülür ve ince toz olana kadar kurutulur, bu süreçte daha ziyade fırının çıkış gazlarından ve/veya soğutucunun çıkış havasından faydalanılır. Göreceli olarak yüksek nem içerikli ham maddelerde ve başlangıç prosedüründe ek ısı için yardımcı bir fırından da faydalanılabilir (Cembereau raporu,1997).

Ham madde öğütme sisteminden çıkan bir ürünün inceliği ve tane büyüklüğü dağılımı bir sonraki adım olan fırınlama/pişirme süreci için çok önemlidir. İlgili parametrelere öğütme tesisinden çıkan ürünün sınıflandırılmasında kullanılan separatör ayarıyla ulaşılır. Kuru sınıflandırmada hava separatörleri kullanılır. En yeni jenerasyon olan rotorlu kafes tipi separatörlerin birkaç avantajı vardır:

- Öğütme sisteminde daha düşük özgül enerji tüketimi (daha az aşırı öğütme),
- Sistemde geçen ürünün artması (dane ayırmada etkililik) ,
- Daha uygun dane büyüklüğü dağılımı ve ürün tekdüzeliği (Cembereau raporu,1997).

Ham maddelerin öğütülmesi, yaş veya yarı-yaş fırın sistemleri :

Yaş öğütme sadece yaş veya yarı-yaş fırın sistemi kombinasyonu eşliğinde yapılır. Ham madde bileşenleri su eklenerek çamur olana dek öğütülür. Gerekli olan çamur inceliğini elde etmek ve modern kalite anlayışının taleplerini yerine getirmek için kapalı devre öğütme sistemleri seçilmelidir (Cembereau raporu,1997).

Yaş süreç ağırlığa oranla % 20'den fazla nem içeriği olan ham maddeler için normalde tercih edilir. Yapışkan ve yüksek nem içerikli tebeşir, marn veya kil gibi ham maddeler yumuşak olup, hazırlığın ilk aşamasında yıkama değirmeninde öğütülmelidir. Yıkama değirmeni su ve kırılmış madde ile beslenir ve makaslama kuvveti ve döner ölümorgu/hersten gelen etki kuvvetiyle çimento harcı meydana getirilir. Yeterince ince olduğunda malzeme yıkama değirmeni duvarındaki elekten geçer ve depoya pompalanır. Çimento harcın gerekli inceliğe ulaşması için özellikle kum gibi ek bir ham madde eklendiğinde boru değirmende öğütülmesi gerekir (Cembereau raporu,1997).

Fırının yakıt tüketimini azaltmak için ham maddenin öğütülmesi sırasında su, gerekli çimento harcı/şap akışı ve pompalanabilirlik özelliği elde edilene kadar kontrollü bir şekilde minimum miktarda eklenir (% 32 - % 40 w/w su). Kimyasal katkı maddeleri su muhtevasını azaltan çimento harcı incelticisi olarak kullanılabilir (Cembereau raporu,1997).

Farin veya sulu harcın homojenizasyonu ve depolanması :

Ham madde öğütme sürecinden çıkan farin veya çimento harcı herhangi bir fırın sistemine verilmeden önce, ham karışımına optimum kıvam vermek için tekrar karıştırılmalı/homojenleştirilmelidir. Farin homojenleştirilir ve silolarda depolanır, ham çimento harcı ise tanklarda veya silolarda depolanır.

Farini depo silolarına taşımak için pnömatik ve mekanik sistemler kullanılır. Mekanik konveyörler normalde daha büyük bir yatırım maliyetini beraberinde getirir, ancak pnömatik taşıyıcı sistemlerinden çok daha düşük işletme maliyetine sahiptir. Bugün en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemleri pnömatik veya bantlı kova elevatörü olan burgulu/zincirli taşıyıcılardır (Cembereau raporu,1997).

2.3.3 Yakıtın Depolanması ve Hazırlanması

Süreç için gerekli olan ısıyı sağlamak üzere çeşitli yakıtlar kullanılabilir. Çimento fırın sistemlerinde genelde üç tür yakıt kullanılır, bunlar aşağıdakilerdir:

- Toz halinde kömür ve petkok,
- Fuel oil,
- Doğal gaz,
- Alternatif yakıt olarak katı atıklar.

Bu yakıtların ana kül bileşenleri silis ve alümin bileşikleridir. Bunlar ham maddelerle birleşir ve klinkerin bir parçasını oluşturur. Ham maddenin orantısını hesaplarırken bunun gözetilmesi gerekir, bu nedenle kül içeriği sabit olan yakıtın kullanılması tercih edilmelidir, ancak yakıtın kül içeriğinin düşük olması gerekmez (Cembereau raporu,1997).

Avrupa çimento sanayinde kullanılan ana yakıt türleri petkok ve kömürdür (siyah kömür ve linyit). Maliyetin içinde normalde doğal gaz ve petrol tüketimi yoktur, ancak yakıtın seçimi yerel koşullara da bağlıdır (örneğin yurtiçinde kömür olup olmaması gibi). Ancak fırın sistemindeki yüksek sıcaklıklar ve uzun işleme süreçleri organik maddeleri büyük ölçüde tahrip etme potansiyelini de beraberinde getirir. Bunun sonucunda özellikle farklı atık türleri gibi daha az pahalı olan yakıtlar seçilebilir (Cembereau raporu,1997).

Isı kayıplarını minimum seviyede tutabilmek için çimento fırınları mümkünse düşük ve makul oksijen fazlalığı düzeylerinde çalıştırılır. Bunun için kolay ve tam yanma sağlayacak şekilde tekdüze ve güvenilir yakıt metraji/ölçümlemesi ve beslemesi yapılması gerekir. Bu koşulları tüm sıvı ve gaz halindeki yakıtlar sağlar. Toz halindeki katı yakıtların kullanılması durumunda bu koşulları sağlamak için iyi bir bunker, taşıyıcı ve besleyici tasarımına ihtiyaç vardır. Ana yakıt girdisi (% 65-85) kolaylıkla yanan türden olmalı, geriye kalan % 15-35'i kaba kırma veya topak/yığın biçimde de beslenebilir (Cembereau raporu,1997).

2.3.3.1 Yakıtın Depolanması

İşlenmemiş kömür ve petkok ham maddelere benzer şekilde depolanır. Birçok durumda kapalı depolarda tutulur. Açık havada büyük ve sıkıştırılmış/kompakt yığınlar halinde yapılan depolama/stoklama ise uzun vadeli stoklama içindir. Açık hava depolarında toprağa sızma büyük bir sorun olmuştur. Ancak stoklanan yığınların altına su geçirirmeyen beton zeminlerin döşenmesi giren suyun dipte birikmesini ve dışarıya atılmasını kolaylaştırır.

Toz halinde kömür ve petkok sadece silolarda depolanır. Güvenlik nedeniyle (örneğin;

küllenmiş ateşin sebep olabileceği patlama tehlikesi ve statik elektrik kıvılcımları) bu siloların kütlesel akışlı çıkartmalı tipten ve standart güvenlik donanımlı olması gerekir.

Fuel oil ise dikey  elik tanklarda depolanır. Yağı pompalanabilir bir sıcaklıkta tutmak için bazıları yalıtılmıştır (50 – 60 C), ayrıca lokal yağ ısılarını korumak amacıyla ısıtılabilir emme noktaları ile donatılmış olabilir.

Doğal gaz  imento fabrikasında depolanmaz. Tesisin bulunduğu bölgenin yüksek basınçlı gaz dağıtım şebekesi gaz depolama tesisi görevini de görür (Cembereau raporu,1997).

2.3.3.2 Yakıtların Hazırlanması

Katı yakıtların hazırlanması (kıрма, öğütme ve kurutma) genelde alanda yapılır. Kömür ve petkok ise ham madde öğütme tesislerinde kullanılan ekipmana benzer bir ekipmanla öğütme tesislerinde kaba un inceliğinde toz haline getirilir. Toz halindeki yakıtın inceliği önemlidir, taneler çok ince olursa alev sıcaklıkları aşırı yüksek olabilir, çok kaba olursa yanma kötü olabilir. Düşük bir uçuculuk oranı olan veya uçucu maddeler içeriği düşük olan katı yakıtların daha da ince öğütülmesi gerekir. Kurutma için fırından veya soğutucudan yeterince sıcak hava temin edilemediğinde yedek bir fırına ihtiyaç duyulabilir. Ekipmanı ateşten ve patlamadan korumak için özel donanımların uygulanması gerekebilir (Cembereau raporu,1997).

Kömür  ğ tme ve işleme sistemi üç ana türden oluşur:

- Boru değirmen, pnömatik,
- Dik valsli değirmen veya ring bilyalı değirmen,
- Darbeli değirmen.

Yeraltından kazanılan katı yakıt doğrudan ateşleme için fırına beslenebilir, ancak modern tesislerde düşük primer hava kullanan termik açıdan daha etkin olan brülörlere (dolaylı ateşleme) beslenmek üzere genelde silolarda depolanır (Cembereau raporu,1997).

Katı yakıt için öğütme, depolama ve ateşleme sistemleri patlama veya ateş riskini önleyecek şekilde tasarlanmalıdır ve çalıştırılmalıdır. Hava sıcaklıklarını doğru kontrol edebilmek için yapılması gereken ilk şey ince maddelerin ısıya maruz kalan  l /k r noktalarda birikmesini önlemektir (Cembereau raporu,1997).

Fuel oil'un hazırlanması;  l me ve yanmayı kolaylaştırmak için fuel oil 120-140 C 'ye getirilir ve kıvamlılığı/vizkozitesi 10-20 cST'ye kadar düşer. Ayrıca basınç 20- 40 bara çıkar.

Doğal gazın hazırlanması; yanmadan önce gaz basıncı 30-80 barlık boru hattı basıncından 3-10 barlık tesis şebekesi basıncına düşürülmeli ve daha sonra yaklaşık 1 barolan brülör giriş basıncına indirilmelidir (basınç fazlası). İlk basınç düşürme aşaması tüketim ölçümünün yapıldığı gaz transfer istasyonunda tamamlanır. Ekipmanın donmasını engellemek için doğal gaz, basınç azaltma valfinden geçmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulur.

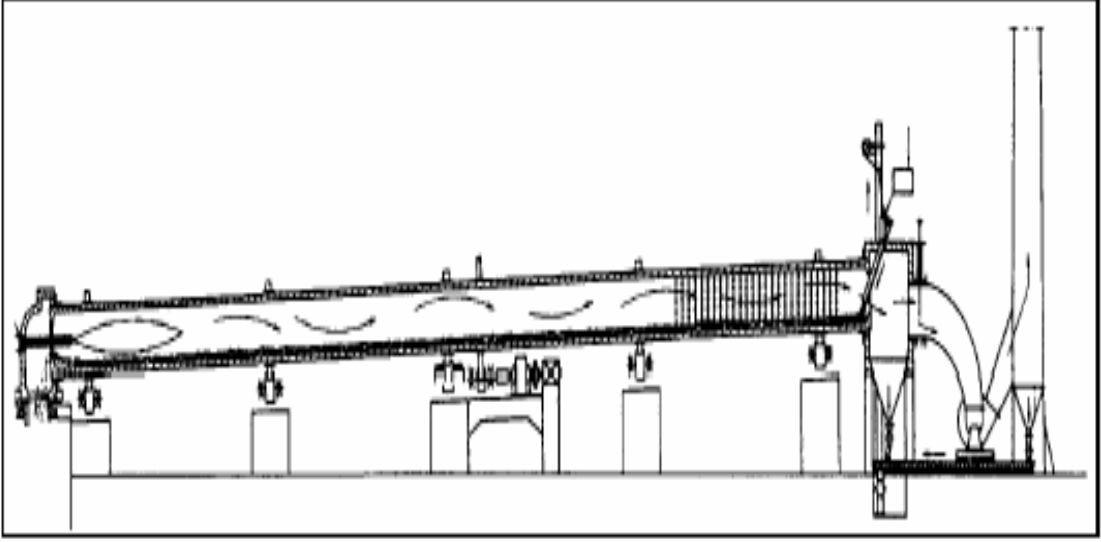
Buna alternatif olarak basınç, gaz güç jeneratörüne bağlı bir gaz genleşme türbininden geçirilerek de düşürülebilir. Böylece gazın kompresyonu için gerekli olan enerjinin bir kısmı geri kazanılabilir (Cembereau raporu,1997).

2.3.3.3 Atığın Yakıt Olarak Kullanılması

Ana brülöre beslenen atıklar 2000°C 'lere kadar varan sıcaklıklarda primer yanma bölgesinde ayrışacaktır. İkinci brülöre, ön ısıtıcıya veya ön kireçleme ocağına beslenen atıklar her zaman halojenli organik maddelerin ayrışması için yeterli olmayan düşük sıcaklıklarda yakılacaktır. Fırının üst çıkışından topak halinde beslenen maddenin içindeki uçucu bileşenler buharlaşabilir. Bu bileşenler ilk/primer yanma bölgesini geçmez ve çimento klinkerinde çözülüp bağlanmayabilir. Bu nedenle uçucu metaller (cıva, talyum) veya uçucu organik bileşikler içeren bir atık doğru kullanılmazsa daha fazla cıva, talyum veya VOC emisyonuna neden olabilir. Değişik atık türleri tedarikçi veya atık işleme konusunda uzmanlaşmış olan kuruluşlar tarafından yakıt olarak kullanılmak üzere çimento fabrikası dışında hazırlanır. Bunların sadece çimento fabrikasında depolanması ve çimento fırınına beslenmek üzere orantılı bir şekilde bölünmesi gerekir. Yakıt olarak uygun olan atıkların tedariki, atık malzemesi arz eden piyasalar halihazırda geliştiği için değişkenlik göstermesinden dolayı çok amaçlı depolama/hazırlama tesislerin tasarlanması tavsiye edilir (Cembereau raporu,1997).

2.3.4 Klinker Pişirme

Sürecin bu bölümü emisyon potansiyeli, ürün kalitesi ve maliyet açısından en önemlisidir.. Klinker pişirme sürecinde 1400 ila 1500°C aralığındaki fırın besleme sıcaklıklarının ve korunması önem arz eder. Ayrıca klinkerin oksitleyici koşullar altında pişirilmesi gerekir. Bu nedenle çimento klinkeri, fırınının sinterleme alanında hava fazlalığına gereksinim duyar. Yaklaşık 1895 yılında ilk kez kullandıktan sonra döner fırın tüm modern klinker üretim tesislerinin merkezi unsuru haline gelmiştir. Dikey şaft fırını hala kireç üretimi için kullanılır, sadece birkaç ülkede küçük ölçekli fabrikalarda çimento klinkeri üretimi için kullanılır (Cembereau raporu,1997).



Şekil 2.5 Zincirli uzun yaş döner fırın (Cembereau raporu,1997).

İlk döner fırınlar Şekil 2.5'te görüldüğü üzere uzun yaş fırınlar olup, ısı tüketen sürecin tamamı fırının içinde meydana gelir. Kuru sürecin kullanılmaya başlanmasıyla kurutma, ön ısıtma ve kireçlemenin döner bir fırından ziyade sabit bir fırında gerçekleşmesini sağlayan teknolojiler keşfedilmiştir. Döner fırın 10/1 ila 38/1 arasından değişen bir uzunluk/çap oranına sahip çelik bir tüpten/borudan oluşur. Tüp ikiden yediye kadar (veya daha fazla) destek istasyonu ile desteklenir, %2.5 – % 4.5 arasında eğimlidir, tahrik kuvvetiyle döner fırın aksı etrafında dakikada 0.5–4.5 devir döner. Tüpün eğimi ve dönmesinden ibaret kombinasyon, malzemenin yavaşça fırın boyunca taşınmasını sağlar. Çok yüksek tepe sıcaklıklarına dayanıklılık açısından döner fırın tamamen ısıya dayanıklı tuğla ile döşenmiştir (ateşe dayanıklı malzemeler/refrakterler). Tüm uzun ve bazı kısa fırınlar ısı transferini iyileştirici iç donanıma sahiptir. Geçici malzeme birikmesi süreç ve ham maddelere bağlı olarak fırının iç yüzeyi boyunca meydana gelebilir. Bunlara halka denir ve besleme çıkışında (alçı halkaları), sinterleme yakın bir yerde (klinker halkaları) veya ürün çıkış ağzında (kül halkaları) meydana gelebilir. Klinker ve kül halkaları birden kopabilir ve yeniden işlenebilen veya atık olarak bertaraf edilebilen düşük kaliteli sıcak madde akışının fırının dışına çıkmasına yol açabilir. Ön ısıtma fırınlarının siklon ve ızgaralarında da blokajlara sebep olan birikintiler oluşabilir (Cembereau raporu,1997).

2.3.4.1 Fırın Çıkış Gazları

Tüm fırın sistemlerinde çıkış gazları ana bacaya gitmeden önce tozdan arındırılmak üzere son olarak elektrostatik çöktürücü veya torbalı filtreden geçer. Kuru süreçlerde çıkış gazları göreceli olarak çok yüksek sıcaklıklarda olabilir ve faaliyet halinde olan ham madde öğütme değirmenine ısı sağlayabilir (kombine/birlikte çalışma). Ham madde öğütme değirmeni çalışmaz ise (doğrudan çalışma) gazlar normalde hem hacim azaltma hem çökeltme özelliğini iyileştirmek için toz toplayıcısına gitmeden önce havalandırma kulesinde su spreyi ile soğutulur (Cembereau raporu,1997).

-Karbon monoksit (CO) ; ham maddeler içinde bulunan organik bileşenlerden ve yakıtın kötü yanmasından dolayı serbest kalabilir. Konsantrasyonların, sınırın altında kalmasını sağlamak için partiküllerin azaltılmasında elektrikli çöktürücülerin (EP) kullanıldığı çimento fırınlarında CO düzeylerinin kontrolü kritik öneme sahiptir. Elektrik çöktürücülerdeki CO seviyesi (normalde hacme göre % 0.5 oranında) arttığında elektrik sistemi patlama riskini önlemek için kapanır. Bunun sonucunda partiküller azalmadan fırının içinden salınır. CO 'tin serbest kalması yanma sisteminin istikrarsız çalışmasından kaynaklanabilir (Cembereau raporu,1997).

-Azot oksitler (NO_x) ; çimento imalat fabrikalarından kaynaklanan hava kirliliği bakımından büyük önem arz eder. NO ve NO₂ çimento fırınları çıkış gazlarında en fazla bulunan azot oksitlerdir (azot oksitlerden NO >%90). NO_x üretiminin iki ana kaynağı vardır:

- Isıl NO_x: yanma havasındaki azotun bir kısmı oksijenle reaksiyona geçer,

-Yakıt NO_x: kimyasal olarak yakıta bağlanan bileşikler içeren azot, havadaki oksijenle reaksiyona girerek çeşitli azot oksitler oluşur (Cembereau raporu,1997).

-Kükürt Oksiler (SO_x) ; ağırlıklı olarak ham maddelerin uçucu sülfür muhtevasına bağlıdır. Az veya sıfır uçucu sülfür muhtevası olan ham maddeleri işleyen fırınların SO₂ emisyonları düşük seviyelerde kalır. Emisyon azaltılmadan da bazı fırınların baca gazlarının SO₂ emisyon konsantrasyonu 10mg/m³ den düşüktür. SO₂ emisyonun konsantrasyonu, kullanılan ham maddenin uçucu sülfür muhtevası arttıkça artar.

Organik sülfür veya pirit (FeS) içeren ham maddeler kullanıldığında SO₂ emisyonları yüksek olabilir. Düşük oranda SO₃ üretilmesine ve redüksiyon koşulları altında H₂S'in de belirebilmesine rağmen serbest kalan ana sülfür bileşiği SO₂'dir (%99). Sülfürün çoğu klinkerde sülfat olarak kalmasına rağmen, yüksek uçucu sülfat muhtevası olan ham

maddelerden SO₂ emisyonları kaynaklanır (Cembureau raporu, 1997).

2.3.4.2 Klinker Soğutucuları

Klinker soğutucusu fırın sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır ve ısı ile işletme tesisinin performansı ve ekonomisi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Soğutucunun iki görevi vardır; sürece geri döndürmek üzere sıcak klinkerden mümkün olduğunca fazla ısıyı geri kazandırmak ve klinker sıcaklığını diğer üretim süreçleri için uygun bir düzeye düşürmek.

Isı, ana ve sekonder ateşlemede yanma havası olarak kullanılan havanın ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla geri kazanılır. Ancak buna; yüksek sıcaklıklar ve klinkerin aşırı aşındırıcı özelliği engel olur. Hızlı soğutma klinkerin öğütülebilirliğini iyileştirir ve çimento ile reaksiyona girme kabiliyetini optimize eder (Cembureau raporu,1997).

2.3.5 Çimentonun Öğütülmesi ve Depolanması

2.3.5.1 Klinkerin Depolanması

Klinker ve diğer çimento bileşenleri silolarda ve kapalı hangarlarda depolanır. Daha büyük stoklar toz oluşumuna karşı gereken önlemler alınırsa açık havada da depolanabilir. En yaygın klinker depolama sistemleri aşağıdakilerdir:

- Ağırlık boşaltmalı uzunlamasına depo (ömürü sınırlı stoklar),
- Ağırlık boşaltmalı yuvarlak depo (sınırlı ömürlü stoklar),
- Klinker depolama silosu (ömürü uzun stoklar, bazı silo seviyelerinde klinker silodan çıkartılırken zemin titreşimleri olabilir),
- Klinker depolama kubbesi (sınırlı ömürlü stoklar) (Cembureau raporu,1997).

2.3.5.2 Çimentonun Öğütülmesi

Portland çimentosu çimento klinkeri, alçı ve anhidrid gibi sülfatların birlikte öğütülmesi ile üretilir. Katkılı çimentolarda (kompoze çimentolar) granüle yüksek fırın cürufu, doğal veya sentetik lava, kalker veya atıl/inert dolgular gibi başka bileşenler de vardır. Bunlar klinker ile birlikte öğütülür veya ayrı olarak kurutulup öğütülmesi gerekebilir (öğütme tesisleri klinker üretim tesislerinden ayrı bir yerde bulunabilir).

Belirli bir alanda seçilen çimento öğütme süreci ve tesis konsepti üretilen çimento türüne bağlıdır. Üretilen çimento türünün bileşenlerinin öğütülebilirliği, nem oranı ve aşındırıcılığı özel önem arz eder.

Birçok değirmen kapalı devrede çalışır, yani öğütülen malzemeden çimentoyu gerekli

incelikte ayırabilir ve ham malzemeyi değirmene geri gönderebilir (Cembereau raporu,1997).

-Değirmene beslenen malzemenin ölçülmesi ve oranlanması : Değirmene verilen malzeme bileşenlerinin ağırlığa göre ölçülmesi ve oranlanmasının doğruluğu ve güvenilirliği öğütme sisteminin etkililiği bakımından çok önemlidir. Değirmene beslenen malzeme için ağırlıklı olarak kullanılan ölçüm ve oranlama aleti tartılı besleme bandıdır.

-Çimentonun öğütülmesi : Piyasa tarafından çeşitli çimento türleri talep edildiği için ağırlıklı olarak dinamik bir hava separatörü ile donatılmış olan son jenerasyon öğütme sistemleri kullanılır. Yaygın olarak kullanılan son işleme öğütme sistemleri aşağıdaki gibidir:

- Boru değirmen, kapalı devre (kuru değilse veya ön kurutmaya tabi tutulmadıysa sınırlı miktarda mineral eklenebilir),
- Dikey valsli değirmen (kurutma kapasitesinden dolayı yüksek oranda mineral eklemesi için uygundur, minerallerin ayrı olarak öğütülmesinde en uygun yöntemdir),
- Valsli pres (kuru değilse veya ön kurutmaya tabi tutulmadıysa sınırlı miktarda mineral eklenebilir).

Diğer son öğütme sistemleri aşağıdaki gibidir:

- Boru değirmen, açık devrede boşaltma çıkışı,
- Boru değirmen, mekanik hava separatörü veya daha eski jenerasyondan kalma siklonlu hava separatörü olan kapalı devrede boşaltma çıkışı,
- Yatay valsli değirmen (Cembereau raporu,1997).

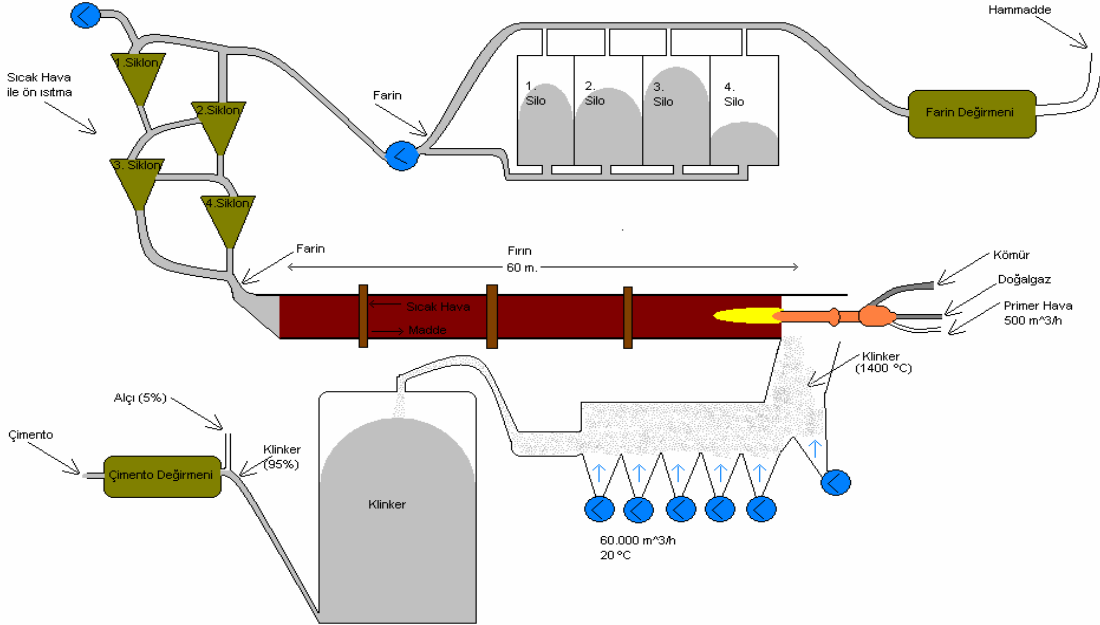
2.3.5.3 Çimentonun Depolanması

Çimentonun depo silolarına taşınması için gerek havalı gerekse mekanik taşıyıcı sistemler kullanılabilir. Mekanik sistemlerin normalde yatırım maliyeti daha büyüktür, ancak işletme maliyeti pnömatik taşımaya göre daha düşüktür. Pnömatik veya zincirli kova elevatörlü burgulu/zincirli taşıyıcılardan oluşan bir kombinasyon bugün en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemidir. Farklı çimentolar silolarda farklı şekillerde depolanır. Çimentonun depolanması için farklı silo çeşitleri gereklidir. Ancak yeni silolar birden fazla çimento çeşidinin aynı silo içerisinde depolanmasına imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Bugün çimento deposu olarak kullanılan silo konfigürasyonu aşağıda verilmiştir:

- Boşaltma hunisi olan tek hücreli silo,
- Merkezi konili tek hücreli silo,
- Çok hücreli silo (Cembereau raporu,1997) .

2.3.6 Ambalajlama ve Sevk

Çimento silolardan dökme olarak doğrudan karayolu veya demiryolu (veya gemi) tankerlerine veya torba/çuval doldurma istasyonuna transfer edilir. Şekil 2.6 Akçansa A.Ş 'nin çimento üretim akım şeması ve Şekil 2.7'de satışa sunulması görülmektedir.



Şekil 2.6 Çimento üretim akım şeması (Akçansa A.Ş)

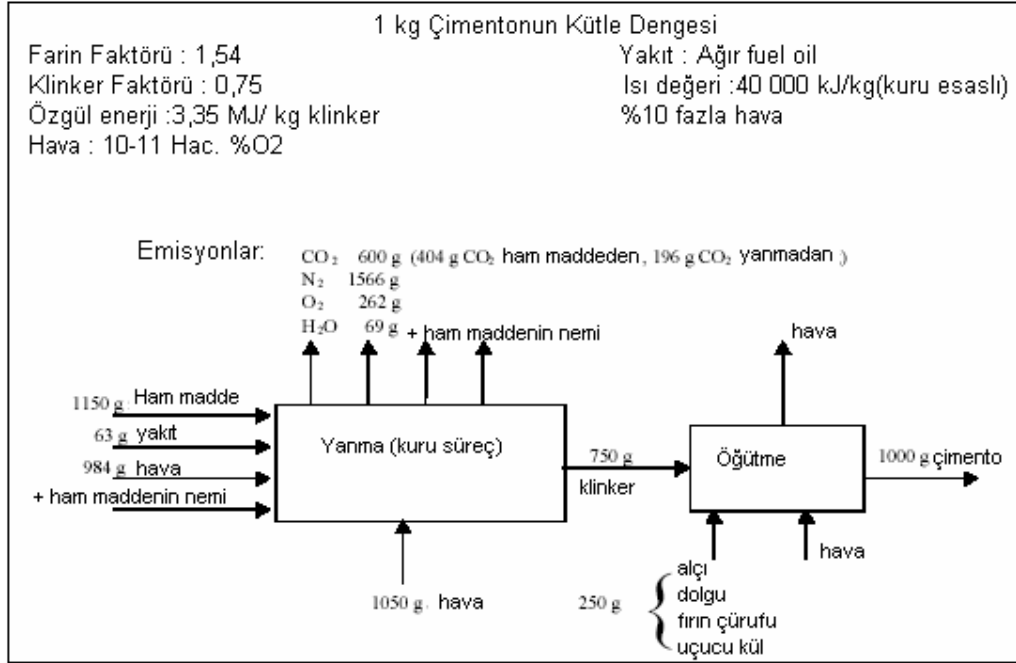


Şekil 2.7 Dökme ve paket halinde çimento (Akçansa A.Ş)

2.4 Mevcut Tüketim ve Emisyon Düzeyleri

2.4.1 Ham Madde Tüketimi

Çimento üretim sürecinde çok fazla miktarlarda ham madde tüketilir. Yakıt olarak ağır fuel oil kullanan bir kuru süreç fırınında 1 kg çimento üretiminin kütle dengesi Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 1kg çimento üretiminde kütle dengesi (Cembureau raporu,1997)

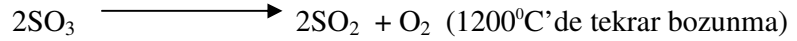
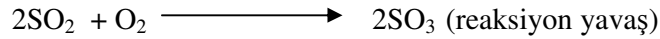
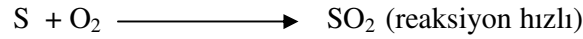
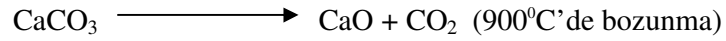
2.4.2 Enerji Kullanımı

Çimento imalatında enerji ağırlıklı olarak fırın yakıtı için kullanılır. En çok elektrik kullanan birimler toplam elektrik enerjisinin % 80’inden fazlasını tüketen değirmenler (son öğütme ve ham öğütme) ve çıkış gazı fanlarıdır (fırın, ham malzeme değirmeni ve çimento değirmeni). Yakıt ve elektriğin ortalama enerji maliyeti bir ton çimento üretiminin toplam maliyetinin %50’si kadardır. Elektrik enerjisi bu toplam enerji gereksinimin yaklaşık %20’si kadardır (Cembureau raporu,1997) .

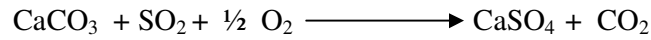
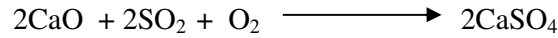
2.4.3 Emisyonlar

Çimento üretimi ile ilgili en önemli çevresel sorunlar atmosfere verilen kirletici gaz emisyonlarıdır. Büyük miktarlarda oluşan emisyonlar azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x) ve tozdur. Tesiste oluşan atıksu genelde yüzeyden akıtma ve soğutma suyu ile sınırlıdır buda su kirliliği açısından önemli bir etkiye sahip değildir. Ancak; yakıtların depo edildiği açık alanlarda ve yüklenip boşaltılması sırasında meydana gelen atıksu, toprak ve yeraltı suyu kirlenmesi açısından potansiyel bir kirletici kaynağıdır.

Çimento üretimi sırasında, kullanılan kireçtaşının (CaCO_3) 900°C 'de bozunması ve yakıtın yanması ile yanma ürünleri oluşur ;



SO_2 proses esnasında hammaddedeki CaO ve CaCO_3 ile reaksiyona girerek mamulün bünyesinde bağlanır;



Bu reaksiyonun verimliliği %100'e yakındır. Dolayısı ile çimento fabrikalarından çevreye yayılan SO_2 ilgili yönetmeliklerce verilen emisyon sınır değerlerini aşmaz. Bu özellik çimento üretiminde yüksek kükürt ve kül muhtevalı kömürlerin kullanımına olanak verir (Cembureau raporu,1999).

İzlenmesi gereken diğer emisyonlar karbonmonoksit, (CO), uçucu organik bileşikler (VOC), poliklorinat dibenzodioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF), ağır metallerdir. Sonuç olarak çimento üretiminden kaynaklanan emisyonlar maddeler halinde sıralanırsa:

- Azot oksitler (NO_x),
- Kükürt oksitler (SO_2 , SO_3)
- Toz,
- Karbon monoksit (CO),
- Uçucu organik bileşikler (VOC),

- Poliklorlu dibenzodiyoksinler (PCDD'ler) ve dibenzofuranlar (PCDF'ler),
- Ağır metaller,
- HF,
- HCl.

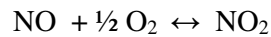
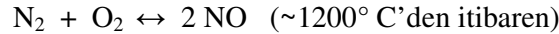
2.4.3.1 Azot oksitler

Çimento fabrikalarından kaynaklanan azot oksitler (NO_x), hava kirliliği bakımından büyük önem arz eder. NO (renksiz, toksik) ve NO_2 (kırmızı-kahverenkli, toksik) çimento fırınları çıkış gazlarında en fazla bulunan azot oksitleridir ($\text{NO} > \%90$). NO_x üretiminin iki ana kaynağı vardır:

- Isıl NO_x : yanma havasındaki azotun oksijenle reaksiyona geçmesi,
- Yakıt NO_x : kimyasal olarak yakıtta bulunan azotun havadaki oksijenle reaksiyona geçmesi.

Isıl NO_x 1200°C 'nin üzerinde yanma havasında azot ile oksijen moleküllerinin reaksiyona geçmesi sonucu oluşur. Isıl NO_x fırının pişirme bölgesinde ortaya çıkar. Pişirme bölgesinde oluşan ısı NO_x miktarı gerek pişirme bölgesi sıcaklığı gerekse oksijen muhtevasına bağlıdır (hava fazlalığı faktörü). Isıl NO_x için reaksiyon oranı artan sıcaklıkla artış gösterir. Bu nedenle daha sıcak pişirme bölgesine ihtiyaç duyan pişirilmesi zor olan karışımları işleyen fırınlar, daha kolay pişirilen karışımları işleyen fırınlardan daha fazla NO_x üretmeye meyilli olur. Reaksiyona girme oranı, artan oksijen içeriğiyle birlikte de artar (hava fazlalığı faktörü).

Yakıtta NO_x ise yakıtta bulunan azotun yanmasıyla oluşur. Yakıttaki azot oksijenle reaksiyona geçer. Bu reaksiyonlar geri dönüşümlü reaksiyonlar olup, denge konsantrasyonları sıcaklık ve kimyasal kompozisyona bağlıdır.



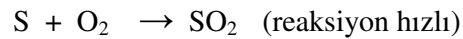
Yüksek sıcaklıklarda, azot gazıyla oksijen reaksiyona girerek NO , NO havanın oksijeniyle yükseltgenerek NO_2 haline dönüşür. Ancak NO_2 yüksek sıcaklıklarda dayanıklı değildir ve hemen parçalanarak oksijen ve NO gazına indirgenir. Yüksek sıcaklıklarda meydana gelen NO gazı kapalı sistemde yavaş yavaş soğutulursa, bir dengeye göre parçalanır, azot ve oksijen gazları meydana gelir. Eğer ani olarak soğutulursa, sabitleşir (yani; ayrışmaya vakit bulamaz) ve %2-3 kadarı NO_2 haline dönüşür.

