

ÇİMENTO FIRININDA KLORÜR, SÜLFÜR VE ALKALİNİN BAYPAS EDİLMESİ



TARİH: KASIM 2020

İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ	4
2	SINIR DEĞERİNİN ÜZERİNDE KLORÜR.....	12
3	KLORÜRÜN, SÜLFÜRÜN VE ALKALİLERİN DÖNER FIRINDA OLUMSUZ ETKİSİ.....	16
4	YAKIT DEĞİŞİMİNDE CL-SO ₃ DENGESİ	20
4.1	ALT SIKLONDA HAMMADDE İÇİN KLORÜR KONSANTRASYON KONTROLÜ	22
5	KLOR BAYPAS SİSTEMİ	24
5.1	KLOR BAYPAS ORANLAR	26
5.2	KLOR BAYPAS PROBU KONUMU.....	28
5.3	BAYPAS PROBU VE SÖNDÜRME ODASI.....	32
6	KLOR BAYPAS SİSTEMİNİN TEKNİK NOKTALARI.....	35
6.1	AZ MİKTARDA BAYPAS GAZI (DÜŞÜK BAYPAS ORANI)	35
6.2	BAYPAS SİSTEMİNDEN KABA PARTİKÜLLERİN AYRILMASI	35
7	HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ İLE PROB SOĞUTMA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ .	38
8	KLOR BAYPAS SİSTEMİNİN GERÇEK İŞLETİM VERİLERİ.....	39
9	KLORÜR İÇEREN ATIK MALZEMELERİN ETKİLİ GERİ DÖNÜŞÜMÜ İÇİN TASARIM	41
10	ATIK YAKMA TESİSİ KÜLÜ HAMMADDE OLARAK KULLANILABİLİR	42
11	BYPASS SİSTEMLERİNİN VERİMLİLİĞİ	44
11.1	KLORÜR FAZLALIĞI VE BAYPAS TOZU FAZLALIĞI	44
11.2	BAYPAS TOZUNUN KULLANIMI	44
11.2.1	<i>Kaba Baypas Partikülleri Öğütme ve Çimento İle Karıştırma</i>	<i>46</i>
11.2.2	<i>Mevcut Baypas veya Fırın Tozundan Alınan Dersler Çözüm Süreçleri.....</i>	<i>47</i>
11.2.3	<i>Bypass Gazı Kullanımı</i>	<i>48</i>
12	HCL, DİOKSİNLER VE FURANLAR.....	49
13	KLOR BAYPASS SİSTEMİ MALİYETLERİ	52
13.1	KLOR BAYPAS SİSTEMİ YATIRIM MALİYETİ	53
13.2	KLOR BAYPAS SİSTEMİ İŞLETME MALİYETİ	54

ŞEKİLLER

ŞEKİL 1-1 TÜRKİYE’DE 2019 YILINDA ÇİMENTO ÜRETİMİ DEĞİŞİMİ	5
ŞEKİL 1-2 FARKLI SEKTÖRLERDE OLUŞAN ÖNEMLİ MİKTARDA MALZEMELER VE ATIKLAR, ÇİMENTO SANAYİNDE ALTERNATİF YAKIT VE ALTERNATİF HAMMADDE	6
ŞEKİL 1-3 BAZI AB ÜLKELERİNDE MEVCUT VE BEKLENEN BİRLİKTE İŞLEME ORANLARI	7
ŞEKİL 1-4 ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ISI ENERJİSİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ	8
ŞEKİL 1-5 NOX EMİSYONU DEĞİŞİMİ	11
ŞEKİL 3-1 POLONYA ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE FOSİL YAKIT YERİNE EVSEL ATIKTAN ÜRETİMLİ ALTERNATİF YAKIT KULLANILMASI	16
ŞEKİL 3-2 SERA GAZI CO ₂ SALIMINI VE FOSİL YAKIT KÖMÜR KULLANIMINDA AZALMA	17
ŞEKİL 3-3 FIRINDA YANMA ESNASINDA KLOORÜR, ALKALİ, SO ₂ VE TOZ SİRKÜLYASYONU TEMSİLİ. UÇUCU MADDELER, SİNERLENME BÖLGESİNDE UÇUCU HALE GEÇER. NUMUNE ALMA NOKTALARI; 1. FIRIN BESLEME, 2. KLİNKER, 3. BAYPAS SİSTEMİ KURULMUŞSA, BAYPAS TOZU, 4. SICAK BESLEME NUMUNE ALMA MEVCUT SİSTEMSE SICAK MALZEME	18
ŞEKİL 4-1 ÖN ISITMA İŞLETMESİNDE HOT MEAL BİLEŞİMİNE BAĞLI KAPLAMA EĞİLİMİ (MEYLI).....	21
ŞEKİL 4-2 FIRIN ÖN ISITMA SİSTEMİNDE KLOORÜR VE ALKALİ SİRKÜLYASYONU	23
ŞEKİL 5-1 KLOOR BAYPAS ORANI.....	24
ŞEKİL 5-2 BAYPAS ORANI İLE UÇUCU BİLEŞİKLERİ GİDERME ORANLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	27
ŞEKİL 5-3 KLOOR BAYPAS SİSTEMİ UYGULAMA AKIM ŞEMASI ÖRNEĞİ.....	31
ŞEKİL 5-4 İNCE TOZLAR TUTMAK İÇİN TORBALI FİLTRE	32
ŞEKİL 5-5 BAYPAS SİSTEM VE SÖNDÜRME ODASI.....	33
ŞEKİL 5-6 TAIYEIHO UÇUCU TOZ ALMA SİSTEMİ ÜNİTESİ.....	33
ŞEKİL 5-7 BAYPAS SİSTEMİ TİPİK DÜZENLENMESİ.....	34
ŞEKİL 6-1 A) GAZ VE HOT MEAL BAYPAS SİSTEMİ İLE KLOORÜR GİDERİM VERİMLİLİĞİ, B) GAZ VE HOT MEAL BAYPAS SİSTEMİ İLE SÜLFAT GİDERME VERİMLİLİĞİ	35
ŞEKİL 6-2 KÜMÜLATİF BAYPAS TOZ PARTİKÜL BOYUTU DAĞILIMI VE BAYPAS TOZUNDAKİ UÇUCU BİLEŞEN KONSANTRASYONU	36
ŞEKİL 6-3 PARTİKÜL BOYUTU FONKSİYONLARINA BAĞLI OLARAK KLOORÜR KONSANTRASYONU	37
ŞEKİL 7-1 PROB SOĞUTMA EĞRİSİ	38
ŞEKİL 8-1 ÖRNEK UÇUCU BİLEŞEN DENGESİ.....	39
ŞEKİL 8-2 ÖRNEK AĞIR METALLERİN DENGESİ.....	40
ŞEKİL 9-1 İZİN VERİLEN GİRİŞ KLOORÜR MİKTARI İLE BAYPAS ORANI ARASINDAKİ İLİŞKİ	41
ŞEKİL 10-1 BELEDİYE ATIK YAKMA TESİSİ BAKİYE KULLANAN KLOORÜR BALANS TAHMİNİ.....	43
ŞEKİL 11-1 BAYPAS TOZU İLAVESİNİN ÇİMENTO MUKAVEMETİNE ETKİSİ.....	47
ŞEKİL 13-1. TÜRKİYE’DE YILLARA GÖRE ÇİMENTO FIRINLARINDA YAKILAN ATIK MİKTARI VE İKİNCİL YAKIT İKAMESİ	52

TABLolar

TABLO 1.1 TÜRKİYE’DE 2019 YILINDA ÇİMENTO ÜRETİMİ DEĞİŞİMİ	4
TABLO 1.2 EN BÜYÜK ULUSLARARASI ÇİMENTO ŞİRKETLERİ/GRUPLARI TARAFINDAN YAKIT OLARAK KULLANILAN FARKLI ATIK TÜRLERİNİN DAĞILIMI.	7
TABLO 1.3 ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ATIK MADDELER VE YAN ÜRÜNLER.....	9
TABLO 2.1 KLİNKER İÇİNDE TOPLAM KLOORÜR İÇERİĞİ	14
TABLO 3.1 BAZI ALKALİLERİNE ERİME VE BUHARLAŞMA SICAKLIKLARI VE UÇUCULUKLARI	19
TABLO 10.1 FIRINDA KULLANILAN ATIK YAKMA BAKİYESİ MÜSAADE EDİLEN MİKTAR	42
TABLO 11.1 TEMSİLİ İNCE BAYPAS TOZUNUN KİMYASAL BİLEŞENLERİ	46
TABLO 11.2 SERTLEŞTİRİLMİŞ BETONDAN AĞIR METAL FİLTRESİ (LEACHİNG).....	47
TABLO 12.1 ÜÇ ÇİMENTO TESİSİ KLOOR BAYPAS SONUCU.....	50

1 GİRİŞ

Dünyada sudan sonra en fazla beton tüketilmektedir. Dünya çimento tüketiminin 2019'da yüzde 2,8 artarak 4,08 milyar tona ulaştığı tahmin edilmektedir.

Çimento üretimi, enerji yoğun bir sektördür. Fosil yakıt tüketimi, çimento üretim maliyetinin %50-60'sini oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların kullanıldığı çimento tesislerinde, 1 ton çimento üretmek için 0,65-0,95 ton sera gazı karbon dioksit salınmaktadır. Çimento tesislerinde oluşan karbon dioksitin %50 kalsiyum karbonatın bozulması sonucu oluşmaktadır. Yaklaşık %40 ise fosil yakıtların yakılması sonucu oluşmaktadır. %5 oranında karbon dioksit ise elektrik kullanımından dolayı dolaylı olarak salınmaktadır. CO2 emisyonlarının %5'i de taş ocağı madenciliği ve taşımacılığın kaynaklanan çeşitli ihtiyaçlardan kaynaklanmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) de dahil olmak üzere 37 sanayileşmiş ülkenin, emisyonlarını 2012 yılına kadar 1990 seviyelerinin ortalama %5,2 altına düşürmeyi planlamışlardı.

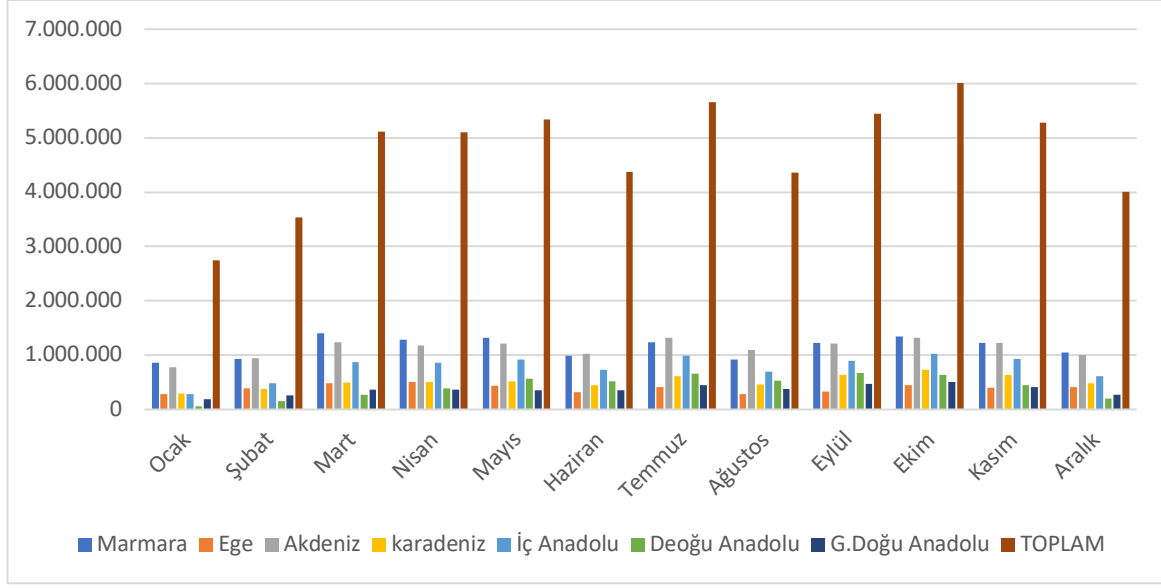
2006 yılı verilerine göre çimento üretimi, insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %8'den veya toplam küresel sera gazı emisyonlarının %6'den sorumludur.

Türkiye'de 2019 yılında çimento üretiminin değişimi Tablo 1.1 ve Şekil 1-1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Türkiye'de 2019 Yılında çimento Üretimi Değişimi

Aylar	Marmara	Ege	Akdeniz	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	G. Doğu Anadolu	TOPLAM
Ocak	857.252	288.661	778.340	290.773	277.532	62.858	189.687	2.745.103
Şubat	935.375	389.750	943.521	374.729	482.324	151.027	255.947	3.532.673
Mart	1.408.261	482.673	1.234.966	492.810	867.601	270.639	360.902	5.117.852
Nisan	1.288.826	511.417	1.177.541	507.320	855.319	393.303	367.597	5.101.323
Mayıs	1.321.737	431.490	1.217.866	520.061	919.835	567.450	358.688	5.337.127
Haziran	985.950	313.376	1.023.186	444.442	732.893	523.121	351.235	4.374.203
Temmuz	1.233.899	407.558	1.321.738	607.152	987.109	662.373	442.035	5.661.864
Ağustos	916.903	279.388	1.097.698	463.278	700.269	525.140	372.463	4.355.139
Eylül	1.225.841	330.690	1.213.873	630.616	896.699	666.901	475.568	5.440.188
Ekim	1.346.492	448.173	1.315.023	735.522	1.026.036	632.923	510.442	6.014.611
Kasım	1.220.622	405.675	1.223.260	632.161	925.535	452.997	415.524	5.275.774
Aralık	1.047.854	410.394	997.362	483.306	607.803	197.424	266.272	4.010.415

Hammadde ve fosil yakıt yerine alternatif hammadde ve alternatif yakıt kullanarak çimento üretim kaynaklı sera gazı salımını ortalama %30 oranında azaltmak mümkündür.



Şekil 1-1 Türkiye’de 2019 Yılında çimento Üretimi Değişimi

Tablo 1.1 ve Şekil 1-1 incelendiği zaman 2019 yılında ayda ortalama 4.740.000 ton çimento üretildiği anlaşılmaktadır.

2020 yılı Covid-19 pandemi sürecinden dolayı çimento üretim ve tüketim miktarının dengeli olmadığı tahmin edilmektedir.

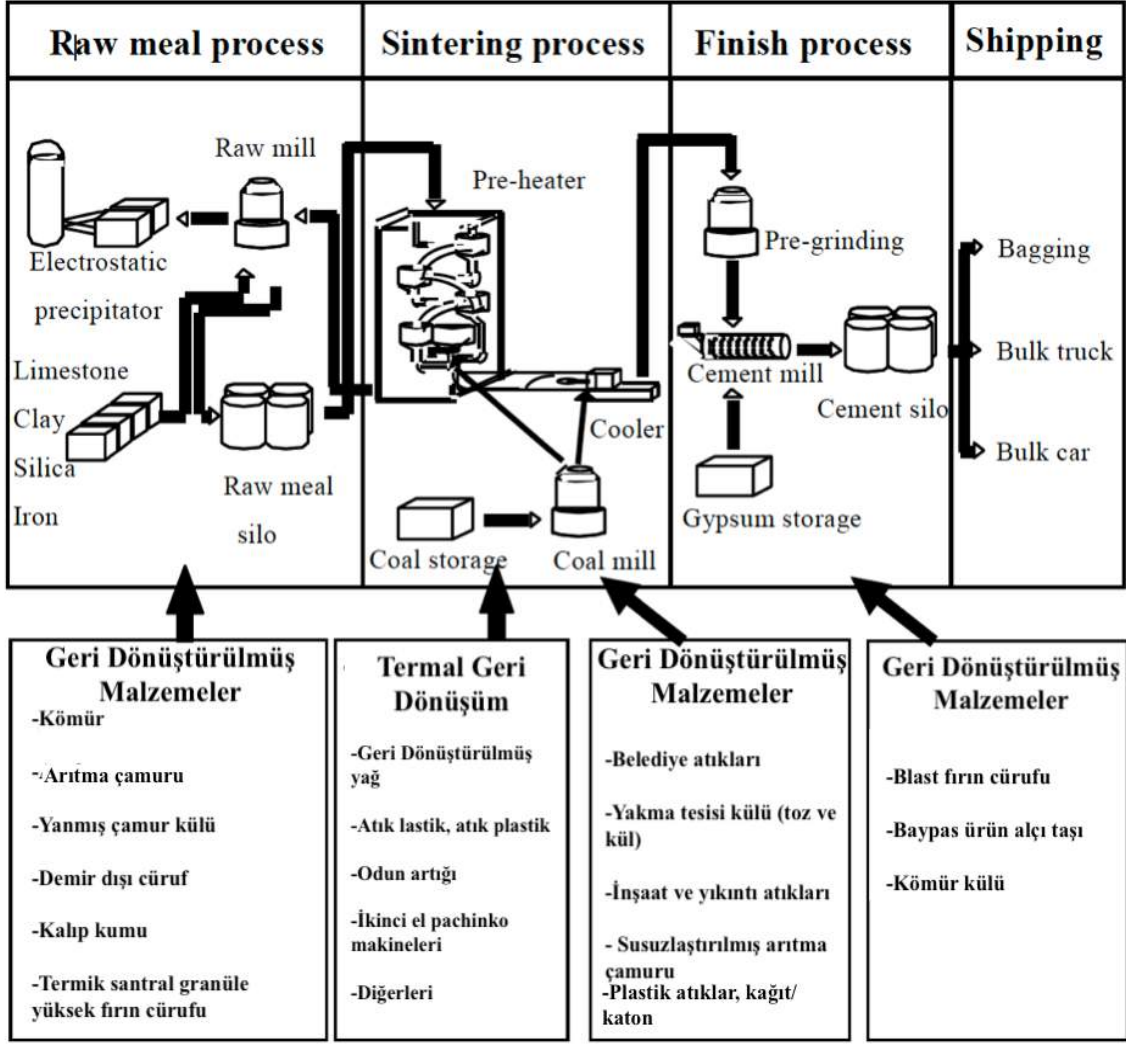
Dünya çapındaki çimento endüstrisi, kömür, petrol veya gaz gibi geleneksel fosil yakıt bağımlılığını, tüketimini ve olumsuz çevresel etkileri azaltmak için son yıllarda üretim amacıyla alternatif yakıtlar (AF), atıktan türetilmiş yakıt (RDF) ve katı atıklardan üretilmiş yakıt (SRF) gibi atıkları hem yakıt hem de hammadde olarak kullanımını artırmaya çalışmaktadır. Endüstriyel veya evsel atıklardan özel kurulumlarda üretilen RDF, SRF, animal meal, AF, sintine evsel atıklar pirinç kabuğu ve arıtma çamurları gibi alternatif enerji ve hammadde kaynaklarının kullanılması ile çimento fırınlarına klorür girişi artırmaktadır.

Klor baypas sisteminin kurulması ve uygulaması ile çimento fırınlarında Şekil 1-2’de verilen atıklar ve ikincil maddeler, işletme esnasında sorunsuz olarak enerji ve hammadde amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca elde edilen çimento kalitesi (EN 197) sınır değerlerini sağlamaktadır.

Çimento sanayinde çeşitli kademelerde kullanılabilir malzemeler ve atık türleri Şekil 1-2’de verilmiştir.

Çimento tesisleri merkez olarak alınırsa 150 km yarıçap içinde alternatif hammadde ve alternatif yakıt olarak atıkların taşınması ekonomik olmaktadır.

Atık hiyerarşisine uygun olarak önlenemeyen, yeniden kullanılamayan, geri dönüştürülemeyen atık akışlarının mümkün olan en iyi şekilde kullanımına odaklanılmaktadır.



Şekil 1-2 Farklı Sektörlerde Oluşan Önemli Miktarda Malzemeler ve Atıklar, Çimento Sanayinde Alternatif Yakıt ve Alternatif Hammadde

Şekil 1-2 incelendiği zaman farklı sanayi sektörlerinde oluşan önemli miktarda atıklar ve malzemeler, evsel atıklar, animal meal, arıtma çamurları ve vb. çimento sanayinde alternatif yakıt ve alternatif hammadde olarak kullanılabilir.

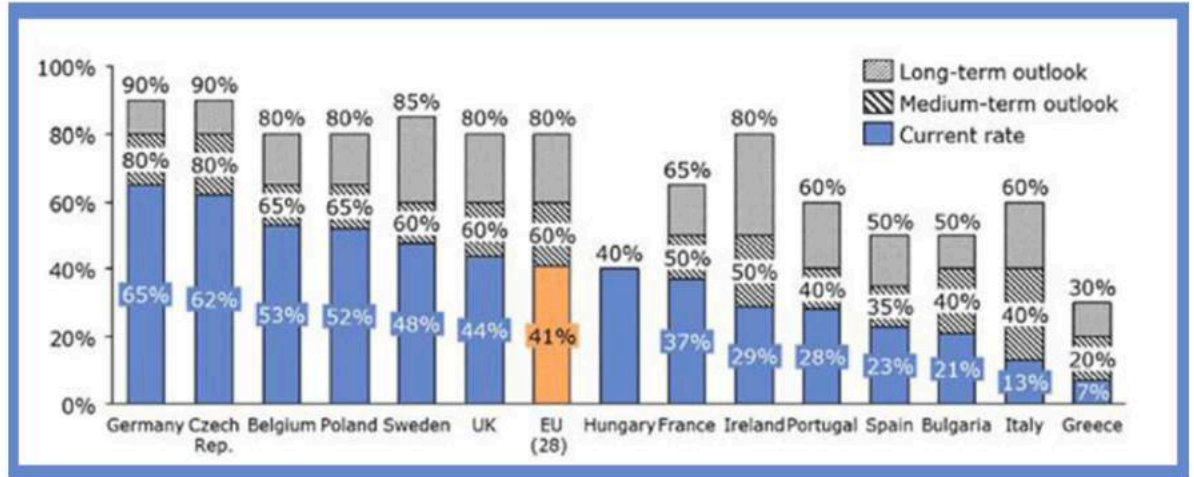
Çimento endüstrisi, çoğu durumda yeterli kontroller yapılarak geleneksel fosil yakıt yerine endüstriyel, kentsel ve tarımsal atıklar kullanmaya odaklanılmış ve bu atıkların yakılmasının 'karbon-nötr' olduğunu iddia etmiştir.