Hava/yakıt oranının iyi ayarlanması NO_x 'lerin oluşumunu azaltır. Ancak buradaki hava atmosferdeki gibi %21 oksijen ihtiva eden hava değil, inert bir gazla (baca gazıyla) seyreltilmiş ve içinde oksijen yüzdesi düşürülmüş bir havadır. Böyle bir hava normal hava içine %15-20 oranında baca gazı enjekte edilerek elde edilir. Yakıcı karışım içindeki oksijen yüzdesi düşürülür. Böyle bir gaz, yakıtla karıştırılıp yakıldığı zaman ortamın sıcaklığı yükselmez ve dolayısıyla CO meydana gelmez. Onun yerine CO_2 meydana gelir ve yanma tam olur. Zira yüksek sıcaklıklarda denge CO ve NO lehinedir. Yanma tam olduğu için ortamda oksijen kalmaz, oksijen kalmayınca da NO gazı dolayısıyla NO_2 teşekkül etmez.

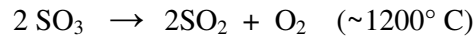
Sıcaklıkların ve oksijen içeriğinin (hava/yakıt oranı) yanında NO_x oluşumu alevin biçimi ve sıcaklığı, yanma odasının geometrisi, yakıtın azot muhtevası, nem mevcudiyeti, mevcut reaksiyon zamanı ve brülör tasarımına da bağlıdır (Cembereau raporu,1997).

2.4.3.2 Kükürt Oksitler

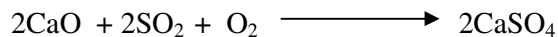
Çimento fabrikasında oluşan SO_2 emisyonları, hammaddenin ve kullanılan yakıtın kükürt muhtevasına bağlıdır. Az veya sıfır uçucu sülfür muhtevası olan ham maddeleri işleyen fırınların SO_2 emisyonları ile ilgili pek sorunu yoktur. Emisyon azaltılmadan da bazı fırınların baca gazlarının SO_2 emisyon konsantrasyonu 10 mg/m^3 'den düşüktür. SO_2 emisyonun konsantrasyonu, kullanılan ham maddenin uçucu sülfür muhtevası ve kullanılan yakıtın ihtiva ettiği kükürt oranı arttıkça artar. Hammadde ve yakıtın bünyesindeki kükürt ortamdaki oksijenle reaksiyona girer ve SO_2 ile SO_3 meydana gelir. Kükürt oksitlerin kısaca meydana gelişleri;

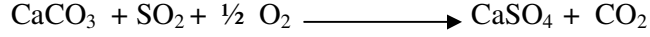


şeklinde gösterilebilir. Bunlardan SO_2 oluşum hızı yüksek olmasına rağmen, SO_3 oluşum hızı çok yavaştır. Bundan dolayı kükürt oksitlerin arasında SO_3 payı %1-2 kadardır. Yüksek sıcaklıklarda;



haline dönüşür. Hammadde deki CaCO_3 yüksek sıcaklıkta;





reaksiyonlarını vermekte ve sonuçta katı parçacıklar halinde CaSO_4 meydana gelmektedir.

Organik sülfür veya pirit (FeS) içeren ham maddeler kullanıldığında SO_2 emisyonları yüksek olabilir. Düşük oranda SO_3 üretilmesine ve redüksiyon koşulları altında H_2S 'ün de belirebilmesine rağmen serbest kalan ana sülfür bileşiği SO_2 'dir (%99). Sülfid ve organik bileşikli sülfür olarak ortaya çıkan ham maddenin içindeki sülfür, buharlaşır ve % 30'u veya daha fazlası ön ısıtma sürecinin ilk aşamasında salınabilir. Buradan çıkan gazlar doğrudan atmosfere veya ham madde değirmeni çalışır vaziyetteyse değirmene geri beslenir. Ham madde değirmeninde SO_2 'in %20-70'i ince öğütülmüş ham maddeler tarafından tutulur. Böylece ham madde değirmeninin SO_2 emisyonunu düşürücü özelliği vardır.

Ön ısıtma fırınlarına beslenen yakıttaki sülfür, sinterleme bölgesi, kireçleme bölgesi ve ön ısıtıcının alkali ortamından dolayı önemli ölçüde SO_2 emisyonlarına yol açmayacaktır. Bu sülfür klinker içerisinde tutulur. Oksijen fazlalığı (%1-3 arası O_2 fırında yeterli çimento ürün kalitesi temini için bırakılır) salınan her sülfid bileşiğini SO_2 'e oksitler.

Sülfürün çoğu klinkerde sülfat olarak kalmasına rağmen, yüksek uçucu sülfat muhtevası olan ham maddeler SO_2 emisyonlarını artırır (Cembureau raporu, 1997).

2.4.3.3 Toz

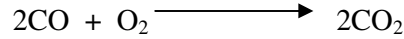
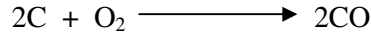
Özellikle fırın bacalarından çıkan toz emisyonu, çimento imalatında çevreye yayılan önemli partikül kaynağıdır. Ana toz kaynakları fırınlar, ham madde değirmenleri, klinker soğutucuları ve çimento değirmenleridir. Tüm bu süreçlerde hammaddenin kendisinden ve kömür kullanımından kaynaklanan büyük toz partikülleri oluşur. Kömür partikülleri içinde hem organik, hem de inorganik maddeler bulunur. Kömürdeki inorganik maddelerin çok büyük bir kısmı cüruf halindedir (cüruflar başlıca alüminyum silikattır). Ancak son zamanlarda geliştirilen toz kömür yakma fırınlarında yakılan kömürdeki inorganik maddelerin, yaklaşık %80'i baca tozu olarak atmosfere verilir.

Kaçak toz emisyonları malzemelerin ve katı atıkların depolanması ve yüklenip boşaltılması sırasında ve yolların yüzeyinden kaynaklanabilir. Klinker/çimentonun ambalajlanması ve sevki sırasında da partiküller salınabilir. Kaçak emisyonların etkisi yerel düzeyde toz seviyesinin artması şeklinde olurken, süreç sırasında salınan tozlar (bacadan) çok daha geniş bir alanın hava kalitesi üzerinde etkili olmaktadır (Cembureau raporu, 1997).

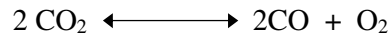
2.4.3.4 Karbon monoksit (CO)

CO emisyonu, hammadde içindeki organik madde muhtevası ile fırındaki yakıtın kötü yanmasından (oksijen eksikliği) meydana gelir. Ham madde içeriğine bağlı olarak kg klinker başına 1.5 ila 6 g arasında organik karbon doğal ham madde ile birlikte fırın sürecine girer. Kaynağı farklı olan farinin kullanıldığı denemelerde, %3 oksijen varlığında ham madde içindeki organik bileşiklerin %85-95'inin CO₂'e dönüştüğünü göstermiştir, ancak aynı zamanda bunların %5-15'i CO'ye dönüşmüştür. Uçucu organik karbon bileşiklerin (VOC) salınımı bu koşullar altında % 1'in çok altında olmuştur (Cembureau raporu, 1997).

Hammaddeden ve yakıttan gelen karbon (C) ortamdaki oksijenle reaksiyona girer ve ;



CO ile CO₂ oluşur. CO oluşum reaksiyon hızı CO₂ oluşum reaksiyon hızından 10 kat daha büyüktür. Bu nedenle yanmada önce CO, onun yanmasıyla CO₂ meydana gelir. Buna göre ortamda ikinci reaksiyon için gerekli O₂ bulunmazsa, yanma tam olmaz ve CO emisyonu artar. Ayrıca fırın ünitesinde tam yanma olabilmesi için gerekli oksijen olduğu halde, sıcaklığın yüksek olması nedeniyle birinci reaksiyon cereyan eder, oksijen fazlası işe yaramaz. Hatta ortamda bulunan CO₂ bile yüksek sıcaklıklarda (~1750°C) ;



reaksiyonu gereğince CO ve O₂ 'e parçalanır.

2.4.3.5 Uçucu Organik Bileşikler

Genelde yanma sürecinde uçucu organik bileşiklerin (ve karbon monoksitin) oluşumu ortamdaki oksijen konsantrasyonuyla alakalıdır. Çimento fırınlarında normal sabit durum koşulları altında gazların fırında uzun süre kalmasından, yüksek sıcaklıktan ve oksijen fazlalığından dolayı emisyonlar düşük olacaktır. Konsantrasyonlar fırını çalıştırma veya döngünün bozulması esnasında artabilir. Bu olaylar değişen sıklıkta örneğin haftada bir veya iki kez veya iki üç ayda bir kez meydana gelebilir.

Uçucu organik bileşik (VOC) emisyonları, kademeli olarak giriş yapan hammadde ısındıkça sürecin ilk adımlarında (ön ısıtmada, ön kireçlemede) oluşabilir. Organik maddeler 400 ila 600°C arasında değişen sıcaklıklarda salınır. Çimento fırınlarından çıkan çıkış gazının VOC muhtevası tipik olarak 10 ila 100 mg/Nm³ arasındadır, ham maddenin özelliklerinden dolayı

emisyolların 500 mg/Nm³ kadar çıkması nadir görülen bir durumdur (Cembureau raporu, 1997).

2.4.3.6 Poliklorlu dibenzodioksin (PCDD) ve Dibenzofuran (PCDF)

Organik maddelere eklenen klor olarak yanma süreçlerinde poliklorlu dibenzodioksinlerin (PCDD) ve poliklorlu dibenzofuranların (PCDF) oluşmasına sebep olabilir. PCDD'ler ve PCDF'ler ham maddede yeterli miktarda klor ve hidrokarbon bulunması durumunda ön ısıtma sırasında/sonrasında ve baca gazı soğutma kulelerinde oluşabilir. Dioksin ve furanların gazın 450°C 'den 200°C 'ye soğutulması esnasında yeniden oluştuğu bilinmektedir. Bu nedenle gazların fırın sisteminden çıkarken söz konusu aralık boyunca hızlıca soğutulması önem arz eder.

2.4.3.7 Ağır Metaller ve Bileşikleri

Ham madde ve yakıtlar her zaman metal içerir. Metal bileşikleri metalin uçuculuğuna ve tuzlarına bağlı olarak üç sınıfa ayrılabilir:

- 1) Ateşe dayanıklı veya uçucu olmayan bileşikler olan veya içeren metaller: Ba, Be, Cr, As, Ni, V, Al, Ti, Ca, Fe Mn, Cu ve Ag,
- 2) Yarı uçucu bileşikler olan veya içeren metaller: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K ve Na,
- 3) Uçucu bileşikler olan veya içeren metaller: Hg ve Tl. (Hollanda raporu, 1997)

Bu metallerin fırınlama/pişirme sürecindeki davranışı uçuculuğuna bağlıdır. Uçucu olmayan metal bileşikler süreç içinde kalır ve çimento klinker yapısının bir parçası olarak fırından çıkar. Yarı uçucu metal bileşikleri fırın sisteminin daha soğuk bölgelerinde ham maddeler üstüne yoğunlaşmak üzere sinterleme sıcaklıklarında kısmen gaz halini alır. Bu durum çimento klinkeri vasıtasıyla girdi ve çıktı arasında dengenin kurulduğu ve korunduğu noktaya kadar devam eden fırın içi bir döngü/çevrim etkisine neden olur (Cembureau raporu).

Uçucu metal bileşikleri daha düşük sıcaklıklarda ham madde partikülleri üzerine yoğunlaşır ve fırının baca gazı ile birlikte dışarıya çıkmadıkları zaman iç veya dış döngüler sonucu dışarıya ulaşır. Talyum, cıva ve bileşikleri çok kolay uçar, kadmiyum, kurşun, selenyum ve bileşikleri ise daha zor uçar. Bu bileşikler kireçlenen besleme maddesi ile reaksiyona geçtiğinde veya kireçleme odasında, ön ısıtıcıda veya daha sonra kurutma tesisinde soğuk bölgelerde besleme maddesinin üzerine yoğunlaştığında kolay uçan metal bileşiklerinden oluşan bir iç döngü oluşur. Toz, yoğunlaşmış uçucu bileşiklerle birlikte toz separatörlerinde ayrıldığında ve farine geri verildiğinde metaller bir dış döngü oluşturur (Karlsruhe II, 1996).

Çimento üretiminden çıkan tozlar düşük miktarda arsenik (As), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), kurşun (Pb) ve talyum (Tl) ağır gibi metal bileşikleri içerebilir. Ağır metalle yüklü tozların en önemli kaynağı ön ısıtma, ön kireçleme, döner fırınlar ve klinker soğutucuları dahil fırın sistemidir. Ağır metal konsantrasyonları beslenen maddeye ve fırın sistemi içindeki yeniden sirkülasyona bağlıdır. Özellikle kömür ve atık yakıtların kullanılması süreç içindeki ağır metal girdisini arttırabilir. Fırın sistemine giren ağır metallerin uçuculuğun değişiklik göstermesinden ve yüksek sıcaklıktan dolayı çimento fırın sistemindeki sıcak gazlar gaz halinde ağır metal bileşikleri de içerir. Denge ile ilgili araştırmalar yüksek uçuculuk özelliğine sahip maddelerin klinker içinde fazla tutulmadığı için fırın sisteminde biriktiğini göstermiştir (Karlsruhe, 1996).

2.4.4 Atık

Klinker üretimi sırasında ortaya çıkan atık, farin hazırlanırken ham malzemeden uzaklaştırılan gereksiz taş ve kayadan ile baypas akışından ve bacadan temizlenen geri dönüştürülmeyen fırın tozundan ibarettir.

2.4.5 Gürültü

Çimento üretiminde kullanılan ağır makineler ve büyük fanlar gürültü kirliliğine ve titreşimlere yol açabilir. Özellikle zamanla yerleşim alanlarının içinde kalan çimento fabrikaları oluşan gürültü kirliliğini azaltıcı önlemler almalı ve daha iyi teknolojileri kullanmalıdırlar .

2.4.6 Koku

Koku emisyonları iyi işletilen bir tesiste çok az karşılaşılan bir sorun olarak ortaya çıkar. Ham malzeme, yanmayan ancak termik olarak parçalanan yanıcı/yanabilir bileşikler içerirse ön ısıtıcıda ısıtıldığında hidrokarbon emisyonları oluşur. Bu hidrokarbon emisyonu bacanın üzerinde “mavimsi bir pus” veya ince bir duman olarak belirir ve kötü hava şartlarında çimento fabrikası etrafında hoş olmayan kokulara yol açabilir. Sülfür içeren yakıtların yakılması ve/veya sülfür içeren ham maddelerin kullanılması koku emisyonlarına yol açabilir.

2.4.7 İzleme

Fırın sürecini kontrol etmek için aşağıdaki parametrelerin sürekli ölçülmesi gerekir :

1. Basınç
2. Sıcaklık
3. O₂ içeriği
4. NO_x
5. CO
6. SO₂
7. Toz .

Aşağıdaki maddelerin düzenli ve dönemsel olarak izlenmesi uygun olacaktır:

- Ağır metaller,
- TOC,
- HCl,
- HF,
- NH₃
- PCDD/F.

Aşağıdaki maddelerin özel işletim koşullarında ölçülmesi gerekebilir:

-BTX (benzen, toluen, ksilen)

-PAH (poliaromatik hidrokarbonlar)

-Diğer organik kirleticiler (örneğin klorobenzen, PCB (poliklorlu bifeniller) içeren vs).

Özellikle yüksek ağır metal içerikli atıklar ham madde veya yakıt olarak kullanılacaksa ağır metallerin ölçülmesi çok önemlidir (Cembereau raporu,1997).

2.5 Baca Gazı Emisyon Kontrol Teknikleri

Klinkerleme sürecinin optimizasyonu genelde süreç parametrelerinin sabitleştirilmesi yoluyla ısı tüketimini azaltmak, klinkerin kalitesini iyileştirmek ve (ateşe dayanıklı kaplama gibi) ekipmanın ömrünü arttırmak amacıyla yapılır. NO_x , SO_2 ve toz gibi emisyonların azaltılması bu optimizasyonun ikinci derecedeki etkileridir. Süreç parametrelerinin, tasarım değerlerine yakın, sabit ve istikrarlı işletimi fırın emisyonları için faydalıdır. Optimizasyon ham malzemenin homojenizasyonu, düzgün kömür dozajı ve klinker soğutmanın iyileştirilmesi gibi önlemleri de kapsar. İyi bir huni, taşıyıcı konveyör ve gravimetrik katı yakıt besleme sistemi gibi besleyici tasarımıyla katı yakıt besleme oranının sabit kalmasını sağlamak önemlidir.

NO_x emisyonu, alev ve pişirme sıcaklıkları düşürülerek ve yakıt tüketimi azaltılarak azaltılır. NO_x kontrolü için oksijen miktarının (hava fazlalığının) kontrol edilmesi önemlidir. Genelde çimento fırınının arka çıkışındaki oksijen miktarı (fazla hava) ne kadar düşükse, NO_x o kadar düşük olur. Ancak daha düşük oksijen düzeylerinde CO ve SO_2 artışı söz konusu olduğu için bunun dengelenmesi gerekir (UK IPC Note, 1996).

SO_2 emisyonu, düşük alev ve pişirme sıcaklıkları, fırının sabit/istikrarlı çalışması, fırın içindeki okside edici ortam nedeniyle SO_2 'in serbest hale geçmesinin azalmasıyla kendini gösterir. Fırın optimizasyonunun SO_2 emisyonlarına etkisi uzun yaş ve kuru fırınlarda önemli ölçüdedir ve %50'ye varan oranlarda SO_2 düşüşleri görülmüştür. Fırın optimizasyonu tüm fırınlarda uygulanabilir ve fırın dozaj sistemleri, homojenizasyon siloları, ön karışım/harmanlama yatakları/tabakaları ve daha yeni klinker soğutucularının kurulmasına kadar uzanan birçok unsuru kapsayabilir (Cembureau raporu, 1997).

2.5.1 NO_x Emisyonu Kontrol Teknikleri

Çimento fabrikalarında alınan süreç kontrol önlemleri, iyileştirilmiş ateşleme tekniği, ve en uygun yakıt seçimi gibi genel birincil optimizasyon önlemleri ile NO_x emisyonunda azaltma kaydedilmiştir. Çizelge 2.4'de çimento üretimi sırasında oluşan NO_x emisyonlarını düşürücü etkilere sahip teknikler verilmiştir.

Çizelge 2.4 NO_x emisyonunu azaltma teknikleri

Teknik	Fırın Sisteminde Uygulanabilirlik	Azaltmada Etkinlik
Alev soğutma	Tüm	%0-50
Düşük NO _x brülörü	Tüm	%0-30
Aşamalı yanma	Ön Kireçleme	%10-50
	Ön Isıtma	
Fırın ortasından ateşleme	Uzun	%20-40
Mineralleştirilmiş klinker	Hepsi	%10-15

-Alevin soğutulması : Yakıtı veya doğrudan aleve su eklenmesi sıcaklığı düşürür ve hidroksil radikallerinin konsantrasyonunu arttırır. Bu durum pişirme bölgesinde NO_x redüksiyonuna olumlu etki edebilir; redüksiyonun etkinliği %0-50 olarak ölçülmüştür. Fırının toplam CO₂ emisyonu ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olan, %0.1-1.5 civarında ilave CO₂ emisyon oranlarına yol açan suyu buharlaştırmak için ek ısı gerekmektedir. Su püskürtme fırının çalışmasında sorunlarına yol açabilir (Cembureau raporu,1997).

-Düşük NO_x brülörü : Düşük NO_x brülörleri tasarım detaylarında farklılık gösterir, ancak temel olarak eşmerkezli tüplerden fırının içine kömür (yakıt) ve hava püskürtülür. Primer hava oranı stokiometrik yanma için gerekli olan havanın %6-10'u kadardır (geleneksel brülörlerde genelde %20-25).

Bu brülör tasarımının amacı özellikle yakıttaki uçucu bileşikleri oksijensiz bir atmosferde erken ateşlemek ve NO_x oluşumunu azaltmaktır. Başarılı bir şekilde kurulduğunda %30'a varan NO_x emisyonlarında azalma elde edilebilir (Int.Cem.Rev.,Ekim/97). Düşük NO_x brülörleri gerek ana fırında gerekse ön kireçleme ocağında ve tüm döner fırınlara uygulanabilir ve ölçülen emisyon düzeyleri 600-1000 mg/Nm³'dür (Hollanda raporu, 1997).

-Aşamalı yanma : Bu teknik özel tasarlanmış ön kireçleme ocaklarında ve birkaç yanma aşaması olan çimento fırınlarında uygulanır. Birinci yanma aşaması; döner fırında, klinker pişirme süreci için optimum koşullar altında meydana gelir. İkinci yanma aşaması; sinterleme bölgesinde, üretilen azot oksitlerin bir kısmının çözülmesine/ayrışmasına yol açan redüksiyon atmosferinin oluşmasını sağlayan, fırın ağzında bulunan ikinci bir brülörde meydana gelir. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık NO_x'i azot gazına dönüştürmek için çok uygundur.

Aşamalı ateşleme teknolojisi genelde sadece ön kireçleme ocağı olan fırınlarda kullanılabilir. Ön kireçleme ocağı olmayan siklonlu ön ısıtma sistemlerinde önemli ölçüde tesis değişikliklerine ihtiyaç vardır (ZKG, 10/1996).

Bazı iyi optimize edilmiş tesisler çok aşamalı yanma ile 500 mg NO_x/Nm³'ün altında emisyon düzeylerine ulaşmışlardır. Farklı aşamalı yanma sistemlerine sahip tesislerde yapılan ölçümler sonucunda %50 'ye kadar varan oranlarda azalış gösteren NO_x emisyonları elde edilmiştir. Ancak bir yandan NO_x emisyonlarını düşürürken diğer taraftan CO emisyonlarının artmasına, dolayısıyla aradaki dengenin iyi sağlanmasına dikkat edilmelidir (ZKG, 10/1996).

-Fırın ortasından ateşleme : Uzun yaş ve kuru fırınlarda fırın ortasından yığın halindeki yakıt ile ateşleme yapılması sonucu oluşan redüksiyon bölgesi, NO_x emisyonlarını %20-40 arası azaltabilir. Uzun fırınların çıkışına yakın bölgelerde genelde 900-1000°C sıcaklık aralığına erişebilmek için atık yakıtların (örneğin araç lastikleri) kullanımında bazı tesislerde fırın ortasından ateşleme sistemleri kurulmuştur (Cembureau raporu, 1997).

-Mineralleştirilmiş/mineralize klinker: Mineralleştiricilerin ham maddeye eklenmesi klinker kalitesini ayarlamak ve sinterleme bölgesinin sıcaklığını azaltmak için kullanılan bir teknolojidir. Pişirme sıcaklığı düşürülerek NO_x oluşumu engellenmiş olur. NO_x oluşumunda %10 ila 15 arasında azalma olabilir (Cement AB, 1994). Kalsiyum flüorür bir mineralleştirici örneğidir, ancak aşırı oranlarda eklenmesi HF salınımlarını arttırabilir.

2.5.2 SO₂ Emisyonu Kontrol Teknikleri

SO₂ kontrolünde ilk adım düzgün fırın işletimi, oksijen konsantrasyonu seçimi, ham malzeme ve yakıt seçimi gibi birincil süreç optimizasyon önlemleridir. Uzun fırınların oksijen muhtevasını arttırmak SO₂ düzeyini azaltır ve NO_x düzeyini artırır. Fırın arka çıkışındaki oksijen içeriği ayarlanarak NO_x/ SO₂/CO denge optimizasyonu ile baca gazı emisyonları korunabilir. Bu önlemlerin yeterli olmaması durumunda fırın çıkışında ek önlemler alınabilir. Çizelge 2.5'de çimento imalatından kaynaklanan SO₂ emisyonları üzerinde olumlu, yani azaltıcı etkisi olan tekniklerin bir özeti verilmiştir.

Çizelge 2.5 SO₂ emisyonlarını azaltıcı teknikler

Teknik	Fırın Sisteminde Uygulanabilirlik	Azaltmada Etkinlik
Abzorban eki	Tüm	%60-80
Kuru yıkayıcılar	Kuru	%90'a kadar
Sulu yıkayıcılar	Tüm	> %90
Aktif karbon	Kuru	%95'e kadar

-Abzorban eki : Söndürülmüş kireç (Ca(OH)_2), sönmemiş kireç (CaO) veya yüksek CaO içerikli aktive uçucu kül gibi abzorbanların fırının çıkış gazına eklenmesi SO_2 'in bir kısmını abzorblayabilir. Abzorban püskürtmesi kuru veya yaş süreçlere de uygulanabilir (Hollanda raporu, 1997). Yapılan çalışmalarda ön ısıtılmalı fırın sistemlerinde, söndürülmüş kireci doğrudan çıkış gazına püskürtmenin, söndürülmüş kirecin fırın beslemesine eklenmesinden daha az etkili olduğu görülmüştür. SO_2 kireçle CaSO_3 ve CaSO_4 'a dönüşecek şekilde reaksiyona girer, bunun üzerine ham malzemelerle birlikte fırına girer ve klinkerin bir yapıtaşını oluşturur. Bu teknik orta düzeyde SO_2 konsantrasyonu olan gaz akımlarını temizlemek için uygun olup, 400°C 'nin üstünde bir sıcaklıkta uygulanabilir. Yüksek yüzeyel alanı ve gözenekliliği olan Ca(OH)_2 bazlı bir abzorbanın kullanılması tavsiye edilir. Ön ısıtılmalı fırın sistemlerinde Ca(OH)_2 abzorban püskürtmesi ile SO_2 emisyonunda %60-80'lik bir azalma sağlanır (Hollanda raporu, 1997).

-Kuru yıkayıcı : Çok yüksek (1500 mg/Nm^3 'ün üstünde) SO_2 emisyonlarını azaltmak için ayrı bir yıkayıcının olması gerekir. Bir kuru yıkayıcıda söndürülmüş kireç ve ham malzeme karışımından oluşan akışkan bir yatak oluşturmak için venturi reaktör kolonu kullanır.

İlk SO_2 konsantrasyonu 3000 mg/m^3 olduğunda 300 mg/m^3 SO_2 emisyonuna karşılık gelen %90'lık bir azalma elde edilebilir. Bununla birlikte kuru yıkayıcı HCl ve HF emisyonlarını da düşürür. Kuru yıkayıcılar tüm kuru fırın türlerine uygulanabilir (Cembureau raporu, 1997).

-Sulu yıkayıcı : Sulu yıkayıcı, kömürün kullanıldığı çimento fabrikalarında baca gazı desülfürizasyonunda en yaygın olarak kullanılan tekniktir. SO_x püskürtme kulesinden püskürtülen bir sıvı/çimento harcı tarafından emilir veya sıvı/çimento harcı içerisine hava kabarcıkları oluşturularak alınır. Abzorban kalsiyum karbonat, hidroksit veya oksit olabilir. Çimento harcı, çıkış gazına doğru karşı akımdan püskürtülür ve oluşan sülfetin hava ile oksitleşerek sülfata dönüştüğü ve kalsiyum sülfat dihidrat yıkayıcının alt bölümünde bulunan

bir geri dönüştürme tankında toplanır. Dihidrat ayrılır, çimento öğütülmesinde alçı olarak kullanılır, su ise yıkayıcıya geri gönderilir. SO₂ emisyonundaki azalma %90'dan daha fazla olabilir (Cembureau raporu, 1997).

-Aktif karbon : SO₂, organik bileşikler, ağır metaller, NH₃, NH₄ bileşikleri, HCl, HF ve toz gibi kirleticiler (elektrik çöktürücüden veya bez filtresinden sonra) aktif karbon üzerine emme ile baca gazından temizlenebilir (Cembureau raporu, 1997).

İsviçre'de ön ısıtmalı, dört aşamalı siklonlu fırın ve 2000 ton/gün klinker kapasiteli bir çimento tesisinde kurulan aktif karbon filtresi sonrasında ölçümler SO₂, ağır metal ve PCDD/F 'larla ilgili olarak yüksek arıtma etkililiği olduğunu göstermiştir. 100 günlük bir denemede filtre girişindeki SO₂ konsantrasyonları 50-600 mg/m³ arasında değişirken, çıkış konsantrasyonları her zaman 50mg/m³'ün önemli ölçüde altında kalmıştır. Toz konsantrasyonları da 30 mg/m³'ten 10 mg/m³'ün önemli ölçüde altına düşmüştür (Cembureau raporu, 1997).

2.5.3 Toz Emisyonu Kontrol Teknikleri

Çimento fabrikalarından kaynaklanan toz emisyonlarının üç ana nokta kaynağı vardır. Bunlar fırın sistemleri, klinker soğutucuları ve çimento değirmenleridir. Bu üç kaynak için bugün elektrostatik çöktürücüler ve bez filtreler kullanılmaktadır. Maddelerin yüklenip boşlatılması ve depolanması, ham madde ve yakıtların kırılması ve öğütülmesi sırasında oluşan kaçak toz salınımı da önemlidir. Çizelge 2.6'da toz kontrol teknikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6 Toz emisyonunu kontrol teknikleri

Teknik	Uygulanabilirlik	Toz Emisyonu mg/m ³
Elektrostatik çöktürücüler	Tüm fırın sistemleri	5-50
	Klinker soğutucuları,	5-50
	Çimento değirmenleri	5-50
Bez filtreler	Tüm fırın sistemleri	5-50
	Klinker soğutucuları,	5-50
	Çimento değirmenleri	5-50

Normalde günlük ortalamalar, kuru gaz, 273 K, 101.3 kPa ve %10 O₂ referans alınmıştır.

Elektrostatik çöktürücü ve bez filtrelerin hem avantajı hem dezavantajı vardır. Her iki türün tozu temizleme etkililiği fırın normal çalışırken çok yüksektir. Yüksek CO konsantrasyonu, fırın çalıştırma, fırın kapatma veya kombine çalıştırmadan (ham malzeme değirmeni çalışır durumdayken) doğrudan çalıştırmaya (ham malzeme değirmeni kapalı durumdayken) geçmek gibi özel koşullarda elektrostatik çöktürücülerin etkililiği önemli ölçüde azalabilirken bez filtreler etkililiklerini korur. Bu nedenle bez filtreler iyi bakım yapılırsa ve filtre torbaları periyodik olarak değiştirilirse daha üstün etkililiğe sahiptir. Bez filtrelerin dezavantajı kullanılmış filtre torbaları, atık olduğu için ulusal düzenlemelere göre bertaraf edilmeleri gerektiğidir (Cembureau raporu, 1997).

-Elektrostatik çöktürücüler : Elektrostatik çöktürücüler, hava akımındaki partikül maddelerinin hareket ettiği yol üzerinde elektrostatik bir alan oluşturur. Partiküller negatif yüklerle dolar ve pozitif yüklü toplama plakalarına doğru göç eder. Toplama plakaları periyodik olarak sallanır veya titreşir ve maddeleri yerinden oynatıp alttaki toplama hunilerine düşmesini sağlar. Elektrostatik çöktürücülerin yüksek sıcaklık koşullarında (400°C'ye kadar) ve nemde çalışabilme özelliği vardır.

Verimliliği etkileyen faktörler baca gazının hızı, elektrik alanının kuvveti, partiküllerin yük oranı, SO₂ konsantrasyonu, nem içeriği ve elektrotların biçimi ve bulunduğu yerdir. Performans özellikle toplama plakaları üzerinde yalıtım tabakası oluşturan ve elektrik alanını küçülten malzemenin birikmesi sonucu bozulabilir. Bu durumun sebebi alkali metal klorürleri ve sülfatları oluşturan yüksek klor ve sülfür içerikli maddelerin fırın sürecine girmesidir. Alkali metal klorürleri çok ince bir toz oluşturur (0.1-1 µm) ve yüksek özgül toz dirençliliğe sahiptir, elektrotlar üzerinde yalıtım tabakaları oluşturur ve tozun temizlenmesinde sorunlara yol açar. Yüksek toz dayanıklılığı ile ilgili sorunlar buharlaştırma soğutucularına su püskürtmekle çözülebilir (Karlsruhe II, 1996).

Elektrostatik filtreler, iyi bir havalandırma ve elektrostatik çöktürücü temizleme sistemi ile birlikte emisyon düzeylerini ortalama ayda (kuru gaz, 273 K, %10 O₂) 5-15 mg/m³'e düşürebilir (Cembureau raporu, 1997).

-Bez filtreler : Bez filtrelerin temel prensibi gazı geçiren, ancak tozu tutan bir kumaş zarının kullanılmasıdır. Toz öncelikle hem yüzey dokularına hem kumaşın derinliklerine çöker, ancak yüzey tabakası biriktiğinde tozun kendisi filtre görevini görür. Süreçte kullanılacak olan gaz, torbanın içinden dışına doğru veya dışından içine doğru akabilir. Toz tabakası kalınlaştıkça gaz akışına karşı direnç de artar. Filtre ortamını periyodik olarak temizlemek filtre çapındaki

basınç düşüşünü kontrol etmek bakımından gereklidir. En yaygın temizleme yöntemleri ters hava akımı, mekanik sallama, titreşim ve basınçlı hava darbesidir. Torba işlevini yitirmesi durumunda, bez filtresinde bireysel olarak izole edilebilen birkaç tane bölme olmalıdır; bir bölme devre dışı kaldığında geriye kalan bölmeler mevcut performansı korumalıdır. Her bölmede ilgili bölmenin bakım gereksinimi olup olmadığını saptamak üzere ‘torba patlama detektörlerinin’ bulunması gerekir.

Bez filtre kullanımı toz emisyonlarını 5 mg/m^3 ’ün altına düşürebilir (kuru gazı, 273 K, % 10 O_2), (Cembureau raporu, 1997).

2.5.3.1 Kaçak Tozun Azaltılması

Kaçak toz ham madde, yakıt ve klinkerin yüklenmesi, boşaltılması ve depolanmasından veya imalat tesisindeki araç trafiğinden kaynaklanabilir. Olası kaçak toz kaynaklarını minimize etmek için basit ve doğrusal bir tesis sahası yapısı gerekir. Tesislerin düzgün ve eksiksiz bakımı sonucu hava sızıntı ve dökülme noktaları azaltılarak kaçak toz dolaylı olarak azalır. Otomatik cihazların ve kontrol sistemlerinin kullanılması kaçak tozun azaltılmasını, sorunsuz ve sürekli çalışma sağlar (Cembureau raporu, 1997). Aşağıda kaçak tozu azaltacak bazı teknikler verilmiştir:

-Açık havada bulunan yığılı rüzgardan korumak : Tozlu malzemelerin açık havada yığın halinde depolanmasından kaçınılmalı, ancak söz konusu olduğunda uygun tasarımı olan rüzgar bariyerleri kullanarak kaçak tozu azaltmak mümkündür.

-Su püskürtme: Toz kaynağı tespit edildiğinde buraya bir su spreyi püskürtme sistemi uygulanabilir. Toz partiküllerini nemlendirmek tozları çökeltir.

-Yol kaplama, yol ıslatma ve temizleme : Kamyonların geçtiği alanlar mümkünse kaplanmalı ve yüzeyleri mümkün olduğunca temiz tutulmalıdır. Yollar ıslatılarak özellikle kuru havada toz emisyonları azaltılabilir.

-Hareketli ve sabit otomatik süpürme : Bakım faaliyetleri sırasında veya taşıyıcı sistemlerle ilgili sorunlar çıktığında malzemeler dökülebilir. Döküntüyü temizlerken kaçak toz oluşumunu engellemek için otomatik süpürme sistemleri kullanılabilir.

-Havalandırma ve bez filtrelerde toplama : mümkünse tüm malzemeler negatif basınçlı kapalı sistemlerde yüklenip boşaltılmalıdır/taşınmalıdır. Buradaki emme havası atmosfere verilmeden önce bez filtresi ile tozdan arındırılabilir.

-Otomatik yükleme/boşaltma sistemi olan kapalı depolar : Klinker siloları ve kapalı tam otomatik ham malzeme depoları, ham malzeme ve klinker stoklarında oluşan toz sorununa en etkili çözümdür. Bu depolarda, yükleme ve boşaltma sırasında kaçak toz oluşumunu engellemek için bir veya daha fazla bez filtre kullanılabilir (Cembureau raporu, 1997).

3. ÇİMENTO TESİSLERİNDE KULLANILAN YAKIT TÜRLERİ

Bünyelerinde yeterli miktarlarda organik bileşikler bulunan, doğal halde ve bazı değişmelerden sonra yakacak olarak kullanılabilen kayalar mineral yakıtlar denmektedir. Mineral yakıtlar organik kökenli olup, bileşimlerinde belirli oranlarda C, H, O ve N bulunmaktadır. Mineral yakıtlar, kömürler, bitümlü şistler, petrol olmak üzere üç ana grupta toplanırlar (www.k-c-k.org.tr).

Çimento üretiminde gerekli ısı enerjisi elde etmek için kullanılan fosil yakıtların yanında katı atıklarda kullanılmaktadır. Katı atıklar muhtevasına göre evsel, endüstriyel ve tıbbi atıklar şeklinde sınıflara ayrılmaktadır. Günümüzde yüksek miktarlarda oluşan atık pil, atık akü, atık oto lastiği ve atık yağlar içerisinde, çimento endüstrisinde yakıt olarak kullanılan atıklar oto lastiği ve atık yağlardır. Akü ve pillerin bertarafı için özel şartlar gerektiğinden çimento tesislerinde kullanılmamaktadır.

Atıklar; çimento fabrikalarında gerekli ısı enerjisi elde etmek amacıyla belirlenen üretim aşamalarında, nihai ürün kalitesini bozmadan ve oluşan baca gazı emisyonlarını 22/06/2005 tarihli ve 25853 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ”inde verilen emisyon sınır değerlerin altında tutmak kaydıyla kullanılabilir.

Bu tebliğ, 14/3/2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nin 15 ve 21 inci maddeleri, 21/1/2004 tarihli ve 25353 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği”nin 22 inci maddesi ile 7/10/2004 tarihli ve 25606 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”nin ilgili hükümlerine dayanılarak hazırlanmıştır.

3.1 Kömür ve Asfaltit

Kömürler oluşumlarına göre gözle veya mikroskopla ayırt edilebilecek şekilde bitkisel kalıntılar içeren havanın oksijeni ile yanabilen, bileşimlerinde %55-95 arasında serbest veya bileşik halinde karbon içeren organik kökenli kayalardır. Asfaltit petrolün doğada katı halde bulunan şekli olup, çoğu kez gözenekli bir kayaç (kum taşı, kireç taşı, dolamit) içerisinde yer almaktadır (www.k-c-k.org.tr).

3.2 Yağ Yakıtlar

Yağlar ham petrolun destilasyonundan geriye kalan kısımlardır. Yağ yakan döner fırınlarda genellikle 6 nolu fuel oil kullanılmaktadır. Uçucu miktarı az olan ham petrollerde bazen direkt olarak fuel oil gibi çimento fırınlarında yakılmaktadır. Fuel oil ve ham petrolün alt ısı değeri 9300-10.000 kcal/kg yakıt arasında değişmektedir (www.k-c-k.org.tr).

3.3 Bitümlü Şeyl ve Doğal Gaz

Bitümlü Şeyl veya bitümlü şistler tabakalı ve killi bir mineral kayaca bağlı olup, önemli oranlarda organik maddeler içerirler. Bitümlü maddeler, kil taşına (şeyl) bağlı olduğu zaman bitümlü şeyl ve şistlere bağlı olduğu zaman da bitümlü şist denir. Bitümlü şeyllerdeki bitümlü maddelerin inorganik içerikleri killerin petrolü emmesiyle (absorbsiyon) meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu durumda kayaçların emme kabiliyetleri petrolün emilmesi ve bitümlü şeyllerin meydana gelmesi arasında çok yakın bir ilişki bulunmaktadır. Doğal gaz çeşitli jeolojik formasyonların içinde bulunan ve gözenekli yapıdaki kayaçların yarık ve boşluklarını dolduran genellikle petrol oluşum alanlarında bulunan uçucu hidrokarbon (Metan, eton, propan, bütan vs.) gazlarından meydana gelmektedir. Çimento sanayi bakımından doğal gazda aranan en önemli özellik kükürt miktarıdır (www.k-c-k.org.tr).

3.4 Diğer Yakıtlar

Alternatif yakıt olarak atıkları çimento pişirme prosesinde kullanma eğilimi giderek yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle fırın girişinden ikincil yakıt verme çalışmaları hız kazanmıştır. Bu arada son zamanlarda atık madde miktarlarının devamlı olarak artması depolama veya yakma yolu ile bertaraf etme seçeneklerinin düşünülmesine yol açmıştır. Bu atık maddeleri depolamak çok zor ve sorunlu olduğundan, bunları mümkün olduğu kadar yakarak bertaraf etmek en uygun ve verimli işlem olarak akla gelmektedir. Bu açıdan çimento sanayi diğer sanayi kollarının atıklarının bertaraf edilmesi konusunda önemli rol oynamaktadır (www.k-c-k.org.tr).

Atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması kömür gibi yenilenmeyen fosil yakıtların tüketimlerinin yanı sıra kömür madenlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin de azalmasını sağlar. Keza atıkların fosil yakıtların yerine yakıt olarak değerlendirilmesi halinde her halükarda yakılarak imha edilmeleri gereken atıklardan kaynaklanacak sera gazları benzeri emisyonların azalmasına katkıda bulunur. Bununla birlikte atıkların çimento fırınlarında

alternatif yakıt olarak kullanılması, atıklardan azami seviyede enerji teminine imkan vermektedir. Malzeme enerjisinin tamamı fırında dolaysız olarak klinker üretimi için kullanılmaktadır. Bu teknik sayesinde, yakılan atıkların içindeki inorganik unsurlar gerekli ham maddelerin yerini alarak çimentonun bir parçası olma niteliğini kazandıkları için kullanılan atığın yanmayan kısımları da kazanılmakta ve cüruf ve küllerin ortadan kaldırılması zorunluluğu kalmamaktadır (www.k-c-k.org.tr).

Atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması, atıkların değerlendirilmesi için güvenli bir yöntemdir. Atıkların içindeki organik unsurlar çimento fırınındaki yüksek ısı, uzun işlem süresi ve oksitleyici ortam nedeniyle tamamen ortadan kalkarlar. İnorganik unsurlar ise fırındaki ham maddelerle birleşir ve süreçten çimentonun bir parçası olarak çıkarlar. Çimentoya geçen ağır metaller sonuçta betonun içinde bağlı kalırlar. Atık yakıt kullanılarak üretilen çimentodan yapılan betonun fiziksel ve çevresel özellikleri, fosil yakıtlar kullanılarak üretilen çimentodan yapılan betonunkilerden farklı değildir.

Kullanılmış araba lastikleri, I ve II 'nci kategori atık madeni yağlar, boya çamurları, solventler, plastik atıklar ile Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından uygun görülecek diğer atıklar alternatif yakıt olarak çimento sanayinde kullanılabilir. Bu tür atıkların yakıt olarak kullanılabilmesi, Çevre ve Orman Bakanlığının 22.06.2005 tarih ve 25853 sayılı resmi gazetede yayınladığı "Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ" inde belirtilen atık sınıfından olup olmadığına, kalorifik değerlerine, maliyetlerine, çimento kalitesinin bozulmamasına ve beraberinde oluşacağı baca gazı emisyonlarının yönetmelikçe izin verilen sınır değerlerin altında olmasına bağlıdır.

Atıkların fırına verilmiş yerleri şöyle sıralanabilir:

- Döner fırın brülöründen besleme,
- Fırın girişi, siklon borusu veya kalsinatörden besleme,
- Farine karıştırma.

İnceltilebilen sıvı ve ince taneli atık yakıtlar yüksek ısı değerlerinde çalışan döner fırın ateşlemesi için uygundur. Yüksek sıcaklıklar ve uzun bekletme süreleri nedeniyle özellikle PCB içeren eski yağlar gibi zehirli maddeler fırında zararsız hale getirilebilmektedir. Kalsinasyon alanında yani 850-1000°C 'de taneli yakıt maddesi kullanılabilir. Ancak toksik maddelerin sinter bölgesinde yüksek yayım tehlikesi yarattığına dikkat edilmelidir (www.k-c-k.org.tr).

Alevlenme noktası yüksek ve uçucu madde miktarı düşük olan yanıcı maddeler uygun bir

hazırlıktan sonra farine ilave edilebilir. Ancak zehirli veya kokulu madde içermemelidir. Uygulanan diğer bir yöntem atıkların kalsinatörde veya ana brülörde yakılmasıdır.

Özellikle kül bakımından zengin olan atık yakıt maddelerinde farin karışımı iyi ayarlanmalı ve uygun bir hale getirilmelidir. Ayrıca son ürün olan çimentonun kimyasal ve minerolojik özellikleri olumsuz etkiler açısından incelenmelidir. Atıkla birlikte büyük miktarlarda yabancı madde klinkere karışmıyorsa çimentonun donma ve sertleşme gelişimi pek etkilenmez.

Atık besleme işleminin şekli ve hacmi büyük ölçüde kullanılacak atık yakıt cinsine, ısı enerji değerine, atığın ilave yerine ve kullanım miktarına bağlıdır. Genelde atık besleme ünitelerinin amortisman süreleri birkaç ayla üç sene arasında değişmektedir (k-c-k,2004).

3.4.1 Atık Lastikler

Çimento üretiminde ilk olarak denenen alternatif yakıt maddesi tüm olarak veya ufalanarak kullanılan ve depolanması zor olan eski araba lastikleridir. 30.000 kJ/kg (7200 kcal/kg) ısı değeri ile tüm prosesin ısı ihtiyacının %20'si eski lastiklerden elde edilebilmektedir. Klinkere uygulandığı zaman bu oran 20 kg/ton klinkere eşit olmaktadır. Çizelge 3.1'de çimento sektöründe yakıt olarak kullanılan eski lastiklerin karakteristikleri verilmiştir.

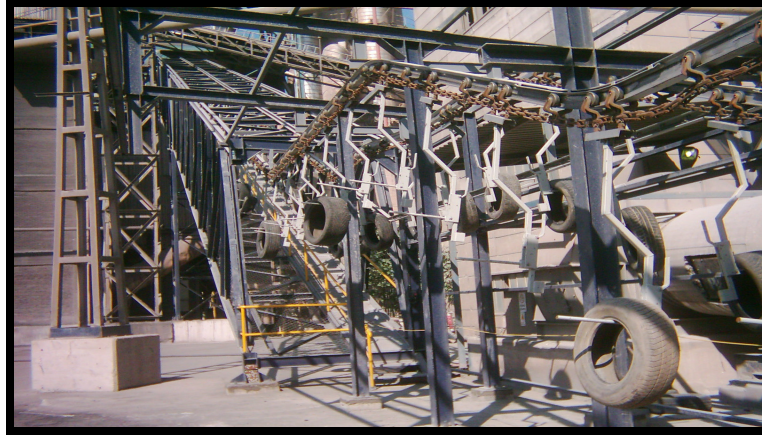
Çizelge 3.1 Atık araba lastiklerinin karakteristikleri (www.k-c-k.org)

Kauçuk	% 40-50
Dolgu Maddesi	% 25-35
Yumuşatıcı Yağlar	% 3-13
Kuşaklar (Çelik, Tekstil)	% 18-23
Karbon	% 70-90
Hidrojen	% 7-8
Çinkooksit	% 1.2
Kükürt	% 1.3
Demir	% 15
Isıl Değeri	27300-29400 kJ / kg (6500-7000 kcal/kg)
Özgül Ağırlık	1.2 gr / cm ³

Atık lastik besleme sonuçlarına göre tüm lastiğin dozaj zamanını ayarlayan bir kantar sistemi ile fırına verilmesinin ekonomik olduğu anlaşılmıştır. Çünkü ısı verimi bu şekilde homojenleştirilmiştir. Şekil 3.1'de atık lastiklerin fabrika sahasında depo edilişi ve Şekil 3.2'de atık lastiklerin otomasyonla fırına verililişi görülmektedir.



Şekil 3.1 Çimento fabrikasında atık lastiklerin depolanışı (Akçansa A.Ş)



Şekil 3.2 Atık lastiklerin otomosyonla fırına verilışı (Akçansa A.Ş)

Lastikler fırın içindeki yakıt maddesi yatağında prolize (kızarma) olmakta ve yanmaktadır. Bu arada enerjinin açığa çıkması farin asitinin ileri şekilde giderilmesini sağlamaktadır.

Atık lastiklerin kullanımından dolayı baca gazında aşırı CO yayılımı oluşabilir, ancak fırına verilen fazla hava, yanma olayı için doğru ayarlandığında CO emisyonu kontrol altında tutulmuş olur. Atık lastik tekerlerin çelik kuşakları, klinkerin Fe_2O_3 ve ZnO miktarlarını artırır. Ancak bu çimento kalitesine hemen hemen hiç etki etmez. Lastiklerin yanmasından geriye kalan maddelerin oranı %10-20'dir. Lastik dozaj tesislerinin amortisman süreleri çok kısa olduğu için hızlı bir şekilde ekonomiklik sağlanmaktadır.

3.4.2 Elyaf Atıkları

Tekstil, plastik ve boya atıkları hurdaya çıkmış araçlardan alınır ve ayrılır. Bunlara elyaf atıkları denilir. Bu günümüzde alternatif yakıt olarak kalsinasyonda kullanılır. Düşük ısı değeri 8300 kJ/kg (2000 kcal/kg) ve fırın sistemindeki klorür sirkülasyonunu artıran yüksek polivinilklorit içerdikleri için kullanım alanı sınırlıdır. Bu nedenle elyaf atıkları sadece lastikle karıştırılarak kullanılmaktadır. Klinkerdeki klor miktarı artarsa çimento kalitesi olumsuz yönde etkilenir. Eski lastiklerin yakılmasında olduğu gibi, burada da fırın sisteminin ısı ihtiyacı artar (www.k-c-k.org.tr).

3.4.3 Ekin Kalıntıları

Ekin kalıntıları; selülozik yapıda olup, içerdiği enerji içeriği bakımından ekonomik olarak değerli bir kaynaktır. Bu atıklar ekinlerin biçildiği yerde oluşabildiği gibi, mahsullerle birlikte toplanıp, ekilen yerden uzakta, tüketim noktasında atılabilmektedir. Bu tür atıklar (pirinç sapları hariç) düşük su içeriklidirler (ancak %15 mertebelerinde). Isıl değerleri ise 11500-19000 kJ/kg arasında olup ortalama 16000 kJ/kg ısı değere sahiptir.

Güney Amerika'daki çimento fırınları sık sık çeltik kabukları ile ateşlenmektedir. Bu %30'a varan oranda primer enerjinin yerine geçmektedir. Fırına verilmesi hem kalsinatörde hem de brülörde gerçekleşmektedir. Atık gaz ısıısının yükselmesi ile tüm ısı ihtiyacı %10 oranında artar (www.k-c-k.org.tr).

Özetle ekin kalıntılarından enerji temini ülke enerji tüketimi içinde önemsiz bir oranı oluşturmaya rağmen, yenilemeyen fosil yakıt kullanımını azaltılabileceği düşüncesi Baskın çıkmaktadır (Gönüllü,1994).

3.4.4 Odun ve Talaş

Odun önceden ufalanarak kurutulursa, bu çimento pişirme prosesi enerji ihtiyacını %60'a kadar karşılayabilir. Odun hem ana brülörde hem de kalsinatörde kullanılabilir. Kükürt içeriği %1, ısı değeri 17.000 kJ/kg (4060 kcal/kg)'dir. Burada enerji ihtiyacı %3 ile %5, atık gaz miktarı %10-15 artar. Bunların kullanımı, yüksek değerde olan primer yakıt maddelerinden tasarruf sağlanmasına katkıda bulunur (www.k-c-k.org.tr).

3.4.5 Fuller Toprağı

Madeni yağ sanayinin diğer önemli bir atık maddesi de fuller toprağıdır. Bu maddenin özellikleri Çizelge 3.2 'de verilmektedir. Fuller toprağı bir dozajlama sistemi ile kalsinasyon sistemine verilebilir. Dikkat edilmesi gereken nokta yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğinin kalker

standardını etkilemesidir. Bunun içinde farin karışımı iyi düzenlenmelidir. Isı ihtiyacı biraz artar, atık gazda CO artışına dikkat edilmelidir.

Çizelge 3.2 Fuller toprağının karakteristikleri (www.k-c-k.org)

Isıl Değeri (kJ / kg)	20160	Kuru
Kül	% 51.0	Kuru
Karbon	% 38	Kuru
H	% 6	Kuru
Kükürt	% 1-3	Kuru
Klor	% 0.03	Kuru
Oksijen ve Azot	% 4	Kuru
Uçucu	% 48.0	Kuru

3.4.6 Asidik Reçineler

Madeni yağ sanayinin zor arıtılabilir maddelerinden biri de, sülfirik asit oranı yüksek olan asidik zift ve reçinedir. Isı değeri 20.000 kJ/kg (4780 kcal/kg) olmasına rağmen kükürt sirkülasyonlarının artması nedeniyle çimento sanayinde çok az miktarlarda kullanılabilir. Depolamada paslanma sorunu, taşımada taşıma zorlukları da önemli konulardır. Alkalilerin kükürtle doymadıkları fırınlarda asidik reçinenin verilmesi fırın için iyi bir iyileştirme sayılabilir, çünkü alkali fazlası alkali karbonatları bozabilir (www.k-c-k.org.tr).

3.4.7 Arıtma Çamuru ve Depo Gazı

Evsel arıtma çamurları, organik madde, besi maddeleri ve iz elementleri ihtiva etmektedir. Organik madde; çürütülmüş çamurun %50'sini ve ham çamurun %70'ini teşkil etmektedir. Besi maddeleri ise genelde, %2 N, %4 P₂O₅ ve %0,5 K₂O mertebelerindedir. İhtiva ettiği iz elementler olarak Cd, Cu, Ni, Zn, Cr, Hg ve Pb sayılabilir (Gönüllü,1994).

Atık su arıtma tesislerinde oluşan atık çamur, filtre edildikten sonra % 40-70 oranında su içerir. Isı değeri 9200 kJ/kg (2200 kcal/kg) olan kullanılabilir bir ürün, filtre keklerinin kurutulması ile elde edilebilir. Ancak koku sorununun çözümlenmesi gerekmektedir. Koku sorunu, kurutucu atık gazının 800-900°C 'de tekrar yakılması ile oluşmaktadır (www.k-c-k.org.tr).

Kurutulmuş atık su arıtma çamuru ile deneyler, İngiltere'de yağ sistem fırınlarda yapılmıştır. Burada ayrıca evsel nitelikteki atıklar da kullanılmıştır. Arıtma çamurunun enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi genel olarak kanıtlanmıştır. Klinker veya çimento kalitesi çok az

etkilenmektedir. Ancak bunlardaki civa ve ağır metallerin davranışları bilinmemektedir (www.k-c-k.org.tr).

3.4.8 Evsel ve Sanayi Atıkları

Evsel atıklar çimento üretiminde kullanılabilecek mertebede ısı değere sahiptirler. Bunların üst ısı (kuru halde) değeri genelde 9000-12000 kJ/kg arasında değişmektedir. Çizelge 3.3’de evsel atıklara ait elementel analiz sonucu görülmektedir.

Çizelge 3.3 Evsel atıklara ait bir elementel analiz sonucu (Gönüllü,1994)

Bileşen	% Yaş Ağırlık
Rutubet	26,04
Karbon	27,23
Hidrojen	3,85
Oksijen	21,49
Azot	0,28
Klor	0,20
Kükürt	0,26
Kül	20,63

Evsel atıklar düşük kükürt yüzdesine sahip oldukları için, bunlardan yanabilecek kısımların ayrılması ile çöpten türetilmiş yakıtlar (ÇTY) elde edilebilmektedir. ÇTY ayrıca elenirse içindeki kül ve su muhtevası azaldığından ısı değerde bir artış görülmektedir. Çizelge 3.4’de ÇTY , elenmiş ÇTY ve kömür mukayese edilmiştir.

Çizelge 3.4 ÇTY türleri ile kömürün mukayesesi (Gönüllü,1994)

			Isıl değer J / gr	
	Rutubet,%	Kül, gr/J	Kuru	Yaş
Elenmemiş ÇTY	22,5	17,3	15627	12111
Elenmiş ÇTY	16,3	7,8	18568	15541
Kömür	12,5	2,8	-	26875

Evsel ve sanayi atıklarının çimento prosesinde kullanılması ilk kez İngiltere'de denenmiştir. Burada yaş sistem fırınlarda fosil yakıt ısı enerjisi yerine %12-18 oranında değişen evsel atıkların enerjisi kullanılmış, 25 mm kadar ufalanan çöpler pnömatik olarak fırına verilmiştir. Isı değerindeki değişiklikler, fosil yakıt maddesi ile dengelenebilmiştir. İncelemeler, klinker içindeki kurşun, çinko, bakır, fosfat ve arsenik oranlarını biraz artmasının çimento kalitesini olumsuz etkilemediğini göstermiştir. Baca gazı emisyonları ya hiç artmamış veya çok az artmıştır. Son senelerde kalsinatörlü kuru yakma yöntemi ile evsel atıkların ısı enerjisi ve hammadde olarak kullanılmasını öngören bir çok deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; bu evsel atıklar kullanıldığı taktirde baca gazı emisyonlarında anormal bir artış söz konusu olmadığı ve elde edilen klinker ile çimento kalitesinin bozulmadığı yönünde olmuştur (www.k-c-k.org.tr).

Almanya'nın Westfalya eyaletindeki bir çimento fabrikasında evsel atıklar ufalanıp, ayrılıp yakıt olarak hazırlanmaktadır. Bu şekilde elde edilen yakıt kömür tozu ile karıştırılıp fırına verilmiştir. Özel olarak geliştirilmiş bir brülör, ana yakıt maddesi ile ikincil yakıt maddesinin bir arada yanmasını sağlamaktadır. Ancak; evsel atıklar ile sisteme giren klor için bir baypass gerekmektedir. Baypass gazı, bir siklon içinden geçirilip tozdan arındırılır sonra ön ısıtıcılı fırına verilir. %6 Klor konsantrasyonuna rağmen baypass farininde yapışma olmamaktadır. Yakıt içersindeki evsel atıkların oranı %50 'ye kadar çıkarılabilmektedir.

Sonuç olarak, evsel atıklar önemli ölçüde ısı enerjisi potansiyeline sahiptir. Bunlar çimento sanayinde de konvansiyonel enerji kaynakları yerine kullanılabilmektedir. İncelemelerden anlaşıldığı kadarı ile evsel atıkların kullanımı sonucu oluşan baca gazı emisyonları ve bünyelerindeki zararlı maddeler, fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan emisyonlardan ve bunlar içindeki zararlı maddelerden farklı değildir (www.k-c-k.org.tr).

3.4.8.1 Evsel Atıklardan Elde Edilen Yakıtların Kullanımında İşletmenin Durumu

Baypass tesisinin kurulmasından önce katı atıkların çimento fabrikasında kullanılmasından ötürü kaynaklanan klor miktarı nedeniyle kalsinasyon ve geçiş bölgesinde alkali halojenit zenginleşmesi olmaktadır. Baypass tesisinin ilavesiyle çok fazla miktardaki klor ve alkaliler sistemden atılmaktadır. Buradaki amaç asgari baypassla azami klor konsantrasyonunu dışarı atmaktır. Yapılan ölçümler sırasında evsel atıktan elde edilen yakıt %35 oranında kullanılmıştır. Fırın girişindeki en düşük siklon kademesindeki farin içindeki klor konsantrasyonu ile baypass farini içindeki klor miktarı karşılaştırılmıştır. Çıkarılan toz miktarı 1,5 t/sn'den 0,5 t/sn'ye indirilmiştir. Bu tip incelemelerin gösterdiğine göre klor oranının en

düşük siklon kademesinde %2,7 ile %3 arasında olması halinde tesis en verimli şekilde işletilmektedir. İşletme açısından güvenli olan bu durum 0,8 t/sn tozun dışarı alınması anlamına gelmektedir. Bu arada yapılan denemelerde sadece fırın, farindeki klor konsantrasyonuna göre çalıştırılır ise 4 saatlik numune alımı, baypass sisteminde değişiklik yapmaya ve stabil bir fırın çalışması elde etmeye yeterli olacağı sonucuna varılmıştır (www.k-c-k.org.tr).

Klinker pişirilmesi için evsel atıkların döner fırının yüksek sıcak bölümünde kullanılması şeklindeki çözüm çimento üreticileri için güvenli ve ekonomik bir çözümdür. Orta derecedeki sıcaklıklarda mevcut olan klorlu hidrokarbonların oluşumu burada gösterilen yöntemle ortaya çıkmamaktadır. Çünkü yanma bölgesindeki sıcaklık 1500°C 'nin üzerindedir (www.k-c-k.org.tr).

3.4.9 Atık Yağlar

Kullanılmış taşıt yağları (benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, iki zamanlı motor, hidrolik fren, antifiriz, gres ve diğer özel taşıt yağları), endüstriyel yağları (hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, açık-kapalı dişli, sirkülasyon, metal kesme ve işleme, metal çekme, tekstil, ısıl işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, pas ve korozyon, izolasyon, trafo, kalıp, buhar silindir, pnömatik sistem koruyucu, gıda ve ilaç endüstrisi, genel amaçlı, kağıt makinesi, yatak ve diğer özel endüstriyel yağları ve endüstriyel gresleri) ve özel müstahzarları (kalınlaştırıcı, koruyucu, temizleyici ve benzeri) ve kontamine olmuş yağ ürünleri madeni atık yağ olarak sınıflandırılır (Atık Yağların Kon.Yön.,2004).

Biyolojik olarak çok zor ayrışan PCB'ler (polikloritli bifenil) kimyasal olarak çok dayanıklı ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara karşıda dayanıklıdır. Bu kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı endüstriyel olarak üretilen polikloritli bifenil elektronik endüstrisinde soğutma ve izolasyon maddesi, makine endüstrisinde hidrolik ve diğer pek çok endüstri dalında ise ısı aktarıcısı olarak kullanılmaktadır (www.k-c-k.org.tr).

Almanya'da yılda 500 bin ton zararlı PCB içeren atık yağ oluşmaktadır. Bu atık yağların çimento fırınlarında zararsız bir şekilde yakılıp yakılamayacağı konusunda işletme deneyleri yapılmış ve ürün kalitesi ile baca gazı emisyonlarını olumsuz yönde etkilemeden ne kadar miktar PCB içeren atık yağ kullanılacağını araştırmak için, çimento fırınının toplam ısıl enerji ihtiyacının %10'unun PCB'li atık yağla karşılandığı bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Sonuçlar yoğun gaz akımında yeterli şekilde inceltilmesi ile PCB'nin fırında tam olarak veya büyük ölçüde yakılabileceğini göstermiştir (www.k-c-k.org.tr).

Klorürlü atık yağlar yani PCB'li bileşikler belirli reaksiyon şartlarında polikloritli dibenzodioxin (PCDD) ve Polikloritli dibenzofuran (PCDF) oluştururlar. PCB'nin ısı davranışında 170°C 'ye kadar olan sıcaklıklarda bir değişiklik olmazken 300°C 'den itibaren dioksin ve furan gazları oluşmaktadır. Dioksin ve furan grubu toplam 210 farklı kimyasal bileşiği kapsar. Bunlardan bazıları zehirlidir. Ancak 1200°C sıcaklıklardan itibaren PCB'nin ayrışması yanında zehirli yan ürünlerin önlenmesi mümkündür. Çünkü bunlar termik olarak stabil değildir (www.k-c-k.org.tr).

Son olarak döner fırında PCB 'lerin yanması sırasında oluşan kloritler doğrudan alkalilere bağlanırlar. Böylece klorit emisyonlarının oluşumu engellenir. Avrupa'da atık yağ kullanan çimento fabrikalarında yapılan ölçümlerde klinker ve filtre tozu numunelerinde PCB bulunamamıştır. Baca gazı emisyonlarında yapılan ölçümlerde gaz formdaki PCB'lerin ortalama olarak 0.1 mgr/m³ düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Cembureau raporu, 1997).

Ülkemizdeki çimento fabrikaları, “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği”nin Ek-1’inde belirtilen teknik özellikleri sağlayan I ve II nci kategori atık yağları, Çevre ve Orman Bakanlığından lisans almak kaydıyla ek yakıt olarak kullanılabilirler. Aşağıda atık yağların çeşitleri ve Çizelge 3.5’de müsaade edilen kirletici parametre sınır değerleri verilmiştir (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004).

Çizelge 3.5 Müsaade edilen kirletici parametre sınır değerleri (A.Y.Kon.Yön.,2004)

Kirleticiler	Müsaade Edilen Sınır Değerleri (I.Kategori Atık Yağ)	Müsaade Edilen Sınır Değerleri (II.Kategori Atık Yağ)	Müsaade Edilen Sınır Değerleri (III.Kategori Atık Yağ)
Arsenik	< 5 ppm	Max. 5 ppm	> 5 ppm
Kadmiyum	< 2 ppm	Max. 2 ppm	> 2 ppm
Krom	< 10 ppm	Max. 10 ppm	> 10 ppm
Klorür	Max. 200 ppm	Max. 2000 ppm	> 2000 ppm
Kurşun	< 100 ppm	Max. 100 ppm	> 100 ppm
Toplam Halojenler	Max. 200 ppm	Max. 2000 ppm	> 2000 ppm
(PCB) ⁽¹⁾	Max. 10 ppm	Max. 50 ppm	> 50 ppm
Parlama Noktası	Min. 38 C	Min. 38 C	-

(1) PCB ölçümleri Bakanlığın uygun bulması halinde sektörel bazda yapılabilir.

I.Kategori Atık Yağ : Atık yağlardaki PCB, toplam halojen ve ağır metal gibi kirleticiler Çizelge 3.5’de verilen sınır değerlerin altındadır. Bu kategorideki atık yağlar rafinasyon ve rejenerasyon yolu ile geri kazanıma veya Bakanlıktan lisans almış tesislerde ilave yakıt olarak kullanıma uygun atık yağlardır (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004).

II.Kategori Atık Yağ : Atık yağlardaki ağır metaller Çizelge 3.5’de verilen sınır değerlerin altındadır. Klorür ile toplam halojenler 200-2000 ppm, PCB ise 10-50 ppm arasındadır. Bu kategorideki atık yağlar Bakanlıktan lisans almış tesislerde ilave yakıt olarak kullanıma uygun atık yağlardır (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004).

III.Kategori Atık Yağ: Atık yağlardaki ağır metaller Çizelge 3.5’de verilen sınır değerlerin üzerindedir. Klorür ile toplam halojenler 2000 ppm’in, PCB ise 50 ppm’in üzerindedir. Rafinasyona uygun olmayan, yakıt olarak kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından risk yaratan ve lisanslı tehlikeli atık yakma tesislerinde yakılarak zararsız hale getirilmesi gereken atık yağlardır (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004).

Atık yağlara su, çözücüler, PCB (Poliklorlubifeniller), PCT (Poliklorluterfeniller), toksik ve tehlikeli maddeler ile diğer maddelerin ilavesi ve farklı kategorilerdeki atık yağların birbiriyle karıştırılmaması esastır. I. kategori atık yağ, II. kategori atık yağla karıştırılırsa II. kategori; I. veya II. kategori atık yağlar, III. kategori atık yağla karıştırılırsa III. kategori atık yağ olarak kabul edilir.

I. ve II. kategori atık yağlar ile I. kategori yağların geri kazanım işlemleri sonucunda baz yağ (baz yağ; Rafinerilerde üretilen alifatik, aromatik ve karışık (alifatik + aromatik) esaslı petrol ürününü veya sentetik olarak (kimyasal yolla) elde edilen yağ) veya petrol ürünü kalitesi tutturulamayan atık yağlar çimento fabrikaları, alçı fabrikaları, kireç fabrikaları, kil kurutma fırınları, demir-çelik yüksek fırınları, enerji santralleri ile atık yakma tesislerinde mevcut yakıtı ilave yakıt olarak kullanılabilir. Bu amaçla Bakanlıktan lisans alınması zorunludur. Atık yağları yakabilmek için lisans talebinde bulunan tesislerde deneme yakmasının yapılması zorunludur. Deneme yakmasının amacı, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde yer alan emisyon sınır değerlerinin atık menüsü ve atık besleme hızına bağlı olarak tesis tarafından karşılanabileceğini göstermektir. Tesis işleticisi deneme yakmasından önce deneme yakması planını hazırlar ve Bakanlık onayına sunar. Bakanlıkça onaylanan plan doğrultusunda yapılan deneme yakmasından sonra hazırlanacak deneme yakması raporu Bakanlığın değerlendirmesine sunulur.

Geri kazanıma uygun olmayan ve tehlikeli atık yakma tesislerinde bertaraf edilmesi gereken III. Kategori atık yağlar ile geri kazanım işlemlerinde ortaya çıkan tehlikeli nitelikli atıklar ve bunlarla kirlenmiş malzemeler ve de atık yağ depolama tanklarının dip çamurları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine göre Bakanlıktan lisans almış tesislerde bertaraf edilirler (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,2004).

3.4.10 Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel atıklar çok değişik yapılardadır ve pek çok çeşittir. Bu bölümde çimento fabrikalarında kullanılan veya kullanılabilecek artıklardan bir kısmı belirtilmiştir.

I. Metalurjik Endüstri Atıklarının Kullanımı:

Metalurjik atıklar yüksek ısılı fırında, granüle edilmiş cüruflarla birlikte metalurji fabrikalarında pratik olarak elde edilen kimyasal-minerolojik bileşiklerden oluşabilmektedir. Asitidesi yüksek fırın cüruflarının ilavesi ile üretilen çimentolar az suya ihtiyaç duyar ve bu beton içindeki gerekli su miktarını da azaltır. Bu şekilde üretilen çimentolar normal sertleşme koşullarında harç ve beton içinde yüksek mukavemet, daha az ısı çıkarma, önemli miktarda sülfata ve dona karşı direnç gibi özelliklere sahiptir.

Yüksek fırın cürufları ile birlikte aktif mineral katkıların, çimento üretiminde kullanımı yakıt ve enerji tasarrufu için dikkate değer bir yoldur. Bu atıklar kullanılarak yapılan hesaplara göre çimento üretiminde %40 yakıt tasarrufu sağlamakta ve çimento üretimini 1.5-2 kat arttırmaktadır. Metalurjik cürufların kullanımı, yakıt enerji maliyetinin düşmesine ve çimento üretim verimliliğinin yükselmesine yol açtığından önemli bir rezervi temsil etmektedir (www.k-c-k.org.tr).

II. Kimya Endüstrisi Atıklarının Kullanımı:

Kimya endüstrisi atıkları çimento sektöründe değişik amaçlarla kullanılabilmektedir.

Elektrotermofosfor cürufu elektrikli fırında tabi fosforitin yani aparitin süblimleşmesi ile fosfor üretimi sırasında oluşur. Elektrotermofosfor cürufu çimento hammadde karışım kompozisyonunda mineralizör olarak ve çimentoda da aktif ilave maddesi olarak kullanılır.

Fosfojips yoğunlaştırılmış fosforlu gübre üretimi sırasında elde edilmektedir. Fosfojips tabii fosfattan sülfürik asit ekstrasyonu ile fosforik asit üretirken oluşmaktadır. Bu ürün pişme prosesinde mineralizör olarak ve priz müddetini kontrol için kullanılabilir.

Sodyum fluosikat çimento endüstrisinde mineralizör olarak kullanılır ve fosfat üretiminden

yan ürün olarak elde edilir. Prit külleri, çimento hammadde karışımında ayarlayıcı katkı maddesi olarak kullanılır. Bunlar, demir pritinden sülfür dioksit ve sülfürik asit üretimi sonucu elde edilen artıklardır (www.k-c-k.org).