Avrupa Birliği'nin 28 üye ülkesindeki 2017 yılında, geleneksel fosil yakıtlar Avrupa çimento endüstrisinde atıklardan üretilmiş alternatif yakıt oranı %46'dır.

Günümüzde neredeyse tüm büyük çimento ve yapı malzemesi üreticileri, atıkları yakıt olarak kullanarak ısı ihtiyaçlarının %70'inden fazlasını ikame etmektedir (Tablo 1.2 ve Şekil 1-3).

Tablo 1.2 En büyük uluslararası çimento şirketleri/grupları tarafından yakıt olarak kullanılan farklı atık türlerinin dağılımı.

Waste Type	Used as Alternative Fuel	Holcim	Cemex	Heidelberg	Italcementi	Lafarge
Waste oil		5		3.7	8.5	22.1
Solvent and liquid waste		11		4.7	21.9	
Tires		10	16	11.6	14.9	19.7
Impregnated sawdust		6				
Plastic		9		26.4	4.7	33.1
Industrial and household waste (solid)			65		13.8	
Industrial waste and other fossil-based fuel		30				
Meat and bone meal		2	4	6.1	15.7	
Agricultural waste		9	10	4.2	11.1	
Wood chip and other biomass		15	5	24.5		25.1
Sewage sludge		2		4.1	1.7	
Other alternative fuel				14.6		



Şekil 1-3 Bazı AB Ülkelerinde Mevcut ve Beklenen Birlikte İşleme Oranları

Çimento sektörünün orta vadede (5 ila 10 yıl) geleneksel yakıtlarının %60'ına kadar ön işlem görmüş atıklarla ikame etme potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmektedir. Gelecekte bu rakam %95'e bile çıkabilir.

AB ülkeleri çimento tesislerinde fosil yakıt yerine atık yakılması ile;

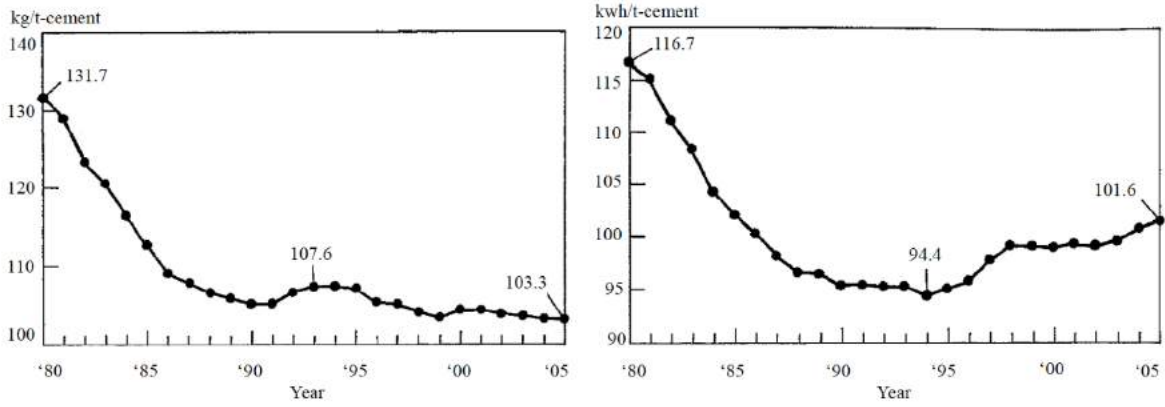
1. Yılda 26,0 milyon ton sera gazı CO₂ emisyonunu önlenmiş,
2. Yılda 15,7 milyon ton atık bertaraf etmiş,
3. Yılda 11,1 milyon ton kömüre eşdeğerden tasarruf edilmiş,
4. Özel Atıktan Enerji Üretim (WtE) tesislerine 12,2 milyar Euro yatırım yapması önlenmiştir (1 kT atığı yakma yatırım maliyeti 0,78 milyon Euro'dur).

Kısaca, AB ülkeleri, çimento endüstrisindeki mevcut kapasiteyi kullanarak, yeni atıktan enerji yakma fırınlarının inşası için gereken yatırıma karşılık gelen bir miktar 12,2 milyar Euro tasarruf sağlamıştır.

Atıklardan elde edilen yakıtın ana kullanıcıları, çimento üreticileri Cemex, Portlandzementwerk ve Heidelberg Cement'in Almanya'daki fabrikaları ve İsviçre'deki Holderbank'tır; Belçika'daki Ciments d'Obourg ise yakıt giderlerini azaltarak yakıtın %80-90'ını atıkla karşılamaktadır.

Japonya, çimento endüstrisinde üretilen 1 ton çimento üretiminde enerji ve hammadde amaçlı kullanılan atık madde ve yan ürün miktarı ortalama 400 kg'a ulaşmıştır.

Japonya'da 1980 yıllara göre 2005 yılına kadar çimento üretiminde ısı enerjisi tüketimi ve elektrik enerjisi tüketiminde değişimler Şekil 1-4'de verilmiştir. Japonya'da çimento sanayinde enerjiyi verimli kullanma teknolojisi geliştirilmiştir.



Şekil 1-4 Çimento Üretiminde Isı Enerjisi ve Elektrik Enerjisi Tüketimi

Termik santral ve benzeri tesislerin kömür külü, arıtma çamuru yakma külü, demir içermeyen metal cürufu ve döküm kumu gibi alternatif malzemelerle ikame edilmesi benimsenmiştir. Bu süreçte, bileşimi doğru ayarlandığı için, üretilen çimentonun kalitesi, çok miktarda atık madde ve yan ürün bulursa bile sabit tutulur. Sinterleme sürecinde termal enerjinin atık yağ, atık lastik, atık plastik veya atık odun ile ikame edilmesi benimsenmiştir. Isıl enerji ikamesi için giriş noktası, boyutu dikkate alınarak ön ısıtıcı, fırının arka kısmı (hammadde giriş tarafı) ve fırının ön kısmı (ana brülör tarafı) olmak üzere kullanım ve yanma özellikleri dikkate alınarak üç noktadan seçilir. Atık lastikler veya yüksek kül içerikli atıklar gibi büyük boyutlu parçalar çoğunlukla fırının arka kısmından beslenir. Alçıtaşı yan ürünü klinker ile birlikte öğütülür. Yüksek fırın cürufu ve katkılı çimentolar için uçucu kül, öğütme işleminde katkı maddesi olarak kullanılır.

Japonya çimento sektöründe, 2005 yılı verilerine göre, yılda 29,5 milyon ton atık yakılmaktadır. Japonya'da çimento sektöründe alternatif hammadde ve yakıt olarak kullanılan atık türleri Tablo 1.3'de verilmiştir.

Japonya çimento sektöründe 2,5 milyon ton arıtma çamuru alternatif hammadde ve yakıt olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1.3 Çimento Endüstrisinde Kullanılan Atık Maddeler ve Yan Ürünler

Item	(unit : thousand ton)				
	fiscal year				
	2001	2002	2003	2004	2005
Blast furnace slag	11,915	10,474	10,173	9,231	9,214
Coal ash	5,822	6,320	6,429	6,937	7,185
Gypsum by-product	2,568	2,556	2,530	2,572	2,707
Dirt, Sludge	2,235	2,286	2,413	2,649	2,526
Soil from construction	-	269	629	1,692	2,097
Non-ferrous slag	1,236	1,039	1,143	1,305	1,318
Unburned ash, soot, dust	943	874	953	1,110	1,189
Molding sand	492	507	565	607	601
Steel manufacture slag	935	803	577	465	467
Wood chips	20	149	271	305	340
Waste plastic	171	211	255	283	302
Coal tailing	574	522	390	297	280
Recycled oil	204	252	238	236	228
Waste oil	149	100	173	214	219
Used tire	284	253	230	221	194
Used clay	82	97	97	116	173
Bone-meal feed	2	91	122	90	85
Others	428	435	378	452	468
Total	28,061	27,238	27,566	28,782	29,593

Norveç'te bir çimento fabrikası, fosil yakıt yerine %55 oranında AF, RDF ve SRF, klinker üretimi amacı ile kullanmaktadır.

Polonya'da, 2014 yılından beri klinker üretiminde kullanılan ısının %50'den fazlası AF, RDF, SRF'lerden elde edilen alternatif yakıtlardan sağlanmaktadır. Böylelikle çimento üretimi, sürdürülebilir kalkınma stratejisinin bir parçası haline gelmiştir.

İspanya'da, çimento endüstrisinin kendisini atık yönetimi olarak yeniden konumlandırmasının ekonomik faydaları: Birincisi, çimento şirketleri belediye katı atıklarını yönetmek için idareden sübvansiyon ve hibe almaktadırlar. Bu da İspanya için yaklaşık 20 euro/tondur. Böylece yeni alternatif yakıtı ücretsiz olarak elde edebilmekte ve net kar sağlayabilmektedir. İkincisi, sanayi artan petrol kok maliyetinden izole edilmiş olmaktadır.

Heidelberg Çimento, 2016'dan itibaren enerji kaynağının %70'lik kütleli ikame oranına, AF, RDF ve SRF kullanarak ulaşmıştır.

Aritma çamuru, klinker üretim sürecinde alternatif yakıt ve hammadde olarak kullanılabilir. 2014 yılında, 720.000 tondan fazla kurutulmuş evsel atıksu arıtma çamuru (%90), Avrupa çimento endüstrisinde (CEMBUREAU üyeleri) işlenmiş ve toplam termal girdinin yaklaşık %1,4'ünü oluşturmaktadır. Çimento tesislerinde susuzlaştırılmış çamur alternatif yakıt ve hammadde olarak planlanabilir. Susuzlaştırılmış çamurun kalorifik değeri ortalama 1.195 Kcal/kg'dur. Bu durumda fırına ilave enerji vermek gerekir. Çünkü susuzlaştırılmış çamur %70-75 oranında nem içerir.

Dünyada bazı çimento tesisleri, %100 oranında AF, RDF ve SRF kullanmaktadır.

İngiltere'deki çimento endüstrisi, termal enerji ihtiyaçlarının %42'sini birincil fosil yakıtlara alternatif olan AF, RDF, SRF'larla değiştirmiştir.

Çimento fırınlarında AF, RDF, SRF ve alternatif hammaddenin kullanımı;

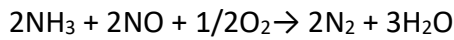
1. Orijinal hammadde ve yakıtla alternatif atıkların ve hammaddelerin homojen karışımı, yüksek yanma sıcaklığı ve yüksek sıcaklıkta alevin kalma süresi gibi ortam koşulları,
2. Atıktan türetilmiş bir dizi yakıtın (RDF), AF, SRF ve hammaddenin çimento endüstrisinin kullanımı,

deneyimi yüzünden tercih edilmektedir.

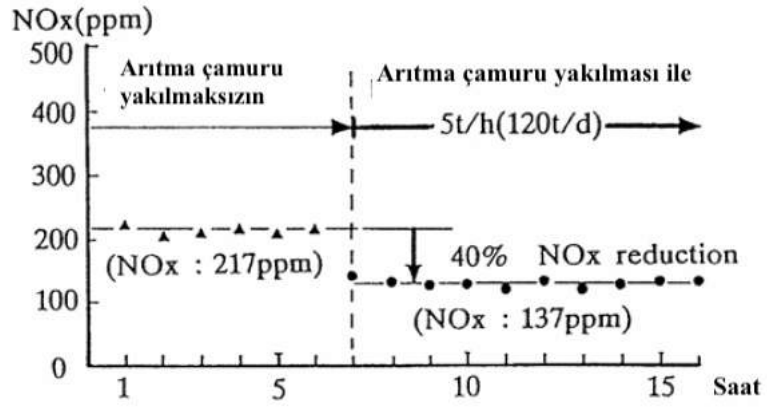
Atıkları, tekil olarak yakma yerine çimento tesislerinde enerji amaçlı olarak kullanılması ile çimentoda sera gazı salımını azaltmak ve tesisleri enerji ve karbon nötr hale getirmek mümkündür. Modern atık bertaraf yönteminde çimento sektörü, önemli rol oynamaktadır. AB ülkelerinde tahminen 50 milyon ton/yıl enerji amaçlı kullanılacak potansiyel atık var ve bunun sadece 5 milyon ton/yıl çimento sektöründe AF, RDF ve SRF olarak kullanılmaktadır.

Çimento fırınları, üretim esnasında atıkları yaktıkları zaman kirletici emisyonları artmaz. Bu, atık yakma fırınlarından ve çöp sahalarından kaynaklanan emisyonları önler. Örneğin, atık yakma tesisinde arıtma çamurunun yakılması sırasında önemli miktarda N₂O (gülme gazı) açığa çıkar. Sera gazı etkileri açısından bir birim N₂O'nun 300 birim CO₂'ye eşdeğer olması ve çimento fırınlarının yüksek ısı verimi nedeniyle birlikte işleme, arıtma çamuru için açık ara en çevre dostu bertaraf yöntemidir.

Çimento tesislerinde arıtma çamurları yakıldığı zaman çamur içinde bulunan amonyumun bozunması sonucu;



Reaksiyonu gerçekleşir. Kısaca, çimento tesislerinde fosil yakıt yerine %70-90 kurulukta arıtma çamuru AF olarak kullanıldığında NO_x emisyonu ortalama %40 oranında azalır.



Şekil 1-5 NOx Emisyonu Değişimi

2 SINIR DEĞERİNİN ÜZERİNDE KLORÜR

Sınır değerlerinin üzerinde klorür, beton yüzeyinden içeriye doğru zamanla yayılır ve donatı derinliğinde klorür konsantrasyonu kritik bir değeri aştığında depasivasyonun olduğu kabul edilebilir. Yüzeyden belirli bir derinlikteki klorür konsantrasyonu zamanla arttığı için depasivasyon olasılığı da zamanla artar.

Geçmişte beton içerisindeki yüksek klorür konsantrasyonlarının beton elemanları içerisinde bulunan çelik donatısı korozyonunu artırdığı ve çeliğin mukavemetini düşürdüğü gözlenmiştir. Bu, beton yapılarda ciddi yapısal hasara neden olabilir. Bu (kötü) deneyime dayanarak, betondaki klorür içeriği sınırlandırılmıştır. Betonda bu sınıra uymak için, beton bileşenleri için klorür limitleri getirilmiştir.

EN 197, çimentolara dahil edilebilecek klorür için %0,1 (1000 g/ton) nihai bir limit olarak belirlemiştir. Almanya ve Avustralya tüm çimento türlerinde %0,1 (1000 g/ton) klorür sınır değerlerini uygulamaktadır. İngiltere tüm çimento türlerinde %0,04 (400 g/ton) ve Japonya ise 0,03 (300 g/ton) klorür sınır değerlerini uygulamaktadır. Avustralya ve Almanya'da bazı çimento tesisleri çimentoda %0,06 (600 g/ton) klorür sınır değerlerini uygulamaktadır.

Çimento üretiminde klorür sınır değeri, ya hammadde veya yakıt sınır değerlerini sağlayacak şekilde seçilir ve fırına besleme yapılır yada klor baypas sistemi kurularak sağlanır.

Çimento üretiminde klorür, hammadde veya yakıt kaynaklı olabilir. Çimento tesisi denize yakın konumda ise, kireçtaşı veya marn "tuzlu su ile emprenye edilmiş" olabilir. Buda klorür girişini artırır. Alternatif yakıt olarak kullanılan atıklar (RDF), AF ve SRF, fırına klorür girişini artırabilir. Örneğin PVC (polivinilklorür) içinde %50 oranında klor içermektedir.

Bir çimento fırınına klorür içeren atıklar ve hammaddeler girdiğinde yanma bölgesine yaklaştıkça klorürlü bileşikler buharlaşır. Yüksek sıcaklıkta klorürlü bileşiklerin uçuculuk derecesi (>%99) çok yüksektir. Bu nedenle, yüksek sıcaklıkta çok az miktarı klinker katı fazında klorür kalma (<%1) eğilimindedir. Kısaca klinker ile fazla klorür sistemden çıkmaz. Kükürt bileşikleri ise ilgili sıcaklıkta genelde %60 oranında uçucu ve %40'ı ise klinkerle gider.

Fırında uçucu hale gelen gaz halindeki klorür bileşikleri, yanma gazlarıyla "fırın girişine doğru" hareket eder ve 800°C'de fırın sisteminin "soğuk" bölgesinde yoğunlaşır. Bir ön ısıtıcı/ön kireçleme fırını için bu, ön ısıtıcı kulesinin alt aşamalarına karşılık gelir. Klorür, ön ısıtıcıdan gelen besleme hammaddesi üzerinde yoğunlaşır ve fırında daha yüksek sıcaklıklara yaklaştıkça hemen hemen tamamı tekrar uçucu faza geçer ve döner fırın iç ortamına girer. Böyle devridaim yapan bir klorür yükü gelişir ve oluşur. Döngüye, döngüyü terk etmekten daha fazla, klorür girer. Belli bir seviyenin üzerinde, uçucu klorür bileşikleri sistemde biriktikçe süreç dengesizliği oluşur. Buda Build Ups düzenli kule (kemerleşmeyi önleme) temizliği gerektirir. Bu durum akışları etkileyerek fırın işleminde istikrarsızlığa neden olabilir ve ayrıca fırının durdurulmasını gerektiren tıkanmaların (kemerleşmelerin) oluşması nedeniyle fırının çalışma güvenilirliğini etkileyebilir. Özellikle klorürlü bileşiklerin oluşturduğu kemerleşme çok serttir ve giderilmesi çok ciddi sorun oluşturur.

Klorürün devridaim olgusunun neden olduğu yanma bölgesine giren hot mealde artan klorür içeriği, sıvı oluşum sıcaklığı dahil olmak üzere klinkerizasyon reaksiyonlarını etkiler. Nihai sonuç, fırında "klor döngüsü" yaşanacağından bu da işletme istikrarsızlığına ve fırın kontrol zorluklarına neden olur.

Çimento fırınında, organik bileşikler tamamen okside olur. Klorür, fırına beslenen ince öğütülmüş hammadde karışımında bulunan kil minerallerinin elementleri olan sodyum ve potasyum ile birleşir (sıcak fırın beslemesi olarak da adlandırılır) ve potasyum ve sodyum klorür gibi tuzlar oluşturur (ağırlıklı potasyum klorür).

Potasyum ve sodyum tuzları, döner klinker fırını içinde yüksek sıcaklıklarda uçucudur (gaz fazına geçer) ve "nispeten soğuk" ön ısıtıcı siklonunda (kulesinde) yoğunlaşırlar, böylece fırın besleme gazları içindeki uçucu ince partikülleri birbirine yapıştırır ve yapışmalar (kemerleşmeler) oluşturur (bu olay, genellikle "uçucu maddelerin dahili devridaimi" olarak adlandırılır). Bu tür yapışmalar (tıkanmalar, kemerleşmeler), sıcak hava ve malzeme akışını engeller, "ön ısıtıcının tıkanmasına" ve fırının durmasına neden olabilir. Fırınları durmasının maliyeti çok yüksektir.

Çimento tesislerinde klora tepki vermek için iki yol vardır;

1. Gelen ham madde, RDF, AF ve SRF'deki klorür içeriğinin sınırlandırılması (yakıt girdi kontrolü). Tesislerin birçoğu, gelen malzemeler (hammadde ve yakıt) için maksimum klorür konsantrasyonları oluşturmuştur.
2. Yüksek konsantrasyonda klorür (hammadde ve atık kaynaklı) girişinin olduğu durumlarda, korozyonu, tıkanmayı, yapışmayı, kemerleşmeyi vb. önlemek için fırın girişinde genellikle bir klor baypası ünitesi kurulur. Fırından uçucu tozunun baypas edilmesi (çıkarılması) ile ön ısıtıcıda birikmeler, tıkanmalar ve elde edilen çimentonun korozyon etkisi önlenir.

Birçok çimento fabrikası, klorür, kükürt ve alkali sirkülasyonunu kontrol altında tutmak için çimento döner fırınlarını bypass sistemleri ile çalıştırmaktadır. Bunun nedeni, yerel ocaklarından elde ettiği doğal hammaddelerin fırında yapışma/tıkanma/kemerleşme oluşturmasını önlemek, fırının daha kararlı çalışmasını sağlamak ve fırın girişinde klor, alkali ve kükürtü belli seviyelerde tutmaktır. Diğer yandan ikincil yakıtların veya hammaddelerin artan kullanımı, fırında kükürt, alkali veya klor girişinin artmasına neden olabilir. Bu nedenle, son yıllarda dünyada birçok çimento fabrikası mevcut fırınlarında klor baypas oranı artırılmış veya yeni baypas sistemleri kurmuşlardır.

Japonya, çimento endüstrisinde çevrenin ve doğal kaynakların korunması amacıyla atıkların, alternatif yakıtlara veya hammaddelere dönüştürülmesini ve kullanılmasını teşvik etmektedir. Geri dönüştürülen atık miktarı arttıkça, uçucu bileşenlerin, özellikle klorür içeren atık miktarı da artmaktadır. Bu nedenle, klorürün fırın ön ısıtıcı sistemlerinden etkili bir şekilde çıkarılması (baypas edilmesi) için yeni teknolojiler uygulamaya konmuştur. Yeni teknoloji ile ihtiyaçları karşılamak için yeni bir klor baypas sistemleri geliştirilmiştir.

Klor baypas sistemi olmayan çimento fırınına maksimum klorür girdisi <250 g/ton klinker olacak şekilde alternatif atık hammadde ve yakıt beslemesi yapılır.

Çimento üretiminde temel kural;

Hot meal (serbest ve bağlı nemi giderilmiş ve bağlı CO₂ serbest hale getirilmiş sıcak farin) için sınırlar;

1. Na(eq) <%2,5

SO₃ <%2,5

Cl- <%0,8

3 x Cl + 1 x SO₃ = maks.10

Klor baypas sistemi olan çimento fırınlarına, klorür girdisi >300 g/ton klinker olacak şekilde hammadde ve yakıt beslemesi yapılır veya klor baypas sistemi çalıştırılır.