III. Termik Güç Santralleri Yan Ürünlerinin Değerlendirilmesi:

Termik santrallerin fırın ünitelerinde toz halindeki katı yakıtların yanması, 1200°C sıcaklıkta ve oksitleyici gaz atmosferinde gerçekleşmektedir. Yakıtın organik olmayan kısmı killi ve kumlu-marnlı karışımlar, ayrıca demir, alüminyum, kalsiyum, magnezyum bileşenleri, içeren minerallerden oluşmaktadır.

Yakıtın mineral kısmının termal etkiye uğratılması sonucunda yukarıda belirtilen bileşenler arasında fizikokimyasal tepkimeler oluşur; çeşitli bileşenlerin karışımlar oluşturması ile farklı büyüklüklerde katı tanecikler meydana gelir.

İnce taneciklerin %80-90'ı fırından baca gazlarıyla birlikte uzaklaşır ve toz tutucularla tutulur. Daha iri tanecikler ise fırın alt kısmında kalır ve bazen yakıt cürufuyla beraber küme oluşturarak yanar. Katı yakıtlar fırında yanarken oluşan sıvı cüruf uzaklaştırılırsa, yakıtın mineral kısmı ergimiş faza dönüşür ve suda granüle yakıt cürufu haline gelir. Bu oluşan toz yakıt külü ve granüle yakıt cürufundan çimento endüstrisinde yararlanılmaktadır.

Granüle yakıt cürufunun çimento endüstrisinde kullanılması, halen mevcut olan granüle yüksek fırın cürufuyla çalışan tesislerde pek fazla değişiklik yapılmasını gerektirmez. Üstelik yakıt cürufu, çimento içindeki alkali gibi istenmeyen bileşiklerinde miktarının önemli ölçüde azalmasını sağlar.

Bu oluşan atık kül ve cüruflardan çimento üretiminde yararlanılması termik santrallerin üretim masraflarını, atık yığınının depolanması ve yığın inşaatı masraflarını azaltması nedeniyle önemli katkıda bulunmaktadır (www.k-c-k.org).

3.5 Katı Atıkların Yakıt Olarak Kullanılmasının Faydaları

Türkiye'deki çimento üretimini gerçekleştirmek için çimento fabrikalarının yıllık kömür gereksinimleri 6 milyon ton civarındadır. Yenilenmeyen bir fosil yakıt için bu miktar hayli yüksek olup, çimento sanayi enerji kullanımı açısından daha verimli üretim yöntemlerinin yanı sıra kömüre alternatif olacak sürdürülebilir enerji kaynakları arayışına girmiş bulunmaktadır (www.k-c-k.org).

Başta da belirtmiş olduğumuz gibi hurda araç lastikleri, evsel ve endüstriyel atıklar, atık kağıtlar, atık yağlar, ahşap atıklar, kağıt proses çamuru, arıtma çamuru, lastik ve plastikler ve etkinliği kaybolmuş solventler çimento sanayinin yakıt olarak kullanmakta olduğu başlıca atıklardır.

Atıkların yakıt olarak kullanılmaları sonucu atıkların organik kısımları imha olurken ağır metaller de dahil olmak üzere inorganik kısımları ürünün bünyesine alınarak burada bağlanmaktadır. Çimento fırınları atıkların yakılarak bertaraf edilmesi için gerekli uygun ortama sahiptir. Bu ortamın özellikleri:

- Yüksek ısı,
- Uzun bekleme süresi,
- Alkali ortam,
- Klinkerin kül tutma özelliği,
- Yakıtın kesintisiz beslenmesi,
- Katı yada sıvı hiçbir atık oluşmaması gibi özelliklerdir.

Çimento fırınlarının normal işletme koşulları, imhası en zor organik maddeler için bile gerekenin ötesinde bir yanma ortamı sağlar. Bunun nedeni fırın gazlarının çok yüksek ısıda olmasıdır (ana fırındaki yanıcı gazların sıcaklığı 2000°C ve ön kalsinatör beklerindeki gazların sıcaklığı 1100°C). Gazların yüksek sıcaklık şartlarında kalış süreleri, döner fırınlarda takriben 5-10 saniye, ön kalsinatörde ise 3 saniyenin üstündedir (Akçansa A.Ş.).

Her çimento fırını kesintisiz olarak, yüksek ısı kapasitesi ile çalışan üretim ünitesi olduğu için, fırın sıcaklığının kısa bir süre içinde büyük ölçüde değişmesi mümkün değildir. Çimento fırınları, gerekli olması halinde kolaylıkla tekrar konvansiyonel yakıta döndürülebilir. Çimento fırınları bu nedenlerle katı atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilebileceği uygun ortama sahiptirler.

Katı atık yanması sonucu oluşan küller, klinkerdeki sürecin fazlarının oluşumuna tıpkı kömür külünün yaptığı gibi önemli elementler sağlarlar. Örneğin hurda lastikler, ısı enerjisinin yanı sıra klinkerin ihtiyacı demiri sağlar. Eğer atık lastikler olmasa bu demirin her halükarda başka bir hammadde ile sürece ilave edilmesi gerekecektir.

Çimento fırınına hammaddelerle veya atıkların kullanımıyla birlikte giren ağır metaller doğal olarak ya dışarı salınacak ya da klinkerin içinde kalacaklardır. Ağır metallerin çimento fırınlarındaki reaksiyon biçimleri üzerinde yürütülmüş bulunan geniş araştırmalar, bunların büyük ölçüde klinker içinde kaldıklarını ortaya koymuş bulunmaktadır. Örneğin; arsenik,

baryum, berilyum, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, nikel, selenyum, vanadyum üzerinde yapılan çalışmalar bu metallerin yaklaşık % 100'ünün katı maddelerle birlikte kaldıklarını saptamıştır. Ancak Cıva ve talyum gibi metaller, klinkerle bu derecede birleşmedikleri için kullanılan atıklar bu ağır metaller bakımından kontrol altında tutulmalıdır (Akçansa A.Ş.).

-Fosil Yakıtlardan Tasarruf : Atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması kömür gibi yenilenmeyen fosil yakıtların tüketimlerinin yanı sıra kömür madenlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin de azalmasını sağlar. Fosil yakıtlar, dünyamızdaki yenilenmesi imkansız enerji kaynaklarıdır. Bir ton klinker üretimi için yaklaşık 900.000 kcal ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Bu miktar enerji yaklaşık 140 kg yüksek kalorili kömürden elde edilmektedir. Türkiye'de yılda yaklaşık 40 milyon ton klinker üretilmektedir. Klinker üretiminde kullanılan yakıtın %10'u alternatif yakıtlarla ikame edildiği takdirde, çoğu ithal edilmekte olan 420.000 ton yüksek kalorili kömürden tasarruf edilmiş olacaktır (www.k-c-k.org).

-Çevre Kirliliğinin Azaltılması : Çimento üretim prosesinin gereği olan yüksek ısı, yüksek türbülans ve yüksek sıcaklık ile uzun temas süresi, atıkların emniyetli bir şekilde yakılarak bertaraf edilmesini sağlamaktadır. Atıkların içerisindeki organik bileşenler tamamen yanarak, ısı, su buharı ve karbondioksit dönüşür. İnorganik maddeler ise ya bir ham madde gibi tekrar üretime katılır veya klinker içerisinde bağlanarak zararsız hale getirilirler. Çizelge 3.6'da fosil yakıtlar ile atık araba lastiklerinin ve evsel atıma çamurunun elementel karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 3.6 Fosil yakıtlar ile evsel atıma çamuru ve atık araba lastiklerinin elementel karşılaştırılması (Zevenhoven,2001)

	Kömür	Petrokok	Evsel Arıtma Çamuru	Araba Lastiği	Kömür-Petrokok Karışımı
C (%-yaş,kuru)	66,6	89,5	42,9	87,0	75,1
H (%-yaş,kuru)	3,99	3,08	9,00	7,82	4,20
N (%-yaş,kuru)	1,07	1,71	1,84	0,33	1,70
S (%-yaş,kuru)	1,22	4,00	0,12	0,80	3,00
O (%-yaş,kuru)	8,85	1,11	27,2	1,81	4,90
Ash(%-yaş,kuru)	18,4	0,50	17,9	2,20	11,1
H ₂ O (%-yaş)	2,35	1,50	5,20	0,73	1,30

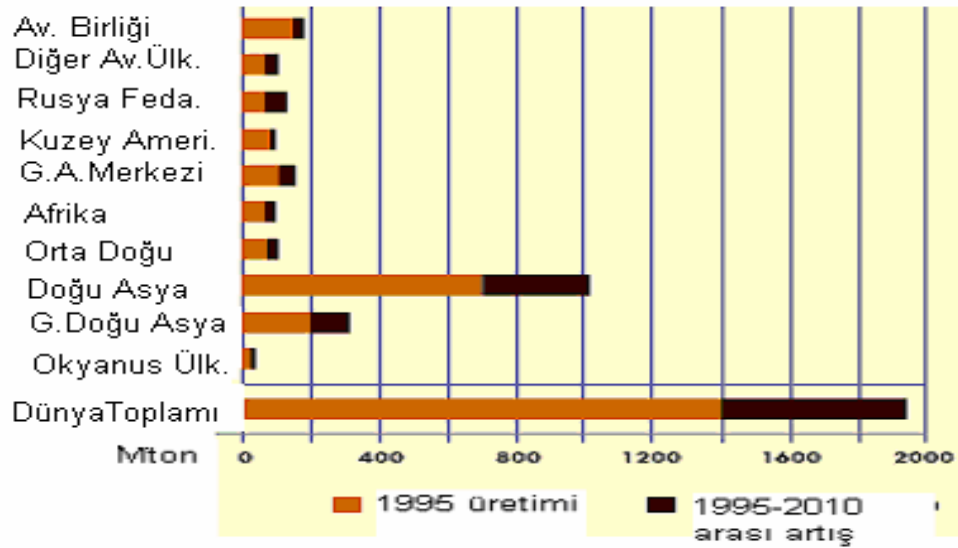
Sonuç olarak; sadece konvansiyonel yakıtların kullanıldığı duruma kıyasla emisyonlarda bir artış olmadığı gibi, prosesin sonunda atılması gereken kül ve cüruf gibi maddelerde oluşmaz. Ayrıca kömür gibi yenilenmeyen fosil yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak çevresel etkilerde azalır. Çevre kirliliğine küresel olarak yaklaşıldığında, sera etkisi yaratan karbondioksit gazının kömür tüketiminin azalması ile doğru orantılı olarak azalacağı söylenebilir.

-Ekonomik Fayda : Günümüzde tehlikeli atıkların giderilmesi, birçok sanayi ve endüstri kuruluşu için çözülmesi zor problemlerden birini oluşturmaktadır. Sanayiciler, atıklarını çevrelerindeki depo alanlarında ya da yakma tesislerinde belirli bir bedel karşılığında giderebilmektedir.

Fosil yakıtlardan tasarruf etmenin sağlayacağı büyük ekonomik faydanın yanı sıra, söz konusu atıkları bertaraf etmek için kurulması gereken yakma tesisleri ve atık depo sahalarının inşaat ve işletme masraflarından da tasarruf edilmiş olacaktır.

4. AVRUPA ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Avrupa'da kurulu 300 fabrika, yıllık 170 milyon ton çimento üretmekte ve yaklaşık 30 milyon ton kömür tüketmektedir. Avrupa Topluluğu'nda kişi başına çimento tüketimi yılda 450 kg.'dır. Artan tüketimle birlikte üretim teknolojisindeki gelişme ve toz partikülleri için son teknolojilerin kullanılması ile birlikte oluşan toz miktarında %90 oranında, enerji tüketiminde ise son 20 yılda %30 oranında bir azalma gözlenmiştir. Enerji tüketimindeki %30'luk oran yıllık yaklaşık 11 milyon ton kömüre eşdeğerdir. Genel olarak bir ton klinker üretimi için 3200-5500 MJ 'lük enerji ve bir ton çimento üretimi için 90-120 kwh elektrik enerjisi tüketildiği söylenebilir. Çimento üretim maliyetinin %30-40 'lık kısmı enerji giderleridir. Şekil 4.1'de Dünya genelindeki çimento üretim hedefi yer almaktadır.



Şekil 4.1 Dünya Geneline 1995-2010 yılları arasında planlanan çimento üretimi

(www.ecosmart.ca)

1995 yılı çimento üretim verilerine göre, kömür yerine atıkların yakıt olarak kullanılması sonucunda yaklaşık 2.5 milyon ton kömür tasarruf edilmiştir. Bu da sektörün toplam enerji ihtiyacının %10'u kadardır. Bazı bölgelerde bu oran %50 'lere kadar çıkmıştır ve artmaya devam etmektedir. Halen Avrupa'daki çimento fabrikalarının yaklaşık 1/3'i atıkları yakıt olarak kullanmaktadır. Avrupa Topluluğu ülkelerinde mevcut çimento fabrikalarının %78'i kuru, % 16'sı yarı-kuru ve %6'sı ise yaş sistemle üretim yapmaktadırlar (Avrupa Birliği web sitesi).

4.1 Avrupa Topluluğu'nun Atıklar için Hazırladığı Öncelik Direktifleri

Avrupa Topluluğu direktiflerine göre atıklar birtakım önceliklere göre sıralanarak değerlendirilmeye alınmalıdır. Buna göre;

4.1.1 Atıkların Azaltılması

Atık sorununu en baştan çözmek için kullanılması gereken bir yoldur. Çimento sektörü, bu konuda %100 varan bir verim sağlamaktadır. Çünkü, yakılamayan inorganik atıklar ürün içerisinde kalmakta ve yeni bir atık sorunu ortaya çıkmamaktadır. Yakma tesislerinde ise atıkların ancak %60-80 kadarı giderilebilmekte, geri kalanı depo alanlarına gönderilmektedir.

4.1.2 Atıkların Geri Kazanımı

Atıklar giderilmeden önce geri kazanım olanakları araştırılmalıdır. Atıkların çimento üretiminde yakıt olarak kullanılması ve üretilen çimento içerisine katılmaları, bu görüşü destekler yapıdadır. Yapılan araştırmalarda, üretilen çimentonun özelliklerinin ve kalitesinin fosil yakıtlar kullanılması ya da atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması ile pek değişmediği görülmüştür. Ayrıca, atıkların yakıt olarak kullanılması ile üretilen çimento ve betonun içerisinde bulunan eser elementlerin toplam konsantrasyonlarının çok düşük olduğu ve içme sularının iletimi için kullanılabilecekleri, çeşitli testlerle görülmüştür (Ref. Dutch test ATA ve ASTM certification PNSI/NSF standart 61). Atık yakma tesislerinde ise herhangi bir geri kazanım söz konusu değildir.

4.1.3 Atıkların Bertarafı

Geri kazanımı ya da döngüsü mümkün olmayan atıkların, çevre sağlığını ve ekolojik dengeyi bozmayacak şekilde bertarafı gerekmektedir. Çimento fabrikalarında mevcut olan döner fırınlar yüksek sıcaklıkları, atıkların uzun süre içlerinde kalabilmeleri ve alkali ortamlar içermeleri nedeniyle tüm organik ve inorganik atıklar için uygun giderme alanları oluşturmaktadırlar. Yakma tesislerinde, yanmamış organik atıkların neden olduğu emisyonlar ve inorganik atıkların uygun arazilere depolanması gibi çevre kirliliğine olumsuz katkıları olabilecek faktörler her zaman mevcuttur (Avrupa Birliği web sitesi).

4.2 Atıkların Yakıt Olarak Kullanılması ile ilgili Yasal Çerçevesi

Çimento endüstrisi, diğer tüm sanayi sektörleri gibi, çevrenin korunması, ürünlerin kalitesi, sağlık ve güvenlik ile ilgili ulusal ve uluslararası yönetmeliklerle sürekli kontrol altında tutulmaktadır.

Çimento fabrikalarının ulusal bazdaki yönetmelik kuralları, endüstriyel kaynaklı hava kirliliği ile ilgili Avrupa Topluluğu Direktifleri 'nde belirtilmiştir (84/360/EEC). Halen bu kurallar IPPC (Integrated Pollution prevention and control) direktifleri ile revize edilmektedirler (96/61/EC).

Bu revizelerin amacı, çevresel kirliliğin ölçülmesi yanında kirlilik önleyici prosesler tasarlamak, eğer bu mümkün değilse, havaya, suya ve toprağa olan emisyonları en aza indirmek için yapılan çalışmalara yön vermek içindir.

Çimento fabrikalarının fırınlarında tehlikeli atıkların yakılması ile ilgili olarak 94/67/EC sayılı Avrupa Topluluğu direktifi mevcuttur. Bu direktif tehlikeli atıkların yakma tesislerinde bertarafına ait kurallar koymakta, ayrıca atıkların endüstride kullanılan fırınlarda nasıl bertaraf edileceğine dair tanımlamaları ve prosedürleri de içermektedir. Bu direktifler, çimento üretimi sırasında hammaddeden ve kullanılan yakıtlardan kaynaklı emisyonların olabileceğini, bu sebeple emisyon sınır değerlerinin, atık yakmak için özel olarak kurulan tesislerden farklı olarak değerlendirilmesi gerektiği ihtiyacının dikkate alınmasını kabul etmiştir. Günümüzde Avrupa Birliği Ülkelerinde uygulanan toz Emisyonu sınır değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir (www.k-c-k.org).

Çizelge 4.1 Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan toz emisyonu sınır değerleri

ÜLKELER	SINIR DEĞERİ mg/m ³ (N.nemli)	AÇIKLAMALAR
ALMANYA	50	Yarım saatlik ortalama değer.1986'dan bu yana bütün yeni tesisler için, 1994'den sonra bütün tesisler için.
BELÇİKA	50-100	Sınır değerler yerel olarak saptanmıştır.
DANİMARKA	250-500	Düşük değer yeni tesisler için. Yüksek değer 1973'den önce yapılmış tesisler için.Değişiklik izinleri 100 mg/m ³ (N.kuru) istemektedir.
İSPANYA	150-400	1972'den önce kurulmuş tesisler için 400,1972-1980 arasında kurulmuş tesisler için 250, 1980'den sonra kurulmuş yeni fırın tesisler için 150
FRANSA	150	Sınır değer 200 h/yıl'a kadar aşılabilir

İNGİLTERE	460 230 150 100	Kuruluş yılı 1967'ye kadar Kuruluş yılı 1967'den 1979'a kadar Kuruluş yılı 1979'dan sonra Kuruluş yılı 1979'dan sonra fırınlar
YUNANİSTAN	150 100	Kuruluş yılı 1981'e kadar Kuruluş yılı 1981'den sonra
İTALYA	E.Filtre75-100 Hortumlu Filtre 25-35 Dökme Tabakalı Filtre 100-150	Sınır değerleri yerel makamlarca mg/m ³ (N.nemli) olarak tespit edilmektedir.
İRLANDA	125	Kuruluş yılı 1981'den sonra
LÜKSEMBURG		Almanya ile aynı sınır değerlerinin sağlanmasına çalışılmaktadır.
HOLLANDA	50	Eski tesislerde 100 mg/m ³ (N.kuru)
PORTEKİZ	150	

Çimento fabrikalarının çeşitli ünitelerinden kaynaklanan toz emisyonlarının kontrolü için bazı topluluk ülkeleri, Çizelge 4.2'de verilen ünitelerde sürekli toz emisyonu ölçümlerinin yapılmasını şart koşturmaktadır (www.k-c-k.org).

Çizelge 4.2 Avrupa Topluluğu ülkelerinde süreli toz ölçümünün öngörüldüğü üniteler

ÜLKELER	SÜREKLİ TOZ ÖLÇÜMÜ
ALMANYA	- FIRIN, KLİNKER SOĞUTUCU, DEĞİRMENLER
DANİMARKA	- FIRIN
FRANSA	- FIRIN, FARİN DEĞİRMENİ
İNGİLTERE	- FIRIN, KLİNKER SOĞUTUCU
YUNANİSTAN	- FIRIN
HOLLANDA	- FIRIN, KLİNKER SOĞUTUCU, DEĞİRMENLER
TÜRKİYE	- FIRIN(Gerek görülürse klinker soğutucu ve değirmenler)

Topluluk üyesi ülkelerin SO₂ ve NO_x emisyonları için uyguladıkları sınır değerler, sırası ile Çizelge 4.3'de ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Avrupa Topluluğu ülkelerinde SO₂ emisyonu sınır değerleri (www.k-c-k.org)

ÜLKELER	SINIR DEĞER		AÇIKLAMA
	(mg/m ³)	(Standart Kuru)	
ALMANYA	400		
BELÇİKA	-		
DANİMARKA		2400	Yakıtta kükürt oranının sınırlandırılmasına gidilmiştir.
PORTEKİZ	400		Almanya gibi planlanıyor
TÜRKİYE	400		Deklarasyonla kabul edildi.

Çizelge 4.4 Avrupa Topluluğu ülkelerinde NO_x emisyonu sınır değerleri (www.k-c-k.org)

ÜLKELER	SINIR DEĞER		AÇIKLAMA
	(mg/m ³)	(Standart Kuru)	
ALMANYA	1500		-Izgaralı ön ısıtıcılı fırınlar
LÜKSEMBURG	1300		-Siklonlu baca gazları
TÜRKİYE	1800		-Farin ön değirmenlerinde ısıtıcı kullanılması durumu için geçerlidir.

Avrupa Topluluğu Konseyi, 28.06.1984'te Avrupa Topluluğu'ndaki endüstri tesislerinden kaynaklanan emisyonların azaltılması ile ilgili temel gereksinimleri 360/84 sayılı kararname ile yayınlamıştır. Bu kararnamenin 7. maddesi, maliyet unsurunu dikkate alarak erişilebilir en iyi teknoloji hakkında bilgi alışverişi öngörmektedir. 1989 yılı başlarında başlatılan bir pilot çalışma ile çimento endüstrisinin de içinde bulunduğu altı sanayi dalında, erişilebilir en iyi teknolojinin belirlenmesi çalışmaları yürütülmüştür. Çimento endüstrisi için hazırlanan raporda, toz emisyonunun önlenmesi için kullanılması öngörülen filtre sistemleri belirlenmiş ve bu filtreler ile ulaşılabilecek azami toz emisyonu konsantrasyonları ortaya koyulmuştur. Bu değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Maliyet unsuru göz önünde tutularak erişilebilir en iyi teknolojiye göre tespit edilmiş değişik filtre tipleri için dizayn ve işletme değerleri

FİLTRELER	(mg/m ³) (Standart Yaş)	
	DİZAYN DEĞERİ	İŞLETME DEĞERİ
ELEKTROFİLTRE	40	40-100
TORBALI FİLTRE	30	30-80
a- Prosesin yer aldığı tesisler b- Malzeme sevk sistemleri	25	30-50
ÇAKIL FİLTRELER	50	50-120

Avrupa Topluluğu otoriteleri, bu araştırma sonunda ulaşılan değerlere dayanarak, topluluk ülkeleri için Çizelge 4.6’da verilen standart değerleri önermiştir (www.k-c-k.org).

Çizelge 4.6 Avrupa Topluluğu için önerilen toz, SO₂ ve NO_x emisyonu sınır değerleri

PARAMETRE	AVRUPA TOPLULUĞU ORTAK (ÖNERİ) SINIR DEĞERLERİ
TOZ	(mg/m ³) (Standart Yaş)
Fırın/Öğütmeli kurutma	100
Klinker Soğutucu	100
Çimento Öğütme	80
Diğer Kaynaklar	50
SO ₂	400-700
NO _x	1300-1800

4.3 Avrupa Çimento Birliği (Cembureau)

Avrupa Çimento Birliği (Cembureau) Brüksel’de bulunan, Avrupa’da çimento sektörünü temsil eden kuruluştur. Birliğin tam üyeleri; Avrupa’daki Ulusal Çimento Sektörü Birlikleri, Avrupa Topluluğu ve Avrupa Ekonomik Bölgesi’nin çimento şirketleri ile İsviçre ve Türkiye’dir. Birliğin aday ülkeleri ise, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Polonya ve Slovak Cumhuriyetinin ulusal Çimento birlikleri ile Estonya’daki tek çimento şirketlerinden oluşmaktadır.

Avrupa Çimento Birliği, Avrupa Topluluğu’ndaki kurumlara ve diğer otoritelere karşı çimento sektörünün sözcülüğü görevini üstlenmiş olup, sektörün her konudaki görüşlerini ve çimento pazarını teknik, çevresel, enerji ve promosyon yönünden etkileyen politika oluşumlarını duyurmaya yardımcı olur. Avrupa ve Uluslar arası otoriteler ve diğer gerekli Uluslar arası kuruluşlarla sürekli ilişkisi bulunmaktadır.

Cembureau, atığın nihai bertarafını sağlayacak olan atığın önlenmesi, geri kazanımı uygun durumlarda tekrar kullanımı gibi aşamaları düzenleyen atık yönetimi hiyerarşi içinde yer alan prensipleri kabul etmektedir.

Çimento sektöründe atıkların prensipte alternatif yakıt, aynı zamanda da ilave hammadde olarak kullanımı hem Avrupa Birliği, hem de ulusal düzeyde oluşturulan atık yönetimi ile ilgili genel prensiplere uygun düşmekte, diğer taraftan da AB ve ulusal enerji etkinliği, iklim değişikliği ve atık yönetimi politikaları ile de bağdaşmaktadır.

5. TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DURUM DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Çimento Sektöründe Çevre Kirlenmesi

Çimento hammaddelerinde karbonatlar ve kül mineraller şeklinde bulunan çimento ana bileşenleri (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3) birer doğal kaynak olarak açık ve kapalı ocak işletmeleri yoluyla elde edilmekte ve çevre sorunları daha bu aşamada madencilik esaslarına göre yapılan hafriyat, patlatma ve hammaddelerin taşınması gibi faaliyetler ile ortaya çıkmaktadır.

Çıkarılan hammaddenin çimento üretim sürecine alınabilmesi için gerekli fiziksel ön işlemler (kıırma, eleme, öğütme v.b.) teknolojik olarak önlenmesi mümkün olan toz, gürültü ve vibrasyon gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca, çimento hammaddelerinin ve fırın yakıtının uygun şartlarda depolanmaması, mevcut toz partiküllerini arttıran bir faktördür.

Atıkların yakıt olarak kullanıldığı tesislerde belirli baca gazı emisyon yayılım sınır değerlerine uyulması şartının yanında, örneğin zararlı organik maddelerinde ısı olarak yok edecek şartların da bulunması gerekmektedir. Katı veya sıvı yakıt yakılan yakma tesislerinde oluşan emisyonlar aşağıda belirtilmiştir (www.k-c-k.org):

- Toz ,
- Organik Maddeler ,
- Kükürt Oksitler ,
- Azot Oksitler ,
- Ağır Metaller ,
- Dioksin ve Furan ,
- Karbon monoksit.

Çimento üretiminin muhtelif kademelerinde meydana gelen tozları tutmak için toz odaları, siklon ve multisiklonlar, torbalı filtre ve elektrofiltre gibi muhtelif toz tutucular kullanılmaktadır. Çimento fabrikalarında tozun ayrıştırılması için kullanılmakta olan toz arıtım sistemlerinin hangi ünitelerde yaygın olarak kullanıldığı Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Çimento üretiminde toz arıtım sistemlerinin kullanımı (www.tcma.org.tr)

OPERASYONLAR	MULTİSİKLOK	TORBALI FİLTRE	ELEKTROSTATİK FİLTRE
HAMMADDE ÇIKARIMI			
KAYA DELME	-	+	-
PARÇALAMA	-	+	-
KAYA TAŞIMA	-	+	-
KAYA DEPOLAMA	-	+	-
HAMMADDE HAZIRLAMA			
BESLEYİCİLER	-	+	-
DÖNER KURUTUCULAR	-	+	+
KURU ÖĞÜTME	-	+	+
MAD.TAŞ.DEPOL.	-	+	-
PIŞIRME VE SOĞUTMA			
FIRIN BACASI	-	+	+
KLİNKER SOĞUTMA	X	+	+
KLİN.TAŞ.DEPOL.	-	+	-
ÜRÜN ÖĞÜTME VE BİTİRİM			
BESLEYİCİLER	-	+	-
ÖĞÜTÜCÜLER	-	+	+
MAD.TAŞ.DEP.	-	-	-
TORBALAMA	-	+	-
BULK.YÜKLEME	-	+	-

(*) (+) uygun, (X) uygun değil, (-) kullanılmıyor

Yakıtlardan ve hammaddeden kaynaklanan gaz emisyonlarının büyük bir kısmı klinker ve toz tarafından bağlanmaktadır. Çimento üretiminin bu avantajı sayesinde gaz emisyonlarını istenen sınır değerlerin altında tutmak daha kolay olmaktadır. Ancak, fırın sistemi başta olmak üzere, herhangi bir tesiste işletme şartlarının bozulması, tam yanma olmaması (hava/yakıt oranı) gibi faktörler hava kirliliği yaratan emisyonların hızla artmasına neden olmaktadır.

Çimento üretiminde kullanılan girdilerin tamamı doğal maddelerden oluşmaktadır. Girdilerdeki tüm elementleri nihai ürün olan klinker ve çimentoda bulmak mümkündür. (www.tcma.org.tr).

-Flor ve Klorlu Bileşikler ; Hammadde ve yakıtta bulunan florür ve klorürlü bileşikler yüksek sıcaklıktaki döner fırınlarda kısmen gaz halindeki asidik florür ve klorürlere dönüşürler. Ancak bu gibi asidik bileşikler besleme malzemesi ve klinkerlerde bulunan alkali bileşenleri ile derhal nötralize olurlar (Katı kalsiyon florür ve klorür şeklinde). Böylece besleme malzemesi ve yakıtın ihtiva ettiği florür ve klorür miktarının %88-98'i klinkerlerde tutulur. Geri kalanı toz parçacıkları üzerinde çökeler.

Klorlu atık maddelerin çimento fırınlarında yakılması işleminde klinkerde klorür miktarının TSE 3441-Nisan 1994 standardına göre %0.1 olması şartı getirilmiştir. Bu durumda atık maddelerin yakılmadan önce test edilerek klor muhtevasının tayini ve buna göre klorürlü atık maddelerin yakıt olarak kullanım miktarlarının ayarlanması gerekmektedir (www.k-c-k.org).

-Ağır Metaller ; Ağır metaller çimento endüstrisinde kullanılan hammadde ve yakıtlarda ancak eser miktarlarda mevcuttur. Buna rağmen yüksek uçuculu bileşikler meydana getiren bazı ağır metaller proses içerisindeki sirkülasyonlar sonucunda fırın tozu içerisinde birikimler oluşturabilmektedir. Bunlardan belli başlıları Antimon (Sb), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Cıva (Hg), Talyum (Tl), Vanadyum (V) ve Bizmut (Bi) 'tur.

Klinker ve fırın tozunda elde edilen sonuçlar, en yüksek konsantrasyon değerlerinin kurşun, kadmiyum, çinko ve talyum için geçerli olduğunu göstermiştir. Fırında beslenen çinkonun %80-90'ı kurşunun ise %70-96'sı klinker içinde kalmaktadır. Bu durum vanadyum, berilyum ve nikel için de geçerlidir. Bunlar klinkerin ana maddesi olan kalsiyum gibi davranırlar. Arsnik ve kromda çok yüksek oranda klinker tarafından tutulmaktadır. Diğer bir element olan kadmiyumun %74-88'i klinker tarafından tutulmaktadır.

Çimento içindeki ağır metaller, klinkerin içindeki unsurlara bağlanırlar ve çimento, betona mukavemetini kazandırmak üzere su ile reaksiyona girdiğinde de oluşan alkali reaksiyon ürünlerine bağlı kalırlar. Buna ilave olarak, betonun yüksek yoğunluk ve düşük geçirgenlik özellikleri, ağır metallerin serbest kalma olasılığının çok düşük olmasını sağlar.

Ağır metallerin beton içerisindeki davranışları için yapılan araştırmalar, ağır metallerin serbest kalma oranlarının, klinker üretiminde kullanılan yakıtlardan bağımsız olarak çok düşük olduğunu ortaya koymuş bulunmaktadır. Serbest kalan miktarlar her seferinde ya çok düşük, ya da verilen sınır limitlerin altında kalmıştır (www.k-c-k.org).

5.2 Çimento Sanayinde Yasal Çerçeve

Çimento sektörü, Türkiye'deki en önemli sanayi sektörlerinden biridir. Yüksek üretim kapasitesi, büyük miktarlarda enerji tüketimi ile yüksek oranlarda toz partikülü ve baca gazı emisyonlarının oluşumunu beraberinde getirmektedir.

Çimento sanayinde, alternatif yakıt olarak hangi atıkların kullanılabilceği ve kullanım sonucunda oluşan baca gazı emisyonları için, 22.06.2005 tarihli, 25853 sayılı “Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ” esaslarına göre deneme yakması yapılarak baca gazı emisyonlarının, 14.03.2005 tarihli 25755 sayılı “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ” ve 7.10.2004 tarihli 25606 sayılı “Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ” nce belirtilen sınır değerlerin altında olması şartıyla lisans alınması gerekmektedir.

Söz konusu yönetmelik hükümleri doğrultusunda atıkları ek yakıt olarak kullanmak isteyen çimento fabrikaları mevcut filtrelerini ıslah ederek, yeni filtreler tesis ederek, yeni soğutma kuleleri inşa ederek, her tesise yanmanın kontrolü ve elektro filtrelerin korunması için baca gazı ölçüm sistemleri kurarak ve döner fırın E.filtre bacalarına sürekli toz ölçüm sistemleri kurarak ve sonucunda deneme yakması yaparak lisans almak kaydıyla atıkları ek yakıt olarak kullanabilirler (www.tcma.org.tr).

5.2.1 II.Çimento Sanayi Çevre Deklarasyonu

Avrupa Topluluğu standartları ile uyum için, Çevre ve Orman Bakanlığı ile Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan Çimento Sanayi Kuruluşları arasında 10.2.1993 tarihinde “I.Çimento Sanayi Çevre Deklarasyonu” ve 24.06.2004 tarihinde de “II.Çimento Sanayi Çevre Deklarasyonu” imzalanmıştır. II. deklarasyona göre (Deklarasyon metninde Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği kısaca “TCMB”, Çevre ve Orman Bakanlığı da “Bakanlık” olarak belirtilmiştir);

- 1) Çimento fabrikalarında baca gazındaki kükürtdioksit (SO_2) ilgili yönetmelikte tanımlandığı şekilde 400 mg/Nm^3 (kuru bazda) değerini aşmayacaktır. Kükürtdioksit emisyonu, yönetmelikte belirtilen kütsel debi sınırının üzerinde ise cihazlarla ölçölüp kaydedilecektir.
- 2) Eğer yakıtın ihtiva ettiğı kükürt klinkerin kavrulmasında öğütücü kurutucularda veya buharlaştırıcı soğutucularda tutabiliyor ve çimento kalitesi yönünden bir mahsur bulunmuyor ise kükürt oranı yüksek yakıtlar kullanılabilir. Çimento sanayi adına

belirtilen kapasitede ithal edilecek kuru bazda azami %5'e kadar kükürt içeren petrol koku ve 6 no'lu fuel oil kısmen veya tamamen başkasına satılmaksızın, sadece çimento fırınlarında kullanılacaktır. Diğer yandan petro-kok içersindeki kükürt oranları ve petro-kok ebatları hususu Bakanlık ve TÇMB tarafından bilimsel araştırma sonuçları ve yurt dışı uygulamalar doğrultusunda yeniden değerlendirilebilecektir. Ayrıca, ithal edilen petro-kok ile ilgili bilgiler Bakanlığın belirleyeceği formatta hazırlanacak ve Bakanlığın belirleyeceği periyotlarda iletilecektir.