Hammadde ve yakıt içinde toplam klorür miktarı (g/ton, ppm) veya hot mealden alınan numunedeki klorüre bağlı olarak baypas işlemi yapılıp yapılmayacağı belirlenir. Bunun için hammadde ve yakıtlarda ve hot mealde klorür testi yapılır. Özellikle hot meal içindeki klorür içeriği günde 8 saat aralıklarla 3 defa yapılabilir. Hot mealden numune alma noktası

Buna göre klinker içinde toplam klorür içeriği belirlenir.

Tablo 2.1 Klinker İçinde Toplam Klorür İçeriği

Prensipler	Prensipler
<250 ppm (g/ton)	Baypasa gerek yoktur
250-300 ppm (g/ton)*	Baypas gerekli olabilir
>300 ppm (g/ton)	Baypas gerekir

**Hammadde ve yakıt içinde daha yüksek sülfat seviyelerinde bu değer daha düşük olacaktır. Kesin seviye, tüm uçucu girdilere ve yanma optimizasyonu seviyesine bağlıdır.*

Çimento sanayinde;

- Daha kaliteli çimento üretmek,
- Sera gazı salımlarını azaltmak,
- Alternatif enerji kaynaklarını (%90 kurulukta arıtma çamuru gibi) **(Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilen) kullanmak,
- Baca gazında klorür, kükürt dioksit, alkali ve ağır metal bileşikleri salımlarını güvenli sınır değerleri aralığında tutmak için klor baypas sistemi kurulmaktadır.

Doğru tasarlanmış bir baypas sistemi ile fırın girişinden geçen gaz/malzeme akışından %2 ila %3 arasındaki oranda fırın gazı ekstraksiyonu ile kaplama sorunları ve termal kayıplar önemli ölçüde önleneceği için genellikle yeterlidir. Klorürün en yoğun gaz fazında olduğu yerden klor baypas sistemi uygulaması yapılır. Birçok mevcut tesis, mevcut klor baypas oranlarını %5'den %10 çıkartmaktadırlar.

Geçtiğimiz yirmi yılda dünya çapında birçok çimento fabrikası baypas sistemi kurdu/kurdurdu ve bu sistem genellikle yerel hammadde durumu ve ayrıca alternatif yakıtların veya

hammadelerin artan kullanımını tetikledi. Çimento endüstrisinin proseslerini optimize etmek için yeni çözümler bulma konusundaki tecrübesiyle, temizleme verimliliği, gaz ve toz işleme gibi ana teknik sorular tatmin edici bir şekilde çözülmüştür.

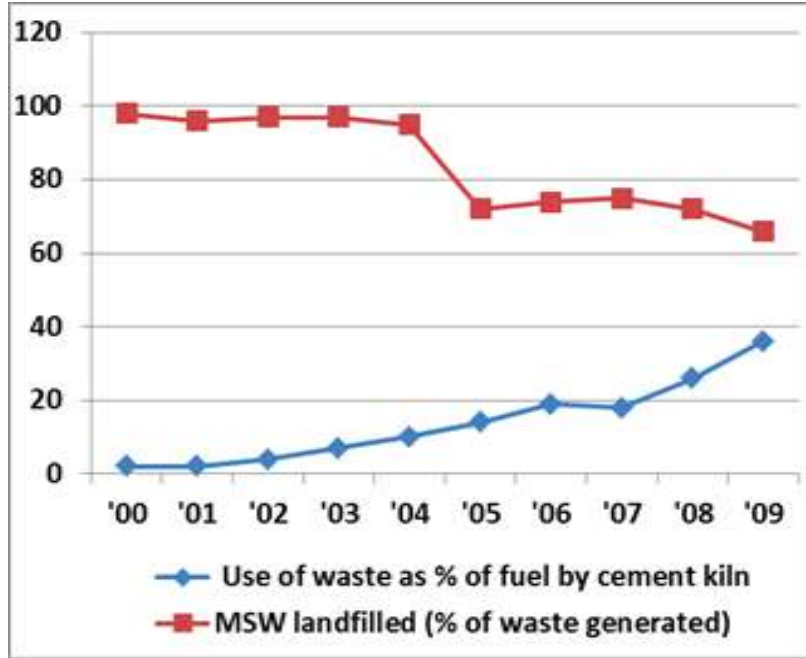
Klor baypasının, operasyonel iyileştirmelerin yanı sıra ikincil faydaları:

- Fırın mantosu korozyonu önlenir (veya en azından oranı azalır).
- Klorür içeren alternatif yakıt kullanımına imkan verir.
- Ön ısıtıcıda gelişmiş SO₂ emilimi için fırsat verir.

3 KLORÜRÜN, SÜLFÜRÜN VE ALKALİLERİN DÖNER FIRINDA OLUMSUZ ETKİSİ

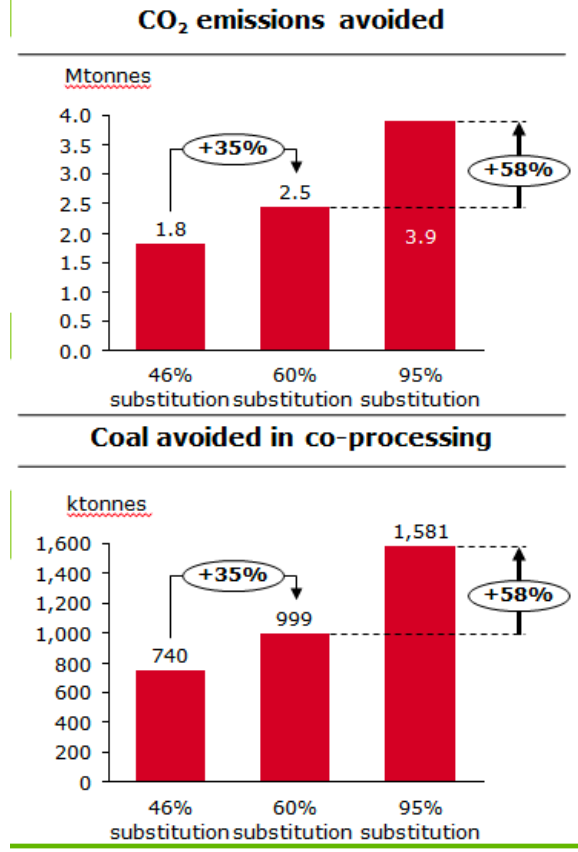
Almanya, Japonya, Polonya, İngiltere, İspanya ve Çin gibi ülkelerde son yıllarda çimento tesislerinde alternatif hammadde ve atık kullanımı artmaya başlamıştır. Şekil 3-1’de verilen atıklar, benzerleri ve arıtma çamurları (%90 kurulukta), fosil yakıt yerine alternatif yakıt ve hammadde olarak yakılması teşvik edilmektedir. Böylece çevrenin korunması ve atıkların sürdürülebilir yönetilmesi sağlanmakta ve doğal kaynakların zarar görmesi önlenmektedir.

2000’li yıllarda evsel atıklar, çöp depolama alanına gönderilirken ve çimento tesislerinde fosil yakıt kullanılırken 2009’lu yıllarda artık çimento tesislerinde evsel atıklar, alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polonya çimento sektöründe fosil yakıt yerine evsel atıklardan üretilmiş alternatif yakıt kullanılması yıllara göre değişimi Şekil 3-1’de verilmiştir. Polonya’da tüm çimento tesisleri fosil yakıt yerine AF, RDF ve SRF tüketmektedir.



Şekil 3-1 Polonya Çimento Sektöründe Fosil Yakıt yerine Evsel Atıktan Üretilmiş Alternatif Yakıt Kullanılması

Heidelberg Çimento tarafından işletilen ve günde iki adet 6.000 ton klinker hattına sahip en büyük tesis olan Gorazdze, 2016 yılında %70 oranında fosil yakıt yerine AF, RDF ve SRF kullanma oranına ulaşmıştır. Diğer çimento fabrikaları da %70 oranını geçmiştir. Gelecekte hedef %95’dir.



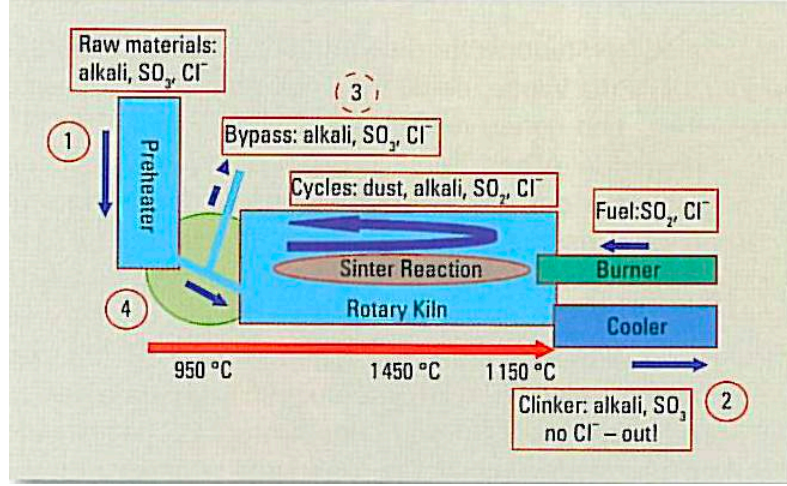
Şekil 3-2 Sera Gazı CO₂ Salımını ve Fosil Yakıt Kömür Kullanımında Azalma

Gelişmiş ülkeler, klorür içeren atıkların çimento fırını gibi tesislerde fosil yakıt ve hammadde yerine yüksek sıcaklıkta yakılmasına özel önem vermektedir.

Aritma çamurları dahil olmak üzere atıklar hem hammadde hemde alternatif yakıt olarak kullanılırsa çimento üretiminde fosil yakıt tüketimi ve karbon salımı azalır, atık bertaraf sorunu minimize edilir ve atıklar ekonomik olarak bertaraf edilir.

Çimento üretiminde atıklar ve arıtma çamurları alternatif hammadde ve yakıt olarak kullanılırsa yüksek konsantrasyonda klorür, sülfür ve alkali bulunabilir. Klor, kükürt ve alkali içeren alternatif hammadde ve yakıt içeren atıklar ve arıtma çamurları, fırına beslendiğinde, fırın ile ön ısıtıcı arasındaki dahili sirkülasyon bir zenginleştirme döngüsü görevini yapar. Yüksek konsantrasyonlarda, böyle bir döngü fırın hammadde giriş alanında, kalsinatörde ve iki alt kademedeki kaplama/tortu oluşur.

Beklenmedik duruşların minimize edildiği düzenli bir fırın işletmesi enerji tasarruflu klinker üretiminin esasını teşkil ettiğinden, kaplama/sarma/kemerleşme oluşumundan dolayı fırın çalışmasının durdurularından kaçınılması gerekir. Bu yüzden, fırın girişinde klorür, sülfür ve alkali bakımından zengin uçucu fazdaki maddelerin etkili şekilde alınması (baypas edilmesi) ile bu problemin çözülmesini zorunlu kılmaktadır. Proses gazının bir miktarını gidermek (alıkoymak) suretiyle klor, kükürt ve alkalilerin yanı sıra diğer maddeler de baypas edilir/alıkonur.



Şekil 3-3 Fırında Yanma Esnasında Klorür, Alkali, SO₂ ve Toz Sirkülasyonu Temsili. Uçucu Maddeler, Sinterlenme Bölgesinde Uçucu Hale Geçer. Numune Alma Noktaları; 1. Fırın Besleme, 2. Klinker, 3. Baypas Sistemi Kurulmuşsa, Baypas Tozu, 4. Sıcak Besleme Numune Alma Mevcut Sistemse Sıcak Malzeme

Alkali klorür bileşiklerinin uçuculuğu, esas olarak erime ve kaynama noktalarının yanı sıra buhar basınçlarının sıcaklığa bağımlı olarak belirlenir. 1450 °C sıcaklıkta alkali (potasyum ve sodyum) klorürün buhar basıncı, tamamen buharlaşabileceği için, 1 bar değerine ulaşır. Diğer yandan, alkali sülfatın buhar basıncı daha düşüktür ve klinkerde daha büyük bir tutulma, klinker yoluyla devridaim sisteminden daha fazla uzaklaştırmasına yol açar.

Diğer yandan fırın içinde yüksek CO₂ konsantrasyonu, sodyum ve potasyumun uçuculuğunu artırır.

Fırına verilen alkali klorürlü bileşikler, 800 °C'nin üzerinde uçucu hale geçer ve bir gaz akımı ile tutulur, fırının soğuk ucuna ve ön ısıtıcı aşamalarına geçer; son iki ön ısıtıcıda kısmen yoğunlaşırlar. Klorürlerin bir kısmı, bu işlemin tekrarlandığı ve sıcaklığın 1450 °C olduğu fırın yanma bölgesine geri döner.

Klorürler, siklonların duvarlarında birikme (kemerleşme) eğilimi (meyli) gösterdiğinden, birikmeler fırının düzgün (verimli) çalışmasını engelleyebilir. Bu nedenle, fırındaki klorür sirkülasyonu, sınırlandırılmalıdır. Klorür yoğunlaşması, gaz akımı ön ısıtıcı sisteminden geçmeden önce gerçekleştiğinden, modern çimento fırınlarında gaz baypas sistemi uygulanır. Fırının soğuk ucundan baypas tesisatı yardımıyla ayrı bir gaz tahliyesi, ön ısıtıcılar sisteminde bir bütün olarak taşınmasının önüne geçilmesini sağlar. Bununla birlikte bu, klinker üretimi için artan ısı tüketimi ile ilişkilidir, bu nedenle toz yüklü gazların sadece bir kısmı bu şekilde uzaklaştırılabilir.

Portland çimentosu üretiminde büyük miktarda çıkış gazı içeren toz üretilir. Çıkış gazı döner fırından çıktığında sıcaklığı yaklaşık 1000–1150 °C'dir. Fırın çıkış gazının termal enerjisi, çok aşamalı bir siklon ön ısıtıcıda karşı akım ısı değişimi ile hammaddeyi ısıtmak için kullanılır. Ön ısıtıcıda sıcak fırın gazları, daha soğuk malzeme ile karıştırılarak kademeli olarak soğur. Bu, gaz fazında bulunan uçucuların çoğunun, heterojen çekirdeklenme yoluyla daha soğuk tozun

yüzeyine çökmesine yol açar. Fırın çıkış sıcaklığında uçucu fazda olan klorürlerin çoğu bu nedenle farin içinde tutulur ve sadece küçük bir kısmı ön ısıtıcı sisteminden çıkış gazı ile ayrılır. Klorürlü bileşikler, fırına geri döndüklerinde bir kez daha buharlaşarak dahili bir sirkülasyon oluştururlar. Teorik olarak, bu resirkülasyon, klinker ve fırın çıkış gazı ile boşaltılan klorür miktarı eklenen miktara eşit olana kadar oluşur. Yüksek düzeyde dolaşımdaki klorür, proses arızalarında bir artışa neden olabilir, ancak sirküle olan klorür konsantrasyonu bir baypas sistemi ile azaltılabilir. Bununla birlikte, fırından çıkan baypas gazının uzaklaştırılması enerji kaybına neden olur. Düşük klorür giriş hızlarında dahili sirkülasyon, baypasın gerekli olmadığı bir seviyede stabilize olabilir.

Çimento sanayi fırınlarında kullanılan ve uçucu olmadığı düşünülen hammaddeler, fırın içinde yüksek sıcaklıkta önce erir ve sonra buharlaşırlar. Fırın içinde bazı klorürlü ve sülfürlü alkalilerin erime noktaları ve buharlaşma noktaları ve uçuculuk oranları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Bazı Alkalilerine Erime ve buharlaşma sıcaklıkları ve Uçuculukları

Bileşik	Erime Noktası, oC	Kaynama Noktası, oC	Buharlaşma, %
KCl	776	1400	60-80
NaCl	801	1413	40-60
K ₂ SO ₄	1069	1669	50-60
CaCl ₂	772	1935	35-50
Kurşun Oksit (PbO)	888	1472	-

Döner fırın yanma bölgesinde sodyum ve potasyum, sülfat ve klorür ile bileşir. Bu bileşikler daha sonra Tablo 3.1'de verilen kaynama noktasına yakın sıcaklıkta buharlaşır. Benzer şekilde hammadde ve yakıtla giren kurşun bileşikleri de kaynama noktasında buharlaşır. Oluşan buharlar, fırının daha soğuk bölgesine taşınır.

Yanma bölgesinde buharlaşan bileşikler, fırının soğuk bölgesinde besleme malzemesinin küçük partiküllerinin yüzeyinde birikme meylindedir. Besleme malzemesi gibi, buharlaşmış tuzları tutulmuş olan malzemeler, fırının sıcak bölgesine hareket eder, uçucu bileşikler, bir daha tekrar buharlaşır ve fırın sistemi içinde resirküle eder. Alkali klorürler veya sülfatlar ve diğer uçucu maddeler bakımında zenginleşme, bu prosesin bir sonucu olarak fırın malzemelerinde oluşur.

Klor baypas sistemi, klorürün neden olduğu çeşitli sorunların önlenmesi ve aynı zamanda istikrarlı fırın işletmesinin sağlanması açısından önemli bir gelişmedir. Klor baypas sisteminin kurulması, fırının istikrarlı ki çalışmasına izin verir ve daha yüksek klor içeriğine ve daha düşük fiyata sahip hammadde ve yakıtların temin edilip kullanılmasına, çimento üretim maliyetlerinin azalmasına neden olur. Dahası, klor baypas sistemi, bir fırında çeşitli atıkların geri dönüştürülmesine yardımcı olan bir teknolojidir. Bu teknoloji geliştirilmeye devam edecek ve çimento üretim süreçlerinde atıkların geri dönüşümünü daha da teşvik edecek ve çevrenin korunmasına katkıda bulunacaktır.

4 YAKIT DEĞİŞİMİNDE CL-SO₃ DENGESİ

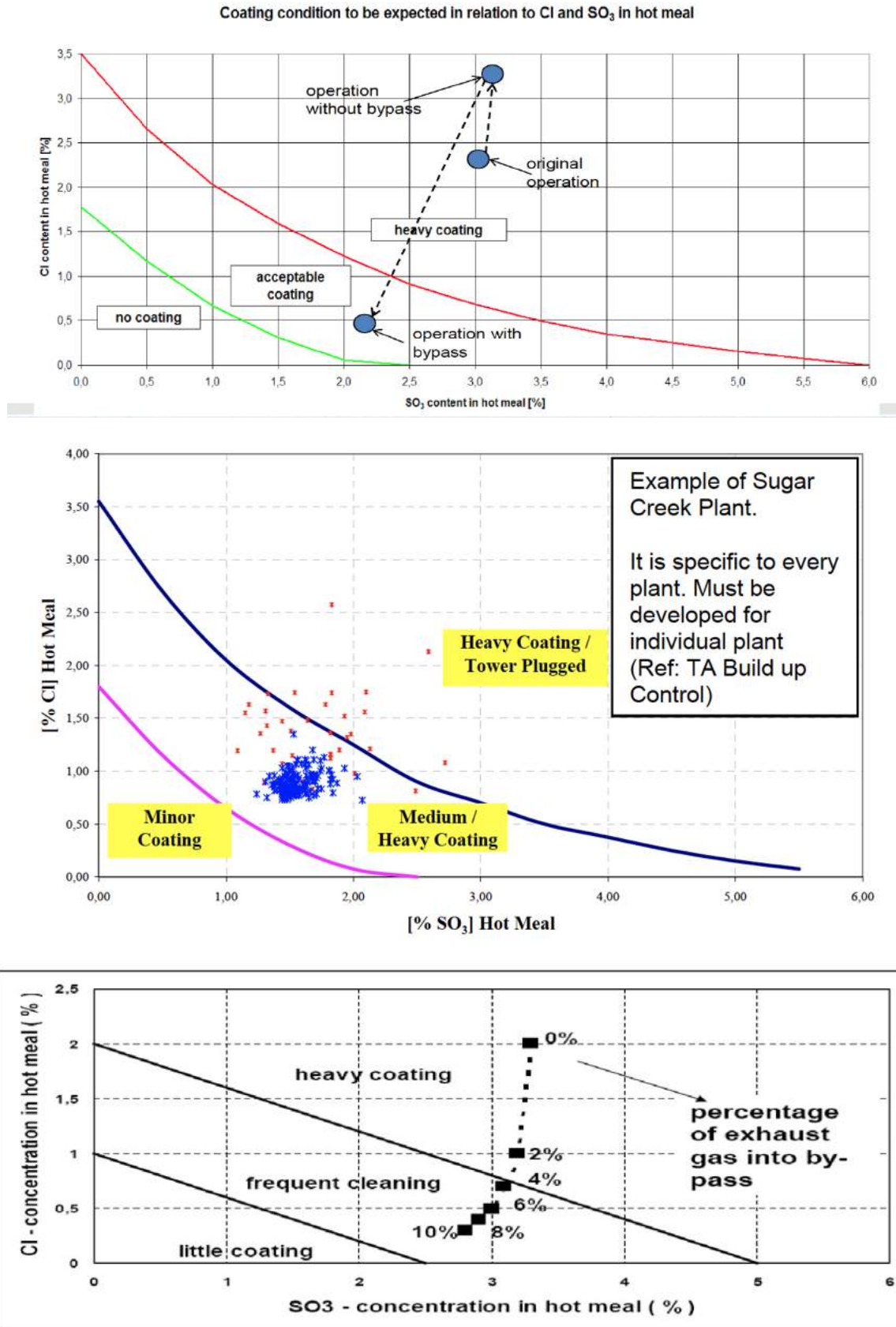
Yakıt ve hammaddeye bağlı olarak hot meal değişiminde Cl-SO₃ dengesi Şekil 4-1'de verilmiştir.

Hot mealde klorür konsantrasyonu yüksekse, klorür önce mevcut alkalilerin tümü ile birleşerek fırında yeniden dolaşan ve ön ısıtıcıda birikme (blokaj) olasılığını artıran alkali klorürler oluşur. Kalan herhangi bir klorür daha sonra çok düşük bir erime noktasına (770-780 °C) sahip olan CaCl₂ oluşturmak için CaO ile birleşir. Bu, sıcak hammaddeyi bu sıcaklıkta son derece "yapışkan" hale getirir ve ön ısıtıcıda birikme (blokaj, kemerleşme) olasılığını artırır. Klorürler ayrıca potasyum, sodyum, kalsiyum ve magnezyum sülfatlarıyla ötektik karışımlar oluşturur. Bu ötektik (eutectic) karışımların erime noktaları, saf bileşiklerinkinden çok daha düşüktür. Bu durum halkaların ve birikmelerin (blokajların) olasılığını daha da arttırır.

Klor baypas gereksinimi için kural, toplam klorür girdisinin 250-300 g/ton klinkeri aştığı zamandır. Bu değer daha yüksek sülfat seviyelerinde daha düşük olacaktır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Bu değerler yalnızca bir kılavuz veridir ve kesin değer, fırın sistemine tüm uçucu girdilere ve yanma optimizasyonunun seviyesine bağlı olarak gerçek çalışmalarla belirlenir.

Bir klor baypas gereksinimi, fırın girişinde hot mealden alınan numunede ölçüldüğü gibi yükseltici arka uç kaplama eğilimine (birikme/kemerleşme oluşumu) bağlanmalıdır. Yani, kaplama/kemerleşme eğilimi arttıkça, fırının kararlı ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için bir baypas gerekli olacaktır. Kaplama/kemerleşme eğilimi (meyli), hem klorür hem de sülfatların fırın sistemindeki sirkülasyonu Şekil 4-1 ile ilgilidir.

Şekil 4-1'e göre, hot mealdeki kükürt ve klorür konsantrasyonları, kalsinatörde birikme oluşumu riskini değerlendirmek için kullanılabilir. Akım şemaları endüstriyel deneyime dayanmaktadır ve düşük, orta ve yüksek birikme (blokaj) eğilimi olarak 3 bölgeye ayrılmıştır. Birikme eğilimi (meyli), birikintilerin gerekli temizliği veya kaldırılmasıyla bağlantılıdır. Bu nedenle, düşük ve orta birikme (blokaj) eğilimi (meyli) şartlarında (bölgelerinde) bir çimento fabrikasının işletilmesi tavsiye edilir.



Şekil 4-1 Ön Isıtma İşletmesinde Hot Meal Bileşimine Bağlı Kaplama Eğilimi (Meyli)

Klor bypass ihtiyacını değerlendirirken fırına beslenen yakıt ve hammadde içeriğine göre hot mealdeki klorür hem de kükürt konsantrasyonu dikkate alınması, takibinin yapılması ve her bir tesis işletmesi için Şekil 4-1'de verilen benzer grafikler rehber olarak hazırlanması tavsiye edilir. Fırın Şekil 4-1'de verilen güvenli aralıkta çalıştırılmalıdır.

Şekil 4-1'de hangi seviyede uçucu girdi olursa olsun, düzenli olarak takip edilebilmesi için her bir çimento tesisi için üretilmesi tavsiye edilir.

Şekil 4-1 incelendiği zaman hot mealdeki SO₃ oranı temel alınarak klorür oranı değişimine göre klor bypass değeri belirlenir.

Türkiye kullanılan hammadde, yakıt ve alternatif hammadde ve yakıtta göre genel kural hot mealdeki klorür konsantrasyonu %1'i aştığı zaman bypass yapılır.

Bir klor bypass ihtiyacını birinci derecede tahmin etmek için teknik merkezden bir klorür girdi hesaplama aracı mevcut olmalıdır. İkinci önemli adım, teknik merkezle birlikte tam değişkenler için bir denge kurulmalıdır.

4.1 ALT SIKLONDA HAMMADE İÇİN KLORÜR KONSANTRASYON KONTROLÜ

Modern süspansiyonlu ön ısıtıcı çimento fırın sistemindeki aşırı klorür içeriği nedeniyle, fırın yükseltici kanallarında ve siklonların yüzeylerinde toz birikmesi nedeniyle, sık sık önemli kaplama, kemerleşme, tıkanma ve korozyon problemleriyle karşı karşıya kalınmaktadır. Klorür, hammadde, katkı maddesi veya yakıt (AF, RDF ve SRF) kaynaklı olabilir. Özellikle alternatif atıkların ve hammaddelerin yakıt olarak yakılması, döner fırında ve ön ısıtıcının alt kademelerinde yüksek miktarlarda sirküle klorür ile sonuçlanabilir. Bu klorür bileşiği, partiküllerin üzerinde 750 °C ile 800 °C arasındaki koşullar altında yoğunlaşır ve ince partikülleri oldukça yapışkan hale getirir. Böylece kanallarda ve siklonlarda çalışma işlemini bozan çeşitli kaplamaları oluşturur.

Alt siklondaki hot mealdeki klorür konsantrasyonu, fırın tipine ve de yanma bölgesinin ısı profiline bağlı olarak değişir. Klorür, klinkerdeki konsantrasyonu 100 ila 250 katı gaz fazında zenginleştirilir. Genel olarak, klorürün neden olduğu kaplama (tıkanma) problemleri, alt siklon oluşunun boyutu ve eğim açısı gibi faktörlere bağlı olsa da bu sorunlar klor bypass sisteminin kurulması ve alt siklondaki hot meallerdeki klorür konsantrat iyonunun 5000 ila 7500 ppm arasında kontrol edilmesi ile önlenir.

Son araştırmalarda, kükürt buharlaşmasının fırın girişinde yanıcıların kullanımıyla aktive olduğu ve dolaşımının konvansiyonel vakanın iki ila üç katı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, alt siklon ve yükseltici kanal bölgesinde kaplamaya neden olan düşük erime noktasına sahip minerallerin oluşumunun a) (CaO ve SiO₂ ve benzerleri) ve b) klorun ve kükürtün etkileşim iyonu ile gerçekleştiği düşünülmektedir. Fırın ön ısıtma sisteminde spesifik olarak oluşan yüksek sıcaklıkta problemleri düşük erime noktalı, stabil mineraller ellestadit 3(2CaO.SiO₂).3CaSO₄.CaCl₂ ve sülfatlar purrit (2(2CaO.SiO₂).CaSO₄)'tir. Bu tür bileşikler klinker ile bir miktar klorürün taşınmasından sorumlu olabilir. Buna göre, siklonun

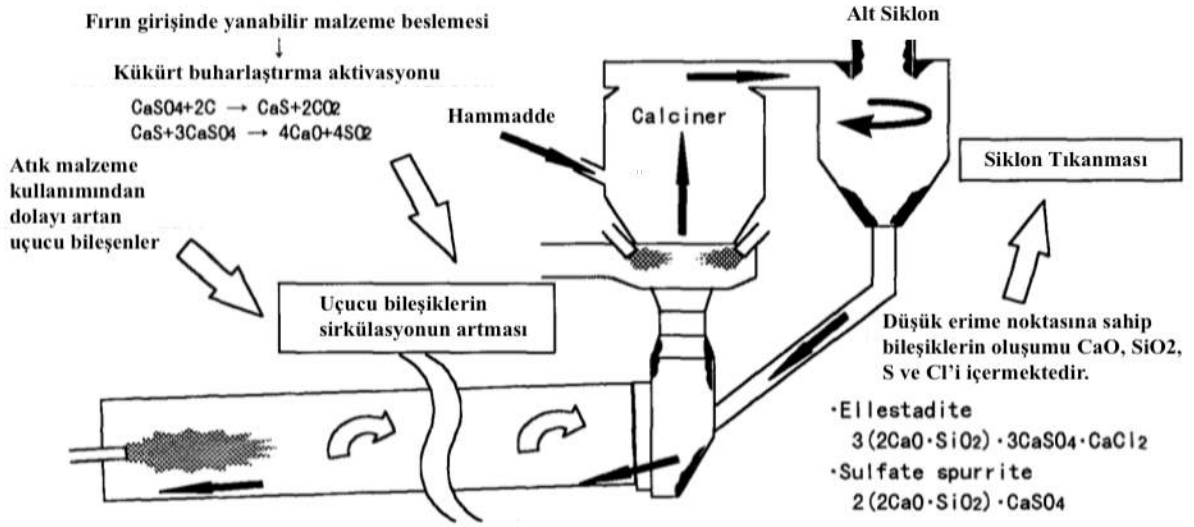
tıkanmasını önlemek için, alt siklondaki hot meallerin klorür konsantrasyonuna ek olarak, kontrol edilmesi gereken bir diğer kritik faktör de kükürt konsantrasyonudur.

Klorürün buharlaşması,

- Yanma bölgesi sıcaklığı,
- Fırın gazı/şarj oranı,
- Beslemedeki kükürt konsantrasyonu,

gibi üç parametreye bağlı olarak değişmesi kuvvetle muhtemeldir.

Uçucu bileşenlerin sirkülasyonunun özeti ve siklon tıkanma mekanizması Şekil 4-2’de verilmiştir.



Şekil 4-2 Fırın Ön Isıtma Sisteminde Klorür ve Alkali Sirkülasyonu

Şekil 4-2 incelendiği zaman tıkanmanın olduğu yerler kolayca anlaşılmaktadır. Bu tür kaplamaların bir kısmı her gün belli süre şişleme ile bertaraf edilebilir.

5 KLOR BAYPAS SİSTEMİ

Geliştirilmiş klorür bypass sistemi ile kemerleşme (tıkanma) sorunu yaşanmadan hammadde, alternatif hammadde, fosil yakıtlar, alternatif yakıtlar ve kaba tozda bulunan klorür, alkali ve kükürtü fırın ön ısıtıcı sisteminden verimli bir şekilde çalışmasını sağlayan benzersiz bir teknolojidir. Bu nedenle, bu teknoloji ile büyük miktarda klorür, alkali ve kükürt bakımından zengin atıkları ve atık hammaddeleri kullanarak çimento fırınlarını istikrarlı bir şekilde gidererek çalışmasını sağlamak mümkündür.

Çimento tesisleri fırınlarında yüksek sıcaklıkta klorür bileşikleri uçucu fazdadır.

Klor baypas sistemi ile düşük klorür ve alkali içeren yüksek kalitede klinker üretilir ve fırın sisteminde kemerleşme ile önlenir. Baypas sisteminin kullanılmasıyla klinkerde klorür konsantrasyonu ciddi oranda düşer.

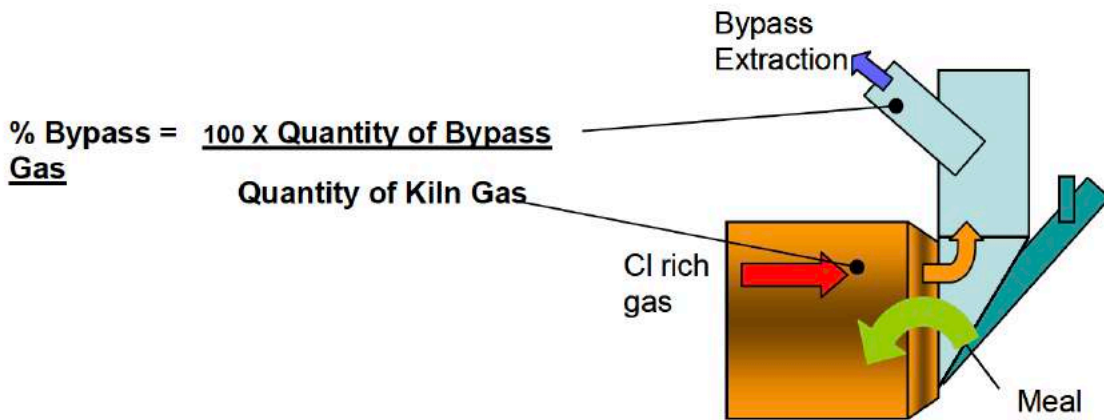
Alternatif hammadde ve AF, RDF ve SRF kullanımı ile yüksek konsantrasyonda klorür girişinin olduğu durumlarda, korozyonu, tıkanmayı, kemerleşmeyi vb. önlemek ve emisyon limitlerini uygun bir marjla karşılamak, atık madde olarak yüksek klorür tozu üretiminin en aza indirilmesini sağlamak ve baca gazında klorür bileşikleri sınır değerinin altında kalmasını sağlamak klor baypas işlem yapmak gerekebilir.

Klor baypas sisteminin boyutu genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu yüzde rakamı, çıkarma noktasında toplam fırın gazları miktarına göre bypass yoluyla çıkarılan maksimum fırın gazları miktarını ifade eder.

Tipik olarak, ekstraksiyon noktasındaki toplam fırın gazı miktarı aşağıdaki aralıktadır:

- Hava Ayrı Ön kalsinatör fırını (Air Separate Precalciner kiln); 0,5 - 0,6 Nm³/kg
- Süspansiyonlu Ön ısıtma fırını (Suspension Preheater kiln); 1,2 - 1,3 Nm³/kg

Kesin değerler, fırının arka ucundaki yakıt dağılımına ve oksijen seviyesine bağlı olacak değişir.



Şekil 5-1 Klor Baypas Oranı

Klor Baypas Oranının Hesabı;

Hot mealdeki klorür konsantrasyonuna bağlı olarak döner fırından baypas amacıyla maksimum 5500Nm³/hr ekstrakte edileceği tasaralanabilir. Bir çimento tesisinde günde 4800 ton klinker üretilmektedir. Klinker çıkış gazı debisi, 0,5-0,6 Nm³/kg arasında değişmektedir. Debi ortalama 0,55 Nm³/kg alınabilir. Baypas oranının hesaplanması,

$$\text{Fırın çıkış gazı debisi} = (4800 \text{ ton/gün}/24 \text{ saat/gün}) * 1000 \text{ kg/ton} * 0.55 \text{ Nm}^3/\text{kg} = 110.000 \text{ Nm}^3/\text{saat}$$

$$= 5500/110000 = 0.05 = 5\%$$

$$5500 \text{ Nm}^3/\text{hr} * 200 \text{ g toz/Nm}^3 = 1,1 \text{ ton/saat baypas tozu ekstrakte edilir.}$$

Saatte 0,8 ton %12 klorür konsantrasyonu olan toz olsa ve saatte ortalama 200 ton çimento üretilse bu miktarda miktarın standart limitine getireceği hesaplama değeri %0,1'dir.

Tasarıma göre;

Maksimum %10 baca gazı ekstrakte edilirse 110.000 Nm³/hr * %10 * 450 g toz/Nm³ = 4,96 ton/saat baypas tozu ekstrakte edilir.

Siklonlar, filtreler, fanlar, soğutucular ve taşıma sistemleri yukarıdaki kapasiteye uygun seçilir.

Fırın ön kalsinatör ünitesinde (%98 oranında klorür buharlaşması kabul edilir)

Toz ekstraksiyonu	Birim (200 g toz/Nm ³)
Baypas yapmaya gerek yok	<%0,025 Cl (250 g toz/ Nm ³)
%5 Baypas	<%0,070 Cl (700 g toz/Nm ³)
%10 Baypas	<%0,130 Cl (1300 g toz/Nm ³)
%15 Baypas	<%0,180 Cl (1800 g toz/Nm ³)

Fırın Süspansiyonlu Ön Isıtıcı Ünitesinde (%99 oranında klorür buharlaşması kabul edilir)

Toz ekstraksiyonu	Birim (200 g toz/Nm ³)
Baypas yapmaya gerek yok	<%0,025 Cl (250 g toz/Nm ³)
%5 Baypas	<%0,140 Cl (1400 g toz/Nm ³)
%10 Baypas	<%0,260 Cl (2600 g toz/Nm ³)
%15 Baypas	<%0,370 Cl (3700 g toz/Nm ³)

Optimum klor baypas boyutu:

1. Müşteri/ulusal standartlar/yönetmeliklere vb. bağlı olarak çimentonun içereceği klorür/bypass tozu miktarı,
2. Öngörülen maksimum klorür giriş seviyesi,
3. Klorür azaltma etkinliği,

gibi bir dizi faktöre bağlı olacaktır.

Klorür azaltma etkinliği; diğer uçucu maddelere kıyasla klorür döngüsünü etkilemek için yalnızca küçük bir miktar baypas gerekebilir. Bunun nedeni, klorürün oldukça uçucu yapısı ve aynı zamanda yüksek yakalama veya yoğunlaşma oranıdır. Bu nedenle fırın gazı, baypas olmaksızın hızla klorürle doyurulurken, diğer yandan, sirkülasyon yükünü önemli ölçüde azaltmak için yalnızca küçük bir klorür sızıntısı gerekir.

5.1 KLOR BAYPAS ORANLAR

Çimento fırınında kütle dengesi bakiye formülle temsil edilebilir;

$$(T_{kf} * C_{kf} / 100) = (T_{clk} * C_{clk} / 100) + (T_{bpd} * C_{bpd} / 100)$$

Burada (belirli bir test periyodu için);

T_{kf} = Tüketilen ton fırın hammaddesi.

C_{kf} = Fırın beslemesinin ortalama klorür içeriği.

T_{clk} = Üretilen ton klinker.

C_{clk} = Üretilen klinkerde ortalama klorür içeriği.

T_{bpd} = Üretilen ton bypass tozu.

C_{bpd} = Üretilen bypass tozunun ortalama klorür içeriği.

Ekstrakte edilecek gerçek toz miktarı, bypass tozu içindeki klorür konsantrasyonu ile ilişkilidir. Gerçekte, beklenenden daha düşük bir klorür konsantrasyonunda daha yüksek bir bypass tozu emilir. Bunun tersine, beklenenden daha yüksek bir klorür konsantrasyonunda muhtemelen daha düşük bir bypass tozu emilir. Kural budur.

Bazı çimento üretim firmaları, kuruluşlarının teknik verilerine bakıldığında toz ekstrakte miktarının 150 ila 300 g toz/Nm³ olduğunu görmektedir.

Bunun bir istisnası, düşük (~%1) bypass ekstraksiyonunda ilk çalıştırma döneminde Sugar Creek çimento tesisi baypasındadır. Burada ekstraksiyondaki toz miktarı beklenenden çok daha yüksekti. Tasarlanmış olan 200 g toz/Nm³, gerçek değer ise yaklaşık 1000 g toz/Nm³'di. Burada prob konumu, seçilen bypass tasarımıyla uyumlu değildi. Bu firmanın tasarımında çok büyük bir bypass kalkışıdır. Bununla birlikte, bypass oranını %4,3'e çıkardıktan sonra, toz ekstraksiyonu 'normal' bir 200 g toz/Nm³ değerine düşmüştür.

Bu nedenle, yeterli toz ekstrakte yeteneğini sağlamak için, bypass toz işleme ve taşıma için minimum boyutun 450 g toz/Nm³ olması önerilir. Bunun istisnası, Taiheyo patentli

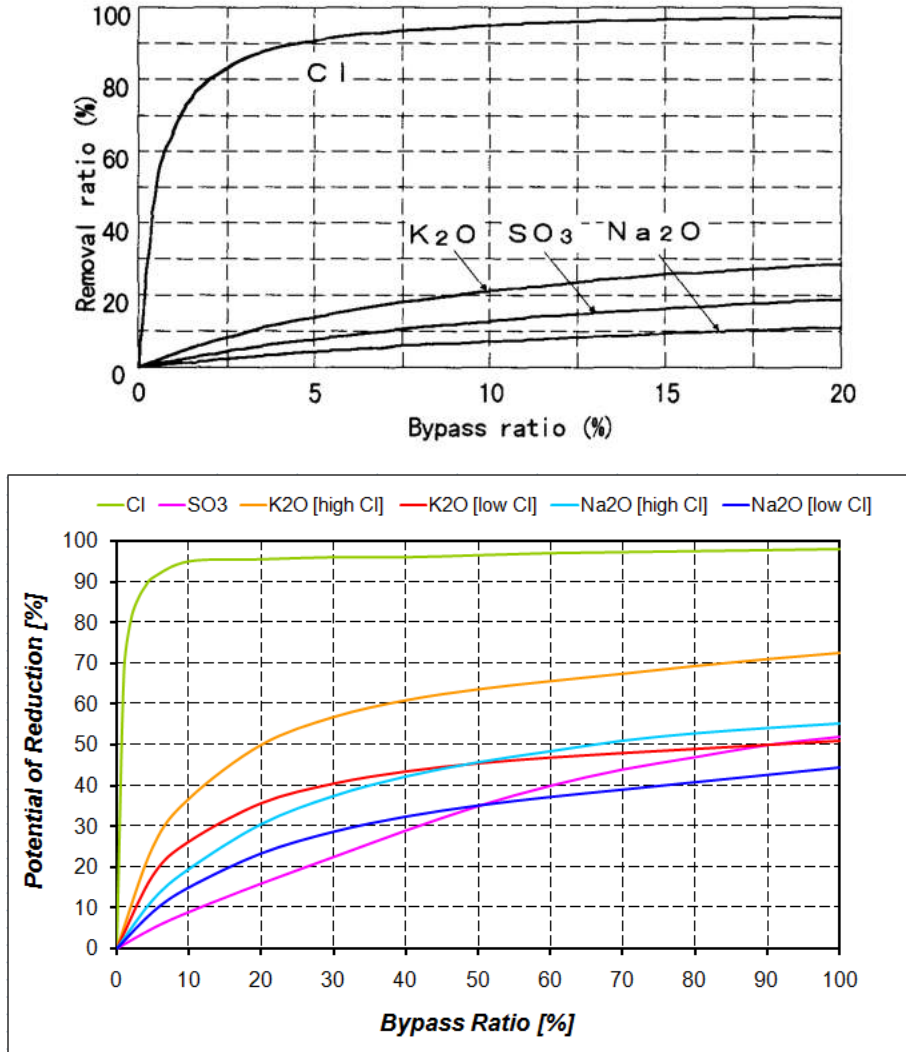
tasarımına göre ön toz giderme siklonlarının kullanılmasıdır. Tabii ki tasarlanmış hedef değer 200 g toz/Nm³'dür.