- 3) Avrupa Birliğine uyum çalışmaları kapsamında, çimento fabrikalarından kaynaklanan azotoksit (azotdioksit cinsinden) emisyonu için sınır değeri %10 O₂ düzeltmeli, saatlik ortalama ve kuru bazda ızgaralı ön ısıtıcılı fırınlarda 1500 mg/Nm³, siklon ısıtıcılı fırınlarda 1300 mg/Nm³ (baca gazı değerlendirmeli) siklon ön ısıtıcılı fırınlarda 1800 mg/Nm³ (baca gazı değerlendirmesiz) olarak tespit edilmiştir.
- 4) Toz konsantrasyonlarını sürekli olarak ölçen yazıcılı monitör sistemleri, saatte 15 kg ve üzerinde toz yayan bütün ünitelerde her zaman çalışır vaziyette bulundurulacak, yapılacak kontrollerde ölçüm raporları ve herhangi bir gün ve saate ait verilerin istenilmesi durumunda yetkilere sunulacaktır. Her ünite ölçüm değerleri ilgili yönetmelikte tanımlandığı şekilde saatlik ortalama ve kuru bazda; 1993'den önce kurulan tesislerde elektrofiltre ile donatılmış olanlarda 120 mg/Nm³, elektrofiltre ile donatılmamış olanlarda 75 mg/Nm³, 1993 yılından sonra kurulan tesislerde 50 mg/Nm³ değerini aşmamalıdır.
- 5) Tozumayı engellemek için tesis içi yollar beton, asfalt, vb. malzemelerle kaplanacak ve tesis sahası çevresinde ağaçlandırma çalışmalarının sürdürülmesine devam edilecek ve 2 yıl içersinde tamamlanacaktır.
- 6) Kırıcılar, değirmenler, klinker taşıyıcıları ve kompresör gibi makinelerden yayılan gürültüler, çevrede rahatsızlığa yol açmayacak şekilde azaltılacak, aşırı gürültülü kısımlarda işçilerin çalışma süreleri Gürültü Kontrol Yönetmeliği standartlarına uygun olarak belirlenecektir (www.tcma.org.tr).

6. ALTERNATİF YAKIT OLARAK KATI ATIKLARIN KULLANILDIĞI ÇİMENTO FABRİKALARINDAN ÖRNEK ÇALIŞMALAR

6.1 Obourg Çimento Fabrikası – Belçika

- Obourg çimento Holderbank'a ait yıllık 2.5 milyon ton çimento üreten bir fabrikadır. 2 adet fırını mevcuttur ve yaş proses ile çalışılmaktadır (her biri yaklaşık 3000 ton klinker üretmektedir).
- Bu fabrikada atıkların düzenli ve verimli bir şekilde alternatif yakıt olarak kullanılmalarını sağlamak üzere özel bir şirket kurulmuştur. Bu şirketin temel görevleri atık borsası ve çimento fabrikası arasında koordinasyonu sağlamak, uluslararası düzeyde bu ilişkileri düzenlemek ve geliştirmek, atıkların kullanılmadan önce şartlandırılması, kontrolü ve fabrikaya transferi gibi işlemlerin yürütülmesini sağlamaktır.
- 10 yıldan fazla bir süredir yaklaşık 1 milyon ton tehlikeli atık alternatif yakıt ve hammadde olarak kullanılmıştır.
- Her sene yaklaşık 100.000 ton petrole eşdeğer fosil yakıt tasarruf edilmiştir.
- Halen tehlikeli olmayan maddelerin de alternatif yakıt olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Bunlar evsel, endüstriyel atıklar, çamur ve plastikler vb.
- 1990 yılında yılda 106.000 ton olarak kullanılan atık miktarı 1996 yılında 200.000 tona ulaşmıştır. Isı kazancı ise % 35 'lere varmıştır.
- 1997 sonu itibarıyla yıllık 300.000 ton atık madde kontrollü bir şekilde Obourg çimento fabrikasına getirilmektedir. Bu arada yeni bir atık şartlandırma tesisinin inşasına devam edilmektedir. Sistemin tüm maliyeti yaklaşık 12 milyon Ecu'dür.
- 1997 yılında yapılan sürekli ölçümlerde 7.8 mg/Nm^3 toz, 118 mg/Nm^3 SO_2 , 350 mg/Nm^3 NO_x ve 8.3 mg/Nm^3 Toplam organik karbon konsantrasyonları bulunmuştur. Bu konsantrasyon değerleri sınırların oldukça altındadır.
- Her sene düzenli olarak "atık yönetim raporu" hazırlanmaktadır. Bu raporda atıkların kaynakları, transferleri, kontrolleri, proses günleri, emisyon ve emisyon ölçüm sonuçları yer almaktadır. Tüm emisyon ve emisyon ölçümleri bağımsız ve akredite olmuş bir laboratuvar tarafından yapılmaktadır.
- Yapılan çalışmalar ile doğal kaynakların korunumu sağlanmış, hammadde olarak atıklardan yararlanılmış, emisyonlar azaltılmış, ürün kalitesi yakalanmış ve ekonomik açıdan düşük yatırım ve işletme maliyetlerine ulaşılmıştır.

6.2 Fransa Çimento Sektörü

- 1996 yılında Fransa'da kurulu 43 çimento fabrikasından 20 adedi atıkları alternatif yakıt olarak kullanabilmektedir. Toplam 460.000 ton atık (bunların 400.000 tonu tehlikeli atık olup, 135.000 tonu atık yağlardan ibarettir. Tehlikeli olmayan atık miktarı ise 60.000 ton olup, bunun 30.000 tonunu kullanılmış lastikler oluşturmaktadır).
- 1996 yılında atıklardan toplam 250.000 ton petrole eşdeğer enerji elde edilmiş ve %17'lik bir ısı kazanımı sağlanmıştır.
- 01.03.1993 tarihinde tehlikeli atıklar ve 03.05.1993 tarihinde ise tehlikeli olmayan atıkların çimento sanayinde kullanılabileceği kabul edilmiştir.
- 10.10.1996 tarihinde ise en son düzenlemeler yapılmıştır. İlgili maddeler de yakılabilecek atık türü ve miktarını, yakmadan önceki son kontrollerini, depolanmalarına ve transferlerine ilişkin prosedürleri, baca gazındaki emisyon sınır değerleri ve tetkik işlemlerinin nasıl yürütüleceği anlatılmaktadır.
- Çimento fabrikalarında kullanılan tehlikeli atıklar; atık yağlar, kesme yağları, boya çamuru, rejenere olmayan çözücüler, mürekkep artıkları, hidrokarbonlar ve vernikler vb. Tehlikeli olmayan atıklar ise; kullanılmış araba lastikleri, odun atıkları, kağıt ve plastikler vb. olarak saptanmıştır.
- ADEME (Agency for Defense of the Environmental and Energy Control- Çevre Koruma ve Enerji Kontrol Ajansı) Fransa'da çalışmalarını yürüten resmi bir ajanstır. ADEME'nin yaptığı testlerin sonucunda çimento fabrikalarında atıkların istenen verimde yakılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan testlerle aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir ;
 - 1) En kararlı organik moleküller bile parçalanabilmektedir ve arıtma verimi % 99.99 'un üzerindedir,
 - 2) Klor,sülfür ve ağır metaller ürün içinde kalmaktadır,
 - 3) Dioksin ve furan emisyonu çok düşük seviyelerde ölçülmüştür.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Frangey ve Lafarge-Val d'Azergues çimento fabrikalarında yapılan testlerde benzer sonuçlara ulaşılmıştır :

a) Lafarge-Frangey çimento fabrikasında yapılan testlerde atık içerisinde mevcut ağır metallerin %99.71 'i klinker içerisinde tutulmuştur. Ayrıca uçucu organik gazlardan toluen'de %99.997, ksilen'de %99.9998 ve O-diklorbenzen'de %99.998 'lik bir arıtım sağlanmıştır.

b) Lafarge-Val d'Azergues çimento fabrikasında iki ayrı durum değerlendirmesi yapılmıştır. Alternatif yakıt olarak atıklar kullanıldığı durumda SO₂ emisyonu 73 mg/Nm³,

NO_x emisyonu 1495 mg/Nm³ ve HCl emisyonu 0.19 mg/Nm³ olarak tespit edilmiştir.

Fosil yakıtların kullanıldığı durumda ise SO₂ emisyonu 45 mg/Nm³, NO_x emisyonu 960 mg/Nm³ ve HCl emisyonu 0.30 mg/Nm³ olarak tespit edilmiştir. Tüm ölçüm sonuçları %10 O₂ konsantrasyonlarına göre düzenlenmiştir.

6.3 ABD Çimento Sektöründe Lastik-Türevli Atık Kullanımı

- 1991 yılında 3 fırında kullanılan lastik-türevli atıklar 1994 yılı sonu itibariyle 25 fırına yükselmiştir.
- Halen ABD'de atık lastiklerin en büyük alıcısı çimento sektörüdür.
- Yapılan araştırmalar lastik-türevli yakıtların kömüre göre %25 daha fazla ısı değeri olduğunu göstermiştir.
- 1991 yılı şubat ayında EPA (Environmental Protection Agency - Çevre Koruma Ajansı) çimento fabrikalarında tehlikeli atıkların yakılabilmesi ile ilgili standartlar getirmiştir. Bu standartlardaki temel nokta partikül madde, karbonmonoksit, hidrokarbonlar, dioksin ve furanlar, metaller, toplam hidrojen klorür emisyonları ile atık bertarafının ve yakımının veriminin standartlaştırılmasıdır.
- EPA, NO_x emisyonlarının azaltılmasında yakıt olarak lastik kullanımının önemli faydaları olduğunu saptamıştır.

6.4 Almanya Çimento Sektörü

Almanya'da tehlikeli atıkların çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılabilmesine ilişkin araştırmalar ve testler yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Yapılan incelemeler ve testler, atıkların yakılmasından kaynaklanabilecek olan ağır metal emisyonlarının çevresel kirlilik açısından önemsiz olduğunu göstermiştir.
- Tüm organik bileşikler tam olarak parçalanabilmektedir. Dioksin ve furan konsantrasyonları 0.1 ng TE/m³'ün oldukça altında tespit edilmiştir.
- Çimento fabrikalarından kaynaklanan emisyonlar, emisyon sınır değerlerinin %1'i kadardır.

6.5 Castle Çimento Fabrikası-İngiltere

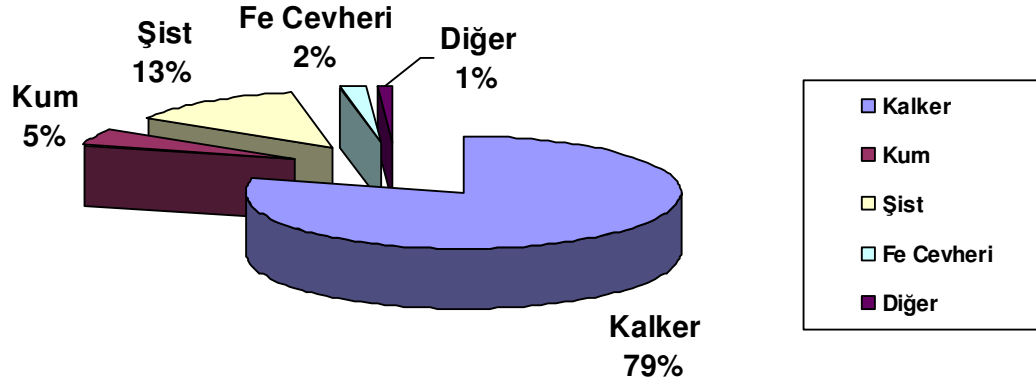
- Castle çimento fabrikalarında 5 seneyi aşkın bir süredir alternatif yakıt olarak atıklar kullanılmaktadır.
- Bu çimento fabrikalardan elde edilen tecrübeler ve yapılan testlere bakılarak bir takım sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre ;
- Çimento sektörü atıkları alternatif yakıt olarak seçerek yılda 1 milyon ton kömüre eşdeğer enerji elde edebilir.
- Çevre hava kalitesi sürekli olarak incelenmiştir. Sonuçların %99.6 'sında iyi ya da çok iyi olarak nitelendirilebilecek sonuçlar elde edilmiştir.
- Çevresel etki değerlendirmesi açısından oluşan emisyonlarda hava, su ve toprak kalitesi ile flora ve faunaya bakıldığında çevreyi kirletici herhangi bir olumsuz etki görülmemiştir.

6.6 Akçansa Çimento Fabrikası – Türkiye

- Akçansa, Büyükçekmece 'deki kurulu fabrikasında 07.10.2004 tarihinden beri lisanslı olarak, kullanılmış I.ve II. kategori atık yağlar ile kullanılmış lastikler ek yakıt olarak döner fırınlarda kullanılmaktadır.
- Şu an ek atık yakıt kullanımı sadece 3. fırında yapılmaktadır. 2.fırında da atıkların kullanımı için sistem otomasyon inşaatı devam etmekte olup, 2006 yılında da tesiste plastik atıkların kullanımı planlanmaktadır.
- Burada 3 adet üretim hattı mevcut olup, 1.üretim hattında 90 ton/saat, 2.üretim hattında 140 ton/saat, 3.üretim hattında 115 ton/saat kapasiteli farin değirmenlerinde hammadde hazırlanmaktadır.
- Hazırlanan bu hammadde 1. üretim hattında 1300 ton/gün, 2. üretim hattında 2800 ton/gün, 3. üretim hattında 1600 ton/gün olmak üzere 5450 ton/gün kapasiteli ön ısıtıcı prekalsinatörlü kuru sistem döner fırınlarında 1450-1500°C 'de pişirilerek klinker üretilmektedir.
- Üretim hatlarının yıllık kapasitesi 1. üretim hattı 425.000 ton/yıl, 2.üretim hattı 900.000 ton/yıl ve 3.üretim hattı 525.000 ton/yıl olmak üzere toplam 1.850.000 ton/yıl klinkerdir.
- Üç üretim hattında üretilen klinker, 2 adedi 90'ar ton/saat, 1 adedi 135 ton/saat ve 1 adedi 60 ton/saat olmak üzere toplam 375 ton/saat kapasiteli dört adet çimento değirmeninde katkı maddeleri ile birlikte öğütülerek üretilen çimento, toplam dokuz adet paketleme makinesi ile beş adet dökme çimento tesisinden oluşan beş adet paketleme ünitesinden, torba ve dökme çimento olarak piyasaya sürülmektedir.

- Akçansa'da Çimento üretimi ;

1. Taş ocaklarından getirilen hammaddeler ; kum, şist, demir cevheri, kalker, kireç taşı ve alçı taşı Şekil 6.1 'deki gibi oranlarda kırıcılarında öğütüldükten sonra 38.000 ton kapasiteli, ham madde homejenizasyonunun sağlandığı depoda Şekil 6.2'deki gibi depo edilir,

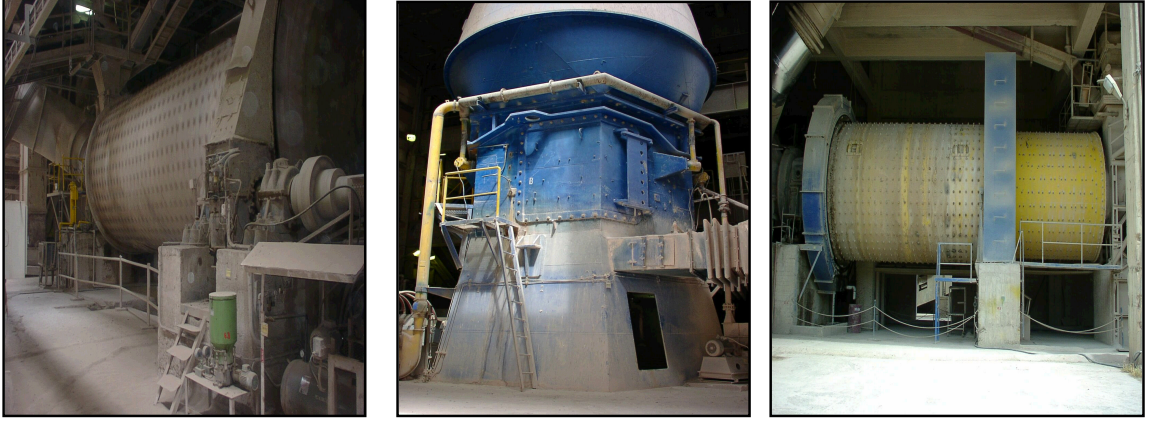


Şekil 6.1 Hammadde oranı



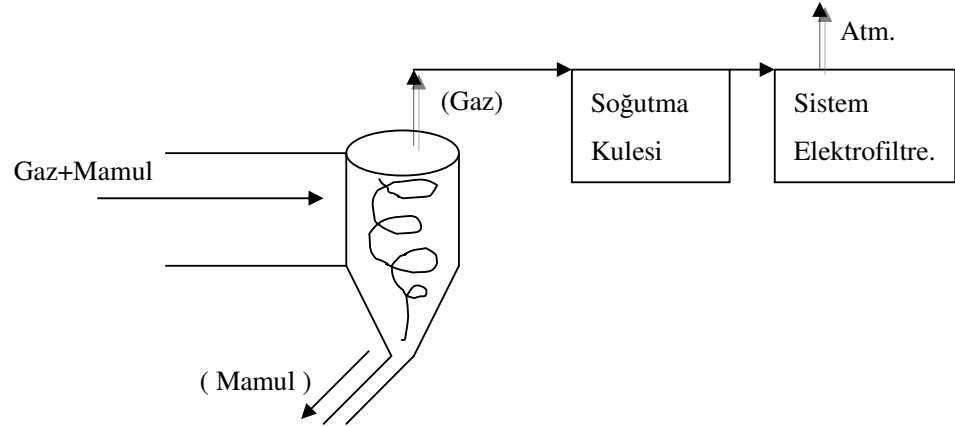
Şekil 6.2 Hammaddenin kırıcılardan sonra homojen olarak depo edilişi Akçansa A.Ş.

2. Homojene edilmiş ham madde farin değirmenlerinde öğütülür. Sırasıyla Şekil 6.3'deki öğütücülerin kapasite ve ebatları, 1 nolu 90 t/h 10.15*3.80m ; 2 nolu 140 t/h 10.15*3.80m ; 3 nolu 115 t/h 7.8*4.08m'dir.



Şekil 6.3 Sırayla 1, 2 ve 3 nolu farin öğütücüler Akçansa A.Ş.

3. Farin adı verilen hammadde karışımı öğütüldükten sonra düzenli besleme için farin silolarına oradan da dört adet siklonlardan geçirilerek %3 eğimli klinker fırınına verilir. Şekil 6.4'deki gibi siklonlardan geçirilerek verilmesindeki amaç farinin fırına girmeden önce kademeli olarak ısıtılmasıdır. Bu da klinkerin soğutulmasından gelen sıcak havanın siklonlara verilmesiyle mümkün olur.



Şekil 6.4 Siklonlar Akçansa A.Ş.

Şekil 6.4'deki gibi siklonlardan çıkan gaz önce soğutma kulesi ardında Şekil 6.5'deki elektro filtrelerden geçirilir. Elektro filtreden geçirilen hava 250-300°C sıcaklıkta atmosfere verilir.



Şekil 6.5 Elektrofiltreler Akçansa A.Ş.

4. 850°C ile fırına gelen farin, %3 eğimli döner fırınlarda 1450°C civarında sıcaklığa kadar pişirilir. Çizelge 6.1’de üç döner fırının özellikleri ve baca gazı debileri ile Şekil 6.6’da sırasıyla üç döner fırın görülmektedir.

Çizelge 6.1 Döner fırınlara ait özellikler ve baca gazı debileri

	Uzunluk,m	Çap,m	Klinker, ton/gün	Baca Yüksekliği,m	Baca Gazı Debileri,T=250°C		
					m ³ /h	m ³ /sn	Nm ³ /sn
1.Döner Fırın	60,5	4,2	1300	67	154.978	43,05	22,45
2.Döner Fırın	60,5	4,2	2800	72	391.187	108,66	56,72
3.Döner Fırın	69	4,35	1600	64	161.818	44,95	23,46



Şekil 6.6 Tesisteki sırasıyla üç döner fırın Akçansa A.Ş.

Kullanılan yakıtların ısı değerleri ;

- Doğal gaz 9200 kcal/m³ (38548 kJ/ m³),
- Petrokok 8000 kcal/kg (33500 kJ/kg),
- Linyit 6200 kcal/kg (25978 kJ/kg),
- Atık oto lastiği 5500 kcal/kg (23045 kJ/kg),
- Atık motor yağı 9300 kcal/kg (38967 kJ/kg),
- Fuel-oil (6 numara) 10000 kcal/kg'dır (41900 kJ/kg).

Yakıt olarak 14 ton/h-kömür kapasiteli 1.fırında kömür, 14 ton/h-kömür kapasiteli 2.fırında kömür ve manuel besleme olarak kullanılmış oto lastikleri kullanılmaktadır. Otomasyonla besleme ünitesinin inşaatı devam etmektedir. 12 ton/h-kömür kapasiteli 3.fırında ise kömür yakıtla birlikte atık yağlar ve araba lastikleri otomasyonla besleme yapılmaktadır. Yakıt ısı gücünün %2-3 'nü atıklardan karşılamaktadır. Üç fırına ait toplam yakıt tüketimi;

- Doğal gaz 6000 m³/gün (38,5 MJ/m³ × 6000 m³/24-h = 9625 MJ/h),
- Petrokok 480 ton/gün (33,5 MJ/kg × 480000 kg/24-h = 670000 MJ/h),
- Linyit 145 ton/gün (25,9 MJ/kg × 145000 kg/24-h = 156480 MJ/h),
- Atık oto lastiği 25 ton/gün (23,0 MJ/kg × 25000 kg/24-h = 23958 MJ/h),
- Atık yağ 6000 lt/gün 'dür. (38,9 MJ/kg × 4800 kg/24-h = 7780 MJ/h).

$$\text{Toplam} = 867843 \text{ MJ/h} = 241067 \text{ kW} = 241 \text{ MW} \quad (1 \text{ kWh}=3,6 \text{ MJ})$$

Temin edilen atık yağlar rutubet, pH, yoğunluk, kül, klorür, kükürt ve kalori analizlerine tabi tutulur. Şekil 6.7 'de atık lastiklerin fabrika alanında depo edilişi, Şekil 6.8'de atık lastiklerin otomasyonla beslenişi ve Çizelge 6.2'de Akçansa atık yağ kabul kriterleri, Çizelge 6.3'de atık yağlar için yapılmış analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.7 Atık lastiklerin depo edilişi Akçansa A.Ş.



Şekil 6.8 Atık lastiklerin otomosyonla fırına beslenişi Akçansa A.Ş.

Çizelge 6.2 Akçansa çimento atık yağ kabul kriterleri

		Değer	Birim
Partikül Büyüklüğü	Maks.	0,15	mm
Su Oranı	Maks.	10	%
Isıl Değeri	Maks.	≥8,751	kcal/kg
Kükürt	Maks.	0,5	%
Kül	Maks.	1	%
Arsenik	Maks.	5	ppm
Kadmiyum	Maks.	2	ppm
Krom	Maks.	10	ppm
Klorür	Maks.	2000	ppm
Kurşun	Maks.	100	ppm
Toplam Halojenler	Maks.	2000	ppm
PCB	Maks.	50	ppm
Diğer	Tali Madde İçermiyecek		

Çizelge 6.3 Akçansa atık yağlar için yapılmış analiz sonuçları

Numune Adı	Numunenin Alındığı Yer	Numunenin Alındığı Tarih	Tonaj	Rapor Tarihi	Rutubet (%)	pH	Kül - Ash (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kükürt- SO ₂ (%)	Klorür - Cl (%)	Kalori (kcal/kg)
					max % 10		max % 1				min 9300
Atık Yağ	PETDER Firması 34CZU 90 Plakalı Araç	13.09.2004	11100 kg	20.09.2004	9,25	5,77	0,99	0,88	0,78	0,00	9403
Atık Yağ	PETDER Firması 41 KU 279 Plakalı Araç	16.09.2004	11900 kg	20.09.2004	3,23	6,06	0,87	0,88	0,57	0,00	10435
Atık Yağ	PETDER Firması 41 KU 279 Plakalı Araç	17.09.2004	7950 kg	21.09.2004	6,01	5,91	0,94	0,89	0,72	0,00	9845
Atık Yağ	PETDER Firması 41 KU 279 Plakalı Araç	24.09.2004	14150 kg	25.09.2004	5,57	5,72	0,92	0,87	0,83	0,00	9992
Atık Yağ	PETDER Firması 41 KU 279 Plakalı Araç	28.09.2004	14400 kg	28.09.2004	5,00	5,07	0,99	0,88	1,21	0,00	10287

5. Döner fırından çıkan klinker, havayla soğutularak 90.000 ton kapasiteli klinker stokhollerine aktarılır. Klinkeri soğutan hava, farin hammaddesini döner fırın giriş sıcaklığına getirmek için üstten farinin giriş yaptığı siklonlara alttan verilir. Daha sonra siklonlardan çıkan hava soğutma kulelerinden geçirilip eloktrofiltrelere verilip artırılır. Çizelge 6.4’de yıl boyunca aylık toz emisyon değerleri ve Çizelge 6.5’de de ortalama aylık döner fırınların baca gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 6.4 Akçansa aylık ort. döner fırın toz emisyonları ,2005

	1.DF TOZ (mg/m ³)	2.DF TOZ (mg/m ³)	3.DF TOZ (mg/m ³)
OCAK	23,16	54,15	48,31
ŞUBAT	18,78	54,67	27,88
MART	19,85	64,3	51,28
NİSAN	24,3	66,27	51,6
MAYIS	16,17	41,73	51,13
HAZİRAN	13,24	41,06	60,52
TEMMUZ	10,11	53,02	38,16
AĞUSTOS	14,21	60,37	42,06
EYLÜL	13,47	48,57	50,14
ORT.	17	53,8	46,8

Çizelge 6.5 Akçansa aylık ort. döner fırın baca gazı emisyonları ,2005

2005	DÖNER FIRIN-1				DÖNER FIRIN-2				DÖNER FIRIN-3			
	CO	O ₂	SO ₂	NO _x	CO	O ₂	SO ₂	NO _x	CO	O ₂	SO ₂	NO _x
	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
	ppm	%	mg	mg	ppm	%	mg	mg	ppm	%	mg	mg
OCAK	64,6	13,0	42,8	633,0	194,0	11,9	22,1	743,3	58,4	10,2	9,2	757,5
ŞUBAT	97,6	11,7	61,5	610,6	339,7	11,7	48,5	588,5	86,8	9,8	45,6	723,7
MART	146,5	11,5	88,5	575,6	327,4	11,7	60,5	671,5	56,2	9,7	76,4	709,7
NİSAN	363,5	12,2	237,9	498,3	458,2	11,6	66,0	632,5	216,5	9,7	47,9	723,0
MAYIS	152,1	12,2	109,2	575,7	556,9	11,6	24,1	653,0	576,7	10,1	39,0	697,9
HAZ.	97,1	12,0	47,3	744,5	829,9	12,5	30,3	591,6	481,2	10,2	77,6	738,0
TEM.	224,8	11,6	90,6	717,6	642,1	11,0	102,2	621,9	402,6	9,3	44,7	667,9

2005	DÖNER FIRIN-1				DÖNER FIRIN-2				DÖNER FIRIN-3			
	CO	O ₂	SO ₂	NO _x	CO	O ₂	SO ₂	NO _x	CO	O ₂	SO ₂	NO _x
	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
	ppm	%	mg	mg	ppm	%	mg	mg	ppm	%	mg	mg
AĞS.	133,9	11,6	47,3	681,4	518,8	11,2	21,2	552,6	363,8	9,1	57,3	718,0
EKİM	96,4	12,0	59,6	719,1	271,3	11,2	29,4	806,7	122,8	9,6	31,4	878,1
KASIM	71,6	11,8	39,2	818,6	305,3	11,9	22,9	747,1	175,8	9,4	32,9	822,5
ARLK	60,4	12,2	61	815	294	12,3	22,9	667,9	119,9	9,7	48,3	838,8
ORT.	131,7	11,9	81,9	676,6	414,7	11,6	41,1	667,0	233,1	9,7	45,1	757,6
ORT. mg/Nm ³	165,38		157,5	1301,2	520,7		79,04	1282,7	292,7		86,73	1456,9

6. Klinker stokhollerinden sonra alçı ve diğer katkı maddeleri ilave edilerek sırasıyla 135, 60, 90, 90 ton/saat kapasiteli dört adet çimento değirmenlerinde öğütülen klinker çimento silolarına aktarılır. Çimento daha sonra dökme ve paketleme şeklinde satışa sunulur.

7. ATIKLARIN EK YAKIT OLARAK KULLANILMASINDA UYULACAK GENEL KURALLAR HAKKINDA TEBLİĞ

22.06.2005 tarihli, 25853 sayılı bu tebliğin amacı, atıkların ek yakıt olarak kullanılmalarına ilişkin teknik ve idari hususları ve uyulması gereken genel kuralları düzenlemektir.

Tebliğin 1. maddesinde, “Bu tebliğ, 14/3/2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” nin 15 ve 21 inci maddeleri, 21/1/2004 tarihli ve 25353 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği ” nin 22 inci maddesi ile 7/10/2004 tarihli ve 25606 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” nin ilgili hükümlerine dayanılarak hazırlanmıştır” ifadesi yer almaktadır..

- Genel Kurallar : Enerji geri kazanımı amacıyla Çizelge 7.1’de belirtilen atıkları;

Çizelge 7.1 Ek yakıt olarak çimento fabrikalarında kullanılacak atıklar

- Kullanılmış lastikler
- I ve II nci kategori atık yağlar
- Boya Çamurları
- Solventler
- Plastik Atıklar
- Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından uygun görülecek diğer atıklar

kullanacak tesislerde aşağıdaki maddelere uyulması zorunludur:

- Çimento fabrikalarında ; Çizelge 7.1 ’de belirtilen atıklar Çevre ve Orman Bakanlığından lisans alınmak kaydıyla ek yakıt olarak kullanılabilir.
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin 20 nci maddesine göre tehlikeli atık yakma tesislerinde uygulanan baca gazı emisyon limitleri aşağıda verilmektedir. Yakıt ısıl gücünün %40’ından fazlasını (Madde I) bendinde belirtilen atıklardan karşılayan tesislerde aşağıda verilen emisyon limitleri uygulanır.

a) Yakma tesisinde işletme sırasında yanma gazındaki Karbon monoksit (CO) için aşağıda verilen sınır değerler aşılamaz;

I. Yanma gazında günlük ortalama değerler olarak ; 50 mg/Nm³,

II. Yanma gazında 10 dakikalık ortalama değer olarak alınan tüm ölçümlerin en az %95'inde ; 150 mg/Nm³,

III. Yanma gazında herhangi bir 24 saat zaman aralığı içinde yarım saatlik ortalama değerler olarak alınan tüm ölçümlerde; 100 mg/Nm³ (T.A. Kon.Yön.2005).

b) Yakma tesisleri, baca gazlarında aşağıdaki emisyon sınır değerlerini geçmeyecek şekilde tasarlanır, donatılır ve işletilir. Yanma gazları kontrollü bir şekilde baca yardımıyla atmosfere atılır. Tesisin baca yüksekliği, 7/10/2004 tarihli ve 25606 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre tasarlanır ve uygulanır. Yakma tesisleri baca gazlarında aşağıdaki emisyon sınır değerleri aşılmaz:

Günlük ortalama değerler:

Toplam toz	10 mg/Nm ³
Toplam organik karbonla ifade edilen gaz ve buharlı organik maddeler.....	10 mg/Nm ³
Hidrojen Klorür (HCl)	10 mg/Nm ³
Hidrojen Florür (HF)	1 mg/Nm ³
Kükürt dioksit (SO ₂)	50 mg/Nm ³
Azot monoksit ve azot dioksit (NO ₂ olarak)	200 mg/Nm ³

Yarım saatlik ortalama değerler:

Toplam toz	30 mg/Nm ³
Toplam organik karbonla ifade edilen gaz ve buhar halinde organik maddeler	20 mg/Nm ³
Hidrojen Klorür (HCl)	60 mg/Nm ³
Hidrojen Florür (HF)	4 mg/Nm ³
Kükürt dioksit SO ₂	200 mg/Nm ³
Azot monoksit ve azot dioksit (NO ₂ olarak)	400 mg/Nm ³

c) Minimum yarım saatlik ve maksimum sekiz saatlik bir örnekleme sürecinde tüm ortalama değerlerde Çizelge 7.2'de verilmektedir. Bu ortalama değerler, ilgili ağır metal emisyonlarının gaz ve buhar şeklinde olanlarıyla beraber metal bileşiklerini de

kapsamaktadır (T.A. Kon.Yön.,2005).

Çizelge 7.2 Min.yarım saatlik ve max.sekiz saatlik bir süreçteki buhar ve gaz halindeki ağır metal emisyonları ile metal bileşiklerin ort.değerleri (T.A. Kon.Yön.)

Kadmiyum ve bileşikleri (Cd olarak) Talyum ve bileşikleri (TI olarak)	}	Toplam 0.05 mg/Nm ³
Cıva ve bileşikleri (Hg olarak)	}	Toplam 0.05 mg/Nm ³
Antimon ve bileşikleri (Sb olarak) Arsenik ve bileşikleri (As olarak) Kurşun ve bileşikleri (Pb olarak) Krom ve bileşikleri (Cr olarak) Kobalt ve bileşikleri (Co olarak) Bakır ve bileşikleri (Cu olarak) Mangan ve bileşikleri (Mn olarak) Nikel ve bileşikleri (Ni olarak) Vanadyum ve bileşikleri (V olarak) Kalay ve bileşikleri (Sn olarak)	}	Toplam 0.5 mg/Nm ³

d) Dioksin ve furan emisyonları en ileri tekniklerle azaltılır. Minimum altı saat ve maksimum sekiz saatlik örnekleme süresinde ölçülen tüm ortalama değerler 0,1 ng/Nm³ sınır değerini aşmayacaktır.

e) Aşağıdaki parametrelerin sürekli ölçümleri yapılacaktır:

- Toplam toz
- Karbon monoksit (CO)
- NO_x
- Hidrojen Florür (HF)
- Hidrojen Klorür (HCl)
- Toplam Organik Karbon (TOC)
- Kükürt dioksit (SO₂)
- Oksijen, basınç ve sıcaklık

- f) Ağır metaller yılda en az iki kez, dioksin ve furan ise yılda 1 kez ölçülür. İlk yıldan sonra ağır metallerin periyodik ölçüm sıklığının yılda iki kereden yılda bir kereye indirilmesine, analiz sonuçlarının emisyon limit değerlerinin %50 altında olması halinde Çevre ve Orman Bakanlığınca müsaade edilebilir.
- g) Çimento fabrikalarında baca gazı ölçüm sonuçlarının sınır değerlere uygunluklarını karşılaştırmak için; ölçüm sonuçları aşağıda verilen koşullarda standartlaştırılacaktır.

$$\text{Sıcaklık} = 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\text{Basınç} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$\text{Oksijen} = \%10 \text{ (kuru bazda)}$$

Tesiste alternatif yakıt olarak yalnız atık yağın kullanılması durumunda ise ölçüm sonuçları aşağıda verilen koşullarda standartlaştırılacaktır.

$$\text{Sıcaklık} = 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\text{Basınç} = 101,3 \text{ kPa}$$

$$\text{Oksijen} = \% 3 \text{ (kuru bazda)}$$

- Yakıt ısıl gücünün %40'ına eşit veya daha az bir kısmını Çizelge 7.1'de belirtilen atıklardan karşılayacak çimento fabrikaları ile sadece I veya II nci kategori atık yağ yakılmasına müsaade edilecek diğer tesisler için aşağıda verilen formüle (7.1) göre belirlenecek emisyon sınırları uygulanır.

$$\frac{V_{\text{atık}}C_{\text{atık}} + V_{\text{proses}}C_{\text{proses}}}{V_{\text{atık}} + V_{\text{proses}}} = C \quad (7.1)$$

$V_{\text{atık}}$ = Atığın en düşük ısıl değeri esas alınarak işletme koşullarında yakılması durumunda oluşacak ek yanma gazı debisi (Nm^3/saat). Ancak atık ısıl gücü, toplam ısıl gücün %10'undan azsa, %10 ısıl güce tekabül eden atığa karşılık gelen yanma gazı debisi kullanılır. $V_{\text{atık}}$ 'ın hesaplanması Ek 2 'de verilen abaklar ile yapılır.

$C_{\text{atık}}$ = Atık yakma tesisleri için (Madde II) bendinde verilen sınır değerler (mg/Nm^3).