Gerekli baypasın boyutu, proses stabilitesi açısından hot mealde izin verilen maksimum klorür içeriği veya ürün kalitesi açısından (klinkerde izin verilen maksimum klorür içeriği) belirlenebilir. Bu, klinkerdeki maksimum hot meal içeriğini %1,0 (LOI içermeyen temelde) ve maksimum %0,04 Klorür içeriğini korumak için gerekli baypasın hesaplandığı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\% \text{ baypas} = (\text{klinkerde klorür içeriği} / \text{hot meal kritik Cl içeriği}) * 100$$

Fırın girişinde alkalileri gidermek için %10 oranından fazla baypas yapılması gerekirken klorür, ekstrakte etmek %5'lik baypas oranı yeterli olmaktadır. %3-5'lik oran ekonomik, pratik ve fizibildir.

Baypas oranlarına bağlı olarak uçucu bileşiklerin bertarafı arasındaki ilişkisi Şekil 5-2'de verilmiştir.



Şekil 5-2 Baypas Oranı ile Uçucu Bileşiklerin Giderme Oranları Arasındaki İlişki

Şekil 5-2 incelendiği zaman düşük baypas oranlarında yüksek oranda klorür gidermek mümkün olduğu görülmektedir.

Ortamda SO₃, alkali ve klorür konsantrasyonları yüksek ise daha yüksek oranda uçucuların baypas edilmesi gerekebilir. Mevcut tesislerde hot mealdeki klorür ve SO₃ konsantrasyonu ile bu belirlenir.

Hot mealde klorür konsantrasyonu %1 altında tutulur ve SO₃ %2,5 olursa klor baypas sistemi kurmaya gerek yoktur. Hot mealde klorür %1 geçerse SO₃ konsantrasyonuna bağlı olarak baypas sistemi kurmak gerekebilir.

Klor baypas sistemi, fırının ısı verimini (rejimini) bozmamalıdır.

5.2 KLOR BAYPAS PROBU KONUMU

Klorür bypass sistemi temelinde, fırına hot meal girişinin üzerinde her bir kurulum için özel olarak tasarlanmış bir çıkış odasından ve klorürün gaz fazında yoğunlaştığı ve ince toz partiküllerine yapıştığı özel olarak tasarlanmış bir söndürme odasından oluşur. Bu yoğunlaştırma işleminden sonra klorür bakımından zengin malzeme bir filtrede toplanır.

Oldukça uçucu olan klorür, kükürt ve alkali bileşiklerinin katılmış tuzları sinterleme bölgesine ulaşır ulaşmaz kısmen buharlaşarak yanma gazları ile birlikte fırın girişine geri taşınır. Ön ısıtıcının kalsinatör ve alt siklon aşamalarında hâkim olan sıcaklık seviyesinde, sıvı ve katı fazların oluşmaya başlaması için buharlaşan tuzların yoğunlaşma noktalarına ulaşılır.

Optimum prob yeri konumu, en yüksek klorür konsantrasyonunu baypas edilmesini sağlar ve genel konum tipik olarak "fırının üzerindedir". Baypas probu, toz perdesinden mümkün olduğunca izole edilmelidir. Toz perdesinin yukarı hareket ettirilmesi veya zıt tarafların kullanılması veya bir kanatla "izole edilmesi" gerekebilir. Bu nedenle gelecekteki veya mevcut besleme perdesinin konumu ve alternatif yakıt enjeksiyon sistemleri dikkate alınmalıdır.

Baypas sistemindeki probu; fırından yaklaşık 1100-1150 °C sıcaklıkta uçucu fazdaki kaba ve ince toz içeren gazları alır ve klor bileşiklerinin erime sıcaklığından daha düşük sıcaklığa kadar soğutulur. Soğuyan uçucu tozları içeren maddeler, 450 ila 600 °C'da siklona verilir. Böylece, kaba tozlar siklonda tutulur. Siklonda filtre işlemi sonucu toz miktarında yaklaşık %80 oranında azalma olur. Kaba tozların içinde klor bileşikleri konsantrasyonları düşüktür. Bu yüzden siklonda tutulan kaba tozlar, öğütücüde öğütüldükten sonra gaz sızdırmazlığı sağlanan çift sarkaç kanatlı valflerle hot meal'e geri verilir.

Yüksek sıcaklıkta uçucu maddeler, ince tozlara yapışırlar. Bu yüzden soğutucuda hızla soğutulması gerekir. İnce tozları içeren gazlar, ısı eşanjörü (havadan havaya ısı eşanjörü kullanıyorsa, söndürme miktarı azaltılabilir) ile ortalama 220 °C'nin altına soğutulur. Soğutma işlemi ile gaz hacmi önemli ölçüde düşer. Yüksek oranda (ortalama %80 oranında) alkali klorür içeren ince toz içeren gazlar, soğutulduktan sonra torbalı filtrede verilir ve torbalı filtrede ince tozlar filtre edilir. Torbalı filtre malzemeleri, 220 °C sıcaklığa dayanıklı olmalıdır. Klorür içeren ince tozlar filtre edildikten sonra sıcak gaz fırın sistemine yeniden verilebilir.

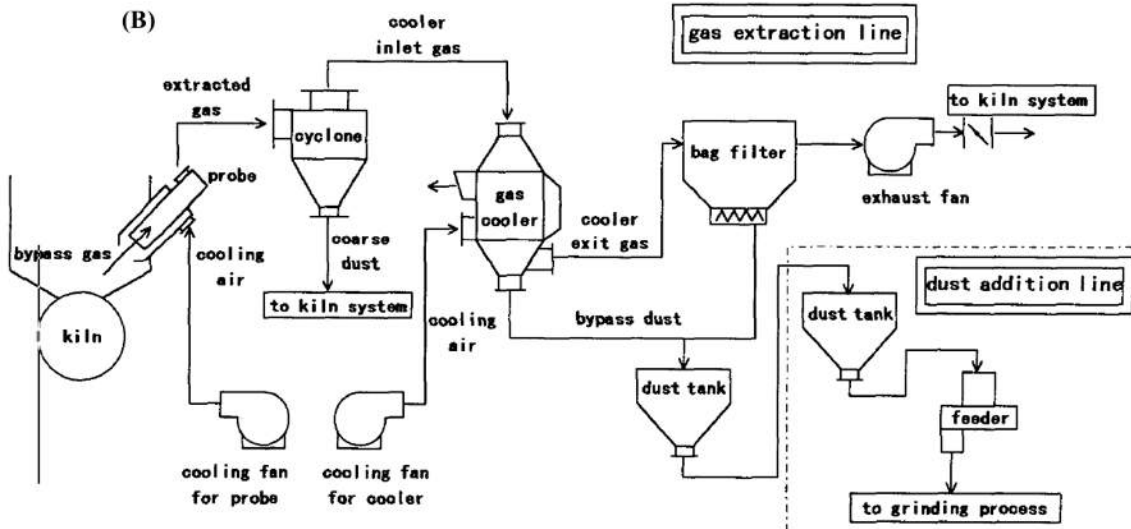
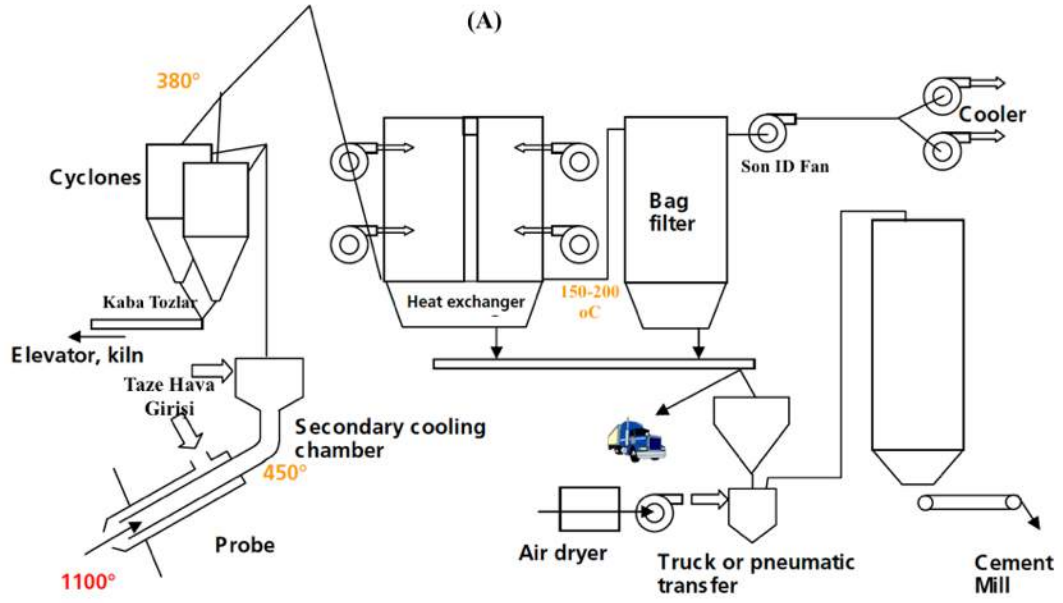
Böylece tozu filtre edilmiş baypas gazının klinkerin ön kısmına yönlendirilmesi ve oksijen bakımından zengin (%19-20 O₂) soğutulmuş baypas gazının döner fırın ön kalsinatörde yanma havası olarak yeniden kullanılması özellikle tavsiye edilir. Yeni bir emisyon noktasından, dolayısıyla ilave NO_x, SO_x ve toz emisyonlarından ve muhtemelen dioksinlerden kaçınılmalıdır.

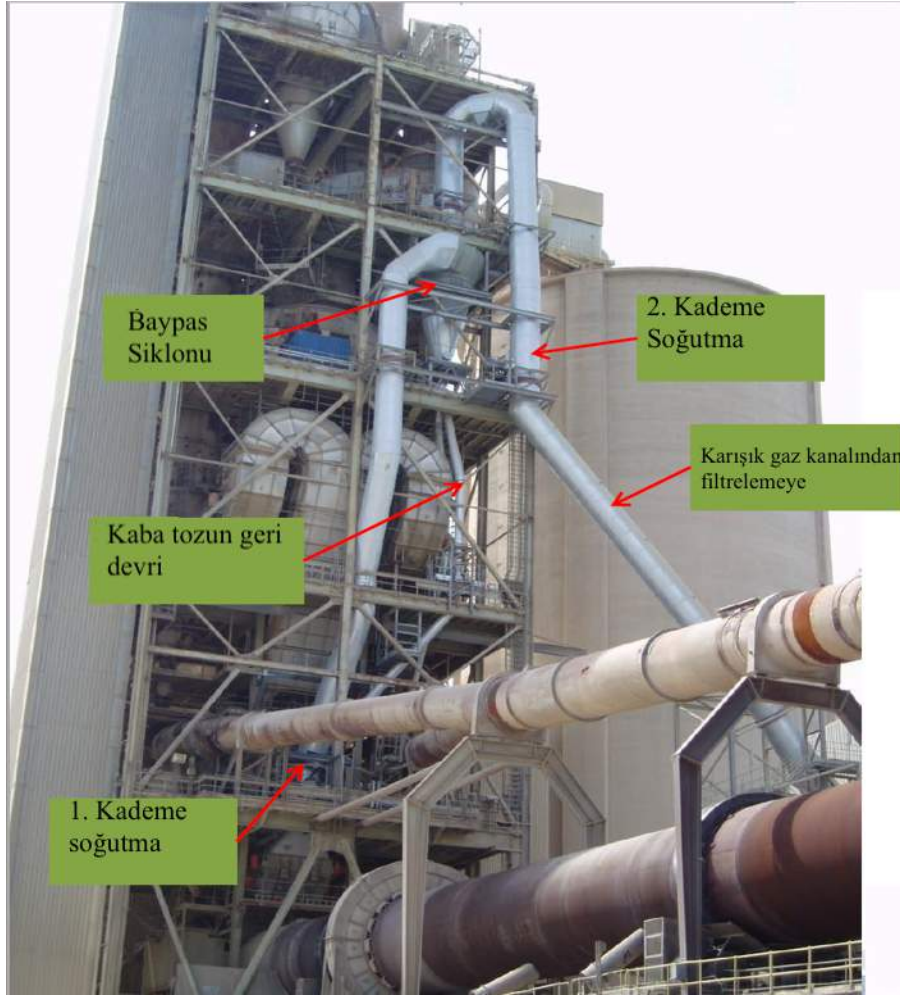
Alternatif olarak, by-pass gazı daha da soğutularak Klinker Soğutma Kamaralarına da verilebilir. By-Pass gazının tekrar Kalsinatöre ve Klinker Soğutmaya verilmesi, çimento fabrikasını bir bacadan kurtaracak ve fabrikanın yeniden ÇED almasını önleyebilecektir.

Torbalı filtrede tutulan ince tozlar, %80 oranında alkali klorür tuzları içerebilir.

Torbalı filtre, paslanmaz çelik destek kafesleri üzerine monte edilmiş xx adet boru dışı filtre torbasıyla donatılır. Tüm bu tür kuru tozsuzlaştırma uygulamaları, çalışma basıncı düşüşü ve gaz akışının tatmin edici seviyelerde tutulmasını sağlamak için filtre torbalarının temizlenmesini gerektirir. Torbalı filtre tutulması durumunda, torbaların yüzeyinde biriken tozlar, her bir torbanın ortasından periyodik olarak üflenen kontrollü bir basınçlı hava jeti ile giderilir. Tasarlanmış bileşenler, bu jetin doğru bir şekilde oluşturulmuş bir hava "darbesi" veya "dalgası" sağlamasını sağlar, bu sadece hava akışını filtre ortamından anlık olarak tersine çevirmekle kalmaz, aynı zamanda her bir torbadan dikey olarak aşağı doğru hareket ederken kek oluşumunu da ortadan kaldırır. Temizleme sıklığı, sistemi sürekli olarak kabul edilebilir bir seviyede tutarak çalışma basıncı düşüşünü izleyen bir PLC tarafından belirlenir.

Klor baypas sistemi akım şeması Şekil 5-3(A) ve ince tozları tutmak için torbalı filtre uygulaması Şekil 5-3(B)'de detaylı olarak verilmiştir.





Şekil 5-3 Klor Baypas Sistemi Uygulama Akım Şeması Örneği

Fırın bacası egzoz gazına kıyasla, baypas gazı tipik olarak daha yüksek konsantrasyonlarda SO_3 ve HCl içerir. Bu nedenle, baypas filtresinden önce SO_3 ve HCl emisyonlarını azaltan bir katkı maddesi enjekte edilebilir veya sıcak gaz fırın sistemine verilebilir.



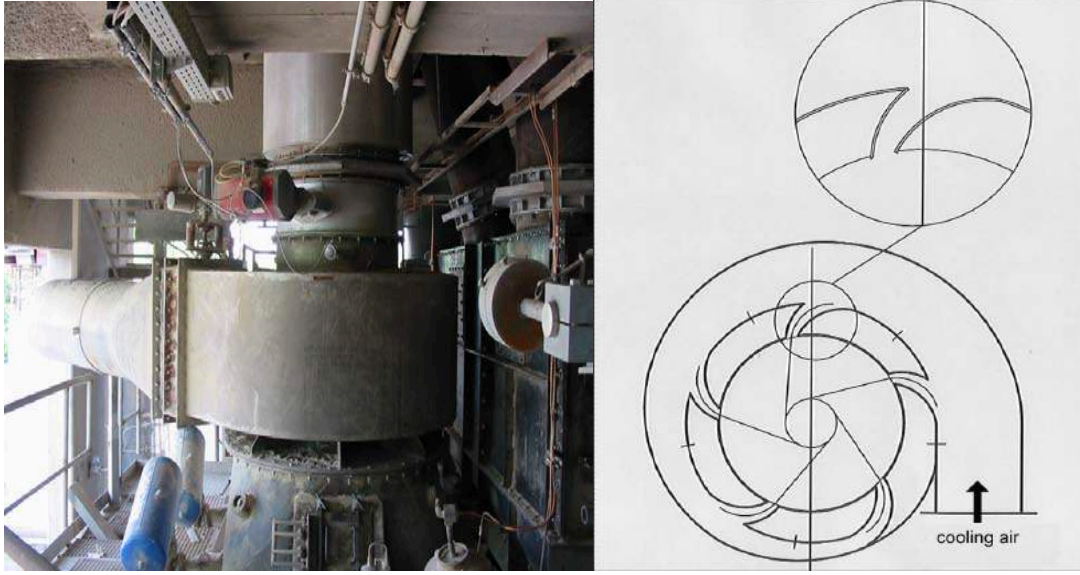
Şekil 5-4 İnce Tozlar Tutmak İçin Torbalı Filtre

5.3 BAYPAS PROBU VE SÖNDÜRME ODASI

Prob konumu, prob tasarımı ile uyumlu olmalıdır. Ekstrakte edilen (çekilen) gerçek toz miktarı, baypas tozunun klorür içeriği ile ilişkilidir. Bununla birlikte, yeterli toz işleme işlevini sağlamak için, bypass toz işleme ve taşıma için minimum boyutun 450 g toz/Nm^3 olması önerilir. Tabii ki pratik uygulama değeri 200 g toz/Nm^3 'tür.

Özel olarak tasarlanmış bir söndürme odası, gaz sıcaklığını klorürlerin yoğunlaşma sıcaklığının hemen altına düşürmek için taze soğuk hava ile sıcak baypas gazının çok yoğun bir şekilde homojen karıştırılmasını sağlar. Bu gaz soğutma ne kadar verimli olursa, torba filtresini aşırı ısınmadan korumak için o kadar daha az soğutma havası gerekir. Diğer bir deyişle, karıştırma ne kadar verimli yapılırsa, daha küçük söndürme odası, kanallar ve filtre inşa edilebilir (daha az Capex). Bu söndürme odası, dahili bir refrakter astar olmadan oldukça dirençli alaşımlı çelikten yapılmıştır, bu nedenle astar bakımı gerekmez. Soğutma havası, hız kontrollü bir fan ile sağlanır ve düzenlenir.

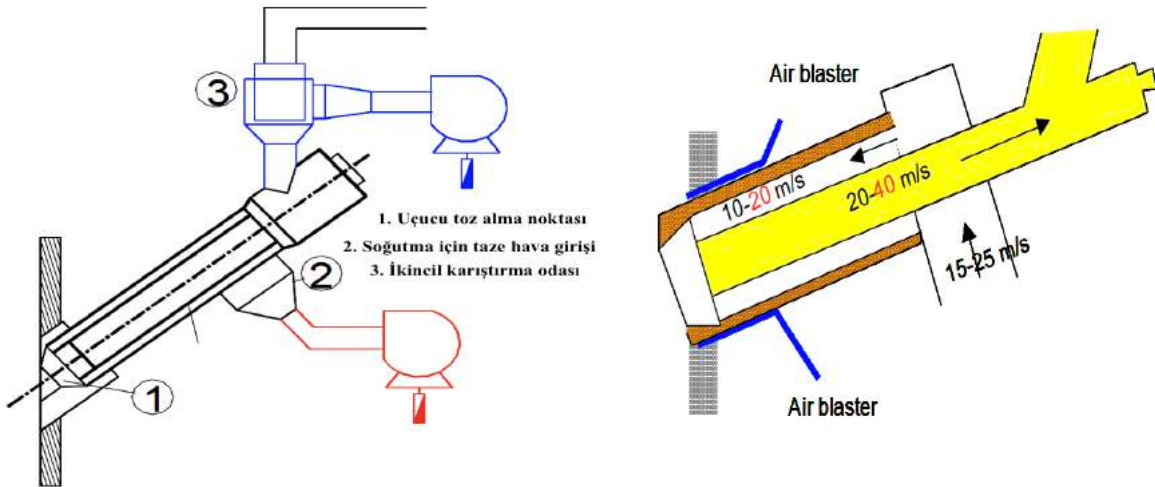
Bu kompakt ve kullanımı kolay sistemin baypas sistemi akış şeması ve söndürme odasının tasarımı Şekil 5-5'de gösterilmiştir.



Şekil 5-5 Baypas Sistem ve Söndürme Odası

Hava kullanılan söndürme odası, zararlı uçucu bileşikleri hızla soğutmak için ortam havasını fırın gazları ile karıştırmak için kullanılır. Su kullanılan söndürme odası, toz toplama için gazları daha düşük sıcaklığa hızla soğutmak için kullanılır.

Uçucu gazları ekstrakte etme probu iç içe iki borudan ibarettir. Soğutma havası dış borudan verilirken klorürlü baypas gazı iç borudan alınır. Dış boru, atmosferik havayı kullanan fan sistemi ile soğutulur. Fan sistemi, değişken hızda çalışma özelliğine sahip olmalıdır. İç boru ile yüksek sıcaklıkta alınan fırın tozları dış borudan geçen 20 m/s hızla hava ile hızla soğutulur. Bu probun iki önemli özelliği, soğuk havanın fırın içine girmesi önlemek ve baypas gazı ve soğutma havasının karışımını iyileştirmektir. Bu özellikleri iyileştirmek için, iç borunun ön ucu geri çekilir ve dış borunun ön ucu daraltılır. Ayrıca, proba akış hızının bu özellikler üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu noktada, hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak soğutma özelliklerinin bir tahmini yapılır.



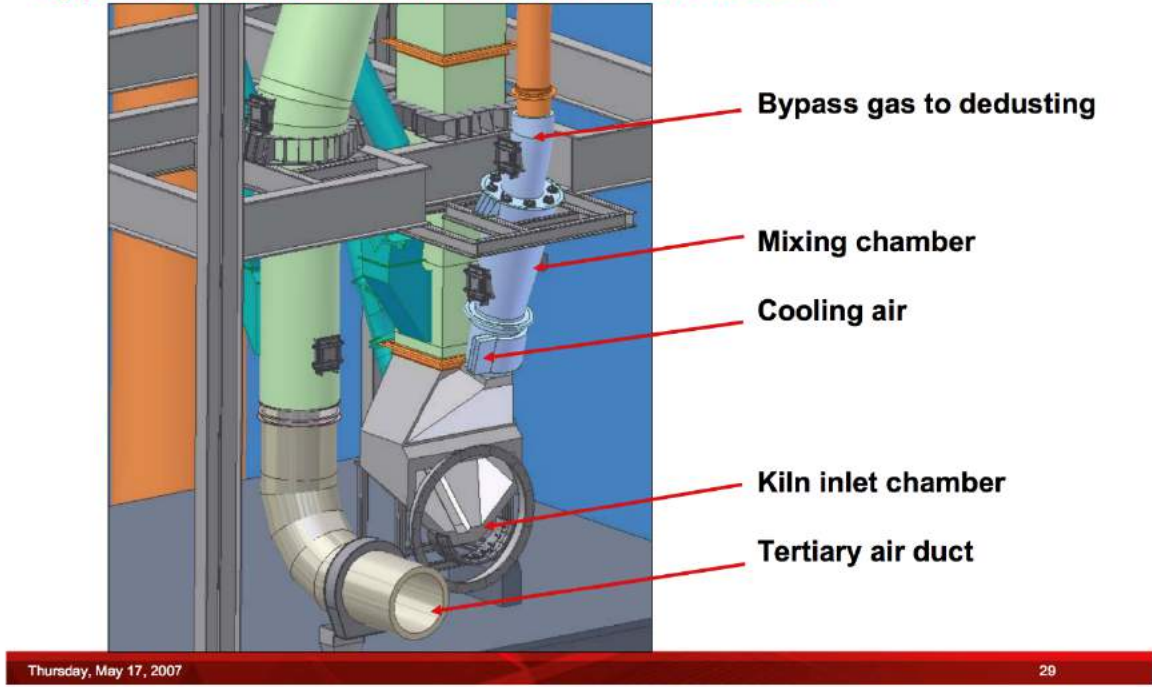
Şekil 5-6 TAIYEIHO Uçucu Toz Alma Sistemi Ünitesi

Toz alma sistemi (sonda) iç ortamında tıkanmanın olmaması için emiş hızı yeterli olmalıdır. Soğutma hızı, 15-25 m/sn ve ekstraksiyon hızı ise baypas oranına bağlı olarak 20 ile 50 m/sn arasında değişir.

Klor baypas gazı, koroziftir. Bu yüzden baypas sisteminde kullanılan tüm malzemeler ve bağlantı elemanları korozyona dayanıklı ve asit çığ noktasından üzerinde tutulacak şekilde ısı yalıtımlı olmalıdır.

Baypas sistemi kurulumu Şekil 5-7'de verilmiştir.

Typical Arrangement for Bypass Extraction



Şekil 5-7 Baypas Sistemi Tipik Düzenlenmesi

Söndürme odası;

- Tamamen metalden yapılmıştır (astar gerektirmez).
- 200 °C'ye tek adımda soğutma.
- Minimum alan gereksinimi.
- Basit işlevsellik.

6 KLOR BAYPAS SİSTEMİNİN TEKNİK NOKTALARI

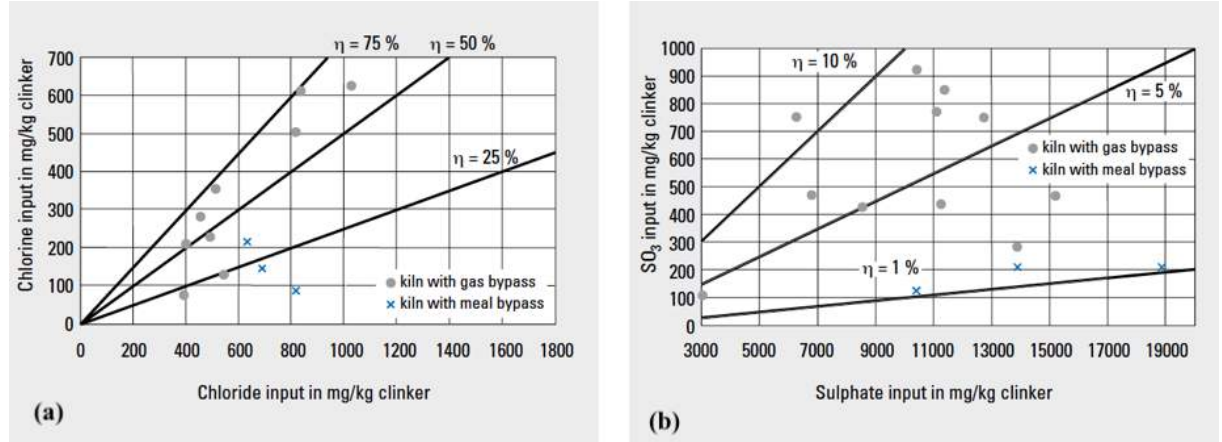
6.1 AZ MİKTARDA BAYPAS GAZI (DÜŞÜK BAYPAS ORANI)

Fırın içinde klorür bileşiklerinin uçucu faza geçme oranı, alkalilerden kat kat yüksektir. Fırından %5 oranında uçucu toz baypas edilse %90 oranında uçucu klorürlü tozlar alınırken %15'den daha az oranda alkali ve SO₃ bertaraf edilir (alınır).

Şekil 6-1'de, kükürt ve klorürün uzaklaştırılması için çeşitli fırın tesislerinde baypas sistemlerinin etkinliğini göstermektedir. Bu çalışmalara göre, klorür giderimi için baypas tesislerinin verimlilikleri, fırın sistemine toplam klorür girişine göre hot meal baypas sistemi ile yaklaşık %25 ve gaz baypas sistemi ile yaklaşık %75 oranında klorür giderilir. Öte yandan, kükürt giderme oranları, toplam kükürt girdisine göre hot meal baypas sistemi ile %5 ve fırın baypas sistemi ile %10-12 oranında SO₃ giderilir.

İncelenen sistemler orijinal olarak etkili bir klorür giderimi için tasarlanmış ve yapılmıştır. Klorür giderme oranlarındaki bazı durumlarda büyük farklılıklar, bir yandan farklı baypas boyutlarına, diğer yandan farklı tasarımlara veya tesis konfigürasyonlarına bağlanabilir.

Fırın girişindeki klorürün uzaklaştırılması ön kalsinatör tesislerinde çok etkilidir, çünkü fırın girişindeki spesifik fırın egzoz gazı miktarı önemli ölçüde daha küçüktür ve bu nedenle klorür konsantrasyonu geleneksel fırın tesislerindeki kadar büyük değildir.



Şekil 6-1 a) Gaz ve Hot meal Baypas Sistemi İle Klorür Giderim Verimliliği, b) Gaz ve Hot Meal Baypas Sistemi İle Sülfat Giderme Verimliliği

Döner fırınların içinde mevcut olan florürün %90 ila 95'i klinkerin içinde tutulur ve geriye kalan kısmı toz ile bağlanarak pişirme prosesi şartlarında istikrarlı olan kalsiyum florürü (CaF₂) oluşturur.

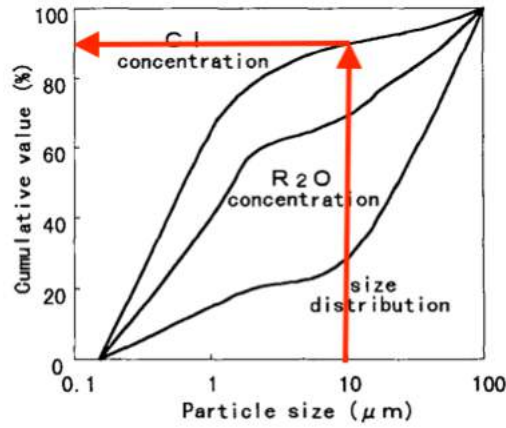
6.2 BAYPAS SİSTEMİNDEN KABA PARTİKÜLLERİN AYRILMASI

Yanma bölgesinde buharlaşan klorürlü bileşikler, yoğunlaşma bölgesinde 0,1 µm daha küçük boyutta partiküller oluşur. Bu partiküller hızla koloidal hale geçerek partikül boyutları, 0,1 µm ila 1 µm olur.

Fırından klorürlü uçucu tozlar baypas edildiğinden kaba partiküller siklonlarda tutulur. Siklonlarda tutulan kaba tozların içinde klorür konsantrasyonu oldukça düşüktür. Çünkü Şekil 6-2 incelendiği zaman klorür içeren partiküllerin boyutları genel olarak 1 μm 'den düşük olduğu görülmektedir.

Bu şartlar altında klorürler, sadece heterojen değil, aynı zamanda gaz fazında homojen çekirdeklenmeyle de hemen hemen saf alkali klorürler olarak çökelecektir. Çimento fırını baypas tozunun (CKBD) ince fraksiyonlarında klorür içeriği daha yüksektir. Birçok baypas sisteminde, baypas gazı soğutulur, kaba toz siklonda alınır, sisteme geri verilir ve ince toz torbalı fitrede filtre edilir.

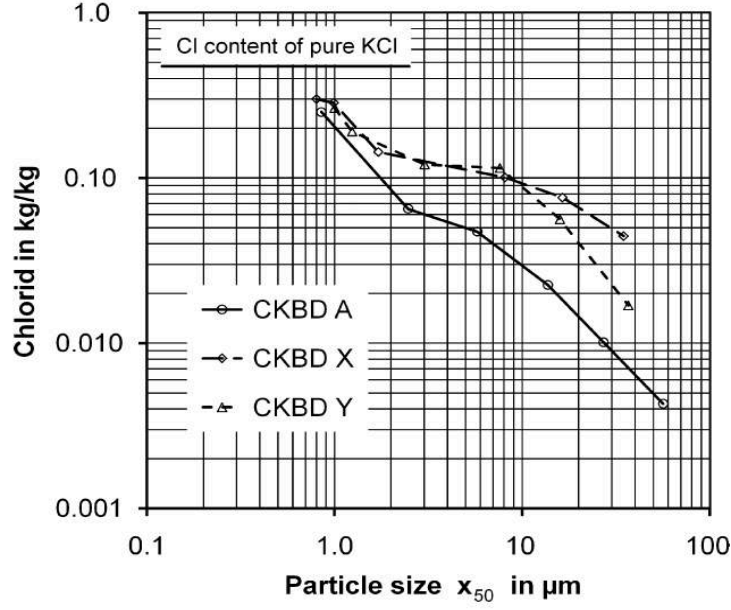
Klorür konsantrasyonu ile partikül boyutu arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram Şekil 6-2'de verilmiştir.



Şekil 6-2 Kümülatif Baypas Toz Partikül Boyutu Dağılımı Ve Baypas Tozundaki Uçucu Bileşen Konsantrasyonu

Yüksek emiş oranına sahip baypas kurulumunda veya daha büyük fırınlarda çıkan toz miktarı yüksek olabilir. Toz miktarının azaltılması, bir ön toz alma siklonunun kurulmasıyla sağlanabilir. Bazı firmaların baypas sisteminde ön toz alma siklonu standart ekipmandır.

Daha düşük verimli olan siklon, kaba toz parçacıklarını filtre edilir ve tasarlanırsa, bunları başka yere herhangi bir ek taşıma olmaksızın fırın girişine geri döndürür.



Şekil 6-3 Partikül Boyutu Fonksiyonlarına Bağlı Olarak Klorür Konsantrasyonu

Klorür giderme sisteminde fırından baypas edilen oran ne kadar yüksek ise ısı kaybı da o kadar yüksek olur. Pratik uygulamalarda Precalcinerden her %1 bypass başına ilave ısı tüketimi (kayıbı) 2-3 kcal/kg ve süspansiyon ön ısıtıcıda ise 5-7 Kcal/kg artar. Fırın içinde stabilitenin korunması gerekir. Bu yüzden %3-5 gibi düşük oranında baypas yapılması tavsiye edilir.

Bir diğer önemli husus, giren hammadde ve yakıt içindeki klorür konsantrasyonuna bağlı olarak baypas yapılır, yani baypas sistemi çalıştırılır.

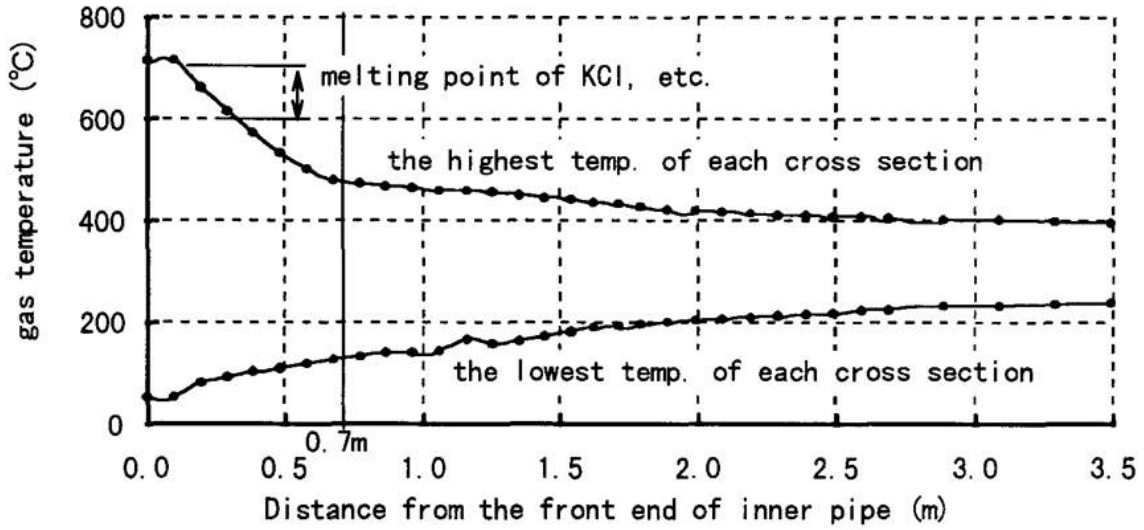
Son zamanlarda yeni kurulan klorür, alkali ve kükürt baypas sistemlerinde %7 ila 10 oran tercih edilmektedir. Böylece klorür, alkali ve kükürt oranı yüksek atıklar fırınlarda yakılabilmektedir. Hot mealdeki klorür ve SO_3 konsantrasyonuna göre baypas sistemi çalıştırılmasına karar verilmektedir.

Baypas tozu üretimi, bir alkali baypas sistemine kıyasla baypas gazı miktarını, yani düşük baypas oranını planlayarak ve ayrıca baypas tozunun kaba partiküllerini ayırarak önemli ölçüde azaltılabilir. Üretilen baypas tozu miktarının klinker üretiminin %0,1'inden az olduğu tahmin edilmektedir ki bu ihmal edilebilir bir miktardır.

7 HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ İLE PROB SOĞUTMA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bir prob aracılığıyla baypas edilen klorürlü kaba ve ince tozlar, fırın egzoz gazının soğutma hızı, baypas tozunun parçacık boyutu dağılımı ve klorür içeriği tasarımda dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Probun soğutma performansını değerlendirmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği teknolojisi kullanılır, bu da prob yapısının ve probdaki gaz hızının değerlendirilmesini mümkün kılar.

Soğutma havası ile karışım yoluyla, baypas gazı, sondanın ön ucundan 0,7 metreye kadar hızla soğutulur. Soğutma hızı yavaş yavaş arkaya doğru yavaşlar. Alkali tuz olarak klorürün kristalleşme noktası 600 ila 700 oC arasında olduğu için, probun ön ucundan 0,7 metreye kadar prob performansını etkilemek için önemli alan olarak kabul edilir. Prob soğutma eğrisi Şekil 7-1'de verilmiştir.



Şekil 7-1 Prob Soğutma Eğrisi

Fırına kesinlikle soğutma havası girişine izin verilmemelidir.

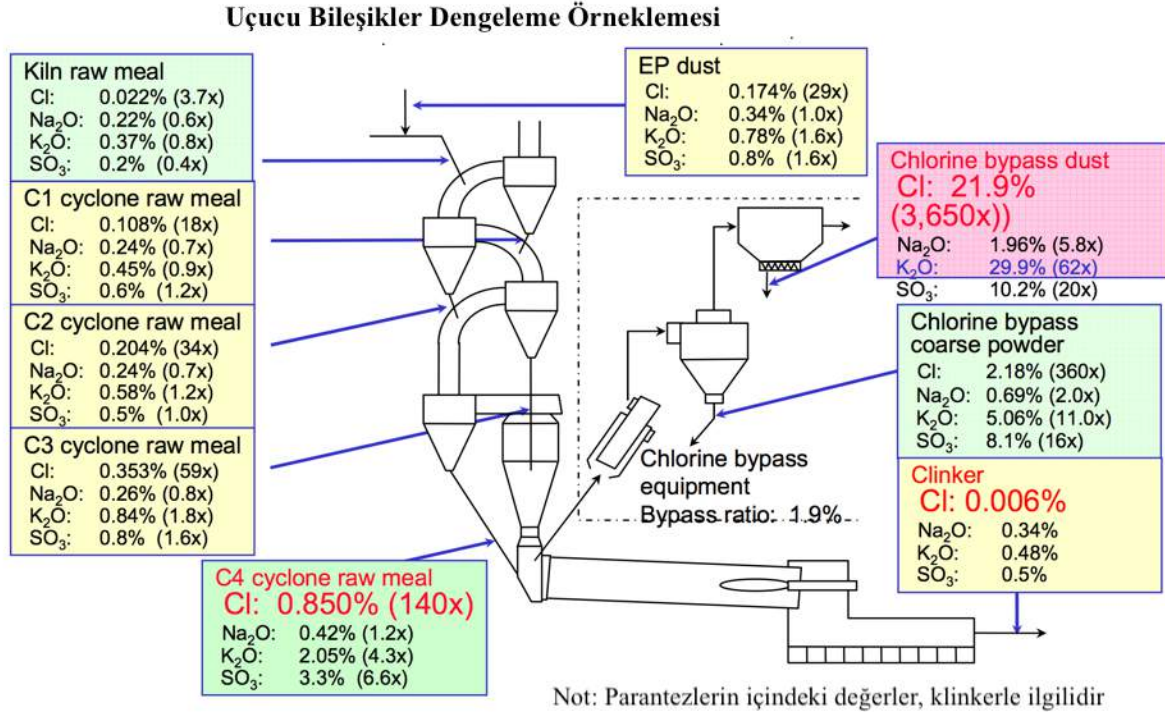
8 KLOR BAYPAS SİSTEMİNİN GERÇEK İŞLETİM VERİLERİ

Bir çimento fabrikasında uçucu maddelerin kütle dengesi Şekil 8-1'de verilmiştir.

Klor baypas sisteminin tipik çalışma verilerini yansıtmak için, uçucu bileşen dengesi örnekleri Şekil 8-1'de gösterilmektedir. Baypas tozunun klorür konsantrat iyonu %21,9'dur ve baypas tozu, klinkerdeki klorun 3.650 katıdır. Kaba tozdaki klorür konsantrasyonu %2,2'dir ve baypas tozu, kaba tozda klorun 10 katıdır.

Klinkerin alt siklonundaki hammaddelerin konsantrasyonlarının bir oranı olan uçucu bileşenlerin zenginleşme oranı beklendiği gibi klorür, kükürt trioksit, potasyum oksit ve sodyum oksit mertebesinde olmuştur. Bir uçuculuk oranı olarak ifade edilirse, klorun yaklaşık %99,3'ü uçucu hale getirilir ve kalan %0,7 klinkerde kalır. Potasyum oksit ve sülfür trioksitin buharlaşma oranı kabaca %80'dir ve sodyum oksidin buharlaşma oranı sadece yaklaşık %20'dir. Uygulanan baypas oranı %1,9'dur. %1,9'luk bir baypas oranında, giren klorürün %53'ü uzaklaştırılır, ancak diğer uçucu bileşenlerin uzaklaştırılma oranı yalnızca %2 veya daha azdır. Klor baypas sistemini çalıştırdıktan sonra, geleneksel gözlemlere kıyasla alt siklon etrafındaki kaplama miktarı azalır Buna göre klor baypas sistemi kaplama yapışmasını önleme etkisine sahiptir.

Alt siklon ve klinkerdeki hammaddelerin konsantrasyonlarının bir oranı olan uçucu bileşenlerin zenginleşme oranı, beklendiği gibi sırasıyla klor, kükürt trioksit, potasyum oksit ve sodyum oksittir.

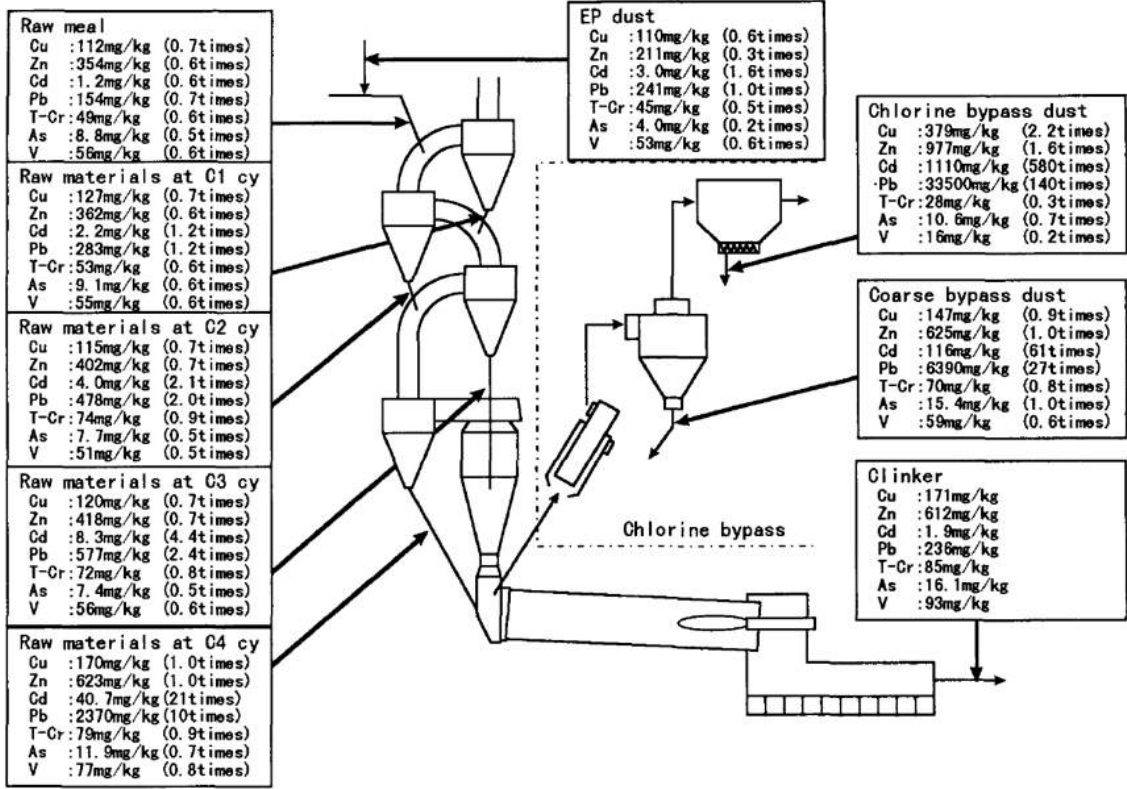


Şekil 8-1 Örnek Uçucu Bileşen Dengesi

Klinker içindeki klorür, Na_2O , K_2O ve SO_3 oranına göre baypas edilen ince toz içinde klorür 3.650 kat, Na_2O , 5,6 kat, K_2O 62 kat ve SO_3 20 kat daha yüksektir. Bu veriler, klor baypas sistemi ile klorürün, K_2O 'nun ve SO_3 'ün önemli oranda giderileceğini göstermektedir.

Ağır metallerle ilgili olarak kurşun, kadmiyum ve çinkonun zenginleşme oranının klor dışındaki uçucu bileşenlere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

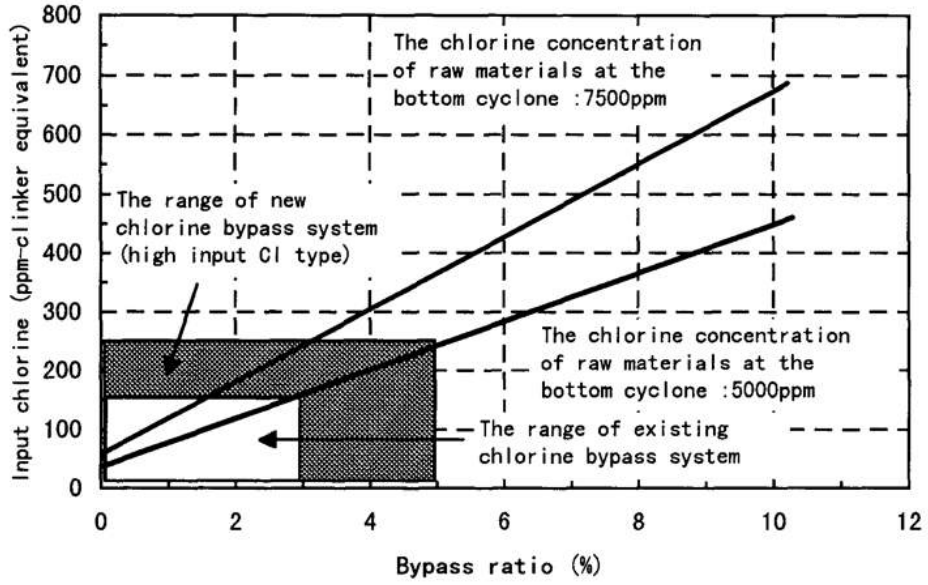
Hammadde, yakıt, alternatif hammadde ve atık içinde bulunan ağır metal dengesi Şekil 8-2'de verilmiştir.



Şekil 8-2 Örnek Ağır Metallerin Dengesi

9 KLORÜR İÇEREN ATIK MALZEMELERİN ETKİLİ GERİ DÖNÜŞÜMÜ İÇİN TASARIM

Şekil 9-1, hammadde, alternatif hammadde, yakıt ve alternatif yakıtla ile giren toplam klorür miktarı ile baypas oranı arasındaki ilişkiyi vermektedir. Ancak bu temsili bir örnektir. Gerçekte, grafik uçucu bileşenlerin buharlaşma oranına, baca gazı koşullarına ve vb. göre değişecektir. Bu çizelge, maksimum potansiyel klorür miktarının baypas oranıyla orantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle klor baypas sistemini kurmanın amacı, yalnızca alt siklondaki hot mealdeki klorür içeriğini düşürerek güvenli fırın işletimi değildir; klorür içeren atık malzemelerin yakılması ve hammadde olarak kullanılması halinde, yüksek baypas oranlı klor baypas sistemi ile, klor içeren atıkları daha etkin bir şekilde geri dönüştürmek mümkün olmaktadır.



Şekil 9-1 İzin Verilen Giriş Klorür Miktarı İle Baypas Oranı Arasındaki İlişki

10 ATIK YAKMA TESİSİ KÜLÜ HAMMADDE OLARAK KULLANILABİLİR

Torbalı filtrede tutulan ince tozlar yüksek oranda klorür bileşikleri içerdiği için farklı şekilde değerlendirilir.

Belediye çöp yakma tesislerinde oluşan uçucu küller, çimento tesislerinde hammadde olarak kullanılabilir. Japonya gibi ülkelerde önemli miktarda atıklar yakıldığı için uçucu kül ve taban külü oluşmaktadır. Fırında klorür içeren atık malzemelerin etkili bir şekilde geri dönüşümünü göstermek için, yakma bakiyesinin (küllerinin) kullanıldığı bir klorür dengesi örneği **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da verilmiştir. Stoker fırınından boşaltılan yakma bakiyesi (külü), fırın tabanından boşaltılan dip külü ve baca gazı arıtma işleminden çıkan uçucu kül içerir. Her ikisi de önemli miktarda klorür içerdiği için çimento hammaddesi olarak kullanılabilir miktar konusunda kısıtlamalar vardır. Bu sorun, klor baypas sistemi ve uçucu kül tuzdan arındırma sistemi ile çözülür. Baypas oranı %5 olan klor baypas sistemi ve/veya uçucu kül yıkama ve tuzdan arındırma sistemi kurulurken izin verilen yakma kalıntısı (bakiye kül) miktarı Tablo 10.1'de gösterilmektedir.

Tablo 10.1 Fırında Kullanılan Atık Yakma Bakiyesi Müsaade Edilen Miktar

	No bypass	Bypass ratio:5 %	Washing of fly ash	Bypass ratio:5 % & Washing of fly ash
Allowable value for chlorine input (clinker equivalent)	15ppm	216ppm	15ppm	216ppm
Cl concentration of				
·bottom ash	1.4 %			
·fly ash	15.0 %			
Allowable amount of				
·bottom ash	0.2kg/t clinker	2.4kg/t clinker	0.9kg/t clinker	13.3kg/t clinker
·fly ash	0.1kg/t clinker	1.2kg/t clinker	0.5kg/t clinker	6.6kg/t clinker
·Total	0.3kg/t clinker	3.6kg/t clinker	1.4kg/t clinker	19.9kg/t clinker

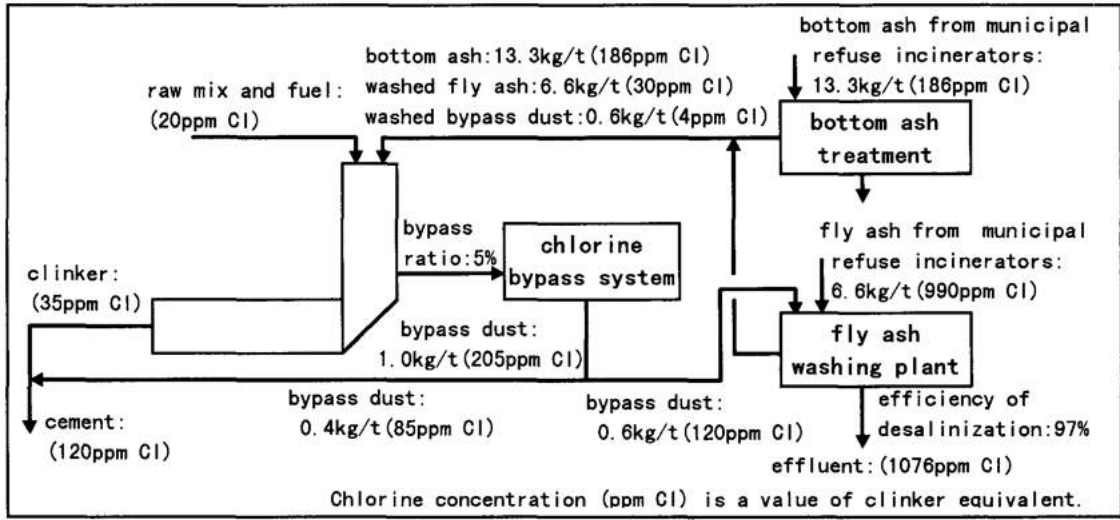
Note : Input chlorine except the incineration residue is set up 20ppm(clinker equivalent).
The amount of bottom ash and fly ash are in the ratio of 2 : 1.
Efficiency of desalination by washing is set at 97%.

	Without chlorine bypass	Chlorine bypass type 250	Fly ash washing desalination	Chlorine bypass type 260 + Fly ash washing desalination
Permissible chlorine input vol (clinker conversion)	15ppm	216ppm	15ppm	216ppm
Ash chlorine density	1.4%			
Fly ash chlorine density	15.0%		0.45%	
Permissible vol. of ash kg/t-clinker	0.2	2.4	0.9	13.3
Permissible vol. of fly ash kg/t-clinker	0.1	1.2	0.5	6.6
Permissible vol. of incinerator ash (ash + fly ash) kg/t-clinker	0.3	3.6	1.4	19.9

Input chlorine from source fuels other than urban trash incinerator ash is 20ppm (clinker conversion).
Ratio of ash to fly ash is 2:1 depending on volume produced; fly ash washing desalination efficiency is 97%.

Evsel çöp yakma tesisi külü dışındaki ana yakıtlardan gelen klorür girişi 20 ppm'dir (klinker dönüşümü). Taban külünün uçucu küle oranı, üretilen hacme bağlı olarak 2:1'dir. Uçucu kül yıkayarak tuzdan arındırma verimliliği %97'dir.

Bu sistemleri ayrı ayrı kurarken izin verilen yakma kalıntısı (bakiye) miktarı çok azdır. Ancak bu sistemler birleştirildiğinde 19,9 kg/ton klinkere çıkarılabilmektedir. Şekil 10-1, bu andaki klorür dengesini göstermektedir. 1196 ppm'lik toplam klorür girdisinin tam 120 ppm'si çimentoya dahil edildi ve kalan 1076 ppm drenaj olarak boşaltıldı. Böylelikle klor baypas sistemi ve uygun tuzdan arındırma ön arıtma sistemi birleştirilerek, büyük miktarlarda klorür içeren atık malzemeler, çimento kalitesi veya çimento üretim süreci üzerinde olumsuz bir etki olmaksızın kullanılabilir.



Şekil 10-1 Belediye Atık Yakma Tesisi Bakiye Kullanan Klorür Balans Tahmini

Klor içeren atık malzemeleri daha etkili bir şekilde geri dönüştürmek için birkaç sorunun çözülmesi gerekir. Yüksek bir baypas oranlı klor baypas sistemi geliştirme, araştırılması gerekli başka bir konudur. Mevcut klor baypas sisteminin iyi noktalarını koruyarak, fırın egzoz gazı için ekstraksiyon yöntemlerini ve yüksek bir baypas oranı için gerekli soğutma yöntemlerini incelenmeli. Sistemlerin yeniden tasarlanmasındaki temel faktörler, prob içindeki gaz hızını arttırmak ve baypas gazının ikincil soğutulmasıdır, bu nedenle mevcut klor baypas sistemlerinde önemli tasarım değişikliklerinin gereksizdir.

11 BYPASS SİSTEMLERİNİN VERİMLİLİĞİ

Yüksek verimlilikte fırınların çalışması ve atıkların etkili şekilde yakılarak bertaraf edilmesi için fırın giriş bölgesinde baypas sistemi kurulması klor baypas olarak tasarlanmalıdır. Bu tür bir uzaklaştırma en yüksek klorür konsantrasyon noktasında en verimli olduğu için, alkali kaynağı fırın girişinde kısmi bir gaz çıkışı yoluyla uzaklaştırılabilir. Ana odağın sistemden klorür veya süperfatın uzaklaştırılması olduğu sorusuna bağlı olarak, gaz çıkışının kendisi farklı şekillerde tasarlanabilir. **Sülfatlar, 1000 ila 1150 ° C arasındaki bir sıcaklıkta katı fazda olduğundan, sülfat konsantrasyonu yüksek ise daha fazla tozun alınması (baypas edilmesi) gerekir.** Öte yandan, alkali klorürler bu sıcaklıklarda gaz halindedir, tozun uzaklaştırılması yalnızca yoğunlaşma için tohum malzemesi olarak gereklidir.

11.1 KLORÜR FAZLALIĞI VE BAYPAS TOZU FAZLALIĞI

AF, SRF, RDF ve arıtma çamuru gibi alternatif yakıtların kullanımını artırarak, alternatif yakıtların açık bir ekolojik faydası olan fosil yakıt tasarrufu sağlanıyor. Yüksek ısı ikame oranlarında (TSR), ilgili çimento standardına (EN 197 uyarınca tüm çimento türlerinde klorun %0,1'i) veya diğer hidrolik bağlayıcıdır. Bu, bu çimento fabrikasında "klor fazlalığı" veya "baypas tozu fazlalığı" ile sonuçlanır. Holcim Rohoznik fabrikasının birkaç yıl önce karşılaştığı durum buydu. Tesis içinde baypas tozu birikmişti. Bu fazlalık baypas tozunu depolamak istemediği için (bu, ekolojik açıdan yeni bir atık akışının oluşması olabilirdi, bu optimal olmayan ve aynı zamanda bertaraf için ek maliyetlere neden olurdu), ReduDust prosesi gibi ekonomik bir faydaya da yol açacak çevre dostu çözümdür.

Bypass ince tozu, kısmen karbonu giderilmiş olan, yani kısmen klinkere dönüştürülen farin ve farin partiküllerinde emilen uçucu klorürlerden oluşur. Halihazırda hidrolik aktivite gösterir ve çimentoda bir bileşik olarak kullanılabilir. Çoğu Avrupa ülkesinde, baypas ince tozu piyasada bulunan bir üründür, REACH'e göre onaylıdır ve çok çeşitli yapı malzemelerinde kullanılmaktadır. Türkiye'de de mukavemet gerektirmeyen sıva üretiminde kullanılan çimentoda kullanılabilir.

Fırınlarda baypas edilen ince baypas tozu, mukavemet gerektirmeyen sıva gibi çimento üretiminde ve diğer hidrolik bağlayıcılarda kullanılabilir. Ancak bu tür ürünler için pazar talebinin pratik olarak artırılması gerekir.

11.2 BAYPAS TOZUNUN KULLANIMI

Bazı çimento fabrikalarında CKBD üretim sürecine entegre edilebilirken, diğer tesislerde bu, çimentonun aşırı klorür içeriğine neden olacağı için mümkün değildir. Çimentodaki klorür sınırı maksimum %0,10'dur. Yani, çimento fabrikasına toplam klor girdisi "1000 g klor/ton çimento ile sınırlandırılır, çünkü ideal olarak, hammadde veya yakıtların içindeki "çimento fabrikasına giren" tüm klorürün ürünlerin içinde "tesisten ayrılması" gerekir.

Pek çok çimento fırını sisteminde, ince toz alkali klorürlerin birikmesinden kaynaklanan işletimsel sorunları önlemek için klorür açısından zengin ince tozları genellikle birçok gelişmiş ülke çöp sahalarında depolamaktadır. Baypas tozunun kaba fraksiyonunda klorür bileşenleri

konsantrasyonu çok düşüktür. Klor baypas sisteminde kaba toz fraksiyonu klinker eşdeğeri klorür içerdiği için çimento üretim sürecine geri döndürülebilir. İnce toz fraksiyonu klorür bakımından zengin olduğundan çöp sahalarına boşaltılabilir veya potasyum klorür üretimi için bir özütleme işlemine beslenebilir veya sıva çimentosu üretiminde kullanılabilir. Besleme malzemesinin yaklaşık 2-3 katı daha yüksek olan klorür içeriği, böyle bir işlemin karlılığını artırır. İnce toz kısımda zenginleştirilmiş diğer bileşenler sodyum, kurşun, kadmiyum ve bakırdır.

Çoğunlukla çökelen baypas tozu, çimento tipine bağlı olarak belirli çimento özelliklerini kontrol etmek için çimento değirmeninde kullanılır. Hammaddelerin ve yakıtların bileşimine bağlı olarak, bypass toz miktarı ve kalitesi nedeniyle çimento değirmeninde tamamen kullanılamayabilir. Bu durumlarda, maliyet yoğun bertarafı önlemek için baypas tozunun değerlendirilmesinin diğer olasılıklarının araştırılması gerekir.

Çimento üretim prosesi dışında baypas tozunun kullanılması için bir seçenek, solidifikasyon ve stabilizasyon işlemlerinde diğer bağlayıcılar veya karışık bağlayıcılar gibi inşaat malzemeleriyle karıştırılmasıdır. Elbette bu seçenek, bu malzemeler için kalite standartları nedeniyle ve ekolojik açıdan sınırlıdır.

Diğer bir teknik seçenek de baypas tozlarının yıkanmasıdır. Çimento fabrikalarında dünya çapında faaliyet gösteren iki uygulama bulunmaktadır. %50'ye varan tuz içeriği ile ince baypas tozu, suyla karıştırılır, bir süre karıştırılır ve tuzun çözünmesi sağlanır ve ardından bir filtre pres ile suyu alınır. Çözünür tuzların çoğu yıkanır ve tuzu alınmış yıkanan filtre keki, çimento fırınının fırın beslemesine yeniden sirküle edilebilir.

Su içeren tuz nötrleştirilmeli ve muhtemelen diğer kirlenici maddeler filtrelenmelidir. Şimdiye kadar bu işlem ekonomik açıdan sadece tuz içeren suların çevreye atılabildiği durumlarda uygulanabilir.

Baypas tozu, cam üretimi için de ilgi çekici olabilecek daha yüksek miktarda alkali içerir. Düsseldorf'taki Çimento Endüstrisi Araştırma Enstitüsünün araştırmaları, prensipte sırasıyla özel cam türleri veya ürünleri üretmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Sınırlayıcı faktörler, baypas tozunda bulunan ve eriyiğin viskozitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilen sülfatlar ve klorürler olabilir. Öte yandan, cam üretiminde baypas tozunun kullanılması için önemli bir koşul, bileşim ve malzeme özellikleri bakımından nispeten yüksek bir homojenliktir.

Çimento fırını ince baypas tozunun kullanımı için araştırılan diğer yollar, toprak stabilizasyonunda kullanımı, bunun akışkan dolgu karışımlarına eklenmesi ve 11°A tobermorit üretimidir. Yüksek klorürlü çimento fırını baypas tozunun için başka bir çözüm, klorürlerin uzaklaştırılmasına yönelik bir işlemdir. Potasyum klorürün üretildiği su ile ince baypas tozu için bir özütleme (sızma) işlemi geliştirilmiştir. Süzme (sızma) işleminden kalan katı kalıntı, üretim sürecinde yeniden kullanılabilir.

11.2.1 Kaba Baypas Partikülleri Öğütme ve Çimento İle Karıştırma

Klor baypas sistemi ile alınan ince tozun kimyasal bileşenleri Tablo 11.1'de verilmiştir. Tablo 11.1 incelendiği zaman ince baypas tozu içindeki klorür konsantrasyonu yaklaşık %22'dir ve potasyum oksit miktarı ise %30 civarındadır. Sodyum oksit ve kükürt trioksit dahil uçucu bileşenlerin toplam miktarı yaklaşık %65'tir.

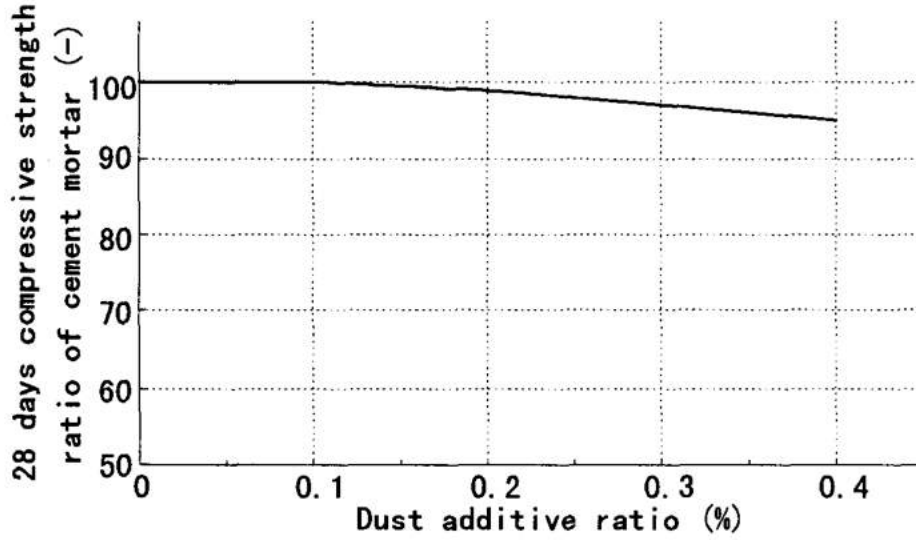
Ağır metallerle ilgili olarak, kurşun, kadmiyum, selenyum ve bakır da yüksek sıcaklıkta uçucu faza geçer ve baypas tozunda yoğunlaşır. İnce baypas tozu, çimento sınır değerlerini sağlamak şartı ile daha sonra bahsedileceği gibi kirlilik olmadan çimentoya karıştırılabilir ve tabii klorür konsantrasyonuna dikkat edilmelidir. Ancak çimentodaki uçucu bileşenlerin ve ağır metallerin miktarlarını, gerçekte artırmaz. Çimentodaki bu konsantrasyonlar, klor baypas sistemi kurulmayan durum gibi aynıdır.

Tablo 11.1 Temsili İnce Baypas Tozunun Kimyasal Bileşenleri

ig. loss (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Cl (%)
54.5	3.6	2.0	0.5	23.1	1.1	10.2	2.0	29.9	21.9

Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	As (mg/kg)	V (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Se (mg/kg)
379	977	1110	33500	28	ND	10.6	16	0.19	592

Şekil 11-1, ince baypas tozu eklenince çimento kalitesinin (mukavemetinin) bir örneğini göstermektedir. İnce toz oluşum oranı, çimento üretiminin %0,1'inden azdır. Toz ekleme oranı bu aralıkta olduğunda, çimento harcının 28 günlük basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkileri görünmez. Buna ek olarak, beton özellikleri dahil genel çimento kaliteleri üzerinde neredeyse hiç olumsuz etkisi yoktur. Japon Endüstri Standardı, Çimento klorür konsantrasyonu (200 ppm veya 200 g/ton) limiti dahilinde, öğütme prosesinde bypass tozunun çimentoya öğütülmesi ve karıştırılması mümkündür.



Şekil 11-1 Baypas Tozu İlavesinin Çimento Mukavemetine Etkisi

Ayrıca yüksek fırın cürufu içeren malzemeler çimentoya baypas tozu olarak eklendiğinde dayanımı kesinlikle erken yaşlarda artabilir.

İnce bypass tozu ilavesiyle çimento kullanılarak sertleştirilmiş betondan ağır metallerin süzülmesi (sızması) Tablo 11.2'de gösterilmiştir. Hazırlanan betondan çinko sızıntı miktarının sabit olduğu ve diğer ağır metallerin sızıntı miktarının %0,7 baypas tozu, yani çimentoda 1000 ppm klorür konsantrasyonu ilavesine kadar tespit edilemediği bulunmuştur.

Tablo 11.2 Sertleştirilmiş Betondan Ağır metal Filtratı (Leaching)

Rate of bypass dust addition to cement	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	Se
0 % (Cl conc. of cement: 10ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.005	<0.002
0.13 % (: 200ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.005	<0.002
0.33 % (: 500ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.005	<0.002
0.66 % (: 1000ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.005	<0.002

11.2.2 Mevcut Baypas veya Fırın Tozundan Alınan Dersler Çözüm Süreçleri

Baypas veya fırın tozu klor içeriğinin azaltılması, bilimsel makaleler ve patentlerde iyi bir şekilde belgelenmiştir. Ancak şaşırtıcı bir şekilde çok az şirket, bu baypas tozu sorununu yönetmek için ayrıntılı proses konseptleri geliştirdi ve hatta endüstriyel ölçekte arıtma tesislerine yatırım yaptı. Basitçe söylemek gerekirse, klorürleri fırın tozundan ayırmanın iki yolu vardır:

- Bazı patentler klorun ayrı bir fırında baypas tozundan nasıl süblimleştirileceğini açıklamaktadır. Bildiğimiz kadarıyla, teknik olarak zorlayıcı olan bu olasılığı endüstriyel ölçekte kimse uygulamamaktadır.

- İkinci olasılık, klorun fırın tozundan su ile süzülmesinden ibarettir. Bunun gerçekleştirilmesi çok daha kolaydır ve Holcim, Lägerdorf ve Carboneras'ta uzun süredir bu türden iki kurulum işletmektedir. Ayrıca Holcim, yarı ıslak çimento fabrikalarından filtre presleri kullanarak katı-sıvı ayırma proseslerinde geniş operasyonel deneyime sahiptir.

Her iki Holcim kurulumunda da klorürlü süzme işlemi adımı için sağlam bir teknik çözüme sahiptir. Aksine, bu tesisler kıyıda yer alır ve tuzlu suyu kimyasal temizlikten sonra denize atabilir. Bu, iç çimento fabrikaları için uygun bir çözüm değildir ve tuzlu suyu işlemek için bu proses konseptlerini daha da geliştirmek zorunda kaldık.

11.2.3 Bypass Gazı Kullanımı

Prensip olarak, baypas gazının termal enerjisi, ham değirmende hammaddenin kurutulması ve klinker depolama ünitesinde klinkerin soğutulması, yüksek fırın cürufu gibi diğer malzemelerin kurutulması, kömürün öğütülmesi ve kurutulması için kullanılabilir.

Bypass gazından çıkan fazla ısının enerji amaçlı kullanılmasına gerek yoksa arıtma sonrası ayrı olarak tahliye edilebilir veya klinker soğutucudan çıkan atık hava ile karıştırılarak beraberinde tahliye edilebilir. Genellikle baypas gazının ön ısıtıcı çıkış gazı ile karıştırılması ve karışım gazının farin değirmeninde kullanılmasında ve klinker soğutmasında avantajları vardır. Bypass gazında SO₂ gibi belirli seviyelerde asit gazları mevcutsa, bunlar hammadde ile farin değirmenine bağlanabilir. Ayrıca, baypas gazı ile NO_x kütle akışı hesaba katılmalıdır. Fırın çalışmasına bağlı olarak, fırın girişindeki NO_x konsantrasyonu önemli olabilir. Baypas gazı artırılmadığından, örn. bir SNCR tesisi tarafından-eğer uygulanırsa-bu kütle akışı, fırının toplam NO_x emisyonuna katkıda bulunacaktır.

Ekonomik açıdan bakıldığında, kurulacak filtre özellikle önemlidir. Baypas akışı, bir aşığı akış filtresi ile yüksek fırın cürufunu kurutmak için kullanılıyorsa, ara tozdan arındırma için bir cihazdan tamamen vazgeçilebilir. Diğer varyantta, tozdan arındırma için bir elektrostatik çöktürücü veya bir siklon sağlanmalıdır. Bypass toz çöktürmesi için yüksek performanslı bir siklon kullanılıyorsa, oldukça düşük konsantrasyonlarda tozun yalnızca kaba fraksiyonlarının çökelirken, daha ince fraksiyonlar siklonu geçerken dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, bir siklon yalnızca egzoz gazlarından daha fazla yararlanılırsa veya artık tozun giderilmesi için başka bir filtre takılırsa kullanılabilir. Toz çöktürme için siklon kullanılması, mümkün olan 450 ila 600 °C'ye kadar yüksek çalışma sıcaklıkları nedeniyle ısı kayıplarının benzer filtre sistemlerine göre daha düşük olması avantajını sunar.

12 HCl, DİOKSİNLER VE FURANLAR

Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar (PCDD/F'ler) ve poliklorlu bifeniller (PCB'ler) ve poliklorlu naftalenler (PCN'ler) dahil olmak üzere dioksin benzeri bileşikler, istenmeden üretilen klorlu kalıcı organik kirleticilerdir (POP'lar).

Dioksin ve furan gibi kirleticiler, 1200 oC sıcaklıkta en az 2 saniye içinde tam olarak bozulur; ki çimento fırınlarında sıcaklık 1450 oC civarındadır. 1450 °C gibi yüksek sıcaklıkta sinterleme ile organik maddeler tam olarak okside olurlar, karbon dioksit ve suya dönüşürler.

Baca gazı emisyon sınır değerlerine uyum sağlamak için en önemli birincil önlemler, 0.1 ng I-TEQ / Nm³, ön ısıtma olmaksızın uzun ıslak ve uzun kuru fırınlarda, fırın egzoz gazları 200 °C'nin altına hızla soğutulmalıdır. Modern ön ısıtıcı ve ön kireçleme fırınları, bu özelliğe halihazırda proses tasarımının doğasında bulunmaktadır.

Hammadde karışımının bir parçası olarak alternatif hammaddelerin beslenmesinden, organik öncüller içeriyorsa kaçınılmalıdır.

Çalışmayı başlatma ve durdurma sırasında hiçbir zaman alternatif atık ve atık yakıt beslenmesi yapılmamalıdır.

Bypass sisteminin PCDD/F emisyonu ve klorür sirkülasyonu üzerindeki etkileri iki tipik kuru çimento fırınında incelenmiştir. Birkaç önemli sonuç elde edilmiştir:

1. Alternatif yakıt olarak birlikte yakılan AF, RDF ve SRF öncesi ve sonrası bypass sisteminin çalıştırılması ile PCDD/F'lerin emisyon seviyeleri sırasıyla $0,028 \pm 0,007$ ve $0,034 \pm 0,003$ ng I-TEQ/Nm³ olmuştur. Ayrıca, bypass sisteminin baca gazı ve tozundaki PCDD/F konsantrasyonları sırasıyla $0,012 \pm 0,005$ ng I-TEQ/Nm³ ve $0,003$ ng I-TEQ/g olarak ölçülmüştür. Azalma, fırındaki klorür sirkülasyonunun tahrip olmasına bağlanabilir.
2. Klorür dengesi, fırın egzoz gazının %0,5'i ekstrakte edildiğinde %18'lik indirgeme veriminin elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, ana baca gazındaki PCDD/F'lerin emisyon seviyesi de 0.037 ± 0.035 ng I-TEQ/Nm³'ten 0.019 ± 0.007 ng I-TEQ/Nm³'e, % 48.2'lik bir azaltma verimi ile azalmıştır. En önemlisi, bypass sisteminden PCDD/F emisyonunun toplam emisyon faktörü üzerinde oldukça küçük bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.
3. Bypass sistemi açıldığında HCl ve HF konsantrasyonları büyük ölçüde azalır, bu da bypass sisteminin fırından çıkan gazdaki yaygın kirleticileri azaltmak için faydalı olduğunu gösterir. Katı numunelerin bileşimi göz önüne alındığında, bypass sisteminin alkali, klorür ve kükürt bileşiklerini etkili bir şekilde azalttığı kanıtlanmıştır.

Organik materyal varlığında herhangi bir klorür girişi potansiyel olarak ısı (yanma) işlemlerinde PCDD/F'lerin oluşumuna neden olabilir. PCDD/F'lerin oluşumu için klorür kaynağı, gaz fazındaki HCl, Cl₂ ve radikal Cl· ve metal klorür katalizörleri olabilir. Bu nedenle, klorürün fırın ön ısıtıcı sistemlerinden etkili bir şekilde çıkarılması (bypass edilmesi) için teknolojiye ihtiyaç duyulmuştur. Buda, yüksek bir klorür, alkali ve daha az ölçüde sülfür sirkülasyonu, fırın girişinde bir gaz bypassının kullanılmasını zorunlu kılar.

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

Teknik Gündem Dioksinler ve Furanlardan Alıntı;

Ekstrakte edilen baypas gazının 200°C'nin altında hızlı ve yeterli şekilde söndürülmesinin düşük dioksin emisyonları sağladığı sonucuyla sonuçlanan birkaç baypas sistemi araştırılmıştır.

Dioksinleri düşürmek için öneri:

450 ° - 200 ° T ° aralığında fırın çıkış gazının tutma süresini en az 5 - 10 saniyenin altına indirilmeli.

Fırınlar için: artan SO₂ emisyonları, dioksinleri ve Furanları azaltır, örneği:

20 ppm SO₂ => 0.30 ng TEQ PCDD / F / Nm³

300 ppm SO₂ => 0,12 ng TEQ PCDD / F / Nm³ "

Tablo 12.1 Üç Çimento Tesisi Klor Baypas Sonucu

Plant	Mannersdorf	Retznei	Le Havre
<i>Extraction rate (%)</i>	5%	3%	7%
<i>Extracted volume (Nm³/h)</i>	2,400	2,000	23,000
<i>N° of t°C reduction stages</i>	1 (air quenching)	1 (air quenching)	2 (air quenching + heat exchanger)
<i>Temp. after quenching (°C)</i>	215	170	450 / 250 /150°
<i>Filter</i>	Bag filter (PTFE bags)	Bag filter (PR/PR bags)	Bag filter
<i>O₂ level bypass gas (%)</i>	19.2	19.3	17.8
<i>PCDD/Fs (ng TEQ/Nm³)</i>	0.001	0.021 ^{+/-0,02}	0.001 – 0.032
<i>PCDD/Fs (ng TEQ/Nm³) at 10% O₂</i>	0.006	0.136	0.004 – 0.110

%10 O₂ değerinde ana baca regülasyonu;

EU regulation	0.1 ng TEQ/Nm³
US regulation	0.17 ng TEQ/Nm³

Bu süreçte, dioksin oluşumu riskinin en aza indirilmesi, egzoz gazının yeniden sisteme girdirilmesiyle gerçekleştirilebilir.

Maksimum Ulaşılabilir Kontrol Teknolojisi yönetmeliği "çimento fırınlarında tehlikeli atık yakma Dioksin ve Furan oluşumu üzerinde bir etkisi yoktur. Çünkü hava kirliliği kontrol cihazında ileri yanma oluşur.

Hava kirliliği kontrol cihazının girişindeki sıcaklığın düşürülmesi, düşük sıcaklıkların pccd/PCDF'nin yanma sonrası de-novo sentezini önlediğine inanıldığından, atık beslemeden bağımsız olarak her türlü çimento fırınında dioksin oluşumunu ve emisyonlarını sınırlayan bir faktördür

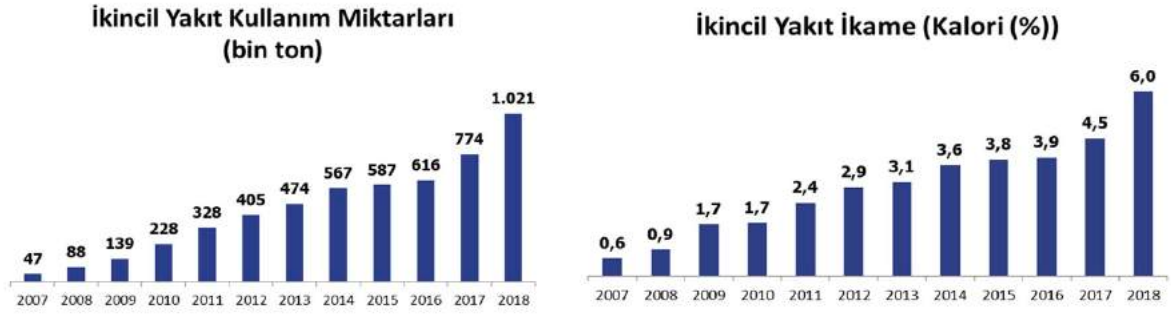
Hava kirliliği kontrol cihazının girişindeki sıcaklığın azaltılması, PCDD/PCDF'nin yanma sonrası de-novo sentezini engellediğine inanıldığı için, atık beslemeden bağımsız her türlü çimento fırınında dioksin oluşumunu ve emisyonlarını sınırlamak için gösterilen bir faktördür. Bu nedenle, 0.1 ng I-TEQ / Nm³ emisyon seviyesine uyumu sağlamak için en önemli birincil önlem, ön ısıtma olmaksızın uzun ıslak ve uzun kuru fırınlarda fırın egzoz gazlarının 200 °C'nin altına hızla soğutulmasıdır. Modern ön ısıtıcı ve ön kireçleme fırınları bu özelliğe halihazırda proses tasarımının doğasında bulunmaktadır. Besleme Hammadde karışımının bir parçası olarak alternatif hammaddelerin organik öncüller içeriyorsa kaçınılması gerekir ve başlatma ve kapatma sırasında alternatif yakıt beslenmemelidir.

13 KLOR BAYPASS SİSTEMİ MALİYETLERİ

Türk çimento sektöründe alternatif yakıt kullanım oranı 2018 yılında toplamda %6 ve beş fabrikada %30'un üzerinde olup, alternatif yakıt kullanım oranının artırılması hedeflenmektedir.

Türkiye'de çimento sektöründe sadece %6 oranında atık yakılır iken 28 AB ülkesinde ortalama %41 oranında atık yakılmaktadır. AB ülkelerinin orta vadede (5-10 yıl) çimento fırınlarında atık yakma hedefi %60'dır.

2018 yılı verilerine göre 28 AB ülkesinde 254 milyon ton çimento üretilmiş ve yaklaşık 15,7 milyon ton atık yakılmıştır. 2017 yılı verilerine göre Türkiye'de 80,2 milyon ton çimento üretilirken 2018 yılında yakılan atık miktarı sadece 1,021 milyon ton olmuştur (Şekil 13-1).



Şekil 13-1. Türkiye'de Yıllara Göre Çimento Fırınlarında Yakılan Atık Miktarı ve İkincil Yakıt İkamesi

Türkiye'deki çimento fırınlarında 28 AB ülkesi %41 ortalamasına ulaşması halinde kısa vadede, 2017 yılı üretimine göre, yılda 4,96 milyon ton atık yakabilir potansiyele sahiptir. Orta vadede bu oranın %60 çıkarılması halinde yakılacak atık miktarı 7,3 milyon ton/yıl olacaktır.

Almanya'nın çimento tesislerinde hedef değeri olan %90 oranında Türkiye'de çimento tesislerinde atık yakılma potansiyeli 10,89 milyon tondur.

Çimento fırınlarında fosil yakıt yerine atık alternatif hammadde ve yakıt olarak kullanıldığı zaman sera gazı karbon dioksit salımı ve fosil yakıtla olan bağımlılık azalır.

Ülkemizdeki çimento fabrikaları, asıl amaçları olan çimento üretiminin yanı sıra, endüstriyel atıkları, belediye katı atıklarını ve arıtma çamurlarını yönetimde birer çözüm ortağı olmak üzere çaba sarf etmektedir. Mevcut durumda ülkemizde faaliyet gösteren 56 entegre çimento fabrikasının 40'ında Çevre ve Şehircilik Bakanlığında (ÇSB) alınan izin/lisanslar kapsamında, endüstriyel ve evsel katı atıklar, alternatif yakıt (AY) ve alternatif hammadde (AH) olarak değere dönüştürülmektedir.

Çimento sektöründe fırınlar;

- Orta vadede 7.3 ton/yıl evsel ATY'den enerji geri kazanım potansiyeline sahiptir.
- 3 milyon ton/yıla yakın kömür veya benzeri fosil yakıtın ithalatında tasarruf edilir.

- Fosil yakıtlardan kaynaklanacak yıllık 1,7 milyon ton CO₂ tasarrufu ile emisyonları %7 oranında azaltılır.

Atıklar çimento fırınlarında alternatif hammadde ve yakıt olarak kullanıldığında belediye katı atık depolama sahalarında;

- Metan gazının oluşması önlenir (metan gazı CO₂'den 21-23 kat etkili bir sera gazı).
- Kapladığı alanlar azaltılır.

Fosil yakıtların alternatifi olarak atıkları daha pratik, ekonomik ve çevreyle uyumlu olarak çimento fırınlarında bertaraf etmek mümkündür.

Atıkların yakılması ile fosil yakıtlara ödenen maliyet ciddi oranda düşer. Atıkların yakılması için İspanya gibi belli bir bedel (20 EURO/ton) alınması durumunda klor baypas sistemi kısa süre içinde kendini amorti edilebilir.

Baypas sistemi yapılarak hem güvenli ve kaliteli klinker üretmek hemde çevresel katkı ile çeşitli atık türünü alternatif hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanarak sera gazı salımını önemli oranda (yaklaşık %25) azaltmak mümkündür.

13.1 KLOR BAYPAS SİSTEMİ YATIRIM MALİYETİ

Mühendislik projesine göre bir klor baypas sisteminin maliyeti, boyut, proses tasarımı, isteğe bağlı ekipman seçimi ve saha özelliklerinden (yerel maliyetler, vb.) etkilenir.

- Boyut–baypas edilen gazın hacmi;
 - Anahtar tasarım maliyet parametresi olarak değerlendirilir.
 - Baypas edilen gazın hacmi, gerekli toz toplayıcı ile aynı değildir. Bu da söndürme ve soğutma yönteminin tasarım seçimine bağlıdır (bir veya iki adım).
 - Model tesis maliyetinin temeli;
 - ✓ Yöntem, ayrı bir projenin maliyetini tahmin etmek için yetersizdir (retro-fit)
- Yerel teklifler, farklı tasarımlar arasında benzer olarak görünüyor.
 - Toplam maliyetler, farklı coğrafi bölgeler arasında önemli ölçüde değişiklik gösterir.
- Tasarım–üreticisi, su verme ve soğutma yöntemi;
 - Farklı tasarımların, büyük ekipmanların (siklon, toz toplayıcı, havadan havaya ısı eşanjörü) sayısına karşı boyut üzerinde önemli etkisi vardır.
 - Okke çalışmasına göre, üç ana tasarım (Taiheiyo, PMT, UBE) arasında önemli bir sermaye maliyeti farkı yoktur.
 - ✓ Yerel ortakların kullanımına dayalı benzer teklifler
 - Tüm son kurulumlarda bir GCT (gaz şartlandırma kulesi) dikkate alınmamıştır.
- Tasarım seçenekleri/proje kapsamı;

- Atık gaz egzoz seçeneği (soğutucu, farin değirmeni, yığın)
- Toz taşıma, depolama ve çimento değirmenlerine iade
- Toz arıtımı
- Ek değerlendirme;
 - Atık gaz egzozu için korozyon koruması
 - Ek çevre, süreç kontrol izleme (HCl, SO_x, vb.)

13.2 KLOR BAYPAS SİSTEMİ İŞLETME MALİYETİ

Hem sermaye talebinin ekonomik gerekçelendirilmesi hem de gelecekteki tesis maliyetleri için dikkate alınması gereken önemli işletme ve bakım maliyetleri şunlardır:

- Güç maliyeti-ana ekipmanın çalışması;
 - Ana fan, söndürme fanı, ısı eşanjörü, toz taşıma ve ölçme.
- Isı tüketimi;
 - Kule gazlarının "bypass edilmesi" nedeniyle artan fırın ısı tüketimi.
- Fırın performansı/kararlılığı;
 - Performans, güvenilirlik faktörü daha yüksek klorür girişinde korunmalıdır.
- Temizleme/birikintilerin giderilmesi-prob;
 - Hava topları, manuel müdahaleler.
- Toz taşıma (acil durum/iyileştirici eylem);
 - Yapışkan tozun taşınması, başlangıç aşamasında sorunlu olmuştur ve tozun seyreltilmesini gerektirebilir.
- Bakım etkisi (acil durum/düzeltilici eylem);
 - Büyük ekipman için standart bakım maliyetleri (D/C, fanlar, toz taşıma).
 - Bypass gaz egzoz sisteminde korozyon sorunları meydana geldi, ancak tasarım ve süreç ayarlamalarıyla hafifletilmiş gibi görünüyor.
- Toz atma veya arıtma;
 - Site çözümüne büyük ölçüde bağımlı