V_{proses} = Normal işletme şartlarında (atık yakılmazken) prosesten atılan baca gazı debisi (Nm^3/saat)

C_{proses} = Normal işletme şartlarındaki (atık yakılmazken) emisyon sınır değerleri (mg/Nm^3).

$$C = \text{Uygulanacak sınır değeri (mg/Nm}^3 \text{)}$$

$V_{\text{atık}}$ ekde verilen abaklardan aşağıdaki gibi bulunur:

1-Kullanılacak hava fazlalık katsayısının (n) bulunması:

$n = \frac{21}{21 - (\% \text{ referans } O_2 \text{ değeri})}$	Örneğin, referans O_2 değeri %10 ise $n = \frac{21}{21 - 10} = 1,9$
---	--

2- Atığın alt ısı değeri ilgili abağın yatay ekseninde bulunarak, yukarı doğru bir dik çizilir. $n=2,1$ (ya da kullanılan n-değerine ait) eğrisini kestiği yerden yatay çizgilere düşey eksenden V_g (Nm³/kg-atık) bulunur.

$V_{\text{atık}} = V_g \text{ (Nm}^3\text{/kg-atık)} \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$
--

Not: Abaklarda bulunmayan n-değeri için eğriler, $n=1$ değerine ait olan V_{gt} eğrisi ve V_{ht} eğrisinden aşağıdaki gibi türetilir. Herhangi bir alt ısı değere karşılık gelen noktayı bulmak için:

$$V_g = V_{gt} + (n-1)V_{ht}$$

Örneğin, $n=2,1$ ve $H=10000$ kcal/kg olan sıvı atık için, sıvı atık abağından

$$V_{g=2,1} = 11,6 + (2,1-1) \times 10,85 = 23,54 \text{ Nm}^3\text{/kg-atık olarak bulunur.}$$

Çizelge 7.3 'de çimento fabrikaları için C_{proses} değerleri verilmiştir :

Çizelge 7.3 Çimento fabrikaları C_{proses} değerleri

Toplam Toz (Elektrofiltre bacası).....	120mg/Nm ³
Organik Buhar ve Gazlar***	
I.Sınıf Organik Bileşikler.....	20mg/Nm ³
II.Sınıf Organik Bileşikler	150 mg/Nm ³
III.Sınıf Organik Bileşikler.....	300 mg/Nm ³
Hidrojen Klorür (HCl).....	30 mg/Nm ³
Hidrojen Florür (HF)	5 mg/Nm ³
Kükürt dioksit (SO ₂)	300 mg/Nm ³

Azot monoksit ve Azot dioksit (NO ₂ olarak)	
Ön Izgaralı Isıtıcı Fırınlarda.....	1500 mg/Nm ³
Siklon Ön Isıtıcı Fırınlarda (Baca Gazı Değerlendirmeli).....	
	1300 mg/Nm ³
Siklon Ön Isıtıcı Fırınlarda (Baca Gazı Değerlendirmesiz).....	
	1800 mg/Nm ³
Kadmiyum ve Bileşikleri (Cd olarak)	} TOPLAM
Talyum ve Bileşikleri (Tl olarak)	
	0,1 mg/Nm ³
Civa ve Bileşikleri (Hg olarak)	} 0,1 mg/Nm ³
Antimon ve Bileşikleri (Sb olarak)	} 1 mg/Nm ³
Arsenik ve Bileşikleri (As olarak)	
Kurşun ve Bileşikleri (Pb olarak)	
Krom ve Bileşikleri (Cr olarak)	
Kobalt ve Bileşikleri (Co olarak)	
Bakır ve Bileşikleri (Cu olarak)	
Mangan ve Bileşikleri (Mn olarak)	
Nikel ve Bileşikleri (Ni olarak)	
Vanadyum ve Bileşikleri (V olarak)	
Kalay ve Bileşikleri (Sn olarak)	

*** Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği 39 uncu maddesine göre;
 I'inci sınıfa giren org. bileşikler (0,1 kg/saat ve üzerindeki emisyon debileri için) 20 mg/Nm³
 II'nci sınıfa giren org. bileşikler (3 kg/saat ve üzerindeki emisyon debileri için) 150 mg/Nm³
 III'üncü sınıfa giren org. bileşikler (6 kg/saat ve üzerindeki emisyon debileri için) 300 mg/Nm³

Yukarıda verilen konsantrasyon sınırları aşılmaması kaydıyla; I inci ve II nci sınıflara giren organik buhar ve gazların bir arada bulunması durumunda toplam emisyon konsantrasyonu 150 mg/Nm³, I nci ve III üncü veya II nci ve III üncü sınıflara giren organik buhar ve gazların bir arada bulunması durumunda ve I nci, II nci ve III üncü sınıflara giren organik buhar ve gazların bir arada bulunması durumunda toplam emisyon konsantrasyonu 300 mg/Nm³ sınırını aşamaz.

- Tesis, yanma gazları en elverişsiz koşullarda bile kontrollü ve homojen bir şekilde yanma bölgesinde en az 2 saniye ve minimum 850 °C sıcaklıkta kalacak şekilde tasarlanır, donatılır ve işletilir. Ancak içeriğinde % 1'den fazla miktarda halojenli organik madde bulunduran atık yakılması durumunda, gerekli minimum sıcaklık 1100 °C, alıkoyma zamanı ise en az 2 saniye olacaktır. Tesiste belirtilen değerlerin altına düşüldüğünde atık beslemesi durdurulacaktır (www.cevreorman.gov.tr).

- Tesis etki alanında hava kalitesi ve emisyon ölçümleri, akredite edilmiş veya Çevre ve

Orman Bakanlığınca uygun bulunan laboratuvarlara sahip olan özel veya kamu kurum kuruluşları tarafından yapılır (www.cevreorman.gov.tr).

- Atık yağların toplanması, taşınması, tesise kabulü, geçici depolanmasında Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğinin ilgili hükümleri, diğer atıklar için Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uygulanır. I ve II 'nci kategori atık yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için tehlikeli atık ve maddelerle karıştırılmamış olduğunun belgelenmesi, ayrıca çimento ve atık yakma tesisleri dışındaki tesisler tarafından kullanılacak atık yağların ısı değeri en az 6000 kcal/kg olması gerekmektedir (www.cevreorman.gov.tr).

- Tesiste atık kabul ünitesi, laboratuvar, geçici depolama alanları, atık besleme sistemi bulunur ve bu birimlerde yapılan tüm işlemler kayıt altına alınır. Tesise kabul edilen atıklara parçalama, rendeleme gibi ön işlem yapılabilir.

- Çevre ve Orman Bakanlığından lisans alan tesisler, lisans aldıkları tarihten itibaren tesise kabul edilen atık türü, miktarı, kimden alındığı, kullanım miktarı, bakiye atık oluşuyor ise bertaraf amacıyla nereye verildiği gibi bilgileri içeren kütle balansı tablosunu ve atık temin edilen kişi veya kuruluştan alınan atığa ilişkin analiz sonuçları ile ulusal atık taşıma formlarını ve faturaları aylık olarak Çevre ve Orman Bakanlığına gönderir.

I. Ek Yakıt Lisansı :

Bu Tebliğ kapsamındaki atıkları ek yakıt olarak kullanma talebinde bulunan tesisler, Çevre ve Orman Bakanlığından lisans almakla yükümlüdürler. Lisans süresi 3 yıldır.

II. Deneme Yakması :

Tebliğ kapsamındaki atıkları yakabilmek için lisans talebinde bulunan tesislerde deneme yakmasının yapılması zorunludur. Deneme yakmasının amacı; emisyon sınır değerlerinin, atık menüsü ve atık besleme hızına bağlı olarak tesis tarafından karşılanabileceğini göstermektir.

III. Lisans iptali :

Çevre ve Orman Bakanlığınca veya ilgili valilikçe yapılan denetimlerde tesisin lisansa uygun olarak çalıştırılmadığı, mevzuatta istenen şartların yerine getirilmediği, ilgili ölçümlerin düzenli olarak yapılmadığı veya kaydedilmediğinin tespit edilmesi halinde işletmeciye, tespit edilen aksaklıkların düzeltilmesi için aksaklığın önemine ve kaynağına göre bir ay ile bir yıl arasında süre verilir. Bu süre sonunda yapılan kontrollerde aksaklığın devam ettiği tespit edilirse, tespit edilen aksaklığın niteliğine göre 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre

Kanunu'nun 15 ve 16 'ncı maddeleri doğrultusunda işlem yapılır. Faaliyeti geçici süre ile durdurulan işletmenin süre sonunda yükümlülüklerini yerine getirmemesi halinde lisansı iptal edilir (www.cevreorman.gov.tr).

7.1 Yakıt Olarak Kullanılacak Atık Maddelerin Fabrika Alanında Depolanmasına Dair Esaslar

Döner fırınlarda ikincil yakıt olarak atık kullanımının temel aşamaları aşağıdaki gibidir.

- Kabul ve Kontrol (atık madde analizi),
- Depolama (atıkların depolanması),
- Karıştırma ve enjeksiyon (atıkların beslenmesi).

I. Atık madde analizi; incelenen tüm atık türleri için benzerdir. Bu analizlerle yakıtların birbirleriyle uyumlu olması, doğru bileşim içinde kullanılması ve klinker üretimine ya da çevreye zarar vermemesi esas amaçtır. Bu açıdan atıkların fiziksel ve kimyasal analiz edilmeleri çok önemlidir. Bu bazı atılar için (atık lastikler gibi) gözle de olabileceği gibi bazı atık türleri (atık yağlar, solventler gibi) için ısıl değer, pH, kükürt oranı, klorür oranı, rutubet, kül gibi kimyasal analiz yapmak gereklidir (www.akcansa.com.tr).

II. Atıkların depolanması; genelde kapalı ortamlarda saklanırlar. Ancak depolama şekli yakıt türüne göre değişmektedir. Örneğin atık lastikler açık alanda depolanabilir. Ancak atık yağların kapalı bir sistem de (tanklarda vs.) depolanması gerekir. Bunun yanında bazı durumlarda depolanan maddenin derinliği ve depoda tutulma süreleri gibi faktörler çok önemlidir.

III. Atıkların hazırlanması ve beslenmesi; bazı durumlarda atık maddeler, yakıtın fırında yanmaya uygun bir formda verilmesi için ön işlemlerden geçirilmesi, işlenmesi gerekmektedir. Yakıtın uyumu prosesin kilit noktasıdır, bu açıdan yakıtın işlenmesi çok önemlidir. İşlemden geçirilmesinin tedarikçi tarafından yapılabildiği gibi çimento fabrikası tarafından da gerçekleştirilebilir. Yapılması gerekenlere örnek olarak; parçalamak, kurutmak, kıymak, öğütmek gibi işlemleri verebiliriz. Atıklar saydığımız ön işlemlerden geçirildikten sonra çeşitli yakma noktalarında fırına verilebilir. Katı atıkların siteme verilebileceği yelere örnek olarak;

1. Fırının sıcak tarafından (alev borusundan) diğer yakıtlar ile birlikte kombineli ya da ayrı olarak pnömatik (Plastikler...)
2. Kalsinatöre ya da ön ısıtıcıya ekleme (Lastikler...)

3. Fırının orta kısmından besleme (Lastikler, balyalanmış atıklar).

Atık besleme ünitesinin dizaynı kullanılacak atıkların tipine ve miktarına bağlı olarak büyük farklılıklar göstereceğinden çimento fabrikaları kullanacakları atığa göre sistem modellemesi yapılmalıdır.

Atık besleme istasyonu fabrika sahasına kurularak çimento fabrikası ile entegre çalışacak şekilde tasarlanabileceği gibi fabrikadan bağımsız bir noktaya kurularak ayrı bir tesis şeklinde de düşünülebilir. Bununla beraber istasyonun günlük işleyişi kuruluş yerinden bağımsız olarak prensipte aynıdır. İstasyon fabrika sahasına kurulduğu takdirde nakliye borular yardımı ile yapılabilir. Katı atıklar için ise konveyör sistemi tercih edilebilir.

Bir boru hattı veya konveyör sistemi yoksa, atığın tankerlerle ya da özel yataklı kamyonlarla taşınması gerekecektir. Tankerlerin kullanılması halinde atığın fırın kanallarına doğrudan beslenmesi mümkün olacaktır. Bununla beraber yanma odasına düzenli bir akış sağlayabilmek için biri boşaldığında diğerini yedekleyebilecek dolu bir tank bulundurmakla mümkün olacaktır (www.k-c-k.org.tr).

7.2 Atıkların Değişen Oranlarda Çimento Fabrikalarında Yakılması ile Oluşan Baca Gazı Emisyon Limit Değerlerinin Ek Yakıt Tebliğine Göre Hesabı

AKÇANSA'nın Büyükçekmece'de kurulu çimento üretim tesisinin mevcut anma ısı gücü 240 MW'dır. Bu ısı gücünün temini amacıyla halihazırda döner fırınlarda kullanılan yakıt oranları ; %77 petrokok, %18 linyit, %1,1 doğalgaz , %2,7 atık oto lastiği ve %1,2 atık yağ şeklindedir. Halihazır durumda bu tür tesislerin uyması gereken baca gazı emisyon limitleri Tebliğ'de yer almaktadır. Ancak, tebliğde hangi yakıtların yakılması durumu için bu limitlerin geçerli olduğu konusu açık değildir. Tebliğin yayınlanma amacından hareketle, bu limitlerin atık yakıt yakılması durumu için olmadığı, dolayısıyla tesiste atık yakıt dışında kullanılan yakıtlar için bu limitlerin geçerli olabileceği kabul edilmiştir. Tebliğin amacına uygun olarak hareket edebilmek için, atık yakıt yakılması durumunda baca gazlarında uyulması gereken limit değerlerin hesaplanması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Buna göre, ana yakıt olarak linyit yakıldığı, diğerlerinin atık yakıt (petrokok, atık yağ ve atık lastik) olduğu kabulüyle emisyon limit değerlerinin hesaplanması gerekli görülmüştür. Bu amaçla, yakıtların değişen oranlarda kullanıldığına dair çeşitli senaryolar oluşturularak, her bir senaryo için ayrı hesaplama yapılmıştır.

-Senaryo 1 : Tesis anma ısı gücü için %100 linyit kullanılmaktadır. Atık kullanılmadığı için baca gazı emisyon limit değerleri (C) için C_{proses} geçerlidir.

-Senaryo 2 : Tesiste gereken anma ısı gücü için %20, %50, %80 ve %100 oranlarında petrokok kullanılmaktadır. Petrokokun değişik oranlarda kullanımı sonucu uyulması gereken baca gazı emisyon limitleri Çizelge 7.4 - 7.7'de verilmiştir.

-Petrokokun %20 kullanılması durumu;

- Kullanılacak hava fazlalık katsayısının (n) bulunması (%10 oksijene göre)

$$n = \frac{21}{21 - 10} = 1,9$$

- Tesisin anma ısı gücü = 240 MW = 867.843 MJ/saat
- Linyitin ısı değeri = 6200 kcal/kg = 25978 kJ/kg = 25,978 Mj/kg
- Isı gücün linyitten karşılanmasında gerekli miktar = $867.843 / 25,978 = 33407$ kg/h
- Saatlik yakılan normal yakıt (liniyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = $33407 \times 0,20 = 6681,4$ kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1$ Nm³/h (kg yakıt/h x Nm³ hava / kg yakıt)
- Petrokokun alt ısı değeri $H_u = 8000$ kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından ($n = 1,9$; $H_u = 8000$ kcal/kg) $V_g = 16,5$ Nm³/kg
- $V_{atık} = V_g$ (Nm³/kg-atık) x Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)

$$V_{atık} = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6681,4 \text{ kg-atık/h} = 110243,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\frac{V_{atık} C_{atık} + V_{proses} C_{proses}}{V_{atık} + V_{proses}} = C$$

Çizelge 7.4 %20 Petrokok kullanılması durumunda uylacak emisyon limitleri

	V _{atık}	Gün.ort. C _{atık} (Ek-2)	1/2 h'lik ort. C _{atık} (Ek-2)	V _{proses}	Tebliğ Ek-3 C _{proses}	Gün.ort. C _{1 mg/Nm³}	1/2 h'lik ort. C _{2 mg/Nm³}
Toplam Toz	110243,1	10	30	444313,1	120	98	102
SO ₂	110243,1	50	200	444313,1	300	250	280
NO _x	110243,1	200	400	444313,1	1300	1081	1121
HF	110243,1	1	4	444313,1	5	4	5
HCl	110243,1	10	60	444313,1	30	26	36
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	110243,1	10	20	444313,1	20	18	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	110243,1	10	20	444313,1	150	122	124
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	110243,1	10	20	444313,1	300	242	244
Ağır metaller							
Cd	110243,1	0,05	0,025	444313,1	20	16,03	16,03
Pb	110243,1	0,05	0,025	444313,1	20	16,03	16,03
Hg	110243,1	0,05	0,05	444313,1	20	16,03	16,03
Sb	110243,1	0,5	0,05	444313,1	50	40,16	40,07
As	110243,1	0,5	0,05	444313,1	1	0,90	0,81
Pb	110243,1	0,5	0,05	444313,1	20	16,12	16,03
Cr	110243,1	0,5	0,05	444313,1	20	16,12	16,03
Co	110243,1	0,5	0,05	444313,1	50	40,16	40,07
Cu	110243,1	0,5	0,05	444313,1	20	16,12	16,03
Mn**	110243,1	0,5	0,05	444313,1	50	40,16	40,07
Ni*** (Tablo 39.1 için)	110243,1	0,5	0,05	444313,1	20	16,12	16,03
Ni*** (Tablo 39.3 için)	110243,1	0,5	0,05	444313,1	1	0,90	0,81
V	110243,1	0,5	0,05	444313,1	20	16,12	16,03
Sn**	110243,1	0,5	0,05	444313,1	50	40,16	40,07
Dioksin ve furan****	110243,1	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

* EKHKKY Tablo 39.2 den, "I nci, II nci ve III üncü sınıflara giren organik buhar ve gazlar için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Tebliğ EK-2'de TOC için ayrı ayrı değer verilmediğinden C_{atık} değeri 20mg/Nm³ alınarak hesaplama yapılmıştır.

** EKHKKY Madde 39 Tablo 39.1 da yer almadıkları için en yakın grup olarak II. sınıfa dahil edilmişlerdir.

*** EKHKKY Tablo 39.1 ve Tablo 39.3'de yer aldığı için 2 ayrı şekilde hesaplanmıştır.

**** Dioksin ve furan konsantrasyonu ng/Nm³ biriminde verilmiştir.

-Perokokun %50 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,50 = 16703,5 kg-atık/h
- $V_{\text{proses}} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 8000 kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{\text{atık}} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{\text{atık}} = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 16703,5 \text{ kg-atık/h} = 275607,75 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.5 %50 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{\text{atık}}$	Gün.ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	1/2 h'lik ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	275607,8	10	30	444313,1	120	78	86
SO ₂	275607,8	50	200	444313,1	300	204	262
NOx	275607,8	200	400	444313,1	1300	879	955
HF	275607,8	1	4	444313,1	5	3	5
HCl	275607,8	10	60	444313,1	30	22	41
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	275607,8	10	20	444313,1	20	16	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	275607,8	10	20	444313,1	150	96	100
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	275607,8	10	20	444313,1	300	189	193
Ağır metaller							
Cd	275607,8	0,05	0,025	444313,1	20	12,36	12,35
Pb	275607,8	0,05	0,025	444313,1	20	12,36	12,35
Hg	275607,8	0,05	0,05	444313,1	20	12,36	12,36
Sb	275607,8	0,5	0,05	444313,1	50	31,05	30,88
As	275607,8	0,5	0,05	444313,1	1	0,81	0,64
Pb	275607,8	0,5	0,05	444313,1	20	12,53	12,36
Cr	275607,8	0,5	0,05	444313,1	20	12,53	12,36
Co	275607,8	0,5	0,05	444313,1	50	31,05	30,88
Cu	275607,8	0,5	0,05	444313,1	20	12,53	12,36
Mn**	275607,8	0,5	0,05	444313,1	50	31,05	30,88
Ni*** (Tablo 39.1 için)	275607,8	0,5	0,05	444313,1	20	12,53	12,36
Ni*** (Tablo 39.3 için)	275607,8	0,5	0,05	444313,1	1	0,81	0,64
V	275607,8	0,5	0,05	444313,1	20	12,53	12,36
Sn**	275607,8	0,5	0,05	444313,1	50	31,05	30,88
Dioksin ve furan****	275607,8	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

-Petrokokun %80 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,80 = 26725,6 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atık} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atık} = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 26725,6 \text{ kg-atık/h} = 440972,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.6 %80 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{atık}$	Gün.ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	440972,4	10	30	444313,1	120	65	75
SO ₂	440972,4	50	200	444313,1	300	175	250
NO _x	440972,4	200	400	444313,1	1300	752	852
HF	440972,4	1	4	444313,1	5	3	5
HCl	440972,4	10	60	444313,1	30	20	45
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	440972,4	10	20	444313,1	20	15	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	440972,4	10	20	444313,1	150	80	85
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	440972,4	10	20	444313,1	300	156	161
Ağır metaller							
Cd	440972,4	0,05	0,025	444313,1	20	10,06	10,05
Pb	440972,4	0,05	0,025	444313,1	20	10,06	10,05
Hg	440972,4	0,05	0,05	444313,1	20	10,06	10,06
Sb	440972,4	0,5	0,05	444313,1	50	25,34	25,12
As	440972,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,75	0,53
Pb	440972,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,29	10,06
Cr	440972,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,29	10,06
Co	440972,4	0,5	0,05	444313,1	50	25,34	25,12
Cu	440972,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,29	10,06
Mn**	440972,4	0,5	0,05	444313,1	50	25,34	25,12
Ni*** (Tablo 39.1 için)	440972,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,29	10,06
Ni*** (Tablo 39.3 için)	440972,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,75	0,53
V	440972,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,29	10,06
Sn**	440972,4	0,5	0,05	444313,1	50	25,34	25,12
Dioksin ve furan****	440972,4	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

-Perokokun %100 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 1,0 = 33407 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atık} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atık} = 16,5 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 33407 \text{ kg-atık/h} = 551215,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.7 %100 Petrokok kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{atık}$	Gün.ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	551215,5	10	30	444313,1	120	59	70
SO ₂	551215,5	50	200	444313,1	300	162	245
NO _x	551215,5	200	400	444313,1	1300	691	802
HF	551215,5	1	4	444313,1	5	3	4
HCl	551215,5	10	60	444313,1	30	19	47
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	551215,5	10	20	444313,1	20	14	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	551215,5	10	20	444313,1	150	72	78
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	551215,5	10	20	444313,1	300	139	145
Ağır metaller							
Cd	551215,5	0,05	0,025	444313,1	20	8,95	8,94
Pb	551215,5	0,05	0,025	444313,1	20	8,95	8,94
Hg	551215,5	0,05	0,05	444313,1	20	8,95	8,95
Sb	551215,5	0,5	0,05	444313,1	50	22,59	22,34
As	551215,5	0,5	0,05	444313,1	1	0,72	0,47
Pb	551215,5	0,5	0,05	444313,1	20	9,20	8,95
Cr	551215,5	0,5	0,05	444313,1	20	9,20	8,95
Co	551215,5	0,5	0,05	444313,1	50	22,59	22,34
Cu	551215,5	0,5	0,05	444313,1	20	9,20	8,95
Mn**	551215,5	0,5	0,05	444313,1	50	22,59	22,34
Ni*** (Tablo 39.1 için)	551215,5	0,5	0,05	444313,1	20	9,20	8,95
Ni*** (Tablo 39.3 için)	551215,5	0,5	0,05	444313,1	1	0,72	0,47
V	551215,5	0,5	0,05	444313,1	20	9,20	8,95
Sn**	551215,5	0,5	0,05	444313,1	50	22,59	22,34
Dioksin ve furan****	551215,5	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

-Senaryo 3 : Tesiste gereken anma ısı gücü için %20, %50, %80 ve %100 oranlarında atık oto lastiği kullanılmaktadır. Atık oto lastiğinin değişik oranlarda kullanımı sonucu uyulması gereken baca gazı emisyon limitleri Çizelge 7.8 - 7.11’de verilmiştir.

- Atık oto lastiğinin %20 kullanılması durumu;

- Kullanılacak hava fazlalık katsayısının (n) bulunması (%10 oksijene göre)

$$n = \frac{21}{21 - 10} = 1,9$$

- Tesisin anma ısı gücü = 240 MW = 867.843 MJ/saat
- Linyitin ısı değeri = 6200 kcal/kg = 25978 kJ/kg = 25,978 Mj/kg
- Isıl gücün linyitten karşılanmasında gerekli miktar = 867.843/25,978 = 33407 kg/h
- Saatlik yakılan normal yakıt (liniyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,20 = 6681,4 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 5500 kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atik} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atik} = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6681,4 \text{ kg-atık/h} = 81513,08 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\frac{V_{atik} C_{atik} + V_{proses} C_{proses}}{V_{atik} + V_{proses}} = C$$

Çizelge 7.8 %20 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{atık}$	Gün.ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. C_1 mg/Nm ³	1/2 h'lik ort. C_2 mg/Nm ³
Toplam Toz	81513,08	10	30	444313,1	120	103	106
SO ₂	81513,08	50	200	444313,1	300	261	284
NOx	81513,08	200	400	444313,1	1300	1129	1160
HF	81513,08	1	4	444313,1	5	4	5
HCl	81513,08	10	60	444313,1	30	27	35
TOC* (I.sınıf org. Kir. için)	81513,08	10	20	444313,1	20	18	20
TOC* (II.sınıf org. Kir. için)	81513,08	10	20	444313,1	150	128	130
TOC* (III.sınıf org. Kir. için)	81513,08	10	20	444313,1	300	255	257
Ağır metaller							
Cd	81513,08	0,05	0,025	444313,1	20	16,91	16,90
Pb	81513,08	0,05	0,025	444313,1	20	16,91	16,90
Hg	81513,08	0,05	0,05	444313,1	20	16,91	16,91
Sb	81513,08	0,5	0,05	444313,1	50	42,33	42,26
As	81513,08	0,5	0,05	444313,1	1	0,92	0,85
Pb	81513,08	0,5	0,05	444313,1	20	16,98	16,91
Cr	81513,08	0,5	0,05	444313,1	20	16,98	16,91
Co	81513,08	0,5	0,05	444313,1	50	42,33	42,26
Cu	81513,08	0,5	0,05	444313,1	20	16,98	16,91
Mn**	81513,08	0,5	0,05	444313,1	50	42,33	42,26
Ni*** (Tablo 39.1 için)	81513,08	0,5	0,05	444313,1	20	16,98	16,91
Ni*** (Tablo 39.3 için)	81513,08	0,5	0,05	444313,1	1	0,92	0,85
V	81513,08	0,5	0,05	444313,1	20	16,98	16,91
Sn**	81513,08	0,5	0,05	444313,1	50	42,33	42,26
Dioksin ve furan****	81513,08	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

* EKHKKY Tablo 39.2 den, "I nci, II nci ve III üncü sınıflara giren organik buhar ve gazlar için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Tebliğ EK-2'de TOC için ayrı ayrı değer verilmediğinden $C_{atık}$ değeri 20mg/Nm³ alınarak hesaplama yapılmıştır.

** EKHKKY Madde 39 Tablo 39.1 da yer almadıkları için en yakın grup olarak II. sınıfa dahil edilmişlerdir.

*** EKHKKY Tablo 39.1 ve Tablo 39.3'de yer aldığı için 2 ayrı şekilde hesaplanmıştır.

**** Dioksin ve furan konsantrasyonu ng/Nm³ biriminde verilmiştir.

- Atık oto lastiğinin %50 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,50 = 16703,5 kg-atık/h
- $V_{\text{proses}} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 5500 kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{\text{atık}} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{\text{atık}} = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 16703,5 \text{ kg-atık/h} = 203782,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.9 %50 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{\text{atık}}$	Gün.ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	1/2 h'lik ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	203782,7	10	30	444313,1	120	85	92
SO ₂	203782,7	50	200	444313,1	300	221	269
NO _x	203782,7	200	400	444313,1	1300	954	1017
HF	203782,7	1	4	444313,1	5	4	5
HCl	203782,7	10	60	444313,1	30	24	39
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	203782,7	10	20	444313,1	20	17	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	203782,7	10	20	444313,1	150	106	109
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	203782,7	10	20	444313,1	300	209	212
Ağır metaller							
Cd	203782,7	0,05	0,025	444313,1	20	13,73	13,72
Pb	203782,7	0,05	0,025	444313,1	20	13,73	13,72
Hg	203782,7	0,05	0,05	444313,1	20	13,73	13,73
Sb	203782,7	0,5	0,05	444313,1	50	34,44	34,29
As	203782,7	0,5	0,05	444313,1	1	0,84	0,70
Pb	203782,7	0,5	0,05	444313,1	20	13,87	13,73
Cr	203782,7	0,5	0,05	444313,1	20	13,87	13,73
Co	203782,7	0,5	0,05	444313,1	50	34,44	34,29
Cu	203782,7	0,5	0,05	444313,1	20	13,87	13,73
Mn**	203782,7	0,5	0,05	444313,1	50	34,44	34,29
Ni*** (Tablo 39.1 için)	203782,7	0,5	0,05	444313,1	20	13,87	13,73
Ni*** (Tablo 39.3 için)	203782,7	0,5	0,05	444313,1	1	0,84	0,70
V	203782,7	0,5	0,05	444313,1	20	13,87	13,73
Sn**	203782,7	0,5	0,05	444313,1	50	34,44	34,29
Dioksin ve furan****	203782,7	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

- Atık oto lastiğinin %80 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,8 = 26725,6 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 5500 kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atık} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atık} = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 26725,6 \text{ kg-atık/h} = 326052,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.10 %80 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{atık}$	Gün.ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	326052,3	10	30	444313,1	120	73	82
SO ₂	326052,3	50	200	444313,1	300	194	258
NOx	326052,3	200	400	444313,1	1300	834	919
HF	326052,3	1	4	444313,1	5	3	5
HCl	326052,3	10	60	444313,1	30	22	43
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	326052,3	10	20	444313,1	20	16	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	326052,3	10	20	444313,1	150	91	95
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	326052,3	10	20	444313,1	300	177	181
Ağır metaller							
Cd	326052,3	0,05	0,025	444313,1	20	11,56	11,55
Pb	326052,3	0,05	0,025	444313,1	20	11,56	11,55
Hg	326052,3	0,05	0,05	444313,1	20	11,56	11,56
Sb	326052,3	0,5	0,05	444313,1	50	29,05	28,86
As	326052,3	0,5	0,05	444313,1	1	0,79	0,60
Pb	326052,3	0,5	0,05	444313,1	20	11,75	11,56
Cr	326052,3	0,5	0,05	444313,1	20	11,75	11,56
Co	326052,3	0,5	0,05	444313,1	50	29,05	28,86
Cu	326052,3	0,5	0,05	444313,1	20	11,75	11,56
Mn**	326052,3	0,5	0,05	444313,1	50	29,05	28,86
Ni*** (Tablo 39.1 için)	326052,3	0,5	0,05	444313,1	20	11,75	11,56
Ni*** (Tablo 39.3 için)	326052,3	0,5	0,05	444313,1	1	0,79	0,60
V	326052,3	0,5	0,05	444313,1	20	11,75	11,56
Sn**	326052,3	0,5	0,05	444313,1	50	29,05	28,86
Dioksin ve furan****	326052,3	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

- Atık oto lastiğinin %100 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 1,0 = 33407 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 5500 kcal/kg
- Katı Yakıt Abağından $V_g = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atık} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atık} = 12,2 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 33407 \text{ kg-atık/h} = 407565,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.11 %100 Atık oto lastiğinin kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{atık}$	Gün.ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{atık}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	407565,4	10	30	444313,1	120	67	77
SO ₂	407565,4	50	200	444313,1	300	180	252
NO _x	407565,4	200	400	444313,1	1300	774	869
HF	407565,4	1	4	444313,1	5	3	5
HCl	407565,4	10	60	444313,1	30	20	44
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	407565,4	10	20	444313,1	20	15	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	407565,4	10	20	444313,1	150	83	88
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	407565,4	10	20	444313,1	300	161	166
Ağır metaller							
Cd	407565,4	0,05	0,025	444313,1	20	10,46	10,44
Pb	407565,4	0,05	0,025	444313,1	20	10,46	10,44
Hg	407565,4	0,05	0,05	444313,1	20	10,46	10,46
Sb	407565,4	0,5	0,05	444313,1	50	26,32	26,10
As	407565,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,76	0,55
Pb	407565,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,67	10,46
Cr	407565,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,67	10,46
Co	407565,4	0,5	0,05	444313,1	50	26,32	26,10
Cu	407565,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,67	10,46
Mn**	407565,4	0,5	0,05	444313,1	50	26,32	26,10
Ni*** (Tablo 39.1 için)	407565,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,67	10,46
Ni*** (Tablo 39.3 için)	407565,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,76	0,55
V	407565,4	0,5	0,05	444313,1	20	10,67	10,46
Sn**	407565,4	0,5	0,05	444313,1	50	26,32	26,10
Dioksin ve furan****	407565,4	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

-Senaryo 4 : Tesiste gereken anma ısı gücü için %20, %50, %80 ve %100 oranlarında atık yağ (sintine) kullanılmaktadır. Atık yağın değişik oranlarda kullanımı sonucu uyulması gereken baca gazı emisyon limitleri Çizelge 7.12 - 7,15’de verilmiştir.

- Atık yağın %20 kullanılması durumu:

- Kullanılacak hava fazlalık katsayısının (n) bulunması (%10 oksijene göre)

$$n = \frac{21}{21 - 10} = 1,9$$

- Tesisin anma ısı gücü = 240 MW = 867.843 MJ/saat
- Linyitin ısı değeri = 6200 kcal/kg = 25978 kJ/kg = 25,978 Mj/kg
- Isıl gücün linyitten karşılanmasında gerekli miktar = 867.843/25,978 = 33407 kg/h
- Saatlik yakılan normal yakıt (liniyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,20 = 6681,4 kg-atık/h
- $V_{proses} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 9300 kcal/kg
- SıvıYakıt Abağından $V_g = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{atık} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{atık} = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6681,4 \text{ kg-atık/h} = 130955,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\frac{V_{atık} C_{atık} + V_{proses} C_{proses}}{V_{atık} + V_{proses}} = C$$

Çizelge 7.12 %20 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	V _{atık}	Gün.ort. C _{atık} (Ek-2)	1/2 h'lik ort. C _{atık} (Ek-2)	V _{proses}	Tebliğ Ek-3 C _{proses}	Gün.ort. C ₁ mg/Nm ³	1/2 h'lik ort. C ₂ mg/Nm ³
Toplam Toz	130955,4	10	30	444313,1	120	95	100
SO ₂	130955,4	50	200	444313,1	300	243	277
NO _x	130955,4	200	400	444313,1	1300	1050	1095
HF	130955,4	1	4	444313,1	5	4	5
HCl	130955,4	10	60	444313,1	30	25	37
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	130955,4	10	20	444313,1	20	18	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	130955,4	10	20	444313,1	150	118	120
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	130955,4	10	20	444313,1	300	234	236
Ağır metaller							
Cd	130955,4	0,05	0,025	444313,1	20	15,46	15,45
Pb	130955,4	0,05	0,025	444313,1	20	15,46	15,45
Hg	130955,4	0,05	0,05	444313,1	20	15,46	15,46
Sb	130955,4	0,5	0,05	444313,1	50	38,73	38,63
As	130955,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,89	0,78
Pb	130955,4	0,5	0,05	444313,1	20	15,56	15,46
Cr	130955,4	0,5	0,05	444313,1	20	15,56	15,46
Co	130955,4	0,5	0,05	444313,1	50	38,73	38,63
Cu	130955,4	0,5	0,05	444313,1	20	15,56	15,46
Mn**	130955,4	0,5	0,05	444313,1	50	38,73	38,63
Ni*** (Tablo 39.1 için)	130955,4	0,5	0,05	444313,1	20	15,56	15,46
Ni*** (Tablo 39.3 için)	130955,4	0,5	0,05	444313,1	1	0,89	0,78
V	130955,4	0,5	0,05	444313,1	20	15,56	15,46
Sn**	130955,4	0,5	0,05	444313,1	50	38,73	38,63
Dioksin ve furan****	130955,4	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

* EKHKY Tablo 39.2 den, "I nci, II nci ve III üncü sınıflara giren organik buhar ve gazlar için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Tebliğ EK-2'de TOC için ayrı ayrı değer verilmediğinden C_{atık} değeri 20mg/Nm³ alınarak hesaplama yapılmıştır.

** EKHKY Madde 39 Tablo 39.1 da yer almadıkları için en yakın grup olarak II. sınıfa dahil edilmişlerdir.

*** EKHKY Tablo 39.1 ve Tablo 39.3'de yer aldığı için 2 ayrı şekilde hesaplanmıştır.

**** Dioksin ve furan konsantrasyonu ng/Nm³ biriminde verilmiştir.

- Atık yağın %50 kullanılması durumu;

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,50 = 16703,5 kg-atık/h
- $V_{\text{proses}} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 9300 kcal/kg
- Sıvı Yakıt Abağından $V_g = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{\text{atık}} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{\text{atık}} = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 16703,5 \text{ kg-atık/h} = 327388,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.13 %50 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{\text{atık}}$	Gün.ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	1/2 h'lik ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	327388,6	10	30	444313,1	120	73	82
SO ₂	327388,6	50	200	444313,1	300	194	258
NO _x	327388,6	200	400	444313,1	1300	833	918
HF	327388,6	1	4	444313,1	5	3	5
HCl	327388,6	10	60	444313,1	30	22	43
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	327388,6	10	20	444313,1	20	16	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	327388,6	10	20	444313,1	150	91	95
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	327388,6	10	20	444313,1	300	177	181
Ağır metaller							
Cd	327388,6	0,05	0,025	444313,1	20	11,54	11,53
Tl	327388,6	0,05	0,025	444313,1	20	11,54	11,53
Hg	327388,6	0,05	0,05	444313,1	20	11,54	11,54
Sb	327388,6	0,5	0,05	444313,1	50	29,00	28,81
As	327388,6	0,5	0,05	444313,1	1	0,79	0,60
Pb	327388,6	0,5	0,05	444313,1	20	11,73	11,54
Cr	327388,6	0,5	0,05	444313,1	20	11,73	11,54
Co	327388,6	0,5	0,05	444313,1	50	29,00	28,81
Cu	327388,6	0,5	0,05	444313,1	20	11,73	11,54
Mn**	327388,6	0,5	0,05	444313,1	50	29,00	28,81
Ni*** (Tablo 39.1 için)	327388,6	0,5	0,05	444313,1	20	11,73	11,54
Ni*** (Tablo 39.3 için)	327388,6	0,5	0,05	444313,1	1	0,79	0,60
V	327388,6	0,5	0,05	444313,1	20	11,73	11,54
Sn**	327388,6	0,5	0,05	444313,1	50	29,00	28,81
Dioksin ve furan****	327388,6	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

- Atık yağın %80 kullanılması durumu:

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 0,80 = 26725,6 kg-atık/h
- $V_{\text{proses}} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 9300 kcal/kg
- Sıvı Yakıt Abağından $V_g = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{\text{atık}} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{\text{atık}} = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 26725,6 \text{ kg-atık/h} = 523821,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.14 %80 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{\text{atık}}$	Gün.ort. $C_{\text{atık}}$ (Ek-2)	1/2 h'lik ort. $C_{\text{atık}}$ (Ek-2)	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	523821,8	10	30	444313,1	120	60	71
SO ₂	523821,8	50	200	444313,1	300	165	246
NOx	523821,8	200	400	444313,1	1300	705	813
HF	523821,8	1	4	444313,1	5	3	4
HCl	523821,8	10	60	444313,1	30	19	46
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	523821,8	10	20	444313,1	20	15	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	523821,8	10	20	444313,1	150	74	80
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	523821,8	10	20	444313,1	300	143	149
Ağır metaller							
Cd	523821,8	0,05	0,025	444313,1	20	9,21	9,19
Pb	523821,8	0,05	0,025	444313,1	20	9,21	9,19
Hg	523821,8	0,05	0,05	444313,1	20	9,21	9,21
Sb	523821,8	0,5	0,05	444313,1	50	23,22	22,97
As	523821,8	0,5	0,05	444313,1	1	0,73	0,49
Pb	523821,8	0,5	0,05	444313,1	20	9,45	9,21
Cr	523821,8	0,5	0,05	444313,1	20	9,45	9,21
Co	523821,8	0,5	0,05	444313,1	50	23,22	22,97
Cu	523821,8	0,5	0,05	444313,1	20	9,45	9,21
Mn**	523821,8	0,5	0,05	444313,1	50	23,22	22,97
Ni*** (Tablo 39.1 için)	523821,8	0,5	0,05	444313,1	20	9,45	9,21
Ni*** (Tablo 39.3 için)	523821,8	0,5	0,05	444313,1	1	0,73	0,49
V	523821,8	0,5	0,05	444313,1	20	9,45	9,21
Sn**	523821,8	0,5	0,05	444313,1	50	23,22	22,97
Dioksin ve furan****	523821,8	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

- Atık yağın %100 kullanılması durumu:

- Saatlik yakılan normal yakıt (linyit) miktarı = 33407 kg-yakıt/h
- Saatlik yakılan atık miktarı = 33407 x 1,0 = 33407 kg-atık/h
- $V_{\text{proses}} = 444313,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (kg yakıt/h x Nm^3 hava / kg yakıt)
- Atığın ısı değeri 9300 kcal/kg
- Sıvı Yakıt Abağından $V_g = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
- $V_{\text{atık}} = V_g (\text{Nm}^3/\text{kg-atık}) \times \text{Yakılan Atık Miktarı (kg-atık/saat)}$

$$V_{\text{atık}} = 19,6 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 33407 \text{ kg-atık/h} = 654777,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 7.15 %100 Atık yağın kullanılması durumunda uyulacak emisyon limitleri

	$V_{\text{atık}}$	Gün.ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	1/2 h'lik ort. $C_{\text{atık}} (\text{Ek-2})$	V_{proses}	Tebliğ Ek-3 C_{proses}	Gün.ort. $C_1 \text{ mg/Nm}^3$	1/2 h'lik ort. $C_2 \text{ mg/Nm}^3$
Toplam Toz	654777,2	10	30	444313,1	120	54	66
SO ₂	654777,2	50	200	444313,1	300	151	240
NOx	654777,2	200	400	444313,1	1300	645	764
HF	654777,2	1	4	444313,1	5	3	4
HCl	654777,2	10	60	444313,1	30	18	48
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	654777,2	10	20	444313,1	20	14	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	654777,2	10	20	444313,1	150	67	73
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	654777,2	10	20	444313,1	300	127	133
Ağır metaller							
Cd	654777,2	0,05	0,025	444313,1	20	8,11	8,10
Pb	654777,2	0,05	0,025	444313,1	20	8,11	8,10
Hg	654777,2	0,05	0,05	444313,1	20	8,11	8,11
Sb	654777,2	0,5	0,05	444313,1	50	20,51	20,24
As	654777,2	0,5	0,05	444313,1	1	0,70	0,43
Pb	654777,2	0,5	0,05	444313,1	20	8,38	8,11
Cr	654777,2	0,5	0,05	444313,1	20	8,38	8,11
Co	654777,2	0,5	0,05	444313,1	50	20,51	20,24
Cu	654777,2	0,5	0,05	444313,1	20	8,38	8,11
Mn**	654777,2	0,5	0,05	444313,1	50	20,51	20,24
Ni*** (Tablo 39.1 için)	654777,2	0,5	0,05	444313,1	20	8,38	8,11
Ni*** (Tablo 39.3 için)	654777,2	0,5	0,05	444313,1	1	0,70	0,43
V	654777,2	0,5	0,05	444313,1	20	8,38	8,11
Sn**	654777,2	0,5	0,05	444313,1	50	20,51	20,24
Dioksin ve furan****	654777,2	0,1	0,1	444313,1	0,1	0,10	0,10

Çimento fabrikasında farklı türde atıkların değişen oranlarda yakılması sonucu oluşan gün. ort. baca gazı emisyon limitleri Çizelge 7.16'da , ½ h 'lik ort. baca gazı emisyon limitleri Çizelge 7.17'de verilmiştir. Tesiste atık yakılmadığı zaman emisyon limiti olarak C_{proses} değerleri geçerlidir. Eğer tesiste atık kullanılıyorsa ve kullanım oranı arttıkça emisyon limit değeride düşmektedir. Dolayısıyla çimento üreticileri atık kullanımını arttırdıkları vakit oluşacak baca gazı emisyonlarını verilen emisyon sınır değerlerinin altında tutabilmek için arıtım teknolojilerini iyileştirmek, arttırmak zorundalardır. Sonuç olarak çimento fabrikalarında, tebliğ ile belirlenmiş atıklar, baca gazı emisyon limit değerlerini aşmamak kaydıyla değişen oranlarda ek yakıt olarak kullanılabilir.

Çizelge 7.16 Atıkların değişen kullanım oranlarına göre uyulacak günlük ort. emisyon limit değerleri

Parametre	Atık Yok C _{proses}	Atık Kullanım Oranlarına Göre Gün. Ort. C ₁ mg/Nm ³ Limit Değerleri											
		Petro Kok				Atık Yağ				Atık Lastik			
		20%	50%	80%	100%	20%	50%	80%	100%	20%	50%	80%	100%
Toplam Toz	120	98	78	65	59	95	73	60	54	103	85	73	67
SO ₂	300	250	204	175	162	243	194	165	151	261	221	194	180
NOx	1300	1081	879	752	691	1050	833	705	645	1129	954	834	774
HF	5	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3
HCl	30	26	22	20	19	25	22	19	18	27	24	22	20
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	20	18	16	15	14	18	16	15	14	18	17	16	15
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	150	122	96	80	72	118	91	74	67	128	106	91	83
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	300	242	189	156	139	234	177	143	127	255	209	177	161
Ağır metaller													
Cd	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Tl	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Hg	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Sb	50	40,16	31,05	25,34	22,59	38,73	29,00	23,22	20,51	42,33	34,44	29,05	26,32
As	1	0,90	0,81	0,75	0,72	0,89	0,79	0,73	0,70	0,92	0,84	0,79	0,76
Pb	20	16,12	12,53	10,29	9,20	15,56	11,73	9,45	8,38	16,98	13,87	11,75	10,67
Cr	20	16,12	12,53	10,29	9,20	15,56	11,73	9,45	8,38	16,98	13,87	11,75	10,67
Co	50	40,16	31,05	25,34	22,59	38,73	29,00	23,22	20,51	42,33	34,44	29,05	26,32
Cu	20	16,12	12,53	10,29	9,20	15,56	11,73	9,45	8,38	16,98	13,87	11,75	10,67
Mn**	50	40,16	31,05	25,34	22,59	38,73	29,00	23,22	20,51	42,33	34,44	29,05	26,32
Ni*** (Tablo 39.1 için)	20	16,12	12,53	10,29	9,20	15,56	11,73	9,45	8,38	16,98	13,87	11,75	10,67
Ni*** (Tablo 39.3 için)	1	0,90	0,81	0,75	0,72	0,89	0,79	0,73	0,70	0,92	0,84	0,79	0,76
V	20	16,12	12,53	10,29	9,20	15,56	11,73	9,45	8,38	16,98	13,87	11,75	10,67
Sn**	50	40,16	31,05	25,34	22,59	38,73	29,00	23,22	20,51	42,33	34,44	29,05	26,32
Dioksin ve furan****	0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Çizelge 7.17 Atıkların değişen kullanım oranlarına göre uyulacak ½ h ort. emisyon limit değerleri

Parametre	Atık Yok C _{proses}	Atık Kullanım Oranlarına Göre 1/2 h'lik. Ort. C ₂ mg/Nm ³ Limit Değerleri											
		Petro Kok				Atık Yağ				Atık Lastik			
		20%	50%	80%	100%	20%	50%	80%	100%	20%	50%	80%	100%
Toplam Toz	120	102	86	75	70	100	82	71	66	106	92	82	77
SO ₂	300	280	262	250	245	277	258	246	240	284	269	258	252
NO _x	1300	1121	955	852	802	1095	918	813	764	1160	1017	919	869
HF	5	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5
HCl	30	36	41	45	47	37	43	46	48	35	39	43	44
TOC*(I.sınıf org. Kir. için)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TOC*(II.sınıf org. Kir. için)	150	124	100	85	78	120	95	80	73	130	109	95	88
TOC*(III.sınıf org. Kir. için)	300	244	193	161	145	236	181	149	133	257	212	181	166
Ağır metaller													
Cd	20	16,03	12,35	10,05	8,94	15,45	11,53	9,19	8,10	16,90	13,72	11,55	10,44
Tl	20	16,03	12,35	10,05	8,94	15,45	11,53	9,19	8,10	16,90	13,72	11,55	10,44
Hg	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Sb	50	40,07	30,88	25,12	22,34	38,63	28,81	22,97	20,24	42,26	34,29	28,86	26,10
As	1	0,81	0,64	0,53	0,47	0,78	0,60	0,49	0,43	0,85	0,70	0,60	0,55
Pb	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Cr	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Co	50	40,07	30,88	25,12	22,34	38,63	28,81	22,97	20,24	42,26	34,29	28,86	26,10
Cu	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Mn**	50	40,07	30,88	25,12	22,34	38,63	28,81	22,97	20,24	42,26	34,29	28,86	26,10
Ni***(Tablo 39.1 için)	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Ni***(Tablo 39.3 için)	1	0,81	0,64	0,53	0,47	0,78	0,60	0,49	0,43	0,85	0,70	0,60	0,55
V	20	16,03	12,36	10,06	8,95	15,46	11,54	9,21	8,11	16,91	13,73	11,56	10,46
Sn**	50	40,07	30,88	25,12	22,34	38,63	28,81	22,97	20,24	42,26	34,29	28,86	26,10
Dioksin ve furan****	0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

8. ATIKLARIN ÖZEL İNSİNERATÖRLER İLE ÇİMENTO FIRINLARINDA YAKILMASININ CO₂ EMİSYONU BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Atıkların çimento sektöründe ek yakıt ve aynı zamanda da ilave hammadde olarak kullanımı sonucu bertaraf edilmesi hem Avrupa Birliği, hem de ulusal düzeyde oluşturulan atık yönetimi ile ilgili genel prensiplere uygun düşmektedir. Bu atıkların kullanımı ile ;

1. Çimento üretimi açısından atıkların ek yakıt ve ilave hammadde olarak kullanımı, konvansiyonel fosil yakıtların kullanımına oranla baca gazı emisyonlarının düşmesini sağlamakta, aynı zamanda da yenilenemez kaynaklar korunmaktadır.
2. Atıkların bertarafı açısından çimento fırınları, atıkların yakma yoluyla yada kompostlaştırma ile bertaraf yöntemlerine göre daha güvenli bir atık bertarafı sağlamaktadır. Böylece atıkları ilave bir proses ile bertaraf etme yatırımına gerek kalmamakta ve çevreye olan olumsuz etkiler azaltılabilmektedir.

Avrupa Çimento Birliği'nin (Cembureau) 1997 yılında atık yönetimi stratejileri hakkında hazırladığı raporda şu iki konu ele alınmaya çalışılmıştır:

1. İki değişik türde yakıtla çimento üretimi : kömür ve atıklardan oluşan yakıtlar,
2. İki farklı yoldan atık yönetimi : çimento fırınlarından yararlanma ve diğer işlemlerle imha etme veya yeniden kullanma.

Bu tezde; çimento üretiminde atıkların alternatif yakıt olarak kullanımıyla ilgili birinci maddeye yer verilmiştir.

8.1 Karbon Dioksitin Azaltılması

Çimento üretimi, ısı enerjisinin ve elektrik enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı bir prosestir. Tüm enerji maliyeti toplam üretim maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. AB çapında yıllık çimento üretimi yaklaşık olarak 170 milyon ton'dur ve ton başına 120 kg. kömür yakan ortalama bir enerji tüketimiyle, bu seviyede bir üretim için 20 milyon ton kömür kullanır. Çimento üretimi sırasında, CO₂ üç kaynaktan açığa çıkar:

- Fırının gerekli sıcaklığa erişmesi için yakıtın fırında yakılması,
- Fırında kireç taşının dekarbonizasyonu,
- Öğütme değirmenleri gibi ünitelerde elektrik kullanımı (elektrik santrallerinde kömür tüketimi sonucu CO₂ oluşması).

Üç kaynak içinde kireç taşının dekarbonizasyonu, açığa çıkan karbondioksidin en geniş payını meydana getirmektedir. Bu üç emisyon kaynağı birbirinden tamamen bağımsızdır. Çimento endüstrisinde CO₂ emisyonunun azaltılmasında katkı sağlayacak 3 ana strateji bulunmaktadır:

1. Çimento üretiminde enerji verimini iyileştirmek,
2. Çimento fırınlarında fosil yakıtlar yerine atıklardan elde edilen yakıt kullanmak,
3. Çimento klinkeri üretiminde daha az enerji gerektirecek başka katkılar kullanarak çimento kompozisyonunu modife etmek (Cembureau raporu,1997).

Her stratejiye aşağıda ayrı ayrı değinilecektir.

8.1.1 Strateji 1 - Çimento Fırınlarının Verimliliğinin Arttırılması

Çimento fırınlarından çıkan CO₂ emisyonları proses ve enerji verimliliği ile yakından ilgilidir. Son kırk yıldır Avrupa çimento endüstrisi, tesis, ekipman ve işletme alanında sürekli ileri teknolojilerin kullanımı politikasını izlemiştir. Örneğin, daha az verimli fırınlar daha çok verimli ön ısıtıcılı ve prekalsinasyonlu fırınlarla, çimento öğütme sistemlerindeki bilyeli değirmenler ise daha verimli öğütme sistemleri ile değiştirilmiştir. Bugün Avrupa’da çimento üretiminin %78’i kuru sistem, %16’sı yarı-kuru yada yarı-yaş fırınlarla, sadece %6’sı hammaddenin coğrafi olarak yaş bulunduğu bölgelerde yaş sistemle üretilmektedir. Bu ve benzeri enerji verimliliğini arttırıcı önlemler sonucunda yakıt tüketimi , buna bağlı olarak da CO₂ emisyonları belirgin ölçüde azalmıştır (Cembureau raporu,1997).

8.1.2 Strateji 2 - Hammadde Alternatifi

Çimento fırınlarında kil gibi maddeler yerine uçucu kül veya cüruf kullanımının çimento üretimi sırasında oluşan CO₂ emisyonlarını düşürme özelliği vardır. Çünkü bu ürünler kile oranla daha az ısı enerjisi ihtiyacı duyarlar.

Sanayi yan ürünlerini ve doğal maddelerini kullanmanın daha etkin yolu, bunları çimento klinkeri ile karıştırıp öğütürerek çimento yapmaktır. Sonuçta, bu tür çimentolarda öğütülmüş klinker dışında başka bileşenlerde bulunur. Bu ek maddeler çoğu zaman çimentoya yararlı özellikler kazandırır. Çimentonun kompozisyonunun bu ilave maddeler kullanılarak modife edilmesi yalnız yakıtla bağlı CO₂ emisyonunu değil, aynı zamanda prosese bağlı CO₂ emisyonunun da azalmasını sağlar (Cembureau raporu,1997).

8.1.3 Strateji 3 - Alternatif Yakıtların Kullanımı

Çimento üretiminde alternatif yakıt kullanımı sadece çimento üretim noktasındaki CO₂ emisyonunu azaltmaya oranla daha geniş çapta yarar sağlamaktadır. Global CO₂ emisyonunun oluşumu azalmakta, azalma çimento sektörünün dışındaki diğer sektörlerde meydana gelmektedir. Çimento fırınlarında atıkların yakıt olarak kullanımının yararları analiz edilerek iki ayrı senaryo uygulanmıştır:

- 1) **Senaryo 1** : Atık, geri kazanımlı insineratörde yakılmış ve üretilen enerji ulusal elektrik şebekesine beslenmiştir. Çimento fırını fosil yakıt olan kömürle çalıştırılmıştır.
- 2) **Senaryo 2** : Atık çimento fırınına beslenmiş, gerekli ısı değer oranındaki kömür yerine yakıt olarak kullanılmıştır. İnsineratörde atık kullanılmadığı için daha önce bu insineratörde üretilmiş olan elektrik bu sefer yakıt olarak kömür kullanılan santrallerde üretilmiştir.

Her bir senaryoda atmosferdeki CO₂ emisyonu hesaplanmış, sonra da iki senaryodaki net CO₂ emisyonu karşılaştırılmıştır.

İki senaryodaki CO₂ emisyonu; Senaryo 1'deki toplam CO₂ emisyonundan Senaryo 2'deki toplam CO₂ emisyonunun çıkartılması ile elde edilmiştir. Atığın insineratörde yakılması yerine çimento fırınında yakılması sonucunda elde edilen düşük CO₂ emisyonu Çizelge 8.1'de özetlenmiştir. Buradaki değerlerin matematiksel analizi ileriki bölümlerde verilmiştir (Cembureau raporu,1997).

Çizelge 8.1 1 ton atığın insineratörde ya da çimento fırınında yakılması sonucunda ortaya çıkan CO₂ emisyonları

İşlem	Bioyakıt (16GJ/t)	Solvent Atık (26GJ/t)
İnsineratörde yakma	3379 kg. CO ₂	4429 kg. CO ₂
Çimento fırınında kömür yerine yakma	2778 kg. CO ₂	3462 kg. CO ₂
Çimento fırınında yakmada CO ₂ emisyonunda net azalma	601 kg. CO ₂ / t atık	967 kg. CO ₂ / t atık

Atıkların çimento fırınlarında kömür yerine alternatif yakıt olarak kullanılması, bu atıkların bertaraf edilmesine katkı sağlamanın yanında yenilenemeyen kömür kaynaklarının korunmasını ve buna bağlı CO₂ emisyonlarının oluşumunda azalma da sağlamaktadır. Çimento fırınları aynı zamanda atık maddelerin gerçek enerjisinin daha etkin ve verimli

kullanabileceğimiz özelliklere sahiptir.

Özel insineratörler, atığın kalorifik değerinin kullanımı açısından çok verimsiz konvertörlerdir, çimento fırınında ise %100'e yakın verimliliğe ulaşılır. Bu durumda açığa çıkan CO₂ miktarı atığın insineratörde yakılmasına oranla daha düşük kalır, diğer taraftan da atığın yakılması sırasında oluşan CO₂ 'din sera etkisinde azalır (Cembureau raporu,1997).

8.2 Alternatif Yakıt Olarak Katı Atıkların Yakılmasında CO₂ Emisyonu

Burada özel insineratör yerine çimento fırınında atık yakılması sırasında oluşan CO₂ emisyonunu anlatan senaryolar ele alınmıştır. Hesaplamalar, kesin emisyon değerlerinden ziyade net emisyon kaynaklarının önem sırasını belirleyici şekilde yapılmıştır. İki senaryo oluşturulmuştur;

-Senaryo 1'de atık özel insineratörde yakılmakta ve elde edilen enerji ulusal elektrik şebekesine aktarılmaktadır. Çimento fırını geleneksel fosil yakıt (kömür) ile çalıştırılmaktadır. Bu sistemde açığa çıkan CO₂ emisyonu aşağıdaki unsurları kapsamaktadır:

- Atığın özel insineratörde yakılması nedeniyle, elektrik santraline dışarıdan elektrik geldiği için santral düşük yükte çalışmakta, santralde aynı zamanda CO₂ emisyonları oluşmaktadır,
- Çimento fırınında kullanılan kömürün çıkartılması ve nakliyesinden kaynaklanan CO₂ ,
- Kömürün çimento fırınında yanmasından kaynaklanan CO₂ ,
- Atığın özel insineratörde yanmasından kaynaklanan CO₂ ,

-Senaryo 2'de bu sefer atık çimento fırınına transfer edilir, ısıl değerine eşit oranda bir miktar kömürün yerini alır. İnsineratör çalışmadığından artık elektrik üretilmez. Şebekeye toplam elektriğin sağlanması için santral, önceden insineratör tarafından üretilen kadar ek elektrik üretmelidir. Bu sistemde açığa çıkan CO₂ aşağıdakileri kapsar:

- Santralde kullanılan kömürün çıkarılması ve nakliyesinden kaynaklanan CO₂ ,
- Kömürün santralde yanmasından kaynaklanan CO₂ ,
- Atığın çimento fırınında yanmasından kaynaklanan CO₂ ,

Senaryolar aşağıda anlatılmaktadır (Cembureau raporu,1997).

8.2.1 Varsayımlar

8.2.1.1 Yakıt ve Atık Cinsleri

Çimento fırınında ve elektrik santralinde 26 GJ/t ısı değerinde ve 93 kg CO₂ /GJ emisyon faktöründe konvansiyonel fosil yakıt kömürün kullanıldığını varsayalım.

Diğer taraftan, kullanılacak atık olarak iki tip atığın, solvent atıkların ve biyo atıkların (arıtma çamuru gibi) örnek olduklarını düşünelim. Çimento fırınına beslenen atıkların özellikleri biyoyakıt için ısı değeri 16 GJ/t ve solvent atıklar için ise 26 GJ/t olarak kabul edelim. Biyoyakıt için CO₂ emisyon faktörü 110 kg CO₂ /GJ olarak, evsel atık (108 kg CO₂ /GJ) ile odunsu atık arasında (112 kg CO₂ /GJ) hesaplanmaktadır. Solvent atığın CO₂ emisyon faktörü 70 kg CO₂ /GJ olarak alınmış, buna bağlı olarak solvent atıkların kömüre göre (%75), biyoyakıtların (%55) daha düşük karbon içerdiği hesaplanmıştır (Cembureau raporu,1997).

Varsayımların özeti ve kaynakları Çizelge 8.2’de gösterilmektedir. Aşağıda varsayımlara daha ayrıntılı olarak yer verilmektedir.

Çizelge 8.2 Varsayımların özeti ve kaynakları

	Isı İçeriği	CO ₂ Emisyonu	Fabrika Dizaynı	Referans
Bio Yakıt	16 GJ/t	110 kg/t	-	(a)
Solvent	26 GJ/t	70 kg/t	-	(b)
Kömür	26 GJ/t	93 kg/t	-	(a)
Kömür Çıkarılması	-	24.3 kg/MWh	-	(c)
Kömür Nakliyesi	-	0,045 kg/km/t	-	(c)
İnsineratör Verimi	-	-	% 23	(d)
Santral Verimi	-	-	% 37	(c)
Notlar: (a) Nystrom KLE (1993). Incineration waste and the greenhouse effect. ISWA Times, 1993/4 Yearbook. Biyoyakıtlar için emisyon faktörü odunun (112 kg/GJ) ve domestik atığın (108 kg/GJ) emisyon faktörlerinin ortalamasıdır. (b) Emisyon faktörü % 75 karbon içeren kömüre göre, % 55 karbon içeriği tabanında değerlendirilmiştir. (c) European Commission, DGXII, Science, Research and Development, JOULE (1995a) Externalities of Fuel Cycles 'ExterneE' Project (d) Wallis M K and Watson A (1994). MSW incineration: a critical assessment. Energy World, pp 14-16 Aralık 1994				

8.2.1.2 Kömür Yerine Kullanım

Çimento fırınında atık yakıldığında, kömür yerine kullanılan atığın ısıl değeri kömürün ısıl değeri ile orantılı olacaktır. Bunun için ;

- 1 ton kömürün ısıl değeri = 26 GJ
- 1 ton solvent atığın ısıl değeri = 26 GJ (1 t solvent atık = 1 t kömür ısıl değer olarak)
- 1 ton biyoyakıtın ısıl değeri =16 GJ (1 t biyoyakıt atık=0,62 t kömür ısıl değer olarak)

1 ton biyoyakıt 0,62 ton kömüre, 1 ton solvent atık ise 1 ton kömüre eşdeğerdir. Çimentonun enerji tüketimini 4 GJ/t olarak düşünürsek, 1 ton biyoyakıt ile 4 ton çimento, 1 ton solvent atık ile 6,5 ton çimento üretebildiğini görürüz.

İkinci senaryoya göre, özel insineratörün kapatılması nedeniyle çekilen elektriği santralde üretmek için ilave kömür gerekmektedir. Yakıt değişimi verimi insineratörde %23, elektrik santralinde %37, 280 kWh/GJ değişim faktörü ile;

- 1 ton biyoyakıt = 16 GJ $\rightarrow (16 \text{ GJ} \times 280 \text{ kWh / GJ}) \times \%23 = 1030 \text{ kWh}$
- 1 ton solvent atık = 26 GJ $\rightarrow (26 \text{ GJ} \times 280 \text{ kWh / GJ}) \times \%23 = 1674 \text{ kWh}$
- 1 ton kömürden = 2640 kWh elektirk enerjisi üretilir,
- 1 ton biyoyakıttan = 1030 kWh $\rightarrow 0,39$ ton kömürden
- 1 ton solvent atıktan = 1674 kWh $\rightarrow 0,63$ ton kömürden elde edilir.

1 ton biyoyakıt ile insineratörde 1030kWh elektrik enerjisi üretilir, bu da elektrik santralinde 0,39 t kömüre eşdeğerdir. 1 ton atık solvent insineratörde 1674 kWh elektrik üretir, bu, elektrik santralinde 0,63 t kömüre denktir (Cembureau raporu,1997).

8.2.1.3 Kömürün Çıkarılması ve Taşınması

Kömürün çıkarılması ve taşınması sırasında CO₂ açığa çıkar. Kullanılan emisyon faktörleri, kömürün çıkarılmasında 24,3 kgCO₂/MWh elektrik, demiryolu ile taşımada 0,045 kgCO₂/km/t olarak alınmıştır. Kömürün ocaktan çimento fırınına yada elektrik santraline taşıma uzaklığının gidiş dönüş 300 km civarında olduğu varsayılmıştır (Cembureau raporu,1997).

8.2.2 Senaryo – 1 : Atıkların İnsineratörde Yakılması

Senaryo 1'in Oluşturulması :

Senaryo 1 için aşağıdaki koşullar öngörülmüştür:

- 1 ton atık özel insineratörde yakılmıştır,
- Çimento fırınında konvensiyonel yakıt olarak kömür kullanılmaktadır,
- İnsineratörden alınan elektrik ile elektrik santralinde üretilen elektrik miktar olarak dengelenmiş, böylece elektrik santrali daha düşük güçte çalışabilmiştir Şekil 8.1'de akım diyagramı verilmiştir..

İki durum tanımlanmış bulunmaktadır :

-Senaryo 1 (a) : 1 ton biyoyakıtın özel insineratörde yakılması,

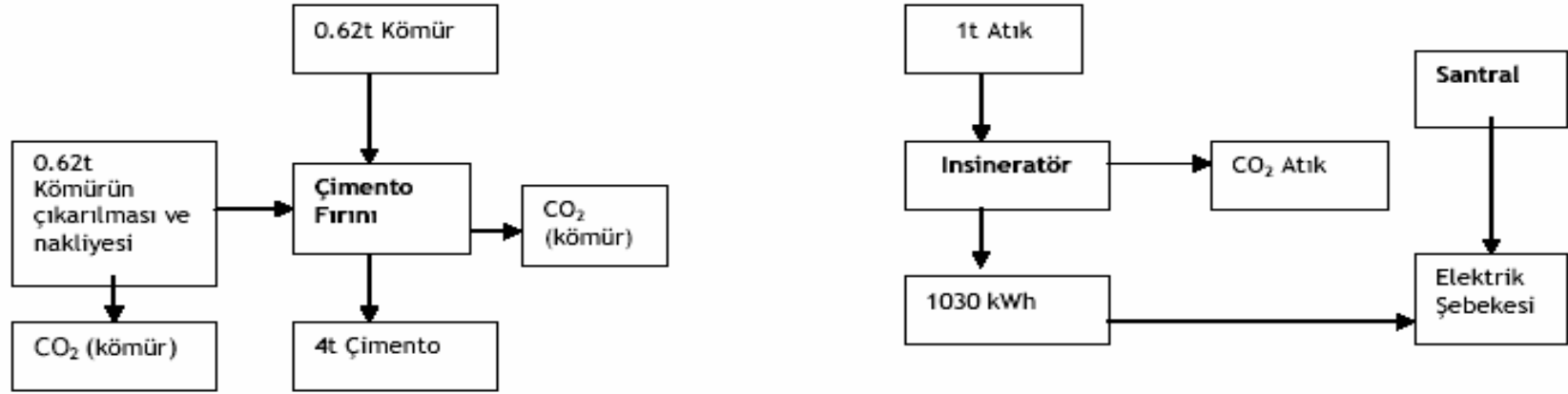
-Senaryo 1 (b) : 1 ton solvent atığının özel insineratörde yakılması.

Atmosferde CO₂ yükü aşağıdakileri kapsamaktadır:

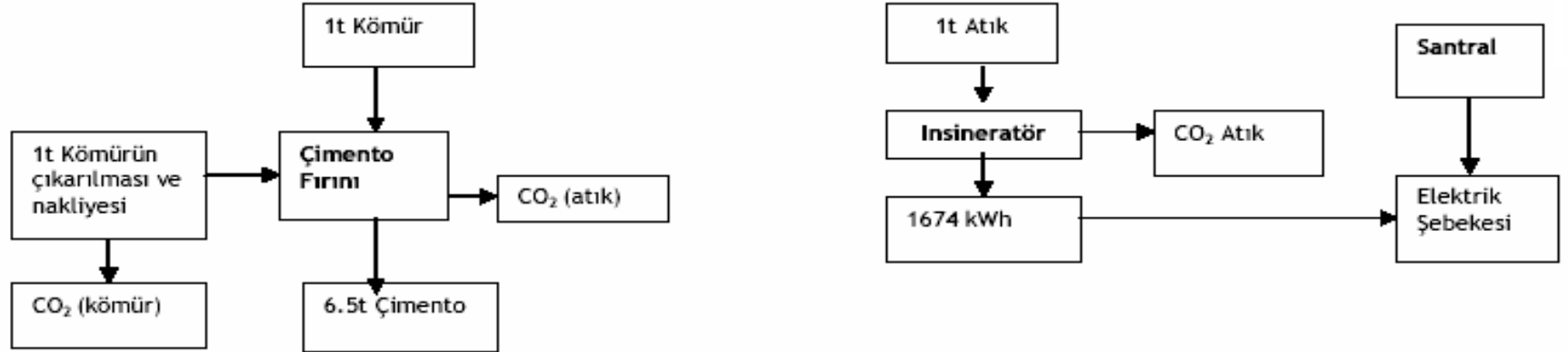
- (A) Kömürün çıkarılması ve nakliyesi sırasında oluşan CO₂,
- (B) Kömürün çimento fırınında yakılması sırasında oluşan CO₂,
- (C) Atığının insineratörde yanması sonucu oluşan CO₂,

Toplam CO₂ yükü böylece : A + B + C

SENARYO 1(A) - BIOYAKIT ATIK (16GJ/T)



SENARYO 1(B) - ÇÖZÜCÜ KARIŞIM (26GJ/T)



Şekil 8.1 Senaryo 1'in akım şeması (Cembureau raporu,1997)

I. Kömürün Çıkarılması ve Nakliyesi Sırasında Oluşan CO₂ (A) :

Kömürün çıkarılmasında 24,3 kg CO₂/MWh elektrik emisyon faktörüyle, demiryolu nakliyat için 300 km'lik bir mesafede 0,045 kg CO₂/km/t emisyon faktörü ile CO₂ yükleri aşağıdaki gibidir:

-Senaryo 1 (a) : 1 t biyoyakıtın ısı değeri, 0,62 t kömürün ısı değerine eşit olup 0,62 t kömürün çıkarılmasından 110 kg CO₂ (Çizelge 10.3'den) ve aynı miktar kömürün nakliyesinden 9 kg CO₂ emisyonu. Toplam 119 kg CO₂.

Emisyon faktörü : 0,045 kg CO₂/km/ton 1 t kömür ---- 1 km taşınınca ---- 0,045 kg CO₂
0,62 t kömür--- 300 km taşınınca --- X CO₂
 $X \approx 9 \text{ kg CO}_2$

-Senaryo 1 (b) : 1 t kömürün çıkarılmasından 177 kg CO₂ ve aynı miktar kömürün nakliyesinden 13,5 kg CO₂ emisyonu. Toplam 191 kg.

0,62 t kömür çıkarmadan ----- 110 kg CO₂
1 t kömür çıkarmadan ----- X kg CO₂
 $X = 177 \text{ kg CO}_2$

Emisyon faktörü : 0,045 kg CO₂/km/ton 1 t kömür ---- 1 km taşınınca ---- 0,045 kg CO₂
1 t kömür --- 300 km taşınınca --- X CO₂
 $X = 13,5 \text{ kg CO}_2$

II. Kömürün Çimento Fırınında Yakılması Sırasında Oluşan CO₂ (B) :

Kullanılacak kömürün ısı değeri 26 GJ/t ve emisyon faktörü 93 kg CO₂/GJ olup, CO₂ yükleri aşağıdakilerdir:

-Senaryo 1 (a) : 0,62 t kömürün yanmasından 1500 kg CO₂ emisyonu,

1 t kömür ----- 26 GJ 1GJ'den ----- 93 kg CO₂
0,62 t kömür--- X GJ 16,12 GJ ----- X CO₂
 $X = 16,12 \text{ GJ}$ $X = 1500 \text{ kg CO}_2$

-Senaryo 1 (b) : 1 t kömürün yanmasından 2418 kg CO₂ emisyonu,

1 GJ'den ----- 93 kg CO₂
26 GJ ----- X CO₂
 $X = 2418 \text{ kg CO}_2$

III. Atığın İnsineratörde Yanması Sonucu CO₂ (C) :

110 kg CO₂ / GJ biyoyakıt ve 70 kg CO₂ / GJ solvent atığı emisyon faktörüyle, CO₂ yükü aşağıdakilerdir:

-Senaryo 1 (a) : 1 t biyoyakıtın yanmasından 1760 kg CO₂ emisyonu,

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ t biyoyakıtın ısı değeri } 16 \text{ GJ} & 1 \text{ GJ} & \text{-----} \quad 110 \text{ kg CO}_2 \\ & 16 \text{ GJ} & \text{-----} \quad X \text{ kg CO}_2 \\ & X = & 1760 \text{ kg CO}_2 \end{array}$$

-Senaryo 1 (b) : 1 t solvent atığın yanmasından 1820 kg CO₂ emisyonu,

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ t solvent atığın ısı değeri } 26 \text{ GJ} & 1 \text{ GJ} & \text{-----} \quad 70 \text{ kg CO}_2 \\ & 26 \text{ GJ} & \text{-----} \quad X \text{ kg CO}_2 \\ & X = & 1820 \text{ kg CO}_2 \end{array}$$

Toplam CO₂ Yüğü :

Senaryo 1 'deki toplam CO₂ yükü (A + B + C) kg.

-Senaryo 1 (a) = 119 + 1500 + 1760 = 3379 kg

-Senaryo 1 (b) = 191 + 2418 + 1820 = 4429 kg

8.2.3 Senaryo – 2 : Çimento Fırınında Atık Yakma

Senaryo 2'nin Yapısı :

Senaryo 2 için aşağıdakileri var sayıyoruz :

- Isıl eşdeğerde kömürün yerini alacak atık, çimento fırınında yanar,
- İnsineratör çalışmaz. Eşit miktarda enerji; kömürün çıkarılması, nakliyesi ve fırında yakılması için üretilir. Şekil 8.2 'de akım diyagramı verilmiştir.

İki durum tanımlanmıştır :

-Senaryo 2 (a) : Biyoyakıtın çimento fırınında yakılması

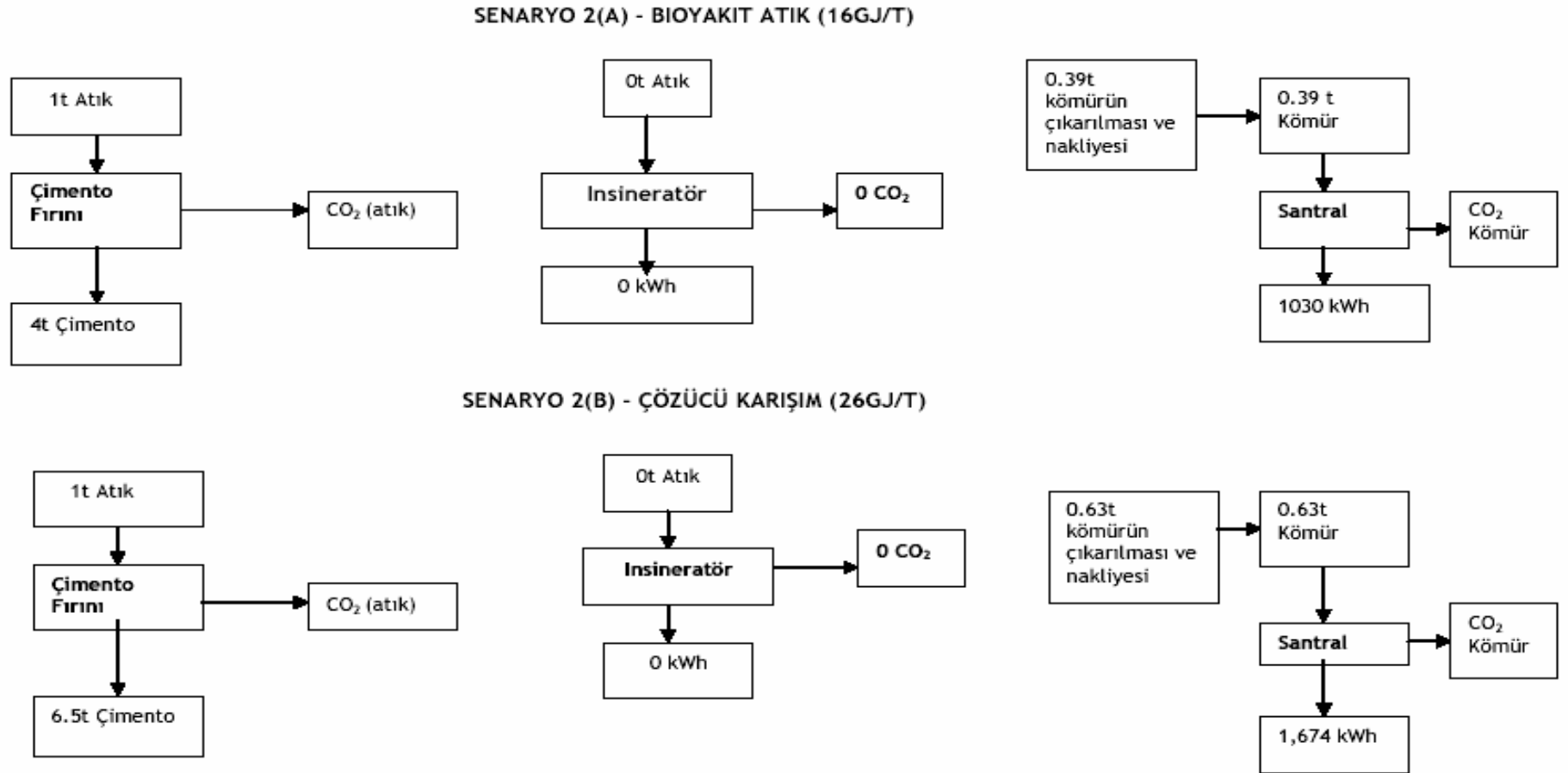
-Senaryo 2 (b) : Solvent atığın çimento fırınında yakılması

Atmosfere verilen CO₂ yükü aşağıdakileri kapsar :

- (D) İlave kömürün santralde yanması sırasında oluşan CO₂ ,
- (E) İlave kömürün çıkarılması ve nakliyesi sırasında oluşan CO₂ ,

- (F) Atığın çimento fırınında yanması sırasında oluşan CO_2 ,

Senaryo 2 için toplam CO_2 yükü böylece : $D + E + F$



Şekil 8.2 Senaryo 2'nin akım şeması (Cembureau raporu,1997)

I. Santralde İlave Kömürün Yanması ile Oluşan CO₂ (D) :

-Senaryo 2 (a) : 1 t biyoyakıt ile 1030 kWh elektrik enerjisi üretilir. Bu enerji de santralde 0,39 t kömür ile elde edilir, bu da 943 kg ilave CO₂ yükü getirir.

$$\begin{array}{ll}
 1 \text{ t kömür} \text{-----} 26 \text{ GJ} & 1 \text{ GJ için } \text{----} 93 \text{ kg CO}_2 \\
 \underline{0,39 \text{ t kömür} \text{-----} X} & \underline{10,14 \text{ GJ için } \text{----} X} \\
 X = 10,14 \text{ GJ} & X = 943 \text{ kg CO}_2
 \end{array}$$

-Senaryo 2 (b) : 1 t solvent atık ile 1674 kWh elektrik enerjisi üretilir. Bu enerjide santralde 0,63 t kömür ile elde edilir, bu da 1523 kg ilave CO₂ yükü getirir.

$$\begin{array}{ll}
 1 \text{ t kömür} \text{-----} 26 \text{ GJ} & 1 \text{ GJ için } \text{----} 93 \text{ kg CO}_2 \\
 \underline{0,63 \text{ t kömür} \text{-----} X} & \underline{16,38 \text{ GJ için } \text{----} X} \\
 X = 16,38 \text{ GJ} & X = 1523 \text{ kg CO}_2
 \end{array}$$

II. Santral İçin Kömürün Çıkarılması ve Nakliyesi Sırasında Oluşan CO₂ Yükü (E) :

-Senaryo 2 (a) : 1 t biyoyakıttan 1030 kWh elektrik, bu da 0,39 t kömürden elde edilir. 0,39 t kömürün çıkarılmasından 69 kg CO₂ ve aynı miktar kömürün nakliyesinden 5,3 kg CO₂ oluşur. Toplam emisyon 75 kg CO₂ 'dir.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Emisyon faktörü : } 0,045 \text{ kg CO}_2/\text{km/ton} & 1 \text{ t kömür } \text{----} 1 \text{ km taşınınca } \text{----} 0,045 \text{ kg CO}_2 \\
 & \underline{0,39 \text{ t kömür } \text{---} 300 \text{ km taşınınca } \text{---} X \text{ CO}_2} \\
 & X = 5,3 \text{ kg CO}_2
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 0,62 \text{ t kömür çıkarmadan } \text{-----} 110 \text{ kg CO}_2 \\
 \underline{0,39 \text{ t kömür çıkarmadan } \text{-----} X \text{ kg CO}_2} \\
 X = 69,2 \text{ kg CO}_2
 \end{array}$$

-Senaryo 2 (b): 1t solvent atıktan 1674 kWh elektrik, bu da 0,63 t kömürden elde edilir. 0,63 t kömürün çıkarılmasından 110 kg CO₂ (Çizelge 10,3'den) ve nakliyesinden 9 kg CO₂ oluşur. Toplam CO₂ emisyonu 119 kg'dır.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Emisyon faktörü : } 0,045 \text{ kg CO}_2/\text{km/ton} & 1 \text{ t kömür } \text{----} 1 \text{ km taşınınca } \text{----} 0,045 \text{ kg CO}_2 \\
 & \underline{0,63 \text{ t kömür---} 300 \text{ km taşınınca } \text{---} X \text{ CO}_2} \\
 & X \approx 9 \text{ kg CO}_2
 \end{array}$$

III.Çimento Fırınında Yakılan Atıktan Kaynaklanan CO₂ Emisyonu (F) :

Bu emisyonlar özel insineratörde atık yanarken oluşan CO₂ 'ye eşittir.

-Senaryo 2 (a) : 1 t biyoyakıtın ısıl enerji değeri 16 GJ'dur ve çimento fırınında yanmasıyla oluşan CO₂ 1760 kg'dır,

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ GJ enerji oluşumunda} & \text{-----} & 110 \text{ kg CO}_2 \\ 16 \text{ GJ için} & \text{-----} & X \\ X & = & 1760 \text{ kg CO}_2 \end{array}$$

-Senaryo 2 (b) : 1 t solvent atığının ısıl enerji değeri 26 GJ'dur ve çimento fırınında yakılmasıyla oluşan CO₂ 1820 kg'dır.

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ GJ enerji oluşumunda} & \text{-----} & 700 \text{ kg CO}_2 \\ 26 \text{ GJ için} & \text{-----} & X \\ X & = & 1820 \text{ kg CO}_2 \end{array}$$

Toplam CO₂ Yüğü :

Senaryo 2'de toplam CO₂ yüğü (D + E + F) kg'dır.

-Senaryo 2 (a) : 943 + 75 + 1760 = 2778 kg

-Senaryo 2 (b) : 1523 + 119 + 1820 = 3462 kg

8.2.4 Net CO₂ Yüğü

İki senaryodan net CO₂ yüğü, Senaryo 2'nin net toplam yükünün, Senaryo 1'in toplam yükünden çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Atığının çimento fırınında yakılmasına karşılık özel insineratörde yakılmasının CO₂ emisyonu Çizelge 8.3'de özetlenmiştir (Cembureau raporu,1997).

Çizelge 8.3 1 ton atığının çimento fırınında ya da insineratörde yakılmasından oluşan CO₂ emisyonunun özeti (Cembureau raporu,1997)

	Biyoyakıt (16 GJ/ t)	Solvent Atık (26 GJ/ t)
Özel İnsineratörde Yakma	3379 kg CO ₂	4429 kg CO ₂
Çimento Fırınında Yakma	2278 kg CO ₂	3462 kg CO ₂
Çimento Fırınında Yakmadan Dolaylı CO ₂ Emisyonunda Azalma	601 kg kg CO ₂ / t atık	967 kg kg CO ₂ / t atık

9. SONUÇLAR

Çimento fabrikalarında çimento üretimi esnasında döner fırınlarda 1450-1500°C sıcaklıklarda üretim yapılmaktadır. Bu sıcaklığa erişmek için büyük miktarlarda yakıt tüketilmektedir. Kullanılan yakıt çoğunlukla kömürdür. Bu aşamada alternatif yakıt olarak atık maddeler gündeme gelmektedir. Bir çok atık maddenin enerji değeri vardır ve yakıt olarak kullanılabilir.

Ülkemizde, Çevre ve Orman Bakanlığı, 22.06.2005 tarihli 25853 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Atıkların ek yakıt olarak kullanılmasında uyulacak genel kurallar hakkında tebliğ” ile çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak katı atıkların kullanımı için bir yönetmelik oluşturmuştur. Bu tebliğ ile atık yağ yönetmeliği ve tehlikeli atık yönetmeliğini baz alan çimento fabrikaları gerekli şartları yerine getirdikten sonra fabrikalarında atıkları yakıt olarak kullanabileceklerdir.

Tebliğde de belirtilmiş olan atıklardan, özellikle yüksek enerji değerine sahip otomobil lastiği, kullanılmış I. ve II. kategori motor yağları gibi atıkların çöp toplama alanlarında emniyetli olarak muhafaza edilmesi oldukça güçtür. Fakat çimento fırınlarında yakılmak sureti ile bertaraf edilebilirler. Böylece fosil yakıtlardan tasarruf sağlanabilir. Geri kazanma sadece ısı enerjisi de değildir. Bir çok atık çimento yapımında gerekli bazı maddeleri de içermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus baca gazı emisyonlarının izin verilen sınır değerlerin altında olması ve sistemin sürekli kontrol altında tutulmasıdır.

Atıkların içermiş oldukları yüksek enerji potansiyelleri bunların yakıt olarak kullanılması halinde bir değer haline gelmektedir. Bunun yanı sıra çimento imalatının kimyası nedeniyle çimento fırını, bu maddelerin yakılması için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Çimento üretim prosesinin gereği olan yüksek ısı, yüksek türbülans ile uzun temas süresi atıkların emniyetli olarak yakılmasını sağlamaktadır.

Milyonlarca hurda otomobil lastiği çevremizi kirletmektedir. Bu hurda lastik yığınları sivri sinekler, diğer zararlılar için birer üreme alanı ve yangın için bir potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Tutuştukları zaman oldukça yoğun bir duman içeriği ile yanabilirler. Bunların hepsini düzenli bir şekilde depolayamayız. Çöp alanları hızla dolmaktadır ve diğer bazı tehlikelerin yanı sıra yer altı su kaynaklarımızı büyük ölçüde tehdit etmektedir. Bu sorunun basit bir çözümü yoktur. Atıklardan kaçınmamız mümkün olmadığına göre bunları azaltmaya, tekrar kullanmaya ve geri kazanmaya çalışmamız gerekmektedir. Bu geri kazanma olanağı için çimento fabrikalarının döner fırınları dikkate değer tesislerdir.

Halihazır durumda bu tür tesislerin uyması gereken baca gazı emisyon limitleri Tebliğ’de yer almaktadır. Ancak, tebliğde hangi yakıtların yakılması durumu için bu limitlerin geçerli olduğu konusu açık değildir. Tebliğin yayınlanma amacından hareketle, bu limitlerin atık yakıt yakılması durumu için olmadığı, dolayısıyla tesiste atık yakıt dışında kullanılan yakıtlar için bu limitlerin geçerli olabileceği kabul edilmiştir. Tebliğin amacına uygun olarak hareket edebilmek için, atık yakıt yakılması durumunda baca gazlarında uyulması gereken limit değerlerin hesaplanması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, yakıtların değişen oranlarda kullanıldığına dair çeşitli senaryolar oluşturularak, her bir senaryo için ayrı hesaplama yapılarak, atık kullanım oranı arttıkça uyulması gereken baca gazı emisyon sınır değerlerinin, artış oranına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla tesislerinde atık yakmak isteyen çimento üreticileri, atık kullanımına bağlı olarak artış gösterecek baca gazı emisyonlarını düşürmek, bunun için kullandıkları arıtım teknolojilerini iyileştirmek, arttırmak zorundadırlar.

Sonuç olarak; AB’ye geçiş sürecinde en önemli konulardan biri olan çevreye uyumlu ve en az zarar veren teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması oldukça önemlidir. Ülkemizde gerek endüstrinin gerekse de kamuoyunun aydınlatılması açısından atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesinde alternatif bir çözüm olarak atıkların çimento fabrikalarının döner fırınlarında kullanımı konusunda bu tezin faydalı olacağı kanaatindeyim.

KAYNAKLAR

- Akçansa Çimento San A.Ş., (2005) Eğitim kitapçıkları ve kataloğu, Büyükçekmece/İstanbul
- Branscome, M., W. Westbrook, R. Mournighan, J. Bolstad, and J. Chehaske. 1985. Summary of Testing at Cement Kilns Co-firing Hazardous Waste. In Incineration and Treatment of Hazardous Waste: Proceedings of the Eleventh Annual Research Symposium. EPA 600/9-85-028. Pp. 199-205. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- Budak,S., (2000), “Avrupa Birliği ve Türk Çevre Politikası” , Bölge Yayınları, İstanbul
- B.R.Canpolat, A.T.Atımtay, İ. Munlafalıoğlu, E. Kalafatoğlu, E.Ekinci (1995); “Türkiye’deki çimento fabrikalarının emisyon faktörleri”
- Cembureau-1997, Alternative fuels in cement manufacture technical and environmental review,
- Cembureau report (1997), The European Cement Association “Best Available Techniques” for the Cement Industry, November 1997. A contribution from the European Cement Industry to the Exchange of information and preparation of the IPPC BAT Reference Document for the cement industry,
- Çevre ve Orman Bakanlığı (Haziran 2005), “Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ”,
- Çevre ve Orman Bakanlığı (Mart 1996), “Atık maddelerin çimento fabrikası döner fırınlarında yakıt olarak kullanılmasının ekonomik ve ekolojik faydaları”
- D.Rose-D.Kupper, “Atık Yakıt Maddelerinin Kullanımında Çimento Üretiminin Ekolojik ve Ekonomik Faydaları”,
- Ekeman,E., (1998), “Avrupa Birliği ve Türkiye’nin Çevre Politikalarının Karşılaştırılmalı İncelemesi”, İktisadi Kalkınma Vakfı,İstanbul
- Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Çevre Bakanlığı,1986
- Kääntee, U., Zevenhoven, R., Backman, R., Hupa, M. “Process modelling of cement manufacturing using alternative fuels" Proceedings Recycling and Reuse of Used Tyres, Dundee, Scotland, March 2001, pp. 81-92
- Kalite ve Çevre Kurulu (2004), “Çimento Fabrikalarında Atıkların Bertarafı”,
- K-c-k Raporu (2004), “Çimento Sektöründe Çevre Kirliliği ve Yasal Çerçeve”,
- Leningrad (1985), “ Endüstriyel artıklar kullanarak çimento üretimi” ,
- Sarıkaya, H.Z., (2004), “Avrupa Birliği Uyum Sürecinde Çevre Politikaları ve Uygulamaları”, 9.Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.
- TÇMB(Kasım 2003), “Çimento Üretiminde Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Yararları”,

INTERNET KAYNAKLARI

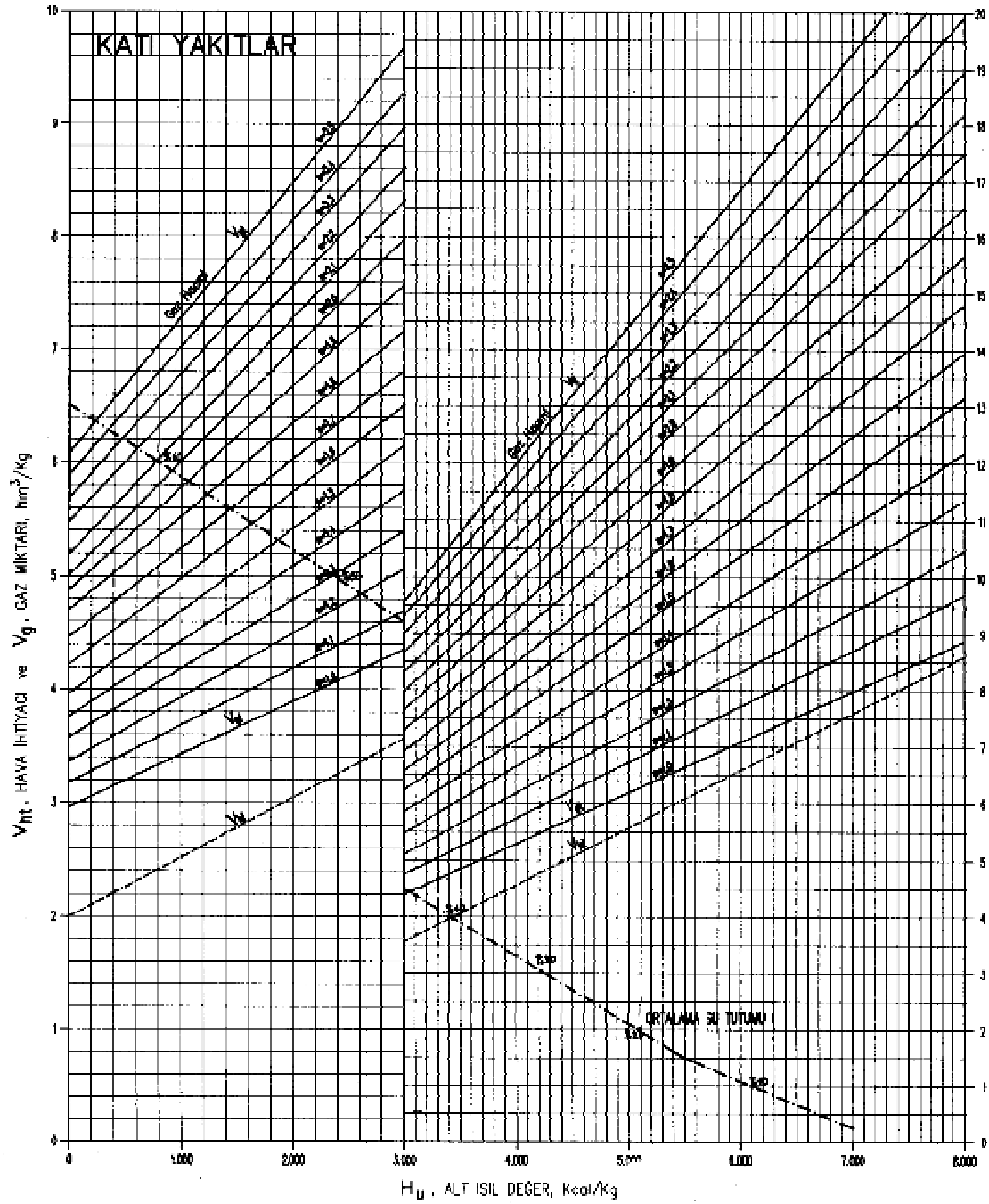
- [1]<http://proje.basbakanlik.gov.tr/mevzuat/> (T.C. Başbakanlık Mevzuat Bilgi Sistemi)
- [2]www.k-c-k.org/cevre/atik
- [3]www.cevreorman.gov.tr
- [4]www.iso.org
- [5]www.cembureau.be
- [6]www.europa.eu.int/comm/environment/waste/cement
- [7]www.google.com
- [8]www.ito.org.tr
- [9]www.akcansa.com.tr
- [10]www.dpt.gov.tr
- [11]www.tse.org.tr
- [12]www.cevko.org.tr
- [13]www.tcma.org.tr

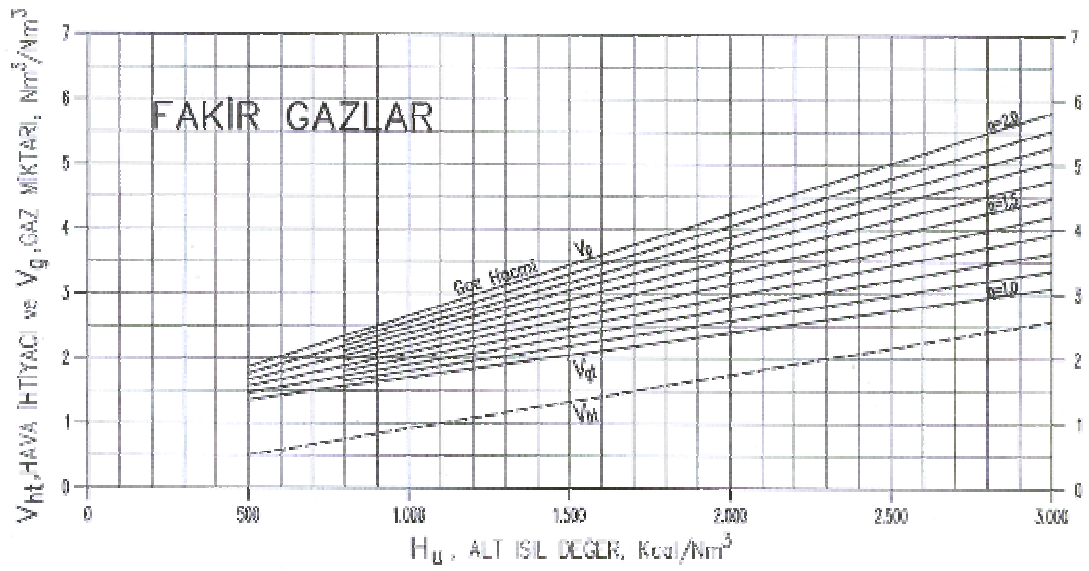
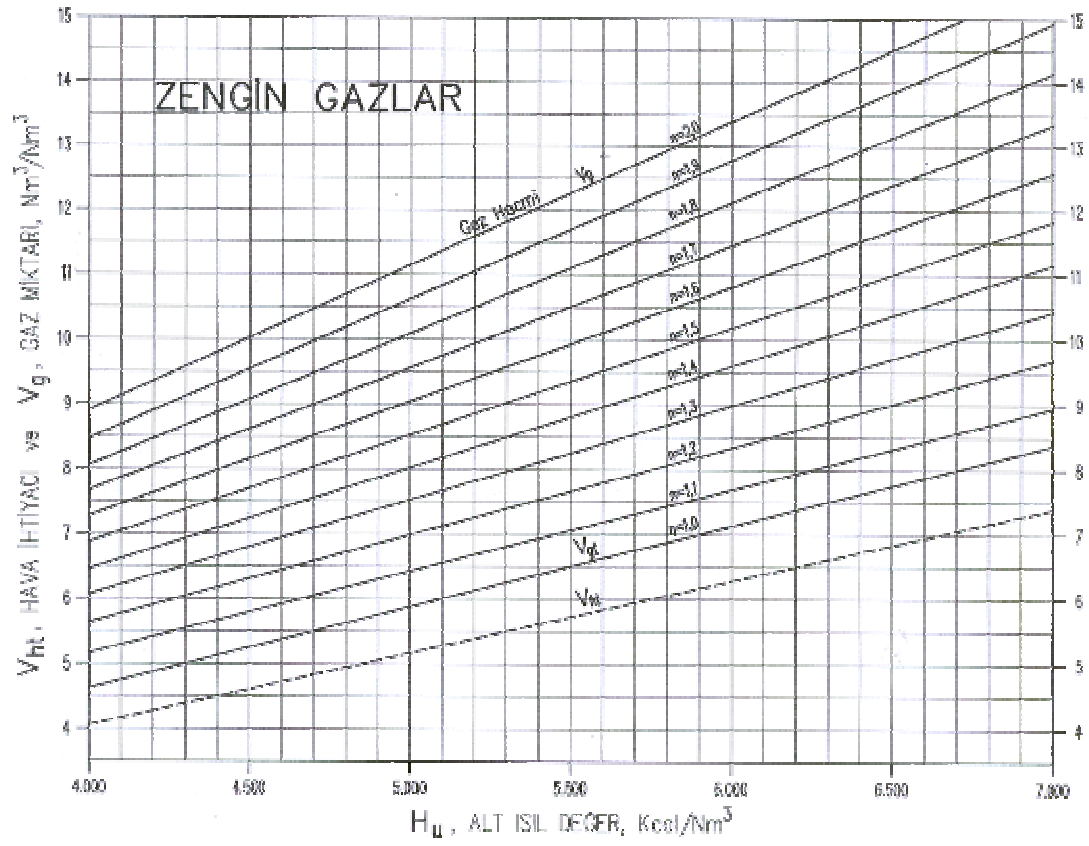
EKLER

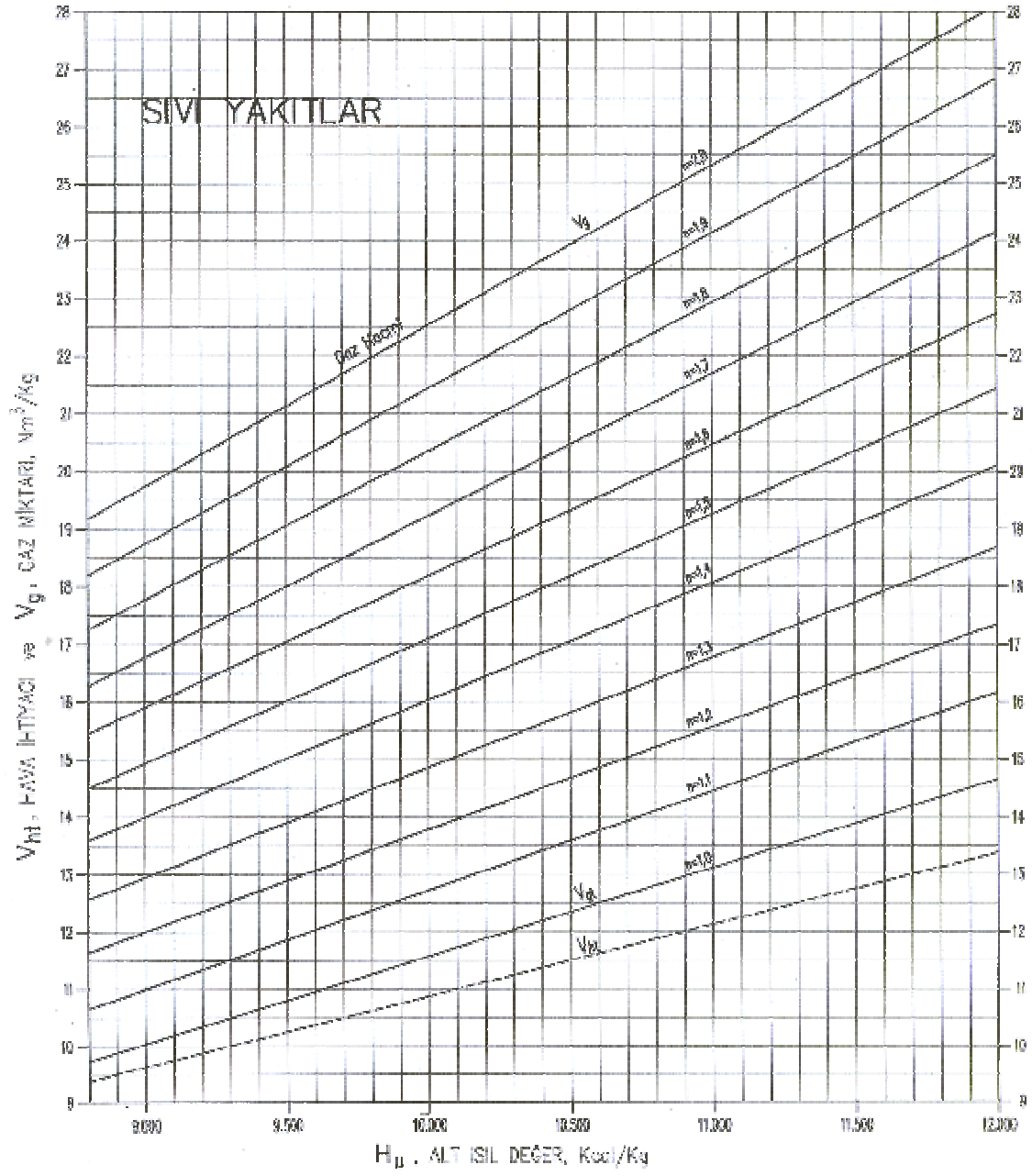
- Ek 1 Tehlikeli ve özel atıkları ilave yakıt olarak kullanmak üzere lisans alan firmalar
Ek 2 $V_{\text{atık}}$ 'ın belirlenmesi için kullanılan abaklar

Ek 1 Tehlikeli ve özel atıkları ilave yakıt olarak kullanmak üzere lisans alan firmalar
(www.cevreorman.gov.tr)

FİRMA ADI	FAALİYET KONUSU	TESİSTE İŞLENECEK ATIK TÜRLERİ	LİSANS/İZİN TARİHİ VE LİSANS NO	LİSANS/İZİN SON TARİHİ
BOLU ÇİMENTO SANAYİ A.Ş.	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kullanılmış lastik ❖ Boya Çamuru	04.10.2004 Lis No: R1 14-001	01.10.2007
AKÇANSA ÇİMENTO A.Ş. (ÇANAKKALE FABRİKASI)	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kullanılmış lastik	07.10.2004	07.10.2007
AKÇANSA ÇİMENTO A.Ş. (B.ÇEKMECE FABRİKASI)	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kullanılmış lastik ❖ Plastik ❖ Kontamine Atık	21.09.2005	21.09.2008
SET ÇİMENTO SAN. VE TİC. A.Ş.(ANKARA)	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar	08.02.2005 Lis. No: R1 06-001	08.02.2008
BAŞTAŞ ÇİMENTO A.Ş. (ANKARA)	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kontamine Atık ❖ Boya Çamuru ❖ Kullanılmış lastik	03.05.2005 Lis. No: R1 06-002	03.05.2008
KONYA ÇİMENTO A.Ş.	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kontamine Atık ❖ Boya Çamuru ❖ Kullanılmış lastik	24.06.2005 Lis. No: R1 42-001	24.06.2008
ÇİMSA ÇİMENTO SAN A.Ş.	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar	29.08.2005 Lis. No: R1 33 -001	26.08.2008
ÇİMENTAŞ İZMİR ÇİMENTO FAB. T.A.Ş.	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ❖ Kontamine atık ❖ Kullanılmış lastik	17.08.2005 Lis No: R1 35- 001	15.08.2008
BATIÇİM BATI ANADOLU ÇİMENTO SAN. A.Ş.	Yakma	❖ I. ve II. Kategori Atık Yağlar ve bunlarla Kontamine olmuş atık ❖ Kullanılmış lastik	17.08.2005 Lis No: R1 35- 002	15.08.2008

Ek 2 $V_{atık}$ 'ın belirlenmesi için kullanılacak abaklar





ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.10.1980

Doğum yeri Uşak

Lise 1995-1997 Dr. Naci Ekşi Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı