TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

SANAYİDE TEMİZ ÜRETİM OLANAKLARININ VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ PROJESİ

5168B01

(ÇTÜE.16.318)

(PROJE SONUÇ RAPORU – EK RAPOR V
DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE TEMİZ ÜRETİM EL KİTABI)

DESTEKLEYEN KURULUŞUN ADI: ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

29/11/2016
GEBZE, KOCAELİ

PROJE ELEMANLARI

Adı Soyadı	Çalıştığı Kurum	E-Posta Adresi	Projedeki Sorumluluğu
Ceren TOSUN	ÇTÜE	Ceren.Tosun@tubitak.gov.tr	Proje Yöneticisi
Ayşegül AVİNAL	ÇTÜE	Aysegul.Avinal@tubitak.gov.tr	Proje Yönetici Yrd.
Dr. Şeyma KARAHAN	ÇTÜE	Seyma.Karahan@tubitak.gov.t	Proje Yönetici Yrd.
Tuba BUDAK DUHBACI	ÇTÜE	Tuba.Budak@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Dr. Emrah ŞIK	ÇTÜE	Emrah.s@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Kumru RENDE	ÇTÜE	Kumru.Rende@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Recep PARTAL	ÇTÜE	Recep.Partal@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Gizem ÇAKMAK	ÇTÜE	Gizem.Cakmak@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Tuğba DOĞAN	ÇTÜE	Tugba.Dogan@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Dr. İpek ERZİ	ÇTÜE	İpek.Erzi@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Doç. Dr. Ahmet BABAN	ÇTÜE	Ahmet.Baban@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Ahmet TAŞKIN	Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu	ahmettaskin42@gmail.com	Sektör Uzmanı (Demir-Çelik)
Doç. Dr. Mustafa TÜRKER	Pak Gıda Üretim Pazarlama A.Ş.	mustafa.turker@pakmaya.com	Sektör Uzmanı (Maya)
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ	Süleyman Demirel Üniversitesi	mehmetkitis@sdu.edu.tr	Danışman (Maya Sektörü)
Dr. Emrah ÖZTÜRK	Süleyman Demirel Üniversitesi	emrahozturk@sdu.edu.tr	Danışman (Maya Sektörü)
Prof. Dr. Deniz ÖZDEMİR	İstanbul Bilgi Üniversitesi	deniz.ozdemir@bilgi.edu.tr	Danışman (Fayda-Maliyet Analizi)
Doç. Dr. Anıl DUMAN		anilduman@gmail.com	Danışman (Fayda-Maliyet Analizi)

Bu raporlardaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM sorumlu değildir. Bu rapor kurumdan izin alınmadan reklam amaçlı kullanılamaz.

Yazışma Adresi:

P.K. 21 41470 Gebze/KOCAELİ
T: 0 262 677 20 00 F: 0 262 641 23 09 http://www.mam.gov.tr/

628.5 + 62 (047.3) = 512.161
SAN
Ek.5
2016

Sanayide temiz üretim olanaklarının ve uygulanabilirliğinin belirlenmesi projesi. Proje sonuç raporu : Ek rapor 5 : Demir – Çelik Sektöründe Temiz Üretim El Kitabı. Proje No: 5168B01 / Ceren Tosun…(ve diğer.) ; dest.kuruluş Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Gen. Müd.- Gebze,Kocaeli : TÜBİTAK MAM , 2016.
I, 249 s. : şekiller, tablolar.- 30 cm . + 6 adet Ek rapor (TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü. ÇTÜE.16.318)
KONU : 1) Temiz üretim teknolojisi 2) Çevre kirlenmesi - Endüstriyel 3) Çevre koruma – Yönetmelikler 4) Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi – Uygulamalar 5) SANTEM

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER **1**

TABLO LİSTESİ **3**

ŞEKİL LİSTESİ **5**

KISALTMALAR LİSTESİ **7**

1 GİRİŞ **11**

2 TEMİZ ÜRETİM NEDİR? **13**

2.1 Neden Temiz Üretim? 14

2.2 Temiz Üretim (TÜ) Denetimi Nasıl Yapılır? 15

3 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN MEVCUT DURUMU **17**

4 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜ ÜRETİM PROSESLERİ **27**

4.1 Entegre Tesisler 27

4.1.1 Kok Üretimi 27

4.1.2 Sinter Üretimi 33

4.1.3 Yüksek Fırınlar 37

4.1.4 Çelikhane 41

4.2 Elektrik Ark Ocaklı Tesisler 47

4.2.1 Hurda Hazırlama 49

4.2.2 Çelikhane 50

4.3 İndüksiyon Ocaklı Tesisler 54

4.4 Haddehaneler 57

4.4.1 Sıcak Haddeleme 57

4.4.2 Soğuk Haddeleme 59

4.4.3 Filmaşin Haddeleme 61

4.4.4 Sürekli Galvanizleme 61

4.4.5 Kesikli Galvanizleme 61

5 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜ İÇİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER (MET) **63**

5.1 Uygulanabilir MET Önerilerinin Belirlenmesi 63

5.1.1 Tesis Yönetimi için MET Uygulamaları 63
5.1.2 Hammadde Seçimi, Depolanması, Kullanımı için MET Uygulamaları 69
5.1.3 Su Yönetimi için MET Uygulamaları 78
5.1.4 Enerji Yönetimi için MET Uygulamaları 83
5.1.5 Buhar Üretimi ve Dağıtım Sistemleri için MET Uygulamaları 93
5.1.6 Basınçlı Hava Sistemleri için MET Uygulamaları 96
5.1.7 Soğutma, Isıtma ve Havalandırma Sistemleri için MET Uygulamaları 98
5.1.8 Çeşitli Üretim Prosesleri için MET Uygulamaları 103
5.1.9 Demir-Çelik Sektörü Atıksuları için Boru Sonu MET Uygulamaları 206
5.1.10 Emisyon ve Atık Yönetimi MET Uygulamaları 217

KAYNAKLAR 245

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Türkiye'deki mevcut demir-çelik üretim tesisleri ... 20
Tablo 3.2 2015 yılı Avrupa ve dünya ham çelik üretim verileri ... 21
Tablo 3.3 2015 yılı dünya toplam çelik ihracatı ve ithalatı verileri ... 23
Tablo 3.4 Türkiye'nin demir-çelik sektörüne ilişkin diğer üretim, tüketim ve ihracat verilerinin yıllara göre değişimi (Bin Ton) ... 24
Tablo 4.1 Oksidasyon prosesi esnasında gerçekleşen temel kimyasal reaksiyonlar ... 45
Tablo 4.2 İndüksiyon ocaklarının avantaj ve dezavantajları ... 54
Tablo 4.3 Frekanslarına göre indüksiyon ocakları kullanım alanları ... 56
Tablo 5.1 Çeşitli kok fırın tiplerinin karakteristikleri ... 109
Tablo 5.2 Değişken basınç kontrolü uygulandığında ölçülen PAH emisyonları ... 110
Tablo 5.3 Değişken basınç kontrolü uygulandığında ölçülen PAH emisyonları (g/ton kok) ... 112
Tablo 5.4 Konvansiyonel sinterleme prosesine göre LEEP prosesinin çevresel faydaları ... 122
Tablo 5.5 Bölgesel atık gaz resirkülasyon tekniğinin çevresel faydaları ... 123
Tablo 5.6 Tepe bunkerinden çıkan gazın geri kazanımı ile kaçak emisyonlardaki azaltım miktarları ... 129
Tablo 5.7 BOF gazının yanmasının baskılanmasındaki avantajlar ve dezavantajlar ... 142
Tablo 5.8 Hurda ön ısıtma sistemlerinin uygulandığı bazı EAO tesislerinden temin edilen proses verileri ... 150
Tablo 5.9 Bir tesiste sekiz yıllık süreçte yapılan kirlilik ölçümleri ... 152
Tablo 5.10 İki yaş oksidasyonlu desülfürizasyon prosesine ilişkin atıksu kompozisyonları ... 208
Tablo 5.11 Sürekli döküm prosesinde doğrudan soğutmadan kaynaklanan atıksuyun spesifik emisyon değerleri ... 209
Tablo 5.12 Kehl, Almanya'daki BSW tesisinde atıksu arıtmasından geçen ve doğrudan soğutma için kullanılan atıksuyun kompozisyonu (2008) ... 209
Tablo 5.13 Farklı su akımlarının kompozisyonları ... 210
Tablo 5.14 Avrupa'da kurulu bulunan kok fırını tesislerinde kullanılan aktif çamurlu aerobik atıksu arıtma sistemleri için çıkış konsantrasyonları ve spesifik emisyon faktörleri ... 211
Tablo 5.15 Arıtma tesisine giren/çıkan atıksu konsantrasyonu ve ön-DN/N sistemine sahip tesislerin durumları ... 211
Tablo 5.16 Biyolojik atıksu arıtma tesisine ilişkin deşarj konsantrasyonları ... 213
Tablo 5.17 Islak toz toplama sisteminde çıkan atıksuyun spesifik emisyon değerlerine örnekler ... 214

Tablo 5.18 Sadece yıkayıcı ya da yıkayıcı ve ıslak ESF kullanılarak elde edilen emisyon konsantrasyonları 221

Tablo 5.19 Dokuz adet EAO tesisinde uygulanan azaltma sonrası ölçülen kalıntı toz ve ağır metal yoğunlukları 222

Tablo 5.20 Azaltma sonrası toz, PAH ve PCDD/F emisyon yoğunlukları 223

Tablo 5.21 Farklı adsorbanların ve absorpsiyon malzemelerinin özellikleri 225

Tablo 5.22 Aktif linyit kok tozu püskürtmesi kullanılarak PCDD/F'in azaltılması 226

Tablo 5.23 İkinci bir karbon püskürtme sistemi kurulumundan sonra PCDD/F azaltımındaki gelişme 227

Tablo 5.24 Birincil önlemlere ait NOx azaltım verimleri 229

Tablo 5.25 Kok fırını tesisleri kaynaklı temel katı atıklar 239

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Temiz üretimin faydaları ... 14
Şekil 2.2 Temiz üretim değerlendirme yöntemi ... 15
Şekil 3.1 Dünya ham çelik üretim miktarları (Milyar Ton) ... 17
Şekil 3.2 Dünya ham çelik tüketim miktarları (Milyar Ton) ... 18
Şekil 3.3 2015 yılı dünya ham çelik üretim ve tüketiminin ülkelere göre dağılımı ... 18
Şekil 3.4 Türkiye'nin yıllara göre ham çelik üretimi ... 21
Şekil 3.5 Türkiye'nin yıllara göre kütük ve slab üretimi ... 22
Şekil 3.6 Türkiye'nin yıllara göre çelik ihracat ve ithalat miktarı ... 23
Şekil 3.7 Türkiye'nin demir-çelik ihracat ve ithalat değerleri (Milyar TL) ... 25
Şekil 4.1 Kok fırını tesisine ilişkin akım şeması ... 27
Şekil 4.2 Kok fırını tesisi kütle akışı ... 28
Şekil 4.3 Bir kok kamarasının boşaltma işleminden sonraki görünümü ... 29
Şekil 4.4 Söndürme kulesi-sulu söndürme ... 30
Şekil 4.5 Sinter yatağı ve tutuşturma başlığı ... 33
Şekil 4.6 Sinter tesisine ilişkin akım şeması ... 35
Şekil 4.7 Sinter tesisi kütle akışı ... 36
Şekil 4.8 Yüksek fırın tesisi şeması ... 38
Şekil 4.9 Yüksek fırın tesisi kütle akışı ... 39
Şekil 4.10 Sıcak metalin şarjı esnasında bazik oksijen fırını ... 42
Şekil 4.11 Oksijen ile çelik üretimi akım şeması ... 43
Şekil 4.12 Bazik oksijen fırını (çelikhane) tesisi kütle akışı ... 44
Şekil 4.13 Birleştirilmiş üfleme teknolojisi kullanılan konverterin şematik gösterimi ... 46
Şekil 4.14 Elektrik ark ocağında çelik üretimi ... 48
Şekil 4.15 Elektrik ark ocağı tesisi kütle akışı ... 49
Şekil 4.16 Çekirdeksiz indüksiyon ocağı kesiti ... 55
Şekil 4.17 Çekirdeksiz indüksiyon ocakları ... 56
Şekil 4.18 Sıcak haddehane kütle akışı ... 58
Şekil 4.19 Soğuk haddehane kütle akışı ... 60
Şekil 5.1 Ön ısıtmalı kömürün kapalı şarj sistemi ile beslenmesi ... 105

Şekil 5.2 Örnek valf sistemi (Envi-BAT) ... 110
Şekil 5.3 Isı geri kazanımlı ve KFG geri kazanımlı kok tesislerinin karşılaştırılması ... 111
Şekil 5.4 Sinter soğutucudan gelen soğutma havasından ısı geri kazanımı ... 119
Şekil 5.5 Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın kısmen yeniden kullanılması ... 121
Şekil 5.6 Düşük emisyon ve enerji konusunda optimize edilmiş sinter (LEEP) prosesi akışı ... 122
Şekil 5.7 EPOSINT prosesi akışı ... 123
Şekil 5.8 Sinter yatağının farklı bölümlerinden toplanan atık gazın tekrar kullanılması ... 124
Şekil 5.9 Sıcak metal şarjı sırasında azot etkisizleştirmesi olan ve olmayan durumlar için toz oluşum karakteristiği ... 127
Şekil 5.10 Yakma havasındaki oksijen oranı ile sobalara beslenen KFG ve YFG miktarları arasındaki korelasyon ... 137
Şekil 5.11 EAO'da toplama sistemi ... 156
Şekil 5.12 Alevle yüzey temizleme akım şeması (ıslak elektrostatik filtre ile) ... 164
Şekil 5.13 Yanma havasını ön ısıtılması ile elde edilebilecek potansiyel enerji tasarrufu ... 166
Şekil 5.14 Reküperatif brulörün şematik görünümü ... 167
Şekil 5.15 Tipik atık gaz reküperatörü ... 168
Şekil 5.16 Rejeneratif yakma sisteminin şematik gösterimi ... 169
Şekil 5.17 Şarj sıcaklığını artırmak için modifiye stoklama ... 173
Şekil 5.18 Sıcak haddelenmiş şerit laminer soğutma prosesi akım şeması ... 185
Şekil 5.19 Çinkonun cüruftan geri kazanımı ... 204
Şekil 5.20 NOx katalitik konverteri ... 231
Şekil 5.21 CO_2 gazının tutulması ve depolanması ile sera gazının azaltılmasına yönelik yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanımının şematik olarak gösterimi ... 236
Şekil 5.22 Cüruf işleme basamakları ... 241

KISALTMALAR LİSTESİ

AIST	Demir-Çelik Teknolojisi Birliği (Association for Iron and Steel Technology)
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
AFD	Fransız Kalkınma Ajansı
AKÇT	Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu
AKM	Askıda Katı Madde
AOD	Argon Oksijen Dekarbürizasyonu
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BOF	Bazik Oksijen Fırını
CTF	Temiz Teknoloji Fonu (Clean Technology Fund)
CSP	Kompakt Şerit Üretimi (Compact Strip Production)
CSQ	Kok Kararlı Söndürme (Coke Stabilization Quenching)
ÇAYDAG	Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Arastırma Grubu
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇİB	Çelik İhracatçıları Birliği
ÇTÜE	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
ÇYS	Çevre Yönetim Sistemi
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü (German Institute for Standardization)
DN/N	Denitrifikasyon-Nitrifikasyon
DRI	Sünger Demir (Direct Reduced Iron)
DSP	Doğrudan Şerit Üretimi (Direct Strip Production)
DTÖ	Dünya Ticaret Örgütü
EAO	Elektrik Ark Ocağı
EBRD	Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (European Bank for Reconstruction and Development)
EC	Avrupa Komisyonu (European Commision)
EIB	Avrupa Yatırım Bankası (European Investment Bank)

ESF	Elektrostatik Filtre
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVD	Enerji Verimliliği Danışmanlığı
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
FSSC	Gıda Güvenliği Sistemi (Food Safety System Certification)
GEF	Küresel Çevre Fonu (Global Environment Facility)
GTHB	Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı
HBI	Sıcak Briketlenmiş Demir (Hot Briquetted Iron)
HCB	Hekzaklorobenzen
IBRD	Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası (International Bank for Reconstruction and Development)
IEA	Ulusal Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IFC	Uluslararası Finans Kurumu (International Finance Corporation)
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization)
ISP	Sürekli Döküm Makinesinde İnce Şerit Üretimi (Inline Strip Production)
İO	İndüksiyon Ocağı
KDV	Katma Değer Vergisi
KFG	Kok Fırın Gazı (Kok gazı)
KfW	Alman Kalkınma Bankası (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
KHK	Kanun Hükmünde Kararname
KOBİ	Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi İşletmeleri
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli işletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
LİDAR	(Light Detection and Ranging)
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MATİL	Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları
MET	Mevcut En İyi Teknikler
MFCA	Malzeme Akışı Maliyet Analizi (Material Flow Cost Accounting)
MidSEFF	Türkiye Orta Ölçekli Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı
NACE	Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması

OSİB	Orman ve Su İşleri Bakanlığı
ÖTL	Ömrünü Tamamlamış Lastikler
PAH	Poliaromatik Hidrokarbonlar
PCDD/F	Poliklorlanmış Dibenzo-p Dioksin/Furan
PCB	Poliklorlanmış Bifeniller
POP	Kalıcı Organik Kirletici (Persistent Organic Pollutant)
RAK	Rejeneratif Aktif Karbon
SANTEM	Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi
SANTEZ	Sanayi Tezleri
SCR	Seçici Katalitik İndirgeme (Selective Catalytic Reduction)
SÇ	Sıvı Çelik
SITC	Uluslararası Standart Ticaret Sınıflaması (Standard International Trade Classification)
SNCR	Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (Selective Non-Catalytic Reduction)
STA	Serbest Ticaret Anlaşması
STK	Sivil Toplum Kuruluşu
TBAG	Temel Bilimler Arastırma Grubu
TÇK	Toplam Çözünmüş Katı
TÇÜD	Türkiye Çelik Üreticileri Derneği
TEB	Türk Ekonomi Bankası
TO	Ters Ozmos
TOK	Toplam Organik Karbon
TOBB	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TRT	Tepe-basınç Geri Kazanım Türbini (Top-pressure Recovery Turbine)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TTGV	Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TurSEFF	Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansmanı Programı
TÜ	Temiz Üretim
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UATF	Ulusal Atık Taşıma Formu
UHP	Ultra Yüksek Güç (Ultra High Power)

UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (United Nations Development Programme)
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)
UNIDO	Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (United Nations Industrial Development Organization)
UTÜM	Ulusal Temiz Üretim Merkezi
UV	Ultraviyole
US	Ultrason
VAP	Verimlilik Artırıcı Projeler
VGM	Verimlilik Genel Müdürlüğü
VOC	Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds)
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi
YF	Yüksek Fırın
YFG	Yüksek Fırın Gazı

1 GİRİŞ

Temiz üretim, kaynak kullanımı ve atık oluşumunu azaltmayı, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla üretim süreçlerinde çevre performansını artırmayı ve maliyetleri düşürmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Ülkemizde 1990'lı yılların sonlarında başlamış olan temiz üretim çalışmaları işletmeler bazında sürmekte olup, bu kapsamda imalat sanayinin çeşitli alt sektörlerinde temiz üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamaların yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün sorumlulukları arasında yer alan "temiz üretim ve entegre kirlilik önleme çalışmalarına yönelik politika ve stratejilerin belirlenmesi ve ilgili mevzuatın hazırlanması" kapsamında ülkemizde temiz üretim ile ilgili ilk doğrudan mevzuat düzenlemesi olan "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği" 2011 yılında yürürlüğe girmiş ve 2015 yılında revize edilmiştir. Tekstil sektörü ile başlatılan bu sürecin imalat sanayinde faaliyet gösteren diğer sektörlere de yansıtılması hedefiyle, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi arasında "Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi (SANTEM)" proje sözleşmesi 11.03.2016 tarihinde imzalanmıştır. SANTEM Projesi'nde demir-çelik ve maya sektörlerinin mevcut durumu, sektörel ihtiyaçlar, temiz üretim olanakları, teşvik mekanizmaları ve yasal düzenlemeler incelenerek, belirlenen çeşitli olanakların ülkemiz koşullarında uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Altı iş paketinden oluşan proje kapsamında, maya ve demir-çelik sektörleri için Türkiye'de ve dünyada uygulanan temiz üretim olanakları ve konu ile ilgili yürürlükte olan ulusal ve uluslararası mevzuat ve uygulamalar incelenmiştir. Her iki sektörde tesis ziyaretleri gerçekleştirilerek, prosesler yerinde incelenmiştir. Maya sektöründe Pak Gıda Üretim Pazarlama A.Ş. İzmit Fabrikası'nda, demir-çelik sektöründe ise, Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş., ÇEMTAŞ Çelik Makina Sanayi ve Tic. A.Ş. ve İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.'de gerçekleştirilen pilot tesis çalışmaları kapsamında temiz üretim denetimleri gerçekleştirilerek her iki sektöre yönelik Mevcut En İyi Teknik (MET) önerileri belirlenmiştir. Proje kapsamında düzenlenen sektörel çalıştaylarda MET önerileri önceliklendirilmiş ve öne çıkan teknikler için fayda maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

İşletme faaliyetlerinin çevreye olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, işletmelerin çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanması ve temiz üretim teknolojilerinin kullanımına ilişkin usul ve esasları düzenlemek amacıyla maya ve demir-çelik sektörleri için taslak mevzuat çalışması gerçekleştirilmiştir. Taslak mevzuat çalışmasına ilaveten yapılan Düzenleyici Etki Analizi (DEA) çalışmasında üç adet alternatif değerlendirilerek, taslak mevzuatta tanımlanacak temiz üretim uygulamalarının hayata geçirilmesi durumunda sağlanacak ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler tahmin edilmiştir.

Proje çalışmaları kapsamında hazırlanan "Demir-Çelik Sektöründe Temiz Üretim El Kitabı" ile sektör paydaşlarının mevcut en iyi teknikler hakkında bilgilendirilmesi amaçlanmaktadır. Kitap genel olarak dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, temiz üretime yönelik genel kavramlar açıklanmıştır. İkinci ve üçüncü bölümlerde demir-çelik sektörünün mevcut durumu ve sektörde uygulanmakta olan üretim prosesleri hakkında bilgilere yer verilmiştir. Son bölümde ise, proje kapsamında pilot tesislerde gerçekleştirilen saha çalışmaları, literatür incelemesi ve araştırmalar yoluyla demir-çelik sektörü özelinde belirlenen ve taslak tebliğ ekinde yer alan mevcut en iyi tekniklere ilişkin bilgiler paylaşılmıştır.

2 TEMİZ ÜRETİM NEDİR?

Temiz üretim, kaynak verimliliği ve kirliliğin kaynağında önlemesi vb. yaklaşımlar ile kaynak kullanımının azaltılması ya da etkinleştirilmesi ile birlikte, çevresel emisyonların azaltılmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Temiz üretim çevre, toplum ve iş dünyasını koruyan bir kazan-kazan stratejisidir. Bu nedenle temiz üretim kavramı sadece çevresel stratejileri değil aynı zamanda ekonomik ve sosyal yararları da en az çevre kadar içeren bir kavramdır (UNEP, 2004).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) yaptığı tanımlamaya göre ***temiz üretim***; verimliliğin artırılması ve çevre ve insanlar üzerindeki risklerin azaltılması için uygulanan, entegre, önleyici bir çevre stratejisinin proses, ürün ve hizmetlere sürekli uygulanmasıdır (UNEP, 2004).

Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO) ***temiz üretimi***, üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde kullanılacak bir yol gösterici ve bütün üretim aşamalarında uygulanacak koruyucu ve bütünleşik bir strateji olarak kabul etmektedir (UNIDO, 2008).

Sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte gelişen temiz üretim konusu 1990'lı yıllardan beri gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerin gündemlerinde yer almaktadır. 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın ardından UNIDO ve UNEP'in iş birliği ile oluşturulan Ulusal Temiz Üretim Programı kapsamında 60'ı aşkın ülkede Temiz Üretim Programları yürütülmüş ve Ulusal Temiz Üretim Merkezleri (UTÜM) kurulmuştur. Türkiye'de ise 06/04/2013 tarih ve 218 sayılı Bilim Kurulu'nun 5 nolu kararı gereğince; TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, "Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü" olarak yeniden yapılandırılmış ve Ulusal Temiz Üretim Merkezi işlevini üstlenmiştir. Yerel şartlara uyum içinde, işletmeler ve devlet politikalarında temiz üretim stratejisini teşvik etmek ve ülke genelinde talepleri yaratmak ve karşılamak için yerel kapasiteyi geliştirmek Ulusal Temiz Üretim Merkezlerinin ortak amaçları arasında yer almaktadır (UNEP, 2002).

Küreselleşme, ekonomik büyüme ve dünya nüfusundaki artış doğal kaynaklar üzerindeki baskının ve rekabetin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar mevcut doğal kaynakların dünya nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanmasında sürdürülebilir bir düzeyde olmadığını raporlamaktadır (Yılmazer, 2015). Tüketimin bu denli arttığı bir ortamda doğal kaynakların kısıtlı olması zaman içerisinde kaynak erişiminin zor ve maliyetli olmasına sebep olmaktadır. Bu kapsamda yaşanacak çevresel, sosyal ve ekonomik sorunların giderilmesinde "kaynak verimliliği yaklaşımı" büyük önem taşımaktadır.

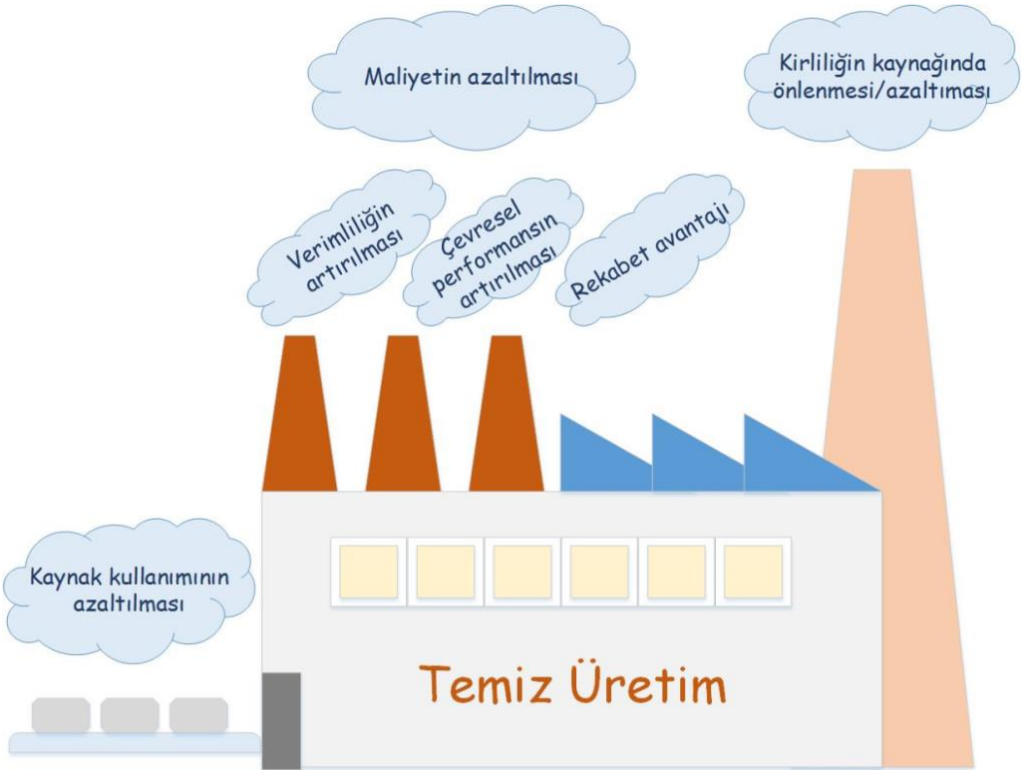
Avrupa Komisyonu, ***Kaynak Verimliliği'***ni dünyada sınırlı miktardaki kaynakların çevresel etkileri en aza indirilerek sürdürülebilir bir şekilde kullanılması olarak ifade etmektedir. Kaynak verimliliği daha az girdi ile daha fazla değer sağlayan bir yaklaşımdır.

Kaynakların verimli kullanılmasında tesislerin simbiyotik ilişkiler kurması ile işletmeler arasında malzeme ve enerji değişimi yapılabilmektedir. Endüstriyel simbiyoz olarak ifade edilen bu yaklaşımda birbirine fiziksel olarak yakın olup, normalde birbirlerinden bağımsız çalışan iki veya daha fazla endüstriyel işletmenin bir araya gelmesi ile hem çevresel performansların iyileştirilmesi hem de rekabet gücünün artırılması amacıyla ortaklıklar kurulmaktadır. Bu yaklaşım ile hem çevresel problemlerin önüne geçilmesi hem de ekonomik ve sosyal fayda sağlanması hedeflenmektedir.

2.1 Neden Temiz Üretim?

Dünya nüfusunun hızla artması ve mevcut doğal kaynakların tüketim ihtiyaçlarını karşılayabilecek düzeyde olmaması nedeniyle kaynaklar üzerindeki baskının azaltılarak ekonomik büyümenin sürdürülebilir hale gelmesi için kaynakların verimli kullanılması ve çevresel etkilerin önlenmesi/azaltılması gerekmektedir. İşletmelerin, hammadde temininden ürünün satışına kadarki süreçte tüm çevresel etkileri ele alan, sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için işletme maliyetlerini azaltan ve ulusal/uluslararası pazarda rekabet gücünü artıran bir temiz üretim anlayışı içinde ilerlemeleri gerekmektedir. İşletmelerin temiz üretim yaklaşımı ile elde edebilecekleri faydalar genel hatlarıyla Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Temiz üretimin faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

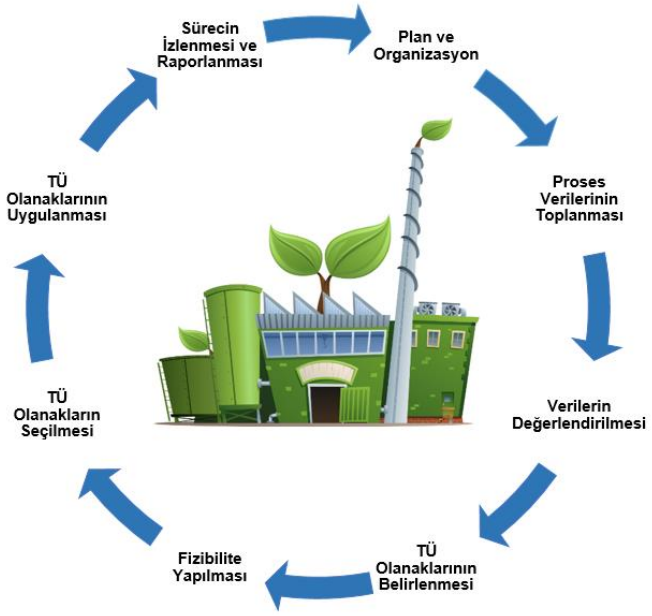
- Kaynak kullanımının azaltılması ve buna bağlı olarak işletme maliyetlerinin düşmesi
- Atık, atıksu ve emisyon miktarlarında azalma sağlanması
- Arıtma ve atık bertaraf maliyetlerinde azalma sağlanması
- Çevresel performansın artması
- Verimliliğin artması
- Ulusal/uluslararası çevre mevzuatına uyumun sağlanması
- Firmaların rekabet gücünün artması



Şekil 2.1 Temiz üretimin faydaları

2.2 Temiz Üretim (TÜ) Denetimi Nasıl Yapılır?

Temiz üretim süreklilik arz eden bir süreçtir. Bu sürecin değerlendirilmesi Şekil 2.2'de gösterildiği gibi 8 adımda gerçekleşmektedir. Temiz üretimin hayata geçirilmesindeki ilk adım, planlama ve organizasyondur. Bu adımda yapılacak temiz üretim değerlendirme çalışması (projesi) için yönetimden onay alınarak çalışanların ve yönetimin bu projeye katılım sağlaması ve bu projeyi benimsemesi sağlanır. Yönetimin onayı alındıktan sonra tesis çalışanlarının da yer aldığı bir proje ekibi kurulur ve ekip içinden bir lider seçilir. Proje kapsamında pazarlama, satın alma, finans/muhasebe, Ar-Ge, insan kaynakları, müşteri ve tedarikçiler de süreçte yer almalıdır. İhtiyaç duyulması halinde tesis dışından danışman/uzman kişiler de sürece katılmalıdır. Proje ekibinin temiz üretim değerlendirme çalışmasına başlamadan önce politika, amaç ve hedef belirlemesi gerekmektedir. Bu kapsamda firmanın çevre politikası proje ekibi için yol gösterici olacaktır. Firmanın çevre politikalarını nasıl hayata geçireceği konusunda ortaya koyacağı hedefler ölçülebilir ve izlenebilir olmalıdır. Hedefler belirlendikten sonra proje ekibi temiz üretim değerlendirmesi kapsamındaki faaliyetlerini detaylandıracağı bir iş ve zaman planı yapmalıdır. İş ve zaman planı kapsamında her bir faaliyet detaylı olarak tanımlanmalı, sorumlu kişiler atanmalı ve faaliyet süresi belirlenmelidir.



Şekil 2.2 Temiz üretim değerlendirme yöntemi

Planlama ve organizasyondan sonra ikinci adım proses verilerinin toplanmasıdır. Bu adımda amaç üretim proseslerinin tanımlanarak, girdi ve çıktıları gösteren proses akım şemalarının oluşturulmasıdır. Proses akım şemaları oluşturulurken gerek duyulan verileri derlemek için bir kontrol listesi hazırlanır. Firma ile ilgili veriler toplanırken, aynı zamanda karşılaştırma yapılabilmesi için aynı sektörde faaliyet gösteren diğer işletmelere ait literatür verileri derlenir.

Bir sonraki adımda kontrol listesi temel alınarak toplanan veriler ve proses akım şemaları değerlendirmeye tabi tutulur. Tesis için kütle-enerji denklikleri oluşturularak kayıp-kaçaklar ve

verimsizlikler tespit edilir. Veri toplanırken ortaya çıkan problemler listelenir ve bu problemlere yönelik çözümler var ise bunlar kayıt altına alınır.

Verilerin değerlendirilmesinin ardından tesis için temiz üretim olanakları belirlenir. TÜ olanaklarının belirlenmesinde firma çalışanlarının ve proje ekibinin deneyimi oldukça önemlidir. Veri toplanırken ortaya çıkan problemlerin dikkatli bir şekilde ele alınmasıyla pek çok TÜ olanağı tespit edilebilir. Ayrıca bu çalışmalar yapılırken proje ekibi dışında firmanın diğer birimlerinden de çalışanların katılım sağlaması tavsiye edilmektedir.

Belirlenen TÜ olanaklarının değerlendirilmesinde teknik ve ekonomik yapılabilirliğin yanı sıra, çevresel etkiler de dikkate alınmalıdır. Seçilen TÜ olanaklarının hayata geçirilmesinde ihtiyaç duyulacak teknik altyapının mevcut/yeterli olmadığı durumlarda teknik/teknolojik ne gibi değişimlere ihtiyaç duyulacağı tespit edilmelidir. İkinci olarak TÜ olanaklarının ekonomik açıdan uygulanabilirliği incelenmelidir. Bu aşamada maliyet gerektiren uygulamalar için yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve geri ödeme süreleri hesaplanmalıdır. Üçüncü olarak da TÜ olanaklarının çevresel etkileri tespit edilmelidir.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, hayata geçme olasılığı en yüksek olan TÜ olanakları proje ekibi ve yönetim tarafından belirlenir. Bu süreçte, geri ödeme süresi, işin aciliyeti ve finansal kaynağa erişim kolaylığı öncelikli kriterler arasında yer almaktadır.

Seçilen TÜ olanaklarının hayata geçirilmesine ilişkin bir uygulama planı hazırlanmalıdır. Uygulamanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan ekipman, teknik destek, insan kaynağı, Ar-Ge vb. ihtiyaçlar tespit edilerek, bunların karşılanması için süre ve maliyet tanımlanmalı ve bir plan dahilinde organize edilmelidir. Seçilen TÜ olanaklarının uygulanması kapsamında eğer yatırım gerektiren bir uygulama varsa firma diğer yatırım projelerinde kullandığı benzer süreçleri takip etmelidir.

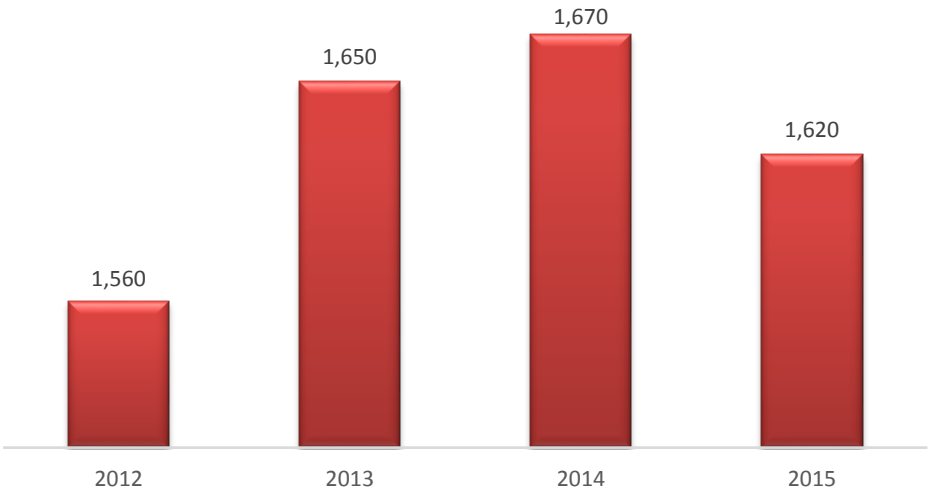
Uygulanan TÜ olanaklarının etkinliğinin değerlendirilmesi TÜ sürecinin devamlılığı için oldukça önemlidir. Etkinliğin değerlendirilmesinde, birim üretim başına atık miktarındaki azalma, birim ürün başına tüketim miktarındaki azalma vb. performans göstergeleri takip edilerek raporlanmalıdır (MfE, 1997; TTGV, 2011).

3 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN MEVCUT DURUMU

Demir-çelik sektörü, başta inşaat olmak üzere her türlü makine ekipman imalatı, otomotiv ve motorlu taşıtlar sektörleri gibi sanayinin birçok alanına girdi sağlamaktadır. Sektör ülke ekonomisine ve sanayileşmede diğer sektörlere yön verme özelliğine sahiptir. Demir-çelik sektörünün ana hammaddeleri cevher ve hurda, temel çıktısı ise ham çeliktir. Ham çelik, son ürüne göre, uzun (kütük) ve yassı (slab) yarı mamuller olarak üretilmektedir. Haddeleme prosesi sonrasında uzun yarı mamuller inşaat demiri, filmaşin, kangal, dikişsiz boru, profil, ray, lama vb. ürünlere dönüşürken, yassı yarı mamullerden rulo sac ve sac levha üretilmektedir. Üretilen saca talebe göre galvanizleme ve boyama işlemleri uygulanmaktadır.

Dünya çelik tüketiminde, 2008 yılındaki küresel finans krizi sonrasında keskin bir gerileme yaşanmıştır. Çelik tüketimi 2010-2011 yıllarında artmış olsa da, 2012 yılında başta Avrupa Birliği (AB) ve Çin olmak üzere, dünya ekonomisindeki durgunluk nedeniyle yeniden yavaşlamaya başlamıştır. Bu dönemde Avrupa Birliği'nde yaşanan borç krizi sonrasında çelik tüketimin azalması, bazı Orta Doğu ile Kuzey Afrika ülkelerinde yaşanan sosyal ve politik karışıklıklar ve Çin'in çelik üretiminde kapasite artışını devam ettirmesine karşın, tüketimindeki büyümenin durma noktasına gelmesi, global çelik tüketimindeki toparlanmanın ani bir şekilde yavaşlamasına neden olmuştur (KB, 2014; WSA, 2016). Bu veriler dikkate alındığında Türkiye'deki çelik üretiminin Çin'in ihtiyaç fazlası ürünleri ihraç etmesinden ve piyasa fiyatının altında satış yapmasından olumsuz etkilendiğini söylemek mümkündür.

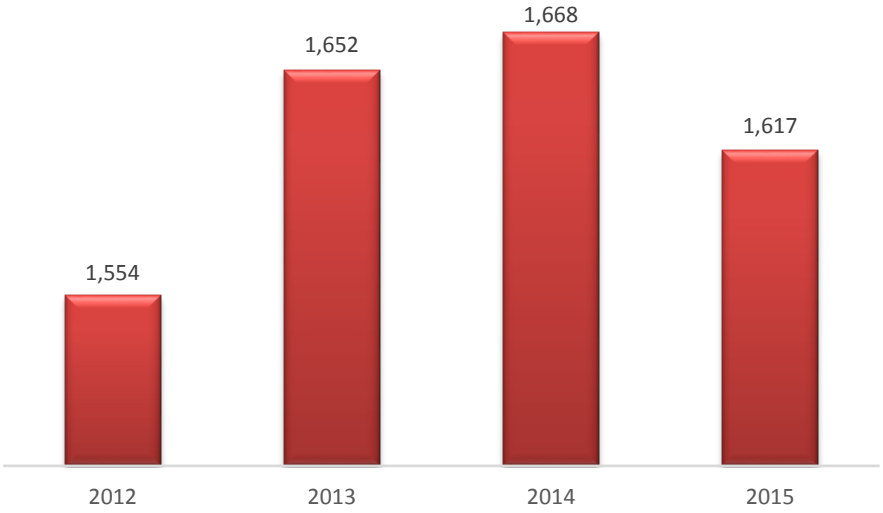
2012-2015 yılları arasında dünya genelinde ham çelik üretim ve tüketim miktarları Şekil 3.1'de verilmektedir.



Kaynak: (WSA, 2016)

Şekil 3.1 Dünya ham çelik üretim miktarları (Milyar Ton)

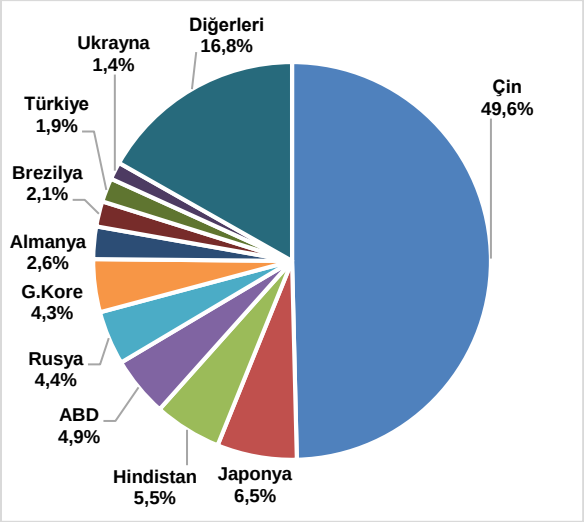
Dünya ham çelik üretimi 2014 yılında 1,670 milyar ton seviyesine ulaşmıştır. Üretimle doğru orantılı olarak tüketim miktarının da 2014 yılında 1,617 milyar ton seviyesine çıktığı gözlenmektedir (Şekil 3.2).

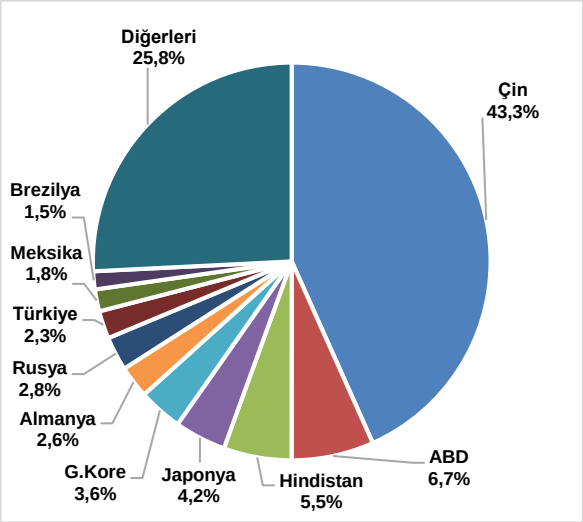


Kaynak: (WSA, 2016)

Şekil 3.2 Dünya ham çelik tüketim miktarları (Milyar Ton)

Dünya ham çelik üretiminin ülkelere göre dağılımı incelendiğinde Çin'in yaklaşık olarak %50 pay ile üretimde söz sahibi olduğu görülmektedir. Şekil 3.3'teki tüketim yüzdeleri incelendiğinde yine Çin'in yaklaşık %43,3 pay ile tüketimde önemli bir paya sahip olduğu, Türkiye'nin ise üretimde %1,9 pay ile 9. sırada, tüketimde ise %2,3 pay ile 8. sırada yer aldığı görülmektedir. Ülkelerin ham çelik üretim payları kıyaslandığında Japonya, Çin'den sonra %6,5 pay ile ikinci sırada, Hindistan ise %5,5 pay ile üçüncü sırada yer almaktadır. Tüketimde ise Çin'den sonra ikinci sırada %6,7 pay ile Amerika Birleşik Devletleri ve üçüncü sırada ise %5,5 pay ile Hindistan yer almaktadır.





Kaynak: (WSA, 2016)

a) Dünya ham çelik üretimi b) Dünya ham çelik tüketimi

Şekil 3.3 2015 yılı dünya ham çelik üretim ve tüketiminin ülkelere göre dağılımı

2014 yılı ihracat verileri incelendiğinde dünya genelinde toplam 513 milyon ton ham çeliğin ihraç edildiği ve ihracatta Çin'in %21'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. İhracatta Çin'i %8 ile Japonya, %7 ile Güney Kore ve Rusya takip etmektedir.

Günümüzde çelik üretimi, ana girdi olarak demir cevheri kullanan, yüksek fırın ve bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan entegre tesisler ve ana girdi olarak hurda metal kullanan elektrik ark ocaklı (EAO) veya indüksiyon ocaklı (İO) tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. AB ülkelerinde ise çelik üretiminde yalnızca BOF ve EAO kullanılmaktadır. 2014 yılı verilerine göre dünya genelinde çelik üretiminin %73,7'si, AB ülkelerinde ise %61'i bazik oksijen fırınlarında gerçekleşmektedir. Türkiye'de bu oran %30 civarındadır. Türkiye'de çelik üretimi elektrik ark ocaklı tesislerde yoğunlaşmıştır (EB, 2012; WSA, 2016).

Çelik üretimde sürekli döküm teknolojisi, 1960'lı yılların sonlarında uygulanmaya başlamasıyla Avrupa geneline yayılmış ve kullanım oranı %97'ye çıkmıştır. Bu oran dünya genelinde %90 civarındadır. Bu teknoloji ile birlikte geleneksel teknolojide yer alan, çeliğe kütük ve slab şekillerini vermekte kullanılan ara süreçlere de gerek kalmamıştır (EC, 2012).

Ülkemizde çelik üretimi, %70 oranında hurdadan üretime dayandığı için, demir-çelik sektöründe kullanılan hammaddelerin başında hurda metal gelmektedir. Bunu entegre tesislerde kullanılan demir cevheri ve koklaşabilir kömür (kok üretiminde) takip etmektedir. Kok esas olarak, yüksek fırınlarda demir cevherini indirgeyici madde olarak kullanılmaktadır. Çelik üretiminde önemli bir diğer ham madde ise kireçtir. Kireç, birincil metalurji sırasında fosfor, kükürt, silika ve alümina gibi safsızlıkların giderilmesi, ikincil metalurji sırasında ise kükürt ve benzeri safsızlıkların giderilmesi ve cüruf kalitesinin yükseltilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bunların yanında kullanım oranları daha düşük olmakla birlikte, ikincil metalurji sırasında çeliğin kalitesinin ve özelliklerinin ayarlanmasında görev alan alaşım malzemeleri (ferro alaşımlar) kullanılmaktadır.

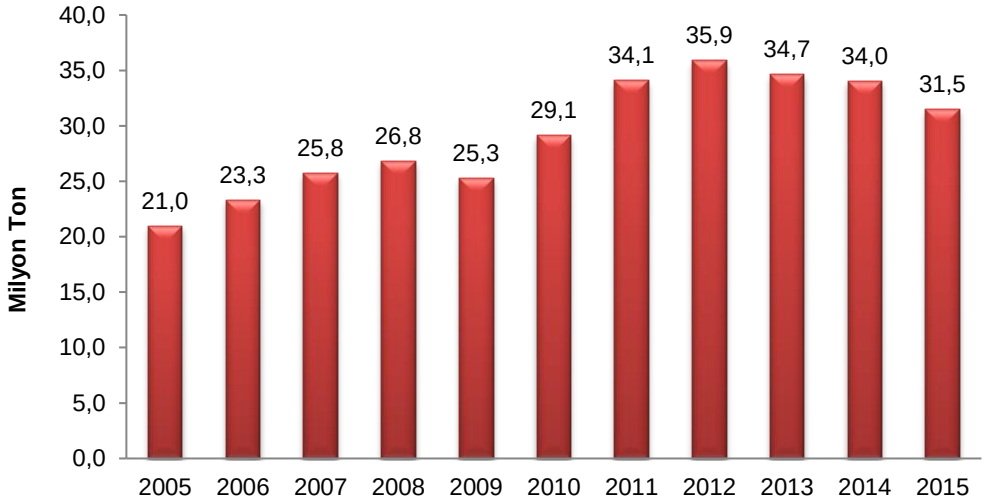
Türkiye'de demir-çelik sektöründe mevcut durumda toplamda 32 firma faaliyet göstermekte olup, bu firmaların 3'ü entegre, 24'ü elektrik ark ocaklı ve 5'i indüksiyon ocaklı tesislerdir (MATİL, 2016). Türkiye'de üretilen çeliğin ortalama %75'i elektrik ark ocaklarında, %25'i ise entegre tesislerde üretilmekte olup, faaliyet gösteren tesislere ilişkin veri Tablo 3.1'de verilmiştir (MATİL, 2016).

Tablo 3.1 Türkiye'deki mevcut demir-çelik üretim tesisleri

Tesis Adı	Tesis Tipi	Ürün	Ham Çelik Üretimi (Ton/Yıl)
İsdemir	Entegre	Uzun + Yassı Çelik	>5 milyon
Erdemir	Entegre	Yassı Çelik	3-4 milyon
İçdaş	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	2-3 milyon
Habaş	Elektrik Ark Ocağı	Uzun + Yassı Çelik	
Kardemir	Entegre	Uzun Çelik	
Çolakoğlu	Elektrik Ark Ocağı	Uzun + Yassı Çelik	1-2 milyon
Yolbulan-Baştuğ	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
İzmir D.Ç.	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Kroman	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Tosçelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun + Yassı Çelik	
Diler	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Yazıcı	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Kaptan	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	<1 milyon
Nursan Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Yeşilyurt	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Koç Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Ekinciler	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Ege Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Asil Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Özkan Demir Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Sider	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Sivas Demir Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Çemtaş	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Çebitaş	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
Bilecik Demir Çelik	İndüksiyon Ocağı	Uzun Çelik	
Kırdemir	İndüksiyon Ocağı	Uzun Çelik	
Egemen Metalurji	İndüksiyon Ocağı	Uzun Çelik	
Platinum	İndüksiyon Ocağı	Uzun Çelik	
Ege Demir	İndüksiyon Ocağı	Uzun Çelik	
MKE	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	
MMK	Elektrik Ark Ocağı	Yassı Çelik	
Ede Çelik	Elektrik Ark Ocağı	Uzun Çelik	

Kaynak: (MATİL, 2016)

Ham çelik üretimi açısından bakıldığında Türkiye 2007-2012 yılları arasında, Çin ve Hindistan'ın ardından üretimini en hızlı artıran 3. ülke olmuştur. 2011 ve 2012 yıllarında ise üretimini en hızlı artıran ülke olmasına rağmen, son üç yıldır ham çelik üretiminde düşüş yaşanmaktadır. Türkiye'nin yıllara göre ham çelik üretim miktarı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Kaynak: (WSA,2016)

Şekil 3.4 Türkiye'nin yıllara göre ham çelik üretimi

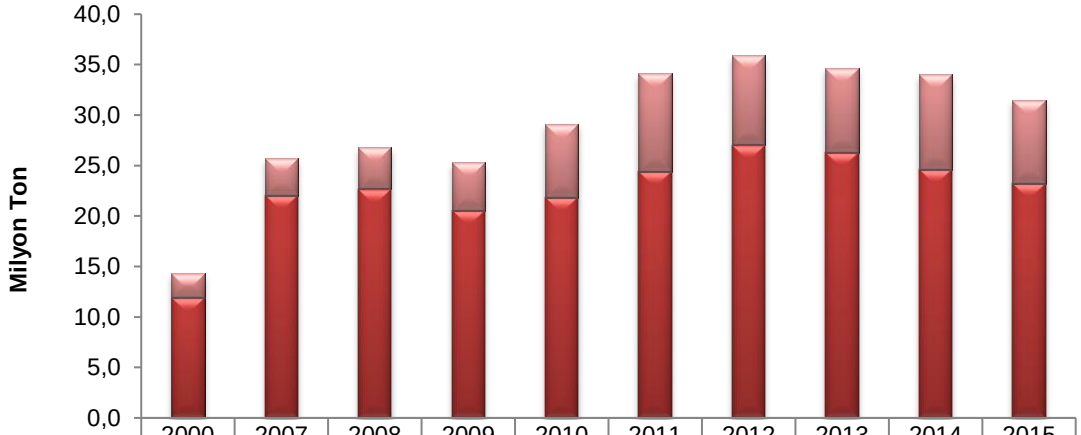
Ham çelik üretim verileri incelendiğinde son 10 yılda ham çelik üretiminin %50 artış göstererek yılda 21 milyon tondan 31,5 milyon tona ulaştığı görülmektedir. 2015 yılı Avrupa'daki toplam ham çelik üretimi yaklaşık 202 milyon ton, dünyadaki toplam üretim ise yaklaşık 1.620 milyon tondur. Türkiye'nin 2015 yılı ham çelik üretimi bir önceki yıla göre yaklaşık %7,4 oranında azalmış olup; 31,5 milyon ton ile Avrupa'da ikinci sırada, dünyada ise 2014 yılına göre bir sıra gerileyerek 9. sırada yer almıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 2015 yılı Avrupa ve dünya ham çelik üretim verileri

Sıra	Avrupa			Dünya		
	Ülke	Ham çelik üretimi (Milyon Ton)	Üretimdeki Payı (%)	Ülke	Ham çelik üretimi (Milyon Ton)	Üretimdeki Payı (%)
1	Almanya	42,7	21,1	Çin	803,8	49,6
2	**Türkiye**	**31,5**	**15,6**	Japonya	105,2	6,5
3	İtalya	22,0	10,9	Hindistan	89,0	5,5
4	Fransa	15,0	7,4	Amerika	78,8	4,9
5	İspanya	14,8	7,3	Rusya	70,9	4,4
6	B. Britanya	10,9	5,4	Güney Kore	69,7	4,3
7	Polonya	9,2	4,5	Almanya	42,7	2,6
8	Avusturya	7,7	3,8	Brezilya	33,3	2,1
9	Belçika	7,3	3,6	**Türkiye**	**31,5**	**1,9**
10	Hollanda	7,0	3,5	Ukrayna	23,0	1,4

Kaynak: (WSA, 2016)

2015 yılı ham çelik üretimi içerisinde kütük ve slab üretiminin oranları sırasıyla %76 ve %24'tür. Türkiye'nin yıllara göre kütük ve slab üretim miktarı Şekil 3.5'te verilmiştir. 2015 yılında, kütük üretimi yaklaşık %6 oranında düşüşle 23,23 milyon tona; slab üretimi ise yaklaşık %12 oranında düşüşle 8,29 milyon tona gerilemiştir.



	2000	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Slab üretimi	2,4	3,7	4,2	4,8	7,3	9,7	8,8	8,4	9,4	8,3
Kütük üretimi	11,9	22,0	22,7	20,5	21,8	24,4	27,1	26,3	24,6	23,2

Kütük üretimi Slab üretimi

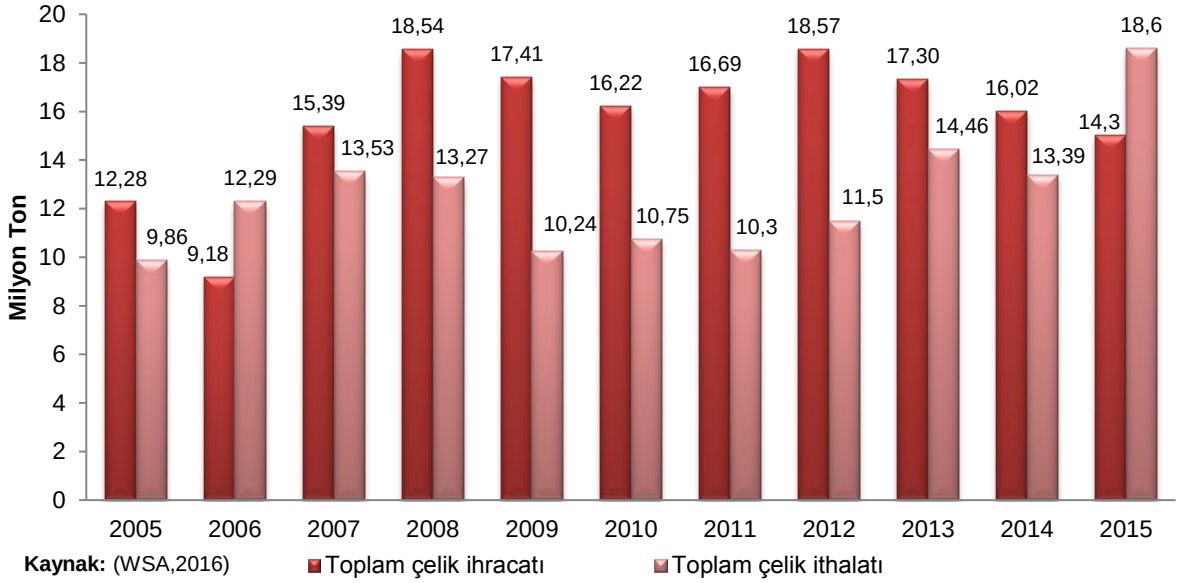
Kaynak: (TÇÜD, 2016)

Şekil 3.5 Türkiye'nin yıllara göre kütük ve slab üretimi

2015 yılında ham çelik üretimi düşmesine rağmen nihai mamul üretimi, %2,3 oranında artış göstererek yaklaşık 37 milyon tona ulaşmış olup; nihai mamul üretiminin %71,9'unu uzun ürün üretimi (26,55 milyon ton) ve %28,1'ini yassı ürün üretimi (10,39 milyon ton) oluşturmuştur (TÇÜD, 2016).

Türkiye'nin 2015 yılı ham çelik üretim kapasitesi 50,4 milyon ton olup, toplam elektrik ark ocaklı tesisler toplam kapasitenin %77'sini oluşturmaktadır. 2014 yılında %67,8 olan sektörün kapasite kullanım oranı 2015 yılında %62,5'e gerileyerek %69,7 olan dünya oranının yaklaşık 7 puan aşağısında kalmıştır (TÇÜD, 2016).

Dünya Çelik Birliği verilerine göre, 2015 yılında dünyadaki toplam çelik dış ticareti 462,4 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve Türkiye 14,3 milyon tonluk ihracat miktarı ve 18,6 milyon tonluk ithalat miktarı (Şekil 3.6) ile bu değerin sırasıyla yaklaşık %3'ünü ve %4'ünü oluşturmuştur (WSA, 2016).



Kaynak: (WSA,2016)

Şekil 3.6 Türkiye'nin yıllara göre çelik ihracat ve ithalat miktarı

Yarı mamul ve mamul çelik ürünleri ihracatı 2014 yılına göre yaklaşık %6,4 oranında düşüş, ithalat miktarı ise yaklaşık %39 oranında artış göstermiş olup, Türkiye ihracat ve ithalat miktarına göre 2015 yılında dünyada sırasıyla 9. ve 5. sırada yer almıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 2015 yılı dünya toplam çelik ihracatı ve ithalatı verileri

Sıra	Toplam İhracat		Toplam İthalat	
	Ülke	Milyon Ton	Ülke	Milyon Ton
1	Çin	111,6	Amerika	36,5
2	Japonya	40,8	Almanya	24,8
3	Güney Kore	31,2	Güney Kore	21,7
4	Rusya	29,7	İtalya	19,9
5	Almanya	25,1	**Türkiye**	**18,6**
6	Ukrayna	17,7	Vietnam	16,3
7	İtalya	16,5	Tayland	14,6
8	Belçika	15,2	Fransa	13,7
9	**Türkiye**	**14,3**	Hindistan	13,3
10	Fransa	14,0	Çin	13,2

Kaynak: (WSA, 2016)

Demir-çelik sektörüne ilişkin diğer üretim, tüketim, ithalat ve ihracat verileri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Türkiye'nin demir-çelik sektörüne ilişkin diğer üretim, tüketim ve ihracat verilerinin yıllara göre değişimi (Bin Ton)

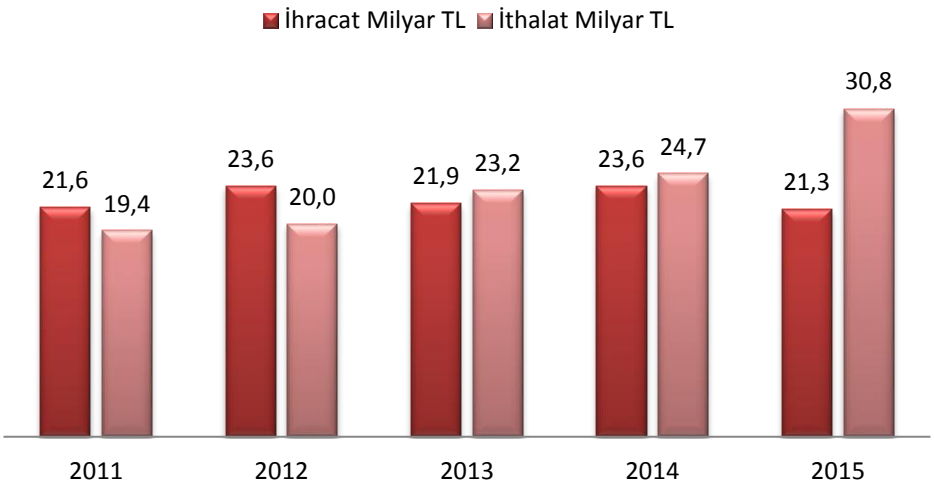
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pik demir üretimi	5,97	5,95	6,24	6,70	7,00	7,68	8,17	8,61	9,18	9,36	10,20
Pik demir ihracatı	0,01	0,001	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005
Pik demir ithalatı	0,41	0,34	0,72	0,80	0,77	0,57	1,14	1,38	0,97	0,91	1,20
Demir cevheri üretimi	4,60	3,79	4,85	4,70	3,86	5,81	6,45	6,56	8,49	6,98	6,00
Demir cevheri ithalatı	4,62	5,59	6,09	6,90	5,68	6,38	6,64	7,84	8,11	8,54	10,01
Hurda ihracatı	0,07	0,05	0,10	0,08	0,07	0,09	0,11	0,10	0,10	0,17	0,14
Hurda ithalatı	10,23	13,35	13,50	17,42	15,67	19,20	21,45	22,42	19,72	19,07	16,25
Görünür çelik kullanımı*	19,74	22,27	25,31	22,86	19,20	25,13	28,66	30,29	33,30	32,75	36,55
Kişi başı görünür çelik kullanımı**	290,9	324,1	364,1	325,0	269,4	347,5	389,9	404,6	436,9	422,5	464,7

*: ham çelik eşdeğeri/kişi
**: kg ham çelik/kişi
Kaynak: (WSA, 2016)

Kişi başı çelik tüketim verilerine bakıldığında, 2005 yılındaki kişi başı tüketim miktarı, 10 yıl içerisinde 1,5 kattan fazla artış göstermiştir. 2015 yılındaki kişi başı görünür çelik tüketim miktarı, bir önceki yıla göre %10 artmış ve 464,7 kg/kişi değerine ulaşmıştır.

Aynı yıl Avrupa Birliği'nde ortalama 332 kg/kişi, Kuzey Amerika'da 283 kg/kişi, büyük tüketicilerin yer aldığı Orta Doğu'da ve Asya'da sırasıyla ortalama 244 kg/kişi ve 266 kg/kişi çelik tüketimi gerçekleşmiştir. Dünya genelinde ise kişi başına çelik tüketimi 224 kg olarak gerçekleşmiştir (DOĞAKA, 2014; WSA, 2016).

Türkiye'nin demir-çelik ithalat ve ihracat parasal değerleri incelendiğinde ihracat değerinin yıllara göre 21 ila 23 milyar TL arasında değiştiği, bir yıl ihracat değeri artarken diğer yıl azaldığı dikkat çekmektedir (Şekil 3.7). İthalat değeri ise 2011 yılından 2015 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak %60 oranında artış göstermiştir.



Kaynak: (TÜİK, 2016)

Şekil 3.7 Türkiye'nin demir-çelik ihracat ve ithalat değerleri (Milyar TL)

Çelik üretiminde ana hammaddeler olan cevher ve hurda fiyatlarındaki yükselme çelik üreticilerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle hurda fiyatlarının nihai ürün fiyatlarına yaklaşması, çelik üreticisinin rekabet gücünü zayıflatmaktadır. Gerek ülkemizin hurda bağımlılığının azaltılması, gerekse sektörün fiyat ve kalite rekabetçiliğinin kazandırılması için cevherden üretim yapan teknolojilere yatırım yapılması gerekli görülmektedir. Zaman içinde düşük yatırım maliyetleriyle yumuşak geçiş yapabilmek için de cevherden üretilecek sıcak ham demirin EAO şarj edilmesiyle hem hurda ihtiyacı azaltılabilecek, hem de EAO elektrik enerji ihtiyacı azaltılabilecektir.

1951 yılında Almanya, Fransa, İtalya, Belçika, Hollanda, Lüksemburg arasında imzalanan Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT) Antlaşması ile Ortak Pazar çelik ve kömür sektörlerine ilk kez tesis edilmiş ve ekonomik büyümenin sağlanması, istihdamın artırılması ve üye devletlerdeki yaşam standardının artırılması amaçlanmıştır. Antlaşmanın imzalanmasıyla üye devletler arasında çelik sanayinde ortak pazar ile uyumsuz tüm uygulamalar kaldırılmış ve yasaklanmıştır. Bu durum sektörün yeniden yapılanma sürecinin yönetimine katkı sağlanmıştır. 1980'lerdeki yeniden yapılanma çalışmalarının ardından, demir-çelik sektörüne yönelik devlet yardımları, özelleştirme sürecine ve devletin sektör üzerindeki kontrolünün kaldırılmasına paralel olarak AB ülkelerinde kademeli olarak kaldırılmıştır. Bu süreçte sektör, piyasa odaklı bir sanayiye dönüşmüştür. Verimsiz tesisler kapatılmış ve yeni teknolojilere yatırımlar yapılmıştır (ISO, 2012).

AKÇT Antlaşması, 23 Temmuz 2002'de geçerliliğini yitirmiş olsa da çelik sektöründeki ortak pazar ve rekabet ortamının muhafaza edilmesi için alınan önlemler, yukarıda bahsi geçen nedenlerle, AKÇT sonrası süreçte de, AB mevzuatı kapsamında devam etmektedir (ISO, 2012).

AB mevzuatı, bölgesel kalkınma, Ar-Ge ve inovasyon, iklim değişikliği ile mücadele ve çevrenin korunması, zor durumdaki firmaların yeniden yapılandırılması ve kurtarılması, KOBİ'lerin desteklenmesi, istihdamın artırılması ve eğitim gibi alan ve önceliklerle ilgili yardımlar haricinde devlet yardımlarını, Tek Pazar'daki rekabet ortamına zarar verdiği gerekçesiyle, "ilke olarak" yasaklamaktadır. Bununla birlikte, sektörde ilgili bazı düzenleme ve kılavuz ilkeler doğrultusunda, başta Ar-Ge yardımları, küçük ve orta ölçekli işletmelere sırasıyla %15 ve %7,5 oranlarına kadar izin verilen yardımlar (büyük ölçekli münferit

yardımlar hariç), “de mini-mis” kategorisine giren küçük yardımlar, eğitim ve istihdam yardımları olmak üzere belirli yardım türlerine izin verilebilmektedir (ISO, 2012).

Demir-çelik sektörüne ilişkin hususlar, Türkiye ile AB arasında, 1996 yılında AKÇT ile Türkiye arasında imzalanan Serbest Ticaret Anlaşması (STA) kapsamında sürdürülmeye devam etmektedir. Anlaşma, ilk aşamada, Türkiye ile AB arasındaki demir-çelik dış ticaret açığının kapatılmasına katkıda bulunmuş; fakat sonraki yıllarda dış ticaret açığımızın yeniden artmasına ve sektörün büyüme hızınınn sınırlanmasına sebebiyet vermiştir. AKÇT ile Türkiye arasındaki Serbest Ticaret Anlaşması’nın, bütün bu olumsuz etkileri ortadan kaldıracak bir çerçevede, revize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (ISO, 2012; KB, 2014).

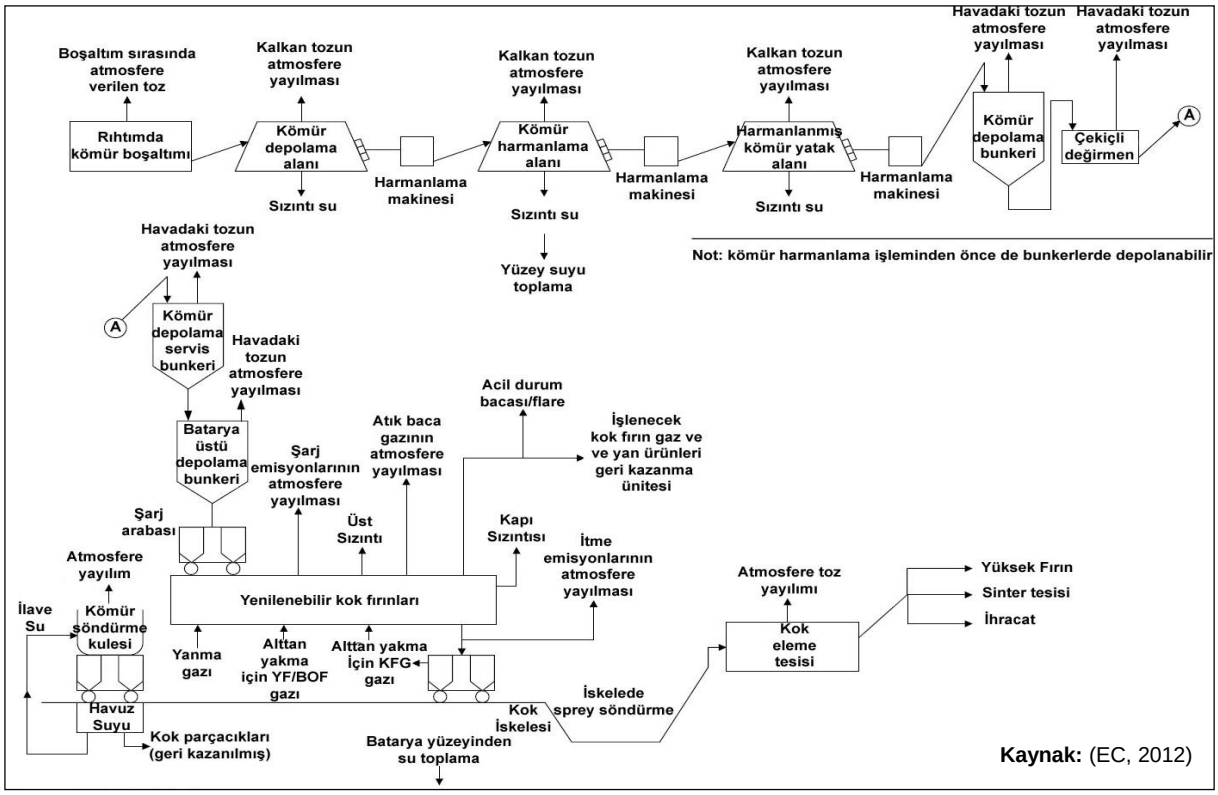
Demir-çelik üreticilerinin en önemli sorunlarından biri yan ürün-atık ayrımının net olmaması nedeniyle çelikhane cürufunun başka bir ürünün üretilmesinde girdi olarak kullanılamamasıdır. Çelikhane cürufları mevzuatta tehlikesiz atık olarak tanımlanmasına rağmen bu cürufların depolanmaları için özel önlemler alınması öngörülmüştür. ABD, AB ülkeleri ve diğer gelişmiş ülkelerde demir-çelik izabe cürufları atık tanımından çıkarılarak sadece yan ürün olarak kabul edilmekte ve yoğun olarak ekonomiye kazandırılmaktadır. İdari ve hukuki düzenlemeler kapsamında yan ürün-atık ayrımının net olmaması cürufun ülkemizde simbiyoz olanakları dahilinde kullanılmasını engellemektedir. Bu nedenle söz konusu alanı kapsayan mevzuata yönelik düzenlemelerin yapılması önem teşkil etmektedir (BSTB, 2014). Bununla birlikte cüruf içerisindeki demir oksit, geri kazanım tesislerinde de ayrılmadığından, geri kazanımdan çıkan malzeme çimento üretimine verilememektedir. Demir-çelik üreticileri için, sektörün önemli bir problemi olan cürufa yönelik farklı kullanım alanları yaratılması önemli bir ihtiyaçtır. Cüruf ile benzer olarak, tufalin de mevzuatta yan ürün olarak tanımlanması, tekrar kullanılabilirliği açısından önemli bir konudur.

4 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜ ÜRETİM PROSESLERİ

4.1 Entegre Tesisler

4.1.1 Kok Üretimi

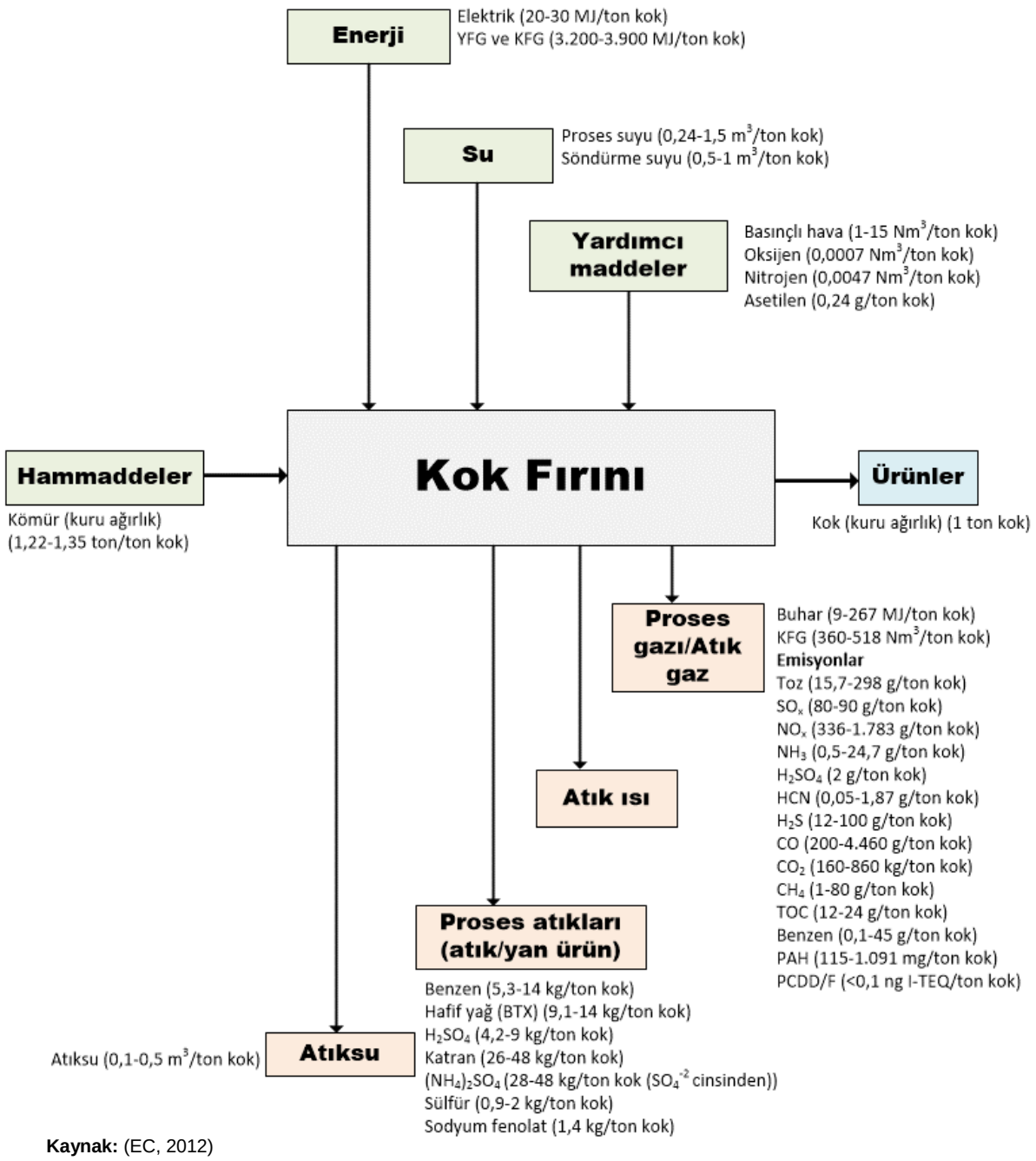
Kok üretim aşamalarını; kömür taşıma ve hazırlama, şarj, ısıtma/ateşleme, koklaştırma, kok itme, kok söndürme, kok taşıma ve hazırlama, kok fırın gazının temizlenmesi ve kullanımı ile ısı geri kazanımı işlemleri oluşturmaktadır. Kok fırını tesislerine ilişkin akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.1 Kok fırını tesisine ilişkin akım şeması

Entegre demir-çelik fabrikasındaki bir kok fırını tesisinin girdi ve çıktılarının ton kok başına spesifik değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 1 ton kok üretimi için yaklaşık 1,22-1,35 ton kömür (kuru ağırlık), 20-30 MJ elektrik enerjisi, 3200-3900 MJ YFG ve KFG, 0,24-1,5 m^3 proses suyu, 0,5-1 m^3 söndürme suyu ve 1-15 Nm^3 basınçlı havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Basınçlı hava dışında nitrojen, oksijen ve asetilen de yardımcı hammadde olarak prosese beslenmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.2 Kok fırını tesisi kütle akışı

4.1.1.1 Kömür Taşıma ve Hazırlama

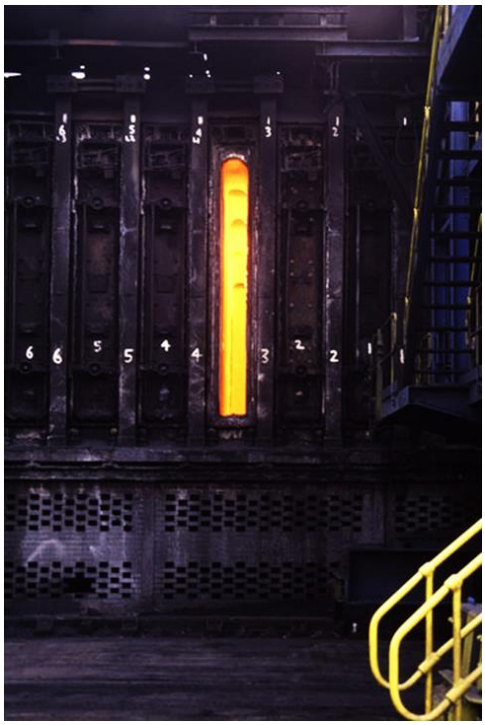
Kok üretiminde ilk olarak koklaşabilir kömür (taş kömürü), tesis alanına getirilerek büyük depo alanlarında depolanır. Depo alanına getirilen kömür daha sonra bant konveyörler yardımıyla kırıcıya gönderilir. Burada kömür, %80-90'ının boyutu 3,2 mm'den küçük olacak şekilde kırılarak silolara gönderilmektedir. Silolara alınan farklı özellikteki kömürler, her bir silonun altındaki otomatik oranlayıcı kantarlar ile harmanlanarak bant konveyörler yardımıyla kok bataryalarının üstlerinde bulunan kömür kulesine sevk edilir (EC, 2012).

4.1.1.2 Kok Bataryaları

Kok bataryalarında gerçekleştirilen işlemler genel olarak kömür şarjı, yanma odalarının ısıtılması/ateşlenmesi, koklaştırma, kok sıkıştırma ve söndürme şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Kok bataryalarında ilk olarak kömür, kömür kulelerinden batarya içine şarj arabası ile aktarılır. Bir sonraki aşamada kamaralara beslenen kömür harmanları içindeki uçucunun alınması amacıyla yüksek sıcaklıkta ve havasız ortamda, refrakterle örülmüş kok kamaralarında işleme tabi tutulur. Kamaralarda yakıt olarak genellikle temizlenmiş kok fırın gazı (KFG) kullanılmakta olup, bazı uygulamalarda zenginleştirilmiş yüksek fırın gazı (YFG) gibi diğer gazlar da kullanılabilmektedir (EC, 2012).

Koklaştırma işleminin tamamlanması ile birlikte elde edilen kok, itici yardımıyla kok fırınından söndürme arabalarına itilir. Şekil 4.3'te kok boşaltma işlemi sonrasında kok kamarasının içi görülmektedir.



Kaynak: (Allen, 2016)

Şekil 4.3 Bir kok kamarasının boşaltma işleminden sonraki görünümü

Koklaştırma sürecinde oluşan KFG, kömürün nem oranına bağlı olarak bir miktar nem ve yaklaşık olarak %25 oranında uçucu madde içermektedir. İçeriğindeki hidrojen, metan, karbonmonoksit ve hidrokarbonlar sebebiyle yüksek kalorifik değerdeki ham KFG dikey baca ile ana kolektörde toplanır. Koklaştırma işlemi; kömürün ısıtılması ve merkez sıcaklığının 1000-1100°C'ye erişmesi amacıyla kok fırınında bekletilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Fırın genişliği, kömür özellikleri, nem miktarı, istenilen kok kalitesi ve ısıtma koşullarına bağlı olarak, koklaştırma işlemi 14-28 saat arası sürmektedir. Genel olarak kok üretim verimi 700-800 kg kuru kok/ton kuru kömür olarak, KFG üretimi ise 140-200 kg KFG/ton kuru kömür olarak gerçekleşmektedir (EC, 2012).

Söndürme işlemi kulelerde kuru veya sulu olarak gerçekleştirilebilmektedir. Sulu söndürme işleminde söndürme arabaları vasıtasıyla kuleye taşınan kok, üzerine büyük miktarda su spreylenerek 1100°C'den 80°C'ye soğutulur (Şekil 4.4). Kuru söndürme işleminde ise spreyleme arabası sıcak koku, etrafında inert gaz sirkülasyonu olan dikey spreyleme haznesine taşımaktadır. Bu şekilde atmosfer havasından izole edilmiş ortamda kokun yanmadan soğuması sağlanmaktadır. Isınan gaz, daha sonra enerji verimliliği sağlanması amacıyla bir ısı değiştirici vasıtasıyla soğutulmaktadır (EC, 2012).

Kaynak: (Murray, 2016)

Şekil 4.4 Söndürme kulesi-sulu söndürme

4.1.1.3 Kok Hazırlama

Söndürme işlemi ile soğutulan kok depo alanına taşınır ve kullanılacak prosese uygun olacak şekilde kırma ve eleme işlemlerinden geçirilir. Genellikle küçük parçalar (<20 mm) sinterleme aşaması için ayrılırken, büyük parçalar (20-70 mm) yüksek fırında kullanılmaktadır (EC, 2012).

4.1.1.4 Kok Fırın Gazının Kullanımı

Entegre demir-çelik tesislerinde kok üretimi sırasında bataryalarda üretilen Kok Fırın Gazı (KFG), iki farklı yöntemle değerlendirilebilmektedir. İlk yöntemde, koklaşma sırasında kok bataryalarından çıkan ham KFG, yan ürün tesislerinde torbalı filtreler ve yıkayıcılı filtreler yardımıyla temizlenir. Temizleme işlemi sırasında katran, benzol, ksilol ve amonyum sülfat gibi ekonomik olarak değerli yan ürünler elde edilmektedir. Bu yan ürünlerden ayrıştırılmış KFG, daha sonra kok bataryaları, yüksek fırın sobası ve yüksek fırında yakıt olarak, sinter tesislerinde tutuşmayı sağlamak için, tav fırınlarında ısıtmada ve güç santrallerinde elektrik gücü üretiminde kullanılır. Isı geri kazanım süreci olarak da adlandırılan ikinci yöntemde ise ham kok fırın gazı doğrudan kaynağında (fırında) uygun miktarda hava ile birlikte yakılır. Bu aşamada elde edilen ısı, kok üretimi aşamasında kullanılabildiği gibi, enerji fazlası olması durumunda buhar ve/veya elektrik üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. KFG'nin kullanımı açısından uygulanabilecek bir diğer yöntem ise KFG'nin metanol, hidrojen gibi çeşitli kimyasalların üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesidir (EC, 2012).

Kok Fırın Gazının Toplanması ve Yan Ürünlerin Geri Kazanımı

Koklaştırma süresi ve kömür bileşimine bağlı olarak değişmekle birlikte, KFG bileşiminde hidrojen, metan, karbonmonoksit ve hidrokarbonların yanı sıra katran, hafif yakıtlar (çoğunlukla benzen, toluen ve ksilen-BTEX), kükürt ve amonyak gibi değerli ürünler bulunmaktadır. Temizleme aşamasında katran ve naftalin, borular ve ekipmanlarda tıkanmaya neden olabilecekleri için öncelikli olarak ayrılmalıdır. Kükürt bileşenleri ve amonyak ise borular ve ekipmanlarda korozyona sebep olurken, ayrıca KFG'nin yakıt olarak kullanılması durumunda SO_2 emisyonu oluşturabilmektedir (EC, 2012).

Kok Fırın Gazının Soğutulması

Dikey bacalara yaklaşık olarak 1000°C'de giriş yapan KFG, deveboynu bölümünde amonyak çözeltisi püskürtülmek suretiyle yaklaşık olarak 80°C'ye düşürülmektedir. Bu aşamada koklaştırılacak her bir ton kömür için 2-4 m^3 aralığında amonyak çözeltisi tüketilmektedir. Bu proseste oluşan sıvı akımı katran-su ayrıştırıcısına iletilmektedir. Gaz faz ise açık ya da kapalı sistem soğutuculara iletilir. Soğutma ile yüksek kaynama noktasına sahip bileşenler ve gaz içerisinde bulunan su kondense olurken, oluşan damlacık ve partiküller elektrostatik katran çöktürücülerde giderilmektedir. Buradan elde edilen çökelti katran-su ayrıştırıcısına iletilmektedir. Gaz faz ise aspiratör sistemleri ile temizleme ünitelerine yönlendirilir. Ancak bu aşamada çekiş etkisi ile ısınan gazın doğrudan veya dolaylı prensiplere dayalı olarak çalışabilen son soğutma aşamasından da geçirilmesi gerekliliği oluşmaktadır (EC, 2012).

Kok Fırın Gazından Katran Geri Kazanımı

Kok fırın gazının soğutulması aşamasında su ve yüksek kaynama noktasına sahip hidrokarbonların önemli bir kısmı kondense olmaktadır. Bu noktada oluşan sıvı akımı borulardan ve elektrostatik katran çöktürücülerden geçirilmek suretiyle katranın geri kazanıldığı katran/su ayrıştırıcısına iletilmektedir. Bu aşamada kömürlü su olarak adlandırılan sıvı faz ayrılarak, daha ileri artıma için amonyak sıyırıcı ünitesine iletilmektedir (EC, 2012).

Kok Fırın Gazının Desülfürizasyonu

Desülfürizasyon teknikleri KFG içerisinde bulunan hidrojen sülfürün (H_2S) giderimi açısından yüksek verim sağlamakta iken, KFG bileşiminde yer alan organosülfür bileşiklerinin (karbon disülfat-CS_2, karbon oksisülfat-COS) temizlenmesinde daha düşük verim elde edilmektedir. Desülfürizasyon amacıyla ticari olarak, yaş oksidasyon prosesi ile elementel kükürt üretimi (S^0) veya absorpsiyon ve sıyırma prosesi sülfürik asit (H_2SO_4) ve elementel kükürt üretimi (S^0) olmak üzere iki farklı proses kullanılabilmektedir (EC, 2012).

Tüm yaş oksidasyon proseslerinde indirgeme-oksidasyon katalizörü kullanılmaktadır. Bu prosesler ile >%99,9 verimde, 1-10 mg/Nm^3 seviyesinde H_2S konsantrasyonuna ulaşılması sağlanmaktadır. Ancak sistemin en önemli dezavantajı yüksek miktarda kirlilik içeren atıksu ve hava emisyonlarına sebep olmasıdır. Öte yandan absorpsiyon temelli proseslerin verimleri oldukça düşüktür (<1000 mg/Nm^3 H_2S konsantrasyonu). Ancak diğer yöntemin aksine hava ve katalizör kullanılmaması nedenleriyle bu sistemin su ve hava emisyonlarına katkısı daha düşüktür (EC, 2012).

Kok Fırın Gazından Amonyak Geri Kazanımı

Koklaştırma aşamasında oluşan amonyağın bir kısmı kok gazında kalırken, yaklaşık %20-30 kadarlık bir kısmı da kondensat içerisinde kalmaktadır. Kok gazından kalan amonyağın ayrıştırılması amacıyla amonyak/hidrojen sülfür (NH_3/H_2S) ile yıkama ve amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$) geri kazanımı olmak üzere iki farklı proses söz konusudur. Carl Stil, Diamex veya Amonyum Sülfat Kreislaufwascher (ASK) prosesi olarak da adlandırılabilen amonyak/hidrojen sülfür (NH_3/H_2S) ile yıkama prosesinde kok gazı içerisindeki amonyak, su veya seyreltik çözelti ile yıkanarak giderilmektedir. Amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$) geri kazanımı yönteminde ise seyreltik sülfürik asit çözeltisi ile yıkama esasına dayalı Otto-tip absorplama ve Wilputte düşük diferansiyel kontrollü kristalleştirme prosesleri ile fosforik asit ile ters akımlı yıkama esasına dayalı USS PHOSAM susuz amonyak geri kazanım prosesi olmak üzere iki farklı proses kullanılabilmektedir (EC, 2012).

Kok Fırın Gazından Hafif Yağların Geri Kazanımı

Kok fırın gazı içeriğinde yer alan 0-200°C kaynama noktası aralığında bulunan ve genellikle benzen (%60-80), toluen (%6-17), ksilen (%1-7) ve solvent nafta (%0,5-3) kompozisyonuna sahip hafif yağların geri kazanımı amacıyla üç farklı metot kullanılabilmektedir. Bunlar;

- 70°C'den düşük sıcaklıkta 10 hPa basınçta soğutma ve sıkıştırma,
- Aktif karbon yatağı içinden geçirilmek suretiyle ile absorplanma ve doğrudan veya dolaylı ısıtma yolu ile desorpsiyon,
- Petrol yıkama yağı, kömür-katran karışımı veya diğer solventler ile yıkanmak suretiyle absorplanma ve buharlı distilasyon yöntemi ile desorpsiyondur (EC, 2012).

4.1.1.5 Kok Fırını ve Yan Ürünler Tesislerinden Kaynaklanan Su Akımları

Bir kok fırını tesisinde oluşabilecek su akımlarından bazıları şu şekildedir:

- Benzen, toluen ve ksilen (BTEX) geri kazanımında oluşan ve katran/su ayrıştırıcısına iletilen atıksu,

- Kömürlü suda bulunan fenolün (konsantrasyonu >3 g/L) amonyak çözelti depolama tankına gönderilmeden önce solvent ekstraksiyon prosesi ile geri kazanılması ile oluşan akım,
- Oksidatif desülfürizasyon sürecinde oluşan ve ön artıma sonrası ayrı olarak deşarj edilen atıksu,
- Sülfürik asit tesisinde oluşan ve genellikle kolona iletilen kimyasal su,
- Claus prosesinde oluşan ve genellikle yoğunlaşmayacak olmasına rağmen bir baca yoluyla atmosfere atılan ya da alternatif olarak arıtma öncesinde ham gaz içerisine enjekte edilen kimyasal su,
- Sirkülasyonu yapılan ve atıksu miktarını etkilemeyen kapalı gaz soğutma suyu (gazın doğrudan soğutulması durumunda ise soğutma suyu bir yıkama çözeltisi olarak düşünülmekte ve kolona yönlendirilmektedir).

Genel olarak kapalı soğutma sistemleri ve yaş oksitleyici desülfürizasyon sistemleri haricinde toplanan tüm atıksu, amonyak tutma kolonuna ve daha sonra da atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Amonyak tutma kolonunda toplanan atıksuyun amonyak konsantrasyonu oldukça yüksektir. Amonyağın amonyum sülfat veya susuz amonyak olmak üzere değerli bir yan ürün olarak elde edilebilmesi, serbest amonyağın suda yaşayan ekosistem açısından toksik olması ve amonyağın atıksuda bulunan oksijeni tüketme tehlikesi gibi çeşitli nedenlerle birçok tesiste bu atıksu, amonyak sıyırıcı ünitelerinde buhar ve alkali katkı maddeleri kullanılarak muamele edilmekte ve H_2S ve NH_3'ün ayrıştırılması sağlanmaktadır (EC, 2012).

4.1.2 Sinter Üretimi

Yüksek fırın prosesi için girdilerin fiziksel ve metalurjik kompozisyonunun uygun olması, fırın geçirgenliğini ve indirgeme kapasitesini artırmaktadır. Sinter; demir cevheri, kok ve kireç ile birlikte yüksek fırına beslenen girdiler arasındadır. Sinterleme prosesinin amacı; belirli bir tane boyutunun altındaki cevher veya kireç taşı, MgO içerikli dolomit, dünit, manyezit, olivin gibi yardımcı hammaddeler ile geri kazanılmış sinter tozu, tufal gibi toz halindeki taneciklerin, tutuşmayı sağlayan kok tozu ve antrasit ile birlikte yüksek sıcaklıkta dış yüzeylerinin ergitilerek birbirine yapışmasının sağlanması ile yüksek fırına beslenebilecek büyüklüğe getirilmesidir. 25 µm altı girdiler yüksek fırında tıkanıklıklara ve hava akışının engellenmesine neden olmaktadır (EC, 2012).

Kaynak: (MATİL, 2016)

Şekil 4.5 Sinter yatağı ve tutuşturma başlığı

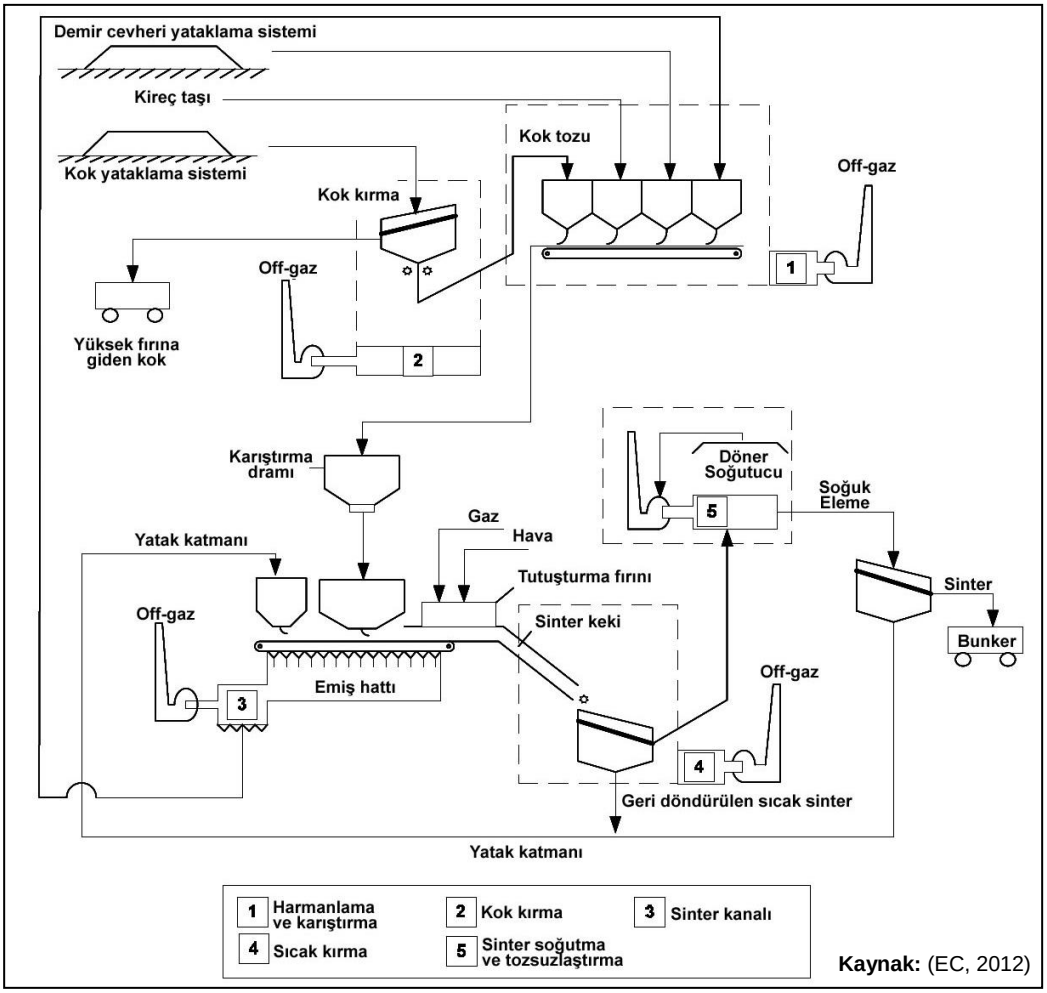
4.1.2.1 Hammaddelerin Karıştırılması ve Harmanlanması

Hammaddelerin sinterleme prosesinden önce cevher harmanlama sahasında serilerek harmanlanması gerekmektedir. Bazı cüruf yapıcı malzemeler, diğer geri kazanılabilen atık malzemelerle birlikte bu alanda serilerek harmanlanır. Genellikle, tozlaşmayı önlemek amacıyla sahanın en üst tarafına daha büyük malzemeler serilmektedir. Sinter elemeden gelen sinter (<5 mm civarındaki parçacıklar), yüksek fırınlardaki gaz temizlemeden gelen kireç, olivin, toplanan toz ve haddehane tufali gibi toz halindeki malzemeler de harmanlama sahasına getirilir. Sinterleme prosesi için en uygun yakıt kok tozudur (<5 mm). Kok tozu genellikle kok tesislerinden temin edilir ve silolarda depolanır. Bazı durumlarda, yakıt olarak antrasit de kullanılabilmektedir. Sinterleme prosesinin ilk aşamasında cevher harmanlama sahasından gelen malzemeler ve kok tozu konveyör bantlarda tartılarak bir karıştırma tamburuna yüklenir. Burada, tüm hammaddeler tamamen harmanlanmakta ve karışım sinter yatağının geçirgenliğini artırmak amacıyla nemlendirilmektedir. Harmanlama ve karıştırma işlemi yapılan kısımlarda toz toplama ve gaz temizleme sistemleri mevcuttur (EC, 2012).

4.1.2.2 Sinterleme Prosesi

Sinterleme sırasında cevher içindeki kükürt, arsenik ve nem fazlalığı, mamul çelikte kırılmalara neden olabileceğinden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Sinterleme sırasında nemin uzaklaşması, demir oksitlerin yüksek sıcaklıklarda metalik demire indirgenmesi, kokun yanması ve nemin buharlaşması ile kavis ve kanalların oluşması gibi pek çok reaksiyon ve işlem sinter yatağında (Şekil 4.5) gerçekleşmektedir. Sinterlenerek yüksek fırına gönderilen harmanlanmış malzeme, geçirgenliği ve indirgenebilirliği artırdığı için yüksek fırın verimini, ham cevhere oranla artırmaktadır. Elde edilen sinter elendikten ve tartıldıktan sonra tane boyutu 10-20 mm arasındaki malzeme, yatak malzemesi olarak serilir. 10 mm altındaki malzeme ise sinterlenmek üzere sürece geri döndürülür. 25 mm üzerinde olan malzeme ise yüksek fırına girdi olarak gönderilir (EC, 2012; Buonicore, ve diğerleri, 1992).

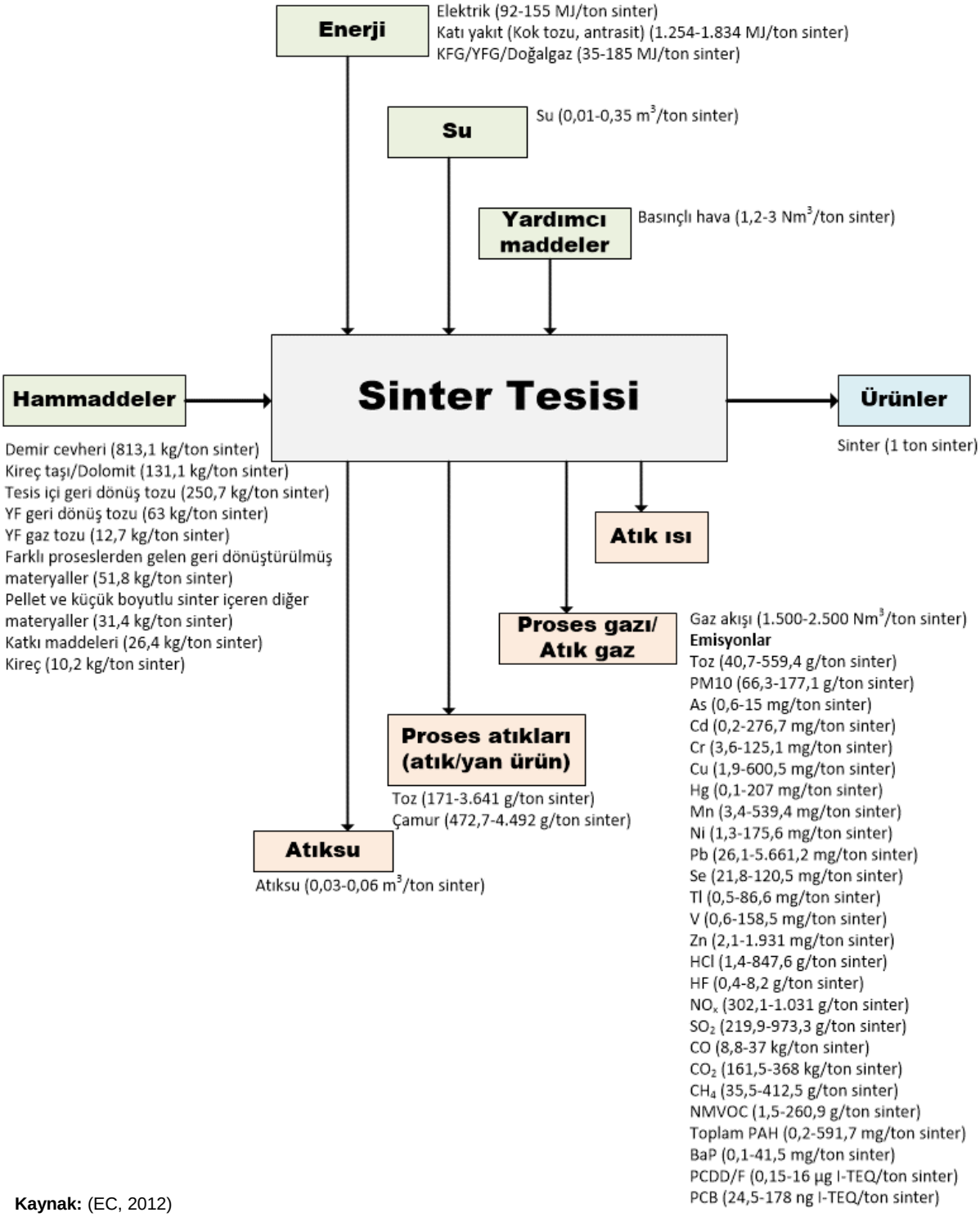
Şekil 4.6'da her bir proses adımı detaylı gösterilen sinterleme işlemi; cevher harmanı ve kok tozu karışımının nemlendirildikten sonra sinter yatağına serilmesiyle birlikte sinter ocağından geçerken içerisindeki kok gazının tutuşturulması ile gerçekleşir. Yanma nedeniyle açığa çıkan gaz, sinter yatağı boyunca yatağın alt kısmında bulunan güçlü fanlar ile toplanır. Bu işlem aynı zamanda yüzeyde başlayan tutuşmanın derinlere inmesini sağlar. Bu şekilde toz halindeki malzemenin sinterlenmesi ve gözenekli yapıda klinker oluşumu için gerekli sıcaklıklara (1300-1480°C) ulaşılmaktadır. Toplanan sinter gazı sinterleme prosesi sırasında tekrar kullanılabilmektedir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.6 Sinter tesisine ilişkin akım şeması

Entegre demir-çelik fabrikasındaki bir sinter tesisinin girdi ve çıktılarının ton sinter başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak 1 ton sinter üretimi için hammadde olarak 813,1 kg demir cevheri, 131,1 kg kireç taşı/dolomit, 250,7 kg tesis içi geri dönüşüm tozu, 63 kg YF geri dönüşüm tozu, 12,7 kg YF gaz tozu, 51,8 kg farklı proseslerden gelen geri dönüştürülmüş materyaller, 31,4 kg pelet ve küçük boyutlu sinter içeren diğer materyaller, 26,4 kg katkı maddeleri ve 10,2 kg kireç kullanılmaktadır. Proseste kullanılan enerji kaynağı ise 1 ton sinter üretimi için 92-155 MJ elektrik enerjisi ve 35-185 MJ KFG/YFG/Doğalgaz'dır. Prosese ton sinter başına 0,01-0,35 m^3 su ve 1,2-3 Nm^3 basınçlı hava beslenmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.7 Sinter tesisi kütle akışı

4.1.2.3 Sıcak Sinter Eleme ve Soğutma

Soğutma bandının sinter yatağına entegre olmadığı birçok durumda, sinter banttan dökülür, kırılıp sıcak olarak elendikten sonra soğutma işlemine tabi tutulur. Soğutma işleminin gerçekleştiği döner soğutucu yaklaşık 20-30 m çapındadır. Sinter soğutma atık gazı, sıcak gazların resirkülasyonu ile sinter yatağındaki yakma havasının ve sinter hammadde karışımlarının ön ısıtılması için kullanılabilir. Soğutulan sinter, eleklerden geçirildikten sonra boyutlarına göre tasnif edilerek yüksek fırına iletilmekte veya sinterleme prosesine geri gönderilmektedir (EC, 2012).

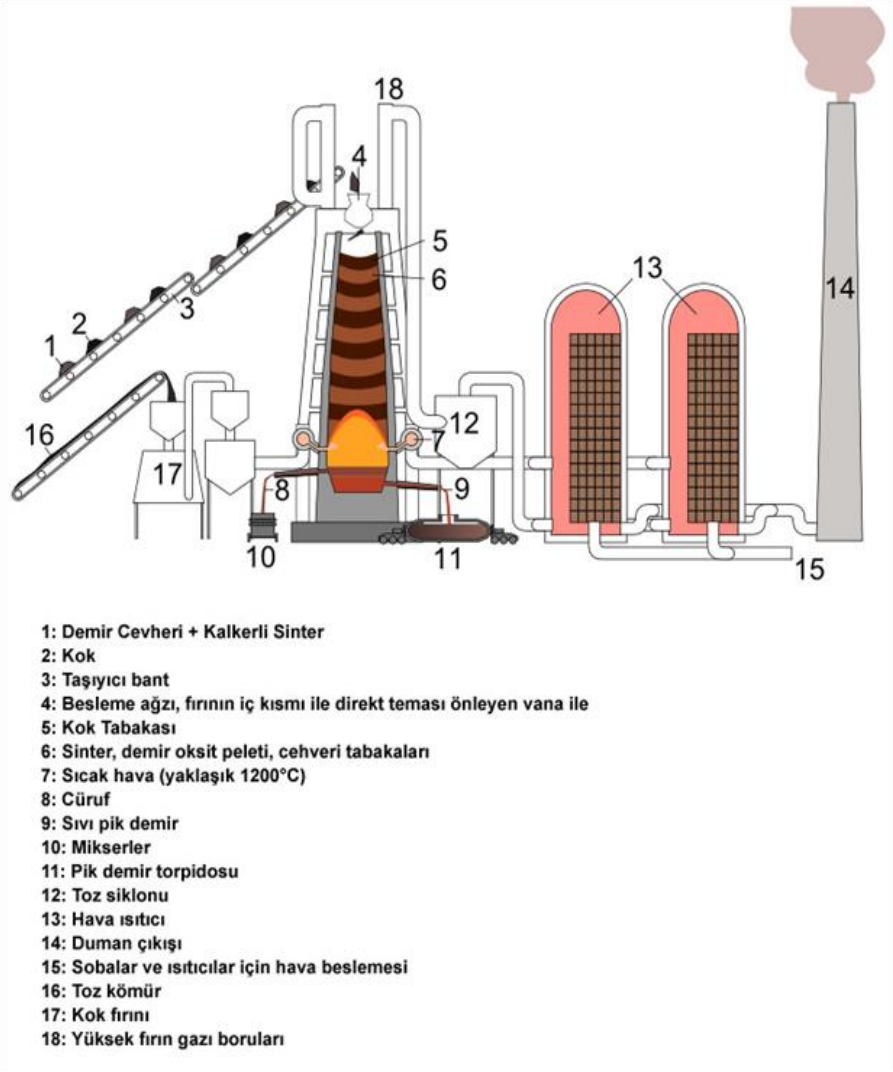
4.1.3 Yüksek Fırınlar

Yüksek fırınlarda tüketilen demir cevherinde bulunan çoğunlukla hematit (Fe_2O_3) ve az miktarda manyetit (Fe_3O_4) bileşenleri gittikçe daha çok indirgenerek demir oksidi (FeO), sonrasında da kısmi olarak katı demirin indirgenmiş ve karbonlanmış halini oluştururlar. Yüksek fırın harmanı aşağı doğru hareket ederken, harmanın sıcaklığı artar. Böylelikle indirgenme reaksiyonlarının ve cürufun oluşumu kolaylaşır. Bu sırada harmanda bir dizi içerik değişimi gerçekleşir:

- Harman içerisindeki demir oksit gittikçe daha çok indirgenir (sünger demir ve son olarak erimiş sıcak metal oluşur).
- Demir cevherinin içerisindeki oksijen, kok veya karbonmonoksit ile reaksiyona girer, karbonmonoksit veya karbondioksit oluşturur. Bu gazlar yüksek fırının tepesinde toplanır.
- Gang içerikleri eritkenler ile birleşerek cüruf oluştururlar. Bu cüruf yoğunluğu metalden düşük olan kompleks bir silikat karışımıdır.
- Kok öncelikle indirgeyici fakat aynı zamanda yakıt olarak kullanılır. Yüksek fırını, karbonmonoksit, karbondioksit ve sıcak metal içerisindeki karbon olarak terk eder.
- Ortamda bulunan her hidrojen aynı zamanda su oluşturmak üzere oksijen ile reaksiyona girerek indirgeyici görevi görür.

Yüksek fırınlar, demir cevherinden eriyik halde pik demir üretilen kapalı sistemlerdir. Bir yüksek fırın; üst, gövde, karın, açılı karın, tüyer ve hazne olmak üzere altı sıcaklık bölgesine ayrılmaktadır. Tüyer bölgesinden verilen yüksek hızlı sıcak hava sobalardan sağlanır (EC, 2012).

Fırın içerisi refrakter malzeme ile kaplanmıştır. Dış taraftaki metalin sıcaklığa dayanabilmesi için gövde, karın, açılı karın ve tüyer bölgelerinde, metal gövdenin içinde yer alan borulardan su, yağ veya hava geçirilerek soğutma yapılır (EC, 2012). Şekil 4.8'de bir yüksek fırın tesisi şematik olarak gösterilmektedir.

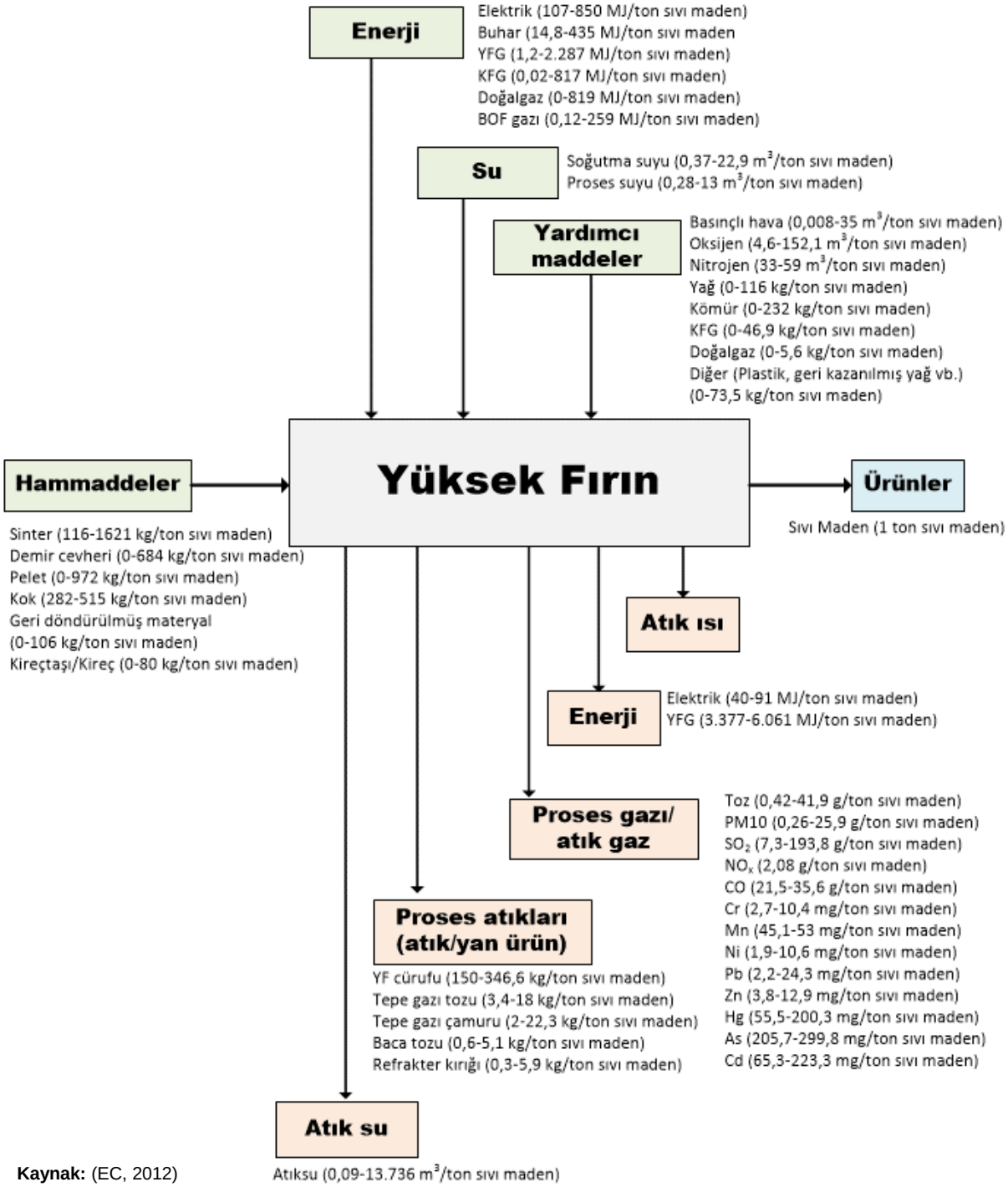


Kaynak: (Wikimedia Foundation, 2008)

Şekil 4.8 Yüksek fırın tesisi şeması

Yüksek fırın tesisinde gerçekleştirilen ana işlemler; harman hazırlama, hammaddelerin beslenmesi ve taşınması, yüksek fırın prosesi, yüksek hızlı sıcak hava üretimi, indirgeyicilerin doğrudan enjeksiyonu, döküm, cüruf soğutma ve işleme aşamalarından oluşturmaktadır (EC, 2012).

Entegre demir-çelik fabrikasındaki bir yüksek fırın tesisinin girdi ve çıktılarının ton sıvı maden başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak 1 ton sıvı maden üretimi için hammadde olarak 116-1621 kg sinter, 0-684 kg demir cevheri, 0-972 kg pelet, 282-515 kg kok, 0-106 kg geri döndürülmüş malzeme, 0-80 kg kireç taşı/kireç kullanılmaktadır. Proseste enerji kaynağı olarak 1 ton sıvı maden üretimi için 107-850 MJ elektrik ve değişken miktarlarda KFG, YFG, BOF gazı ve doğalgazdan kaynaklanan termal enerji kullanılmaktadır. Prosese ton sıvı maden başına 0,37-22,9 m^3 soğutma suyu, 0,28-13 m^3 proses suyu ve 0,008-35 Nm^3 basınçlı hava beslenmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.9 Yüksek fırın tesisi kütle akışı

4.1.3.1 Harman Hazırlama

Demir içeren malzemelerin (demir cevheri molozu, sinter ve/veya peletler) ve katkı maddelerinin (eritken malzemeler) karışımı harman olarak adlandırılmaktadır. Harman hazırlama genel olarak, cevher hazırlama işlemini, sinter tesisinden önce harmanlama işlemini, sinterin taşınmasını, kok ve parça cevherin doğrudan taşınmasını ve yüksek fırın tepe beslemesine kadar bütün harmanlama işlemlerini kapsamaktadır (EC, 2012).

4.1.3.2 Hammaddelerin Beslenmesi ve Taşınması

Harman ve bununla birlikte kok, fırına tepeden, fırın gazlarının atmosfere karışmasını önleyen kapalı bir sistem ile beslenirler. Yüksek fırın iç basıncı atmosferik basınçtan fazla olduğu (2,5 bara kadar) için kapalı bir sistemin kullanılması gereklidir. Fırın içerisindeki basınç, fırının yaşına ve kullanılan hava basıncı gibi diğer şartlara bağlı olarak 0,25 bara kadar düşebilir. Besleme sırasında toz ve yüksek fırın gazı emisyonları oluşabilmektedir (EC, 2012).

4.1.3.3 Yüksek Fırın Prosesi

Pik demir (dökme demir, ham demir), bileşiminde %2'den çok karbon bulunan demir-karbon alaşımıdır. Yüksek fırından elde edilen pik demirde genellikle %4,0-4,5 oranında karbon bulunur. Parça halindeki demir cevheri, sinter, kok ve kireç katmanlar halinde fırının üst bölgesinden, yüksek fırın gazının (YFG) kaçmasını önleyecek bir besleme sistemi ile yüksek fırına beslenir ve oluşan YFG bu bölgeden toplanır. YFG yıkayıcılı filtrelerden geçirilerek ısıtma amaçlı olarak yüksek fırın sobalarında, enerji üretiminde veya fırınlarda kullanılır. Gövdede sıcaklık, sıcak YFG'nin verdiği ısı ile yaklaşık 950°C'ye kadar çıkar. Demir oksit bu bölgede kısmi olarak indirgenmektedir. Karın bölgesinde sıcaklık 950°C'den yaklaşık 1250°C'ye çıkar. Demir oksidin indirgenmesi bu bölgede başlar. Açılı karın bölgesinde kok reaksiyona girmeye devam eder, demir eriyik hale gelir ve cüruf oluşur (EC, 2012).

Kok, indirgeyici olmasının dışında yüksek fırın içinde yığın taşıyıcı bir görev üstlenir. Bu taşıma kapasitesi olmadan yüksek fırının çalışması mümkün değildir. Her bir malzeme fırına şarj edildikten sonra kademe kademe aşağı inerken artan sıcaklık nedeniyle içerdikleri nem uçar, malzemeler ısınır ve reaksiyona girerler. Demir cevherindeki oksijenin kok veya karbonmonoksit ile reaksiyona girmesiyle oluşan karbonmonoksit veya karbondioksit en üstte toplanır. Sıcak havanın sıcaklığı yükseldikçe proses verimi artacağı için karbon (kok) gereksinimi düşer. Sıcaklık tüyer seviyesinde 2000°C'yi geçebilir. Bu seviyede eriyik haldeki pik demir ve indirgenmeyen diğer oksitler, kok külü ve silikatların kompleks karışımından oluşan cüruf damla damla hazneye iner (EC, 2012).

4.1.3.4 Yüksek Hızlı Sıcak Hava Üretimi

Yüksek fırında kullanılan yüksek hızlı sıcak hava, sıcak sobalar tarafından sağlanmaktadır. Sıcak havanın sıcaklığı yükseldikçe karbon gereksinimi düşer. Yüksek hızlı sıcak havanın asıl fonksiyonu kok gazlaştırması için gerekli olan oksijeni sağlayarak, demir oksitlerin indirgenmesini sağlayan gazın üretilmesidir. Sıcak sobalar iç ve dış yanma odasına sahip olmalarına göre ikiye ayrılırlar. Bu farklılık CO_2 emisyonları açısından önemlidir (EC, 2012).

4.1.3.5 İndirgeyicilerin Doğrudan Enjeksiyonu

Demir oksidi işlemek amacıyla yüksek fırında indirgeyici olarak kok, kömür, yağ gazı ve diğer hidrokarbon kaynakları kullanılır. Kok yerine kullanılan indirgeyiciler yüksek fırınlara tüyer seviyesinden doğrudan enjekte edilir (EC, 2012; Buonicore, ve diğerleri, 1992)

4.1.3.6 Döküm

Cürufun yoğunluğu pik demirinkinden düşük olduğu için cüruf üstte kalarak pik demirden ayrılmaktadır. Bu yoğunluk farkı sayesinde, hazneye açılan delikten, önce altta kalan pik demir, daha sonra da üst kısımdaki cüruf farklı torpidolara alınarak işlenmesi için sırasıyla çelikhane ve cüruf stok alanına gönderilir. Pik demirden sonra yüksek fırından alınan cürufun işlenmesi için, su ile granülleştirme, cüruf peletleme ve cüruf havuzu olmak üzere üç ana teknik mevcuttur (Mihok, ve diğerleri, 2006; EC, 2012).

4.1.3.7 Cüruf Soğutma ve İşleme

Pik demirden sonra yüksek fırından alınan cürufun işlenmesi için, su ile granülleştirme, cüruf peletleme ve cüruf havuzu olmak üzere üç ana teknik mevcuttur. En çok kullanılan teknik (%75) su ile granülleştirme tekniğidir. Bu teknikte eriyik haldeki cüruf, yüksek basınçlı su spreyine dökülür. Cüruf daha sonra su havuzuna düşer, toplanır ve kurutulur. Eriyik cüruf sıcaklığının düşmemesi için bu işlem yüksek fırın yakınında uygulanır. İkinci olarak en çok kullanılan teknik (%23) ise Cüruf Havuzu tekniğidir. Bu yöntemde eriyik haldeki cüruf ince tabakalar halinde, yüksek fırının hemen yakınındaki cüruf havuzlarına dökülür ve açık havada yavaşça soğutularak kristalleşmesi sağlanır (Mihok, ve diğerleri, 2006; EC, 2012).

4.1.3.8 COREX®

Corex, pik demir üretiminde kullanılan ve son 25 yıl içerisinde gelişen modern teknolojilerden bir tanesidir. Yüksek fırınlarla aynı ürünleri üretmesine rağmen üretim karakteristikleri birbirinden farklıdır. Yüksek fırın teknolojisi, 2 milyon ton/yıl ve üzeri üretimlerde en verimli olan yöntemdir. Corex teknolojisi 0,3-1,2 milyon ton/yıl kapasiteli üretimler için tasarlanmıştır (Ziebik, ve diğerleri, 2008).

Corex sistemi iki ayrı reaktör olarak tasarlanmıştır. Demir cevherinin veya sünger demirin indirgenmesi üst (şaft) fırında gerçekleşir. İndirgeyici gaz üretimi ve sünger demirin erimesi, alttaki izabe gazlaştırıcısında (smelting gasifier) gerçekleşir. Corex ile üretilen pik demir ve cüruf YF'de üretilenlerle hemen hemen aynı içerik ve özelliklere sahiptir (Ziebik, ve diğerleri, 2008).

4.1.4 Çelikhane

Bazik oksijen fırınında çelik üretiminin amacı, sıcak metal beslemesindeki istenmeyen safsızlıkların yakılmasıdır. Oksitlerine dönüşen ana elementler karbon, silikon, manganez ve fosfordur. Sıcak metalin ön işlemi esnasında kükürt içeriği oldukça azalır. Buradaki oksidasyon prosesinin amacı;

- Karbon içeriğini istenen seviyeye düşürmek (ortalama %4-5'ten %0,01-0,4'e),
- Proses ve ürün için gerekli bir takım yabancı bileşenlerin oranlarını ayarlamak,
- İstenilmeyen safsızlıkları sistemden uzaklaştırmaktır.

Avrupa Birliği'nde çelik üretiminin 2/3'ü BOF prosesi ile geriye kalan kısım ise elektrik ark ocakları ile yapılmaktadır. Türkiye'de ise bu oran yaklaşık %30'dur. Şekil 4.10'da sıcak metalin şarj edildiği BOF görülmektedir (EC, 2012).

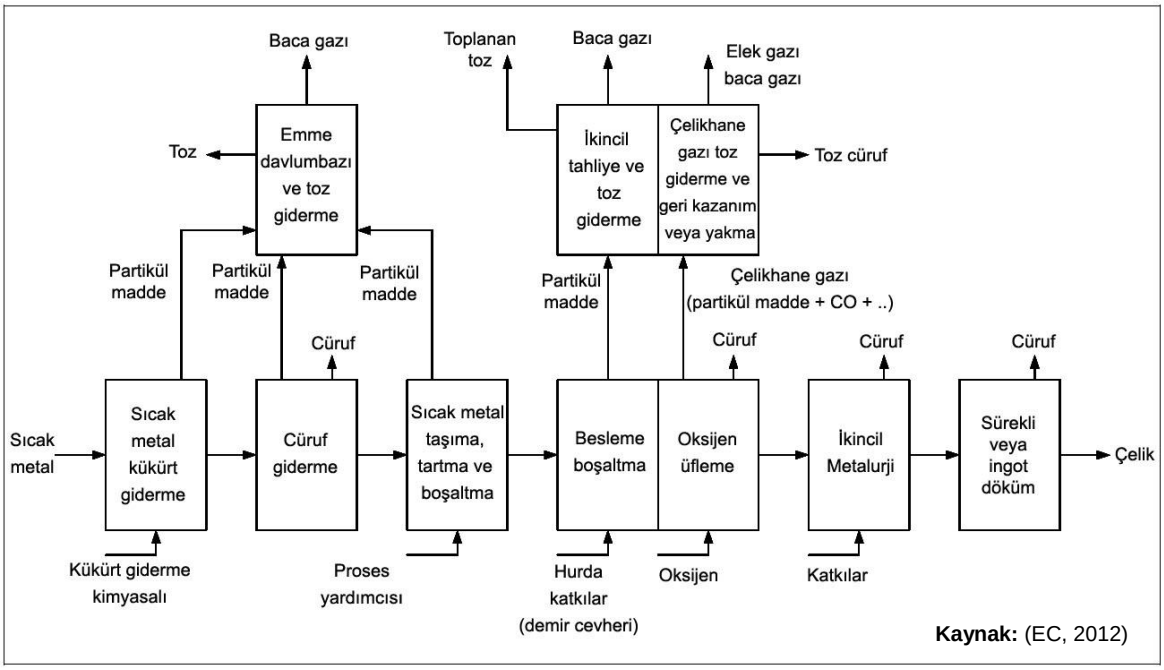
Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.10 Sıcak metalin şarjı esnasında bazik oksijen fırını

BOF ile çelik üretimi kesikli bir proses olup, aşağıdaki adımları içermektedir (Şekil 4.11):

- Yüksek fırından transfer ve deşarj,
- Sıcak metale ön işlem uygulanması (kükürdü ve cürufu alma),
- Aktarma, tartma ve yeniden yükleme,
- BOF'ta oksidasyon prosesi (karbonsuzlaşma ve safsızlıkların oksidasyonu),
- İkincil metalurji uygulama,
- Döküm (sürekli ve/ve ya külçe döküm).

Entegre demir-çelik fabrikasındaki bir bazik oksijen fırını tesisinin girdi ve çıktılarının ton ham çelik başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak 1 ton ham çelik üretimi için hammadde olarak 788-931 kg sıvı maden, 101-340 kg hurda, 0,02-19,4 kg demir cevheri, 0-60 kg diğer demirli materyaller, 0,-0,4 kg kok, 30-67 kg kireç, 0-28,4 kg dolomit, 1,3-33 kg alaşımlar kullanılmaktadır. Proseste kullanılan enerji kaynağı ise 1 ton ham çelik üretimi için doğalgaz, elektrik, KFG, YFG ve buhar kullanılmakta olup spesifik tüketim değerleri sırasıyla; 44-730 MJ, 35-216 MJ, 0-800 MJ, 1,8-17,6 m^3, 13-150 MJ'dür. Prosese ton ham çelik başına 0,8-41,7 m^3 su, 8-26 Nm^3 basınçlı hava, 49,5-70 m^3 oksijen, 0,55-1,1 m^3 argon ve 2,3-18,2 m^3 nitrojen beslenmektedir.



Şekil 4.11 Oksijen ile çelik üretimi akım şeması

4.1.4.1 Sıcak Metalin Taşınması ve Depolanması

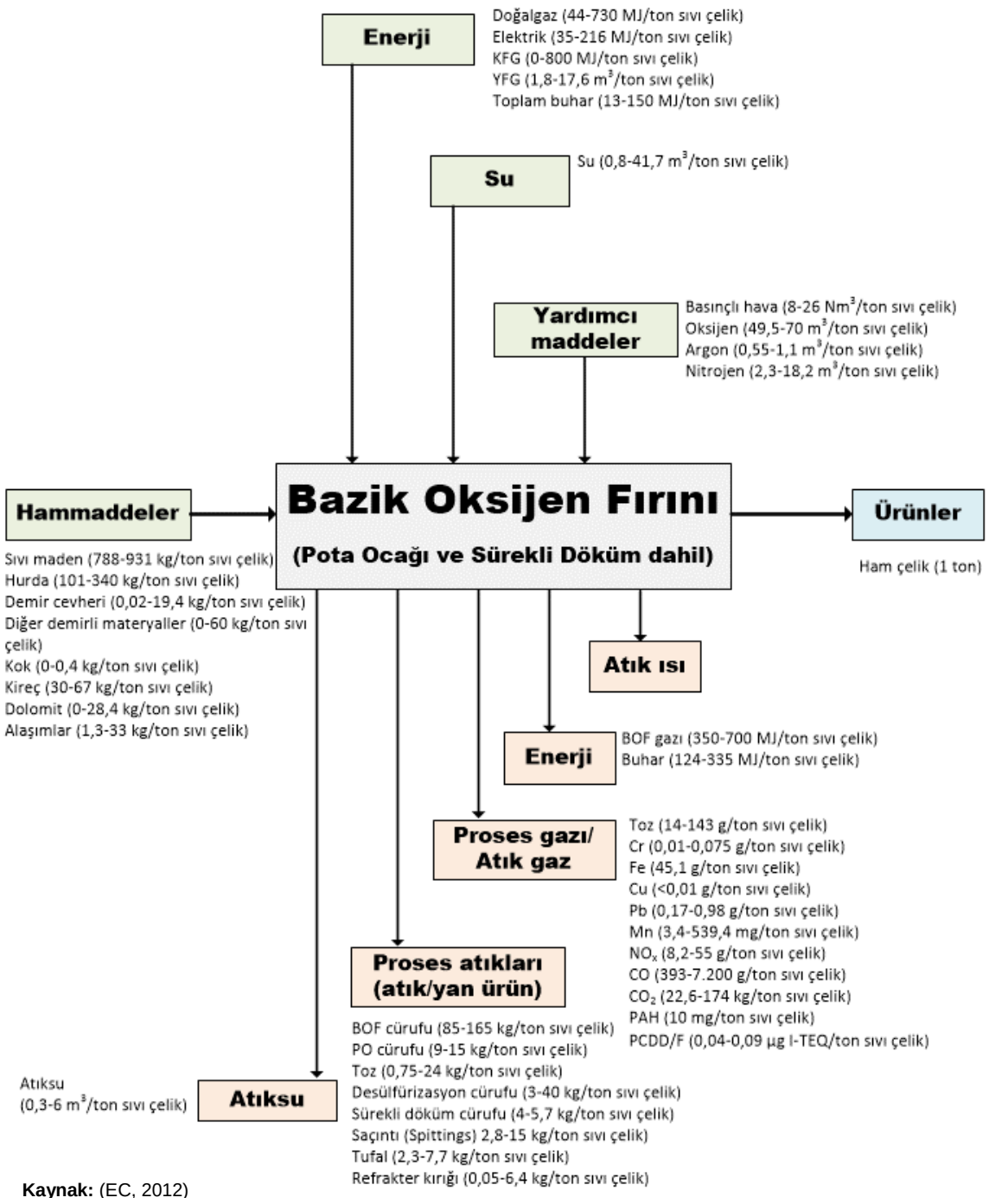
Yüksek fırından çıkan sıcak metal çelikhaneye torpidolar veya potalarla taşınır. Potalar alümina, mülit ve boksit ya da dolomit tuğlalar ile kaplıdır. Sıcak metal üstü açık potalarda taşındığında, mikserlerde depolanır. Mikserler, refrakter tuğla ile kaplı yatayda dönebilen çelik kaplardır. Mikserler yüksek fırın ve çelikhanenin üretim dalgalanmalarını telafi etmek, proses için homojen sıcaklık sağlamak ve yüksek fırınların kimyasal bileşimini eşitlemek için kullanılır (EC, 2012).

Torpidolar raylı bir sistem üzerinde hareket etmektedir. Torpido tasarımı ısı kayıplarını minimize edecek şekilde yapılır. Bu nedenle torpido, sıcak metal mikseri gibi ayrı bir depolama sistemi ihtiyacını ortadan kaldıracak şekilde çalışır (EC, 2012).

4.1.4.2 Sıcak Metale Uygulanan Ön İşlem

Sıcak metale ön işlem uygulanmasının temel amacı yapısındaki silikon, fosfor ve kükürt içeriğini azaltmaktır. Fosfor ve silikon giderimi oldukça maliyetli ve karmaşık proseslerdir. Bu proseslerin kullanımı yüksek fırında kullanılan hammadde ve ürün kalitesine bağlıdır. Konvertere şarj edilecek spesifik kükürt konsantrasyonu %0,001 ve %0,02 arasında değişir ve genellikle sıcak metal kükürt giderme tesisinde kükürt oranı ayarlanır (EC, 2012).

Kükürt giderimi için kullanılan malzeme esas olarak kalsiyum karpit olmasına rağmen kireç, magnezyum, kalsiyum oksit ve nadiren soda külü içeren malzemeler de kullanılmaktadır. Kükürt giderimi için kullanılan malzeme azot ya da kuru hava yardımıyla lanstan sıcak metale üflenir. Cürufa bağlı olan kükürt sıcak metalin yüzeyine doğru çıkar. Cüruf ayırma ünitesinde cüruf sıcak metalden ayrıştırılır ve sonrasında sıvı demir potaya beslenir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.12 Bazik oksijen fırını (çelikhane) tesisi kütle akışı

4.1.4.3 Bazik Oksijen Fırınında Oksidasyon

Bazik oksijen fırınlarında, istenmeyen safsızlıklar oksitlenerek atık gaz ve cüruf vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılmaktadır. Oksidasyon prosesi esnasında gerçekleşen temel kimyasal reaksiyonlar Tablo 4.1'de verilmiştir. Prosese giren malzemelerin erimesi ve ortam sıcaklığının artırılması için gerekli olan enerji ekzotermik oksidasyon reaksiyonları ile sağlanır ve böylelikle ekstra enerjiye ihtiyaç duyulmaz. Diğer taraftan prosesin ısı dengesini sağlamak için hurda ve cevher ilavesi yapılır. Bazı BOF'larda ve birleşik üfleme proseslerinde gaz halindeki hidrokarbonlar (doğalgaz vb.) soğutma amacıyla sisteme enjekte edilir (Tablo 4.1). Bu sayede sıcaklık yaklaşık 1600-1700°C'de tutulur (EC, 2012).

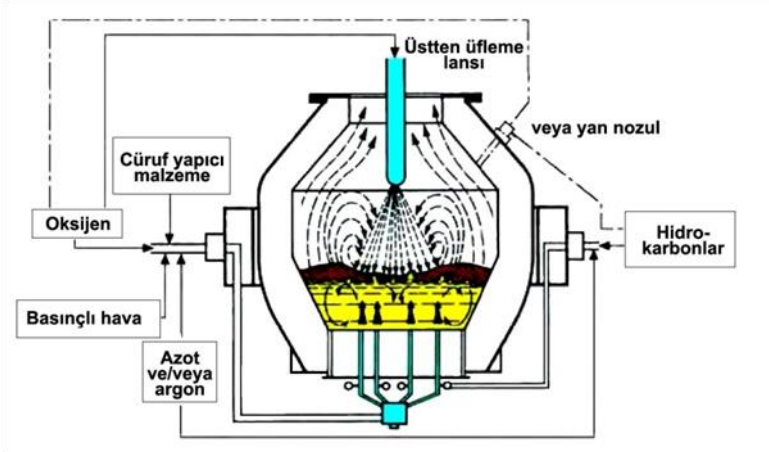
Tablo 4.1 Oksidasyon prosesi esnasında gerçekleşen temel kimyasal reaksiyonlar

Oksitlenme Süreci	Kimyasal Reaksiyon
Karbon Giderme	[C] + [O] ↔ CO (atık gaz)
	[CO] + [O] ↔ CO_2 (atık az)
Oksitlenmesi	
− **Silisyum giderme**	[Si] + 2[O] + 2[CaO] ↔ ($2CaO \cdot SiO_2$)
− **Mangan reaksiyonu**	[Mn] + 2[O] ↔ (MnO)
− **Fosfor giderme**	2[P] + 5[O] + 3[CaO] ↔ ($3CaO \cdot P_2O_5$)
Oksijen giderme	
Ferrosilis ile fazla oksijenin uzaklaştırılması	[Si] + 2[O] ↔ (SiO_2)
Alüminyum reaksiyonu	2[Al] + 5[O] ↔ (Al_2O_3)
[ ] = Sıcak metal içinde çözünmüş **( ) = Cüruf içinde bulunan**	

Kaynak: (EC, 2012).

BOF'un çalışma prensibi yarı-kesikli şeklindedir. BOF prosesi sırasıyla hurda ve eriyik haldeki sıcak metalin şarjı, oksijen besleme, örnekleme, sıcaklık okuma ve sıvı metalin deşarjı adımlarından oluşmaktadır. Proses esnasında çeliğin kalitesine bağlı olarak pek çok yardımcı malzeme ilavesi yapılmaktadır. Şarj ve deşarj sırasında konverter yana doğru yatırılırken, oksijen beslemesi sırasında dik konumda tutulmaktadır. Bazik oksijen fırınında çelik üretiminde kullanılan birçok reaktör çeşidi bulunmaktadır. En yaygın kullanılan türü ise Linz Donawitz (LD) konverteridir (Şekil 4.13). Linz-Donawitz (LD) konverteri düşük fosfor içerikli sıcak metal üretimi için en yaygın kullanılan türdür. Bu konverter armut biçimlidir ve içi refrakter tuğla ile örülüdür. Su soğutmalı oksijen lansı reaktör içerisine indirilerek sıcak metal üzerine saf (>%99) oksijen püskürtülür (EC, 2012; Buonicore, ve diğerleri, 1992).

"Lance Bubbling Equilibrium (LBE)" ve "Thyssen Blowing Metalurgy (TBM)" proseslerinde, üstten inen oksijen lansı ile birlikte fırının yukarıdan inen lanstan üflenirken alttaki gözenekli tuğlalardan argon veya azot gazı ile karıştırma yapılır. Bu teknoloji birleştirilmiş üfleme teknolojisi olarak adlandırılır. Şekil 4.13'te birleştirilmiş üfleme teknolojisi kullanan konverterlerin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Bu prosesler çelik üretiminde en sık kullanılan proseslerdir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.13 Birleştirilmiş üfleme teknolojisi kullanılan konverterin şematik gösterimi

4.1.4.4 İkincil Metalurji

Konverterde oksidasyon işlemi genellikle çeşitli metalurji proseslerinin olduğu ikincil uygulamalarla devam eder. İkincil metalurji olarak geçen bu uygulama artan kalite gereksinimlerini karşılamak ve verimliliği artırmak amacıyla uygulanır. İkincil metalurjinin ana amaçları;

- Karıştırma ve homojenleştirme,
- Analiz toleranslarını karşılamak için kimyasal bileşimi ayarlama,
- Döküm prosesi için sıcaklık ayarlama,
- Deoksidasyon,
- Hidrojen, azot gibi istenmeyen gazları uzaklaştırma,
- Metalik olmayan inklüzyonları ayırarak oksidik saflık sağlamaktır.

İkincil metalurji, pota ya da pota ocaklarında vakum sisteminde ya da özel tasarlanmış fırınlarda gerçekleşir. İkincil metalurjide vakum uygulaması, 0,5 mbar'ın altındaki vakumda gaz halindeki hidrojen, oksijen, azot ya da karbonun çelikten uzaklaştırılmasını sağlayan önemli bir adımdır. Vakum uygulaması, alaşımsız çeliklerin deoksidasyon ve dekarbürizasyon, kükürt ve inklüzyonun giderilmesi proseslerini içermektedir. Vakum uygulaması sayesinde saflık derecesi iyileştirilmiş, gaz içeriği azaltılmış ve daha sıkı alaşım toleranslarına sahip çelik üretilmektedir (EC, 2012).

4.1.4.5 Döküm

Nihai olarak istenilen çelik kalitesine ulaşıldıktan sonra çelik, döküm potalarında döküm makinelerine taşınır. Geçmişte kesikli dökümler (örneğin ingot) yapılırken, günümüzde çeşitli boyutlarda ve incelikte plakalar halinde sürekli döküm yapılabilmektedir (EC, 2012).

Sürekli Döküm

İngot döküm ile kıyaslandığında, sürekli döküm prosesinin bazı faydaları bulunmaktadır. Bunlar;

- Kütük ve levha haddelerinin ortadan kaldırılması sayesinde enerji tasarrufu, emisyonların ve su tüketiminin azalması,
- İyileştirilmiş proses koşulları,
- %95'i aşan yüksek verim,
- Yüksek üretkenliktir.

Sürekli döküm yapan makinelerin çeşitli türleri bulunmaktadır. Bunlar makinelerin konfigürasyonuna bağlı olarak yay, oval yay, eğme ve doğrultma ve dikey türlerdir (EC, 2012).

Sıvı çelik konverterden potaya döküldükten sonra ikincil metalurji işlemleri uygulanır. Sonrasında sürekli döküm için potada bulunan işlem görmüş sıvı çelik tandişe aktarılır. Sürekli döküm hattında tandişten akan sıvı çelik su soğutmalı bakır kalıplardan geçerek istenilen şekli almaktadır. Bu esnada kalıp aşağı yukarı salınımlar yaparak, sıvı çeliğin kalıp yüzeyine yapışmasını önler. Kalıptan çıkan çeliğin yüzeyi katı halde olmasına rağmen, iç kısmı halen sıvı haldedir. Bu nedenle dökümden çıkan çelik soğutulurken üzerine su dikkatli bir şekilde püskürtülmelidir. Soğutma sonrası yüzeyi katılaşan çelik istenilen ebatta kesilmektedir (EC, 2012).

İngot Döküm

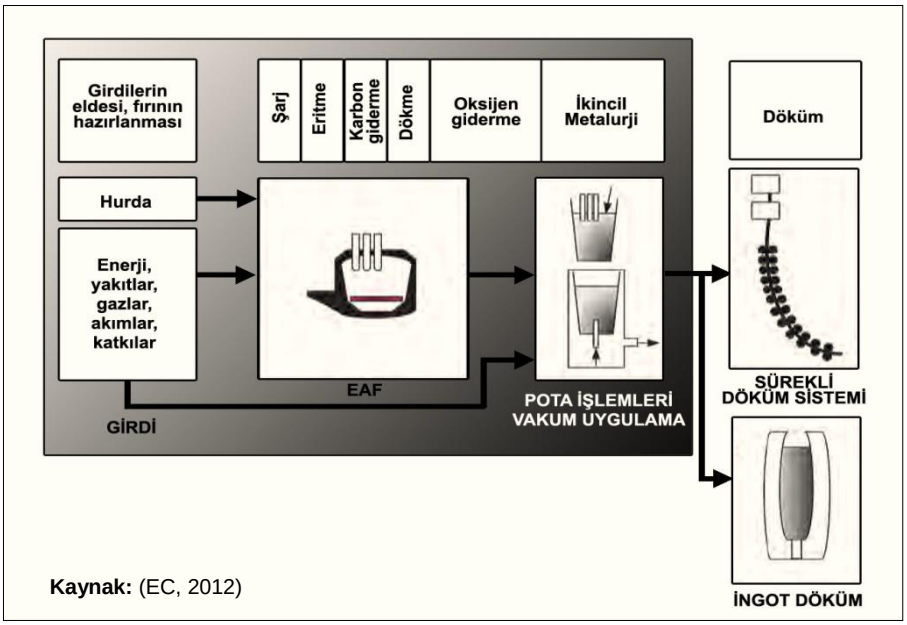
İngot dökümde, sıvı çelik döküm kalıplarının içine dökülür. İstenilen yüzey kalitesine göre, kalıba döküm esnasında gaz alma ajanları (NaF vb.) ilave edilir. Soğutulduktan sonra ingotlar kalıptan çıkarılıp, haddehaneye gönderilir. Daha sonra ön ısıtmadan geçirilen ingotlar, kütük, levha ve bluma dönüştürülür. Pek çok yerde ingot dökümün yerini artık sürekli döküm almıştır (EC, 2012).

4.2 Elektrik Ark Ocaklı Tesisler

Modern çelik üretiminde önemli bir rolü bulunan elektrik ark ocaklarında (EAO), hurda gibi demir içeren malzemeler doğrudan ergitilerek çelik üretilmektedir. Elektrik ark ocağında hammadde olarak demir hurdası kullanılmaktadır. Hurda, çelikhaneden (üretim fireleri vb.), çelik kullanıcılarından (otomotiv sektörü vb.) ve nihai tüketicilerden (kullanım ömrünü dolduran malzemeler vb.) temin edilmektedir. Bununla birlikte, sünger demir (DRI – Direct Reduced Iron) de elektrik ark ocaklarında hammadde olarak kullanılabilmektedir. BOF'ta olduğu gibi, kireç ilavesi ile cüruf oluşturulmakta ve istenmeyen bileşenler bu sayede çelik içerisinden alınmaktadır. Elektrik ark ocağı prosesi ile çelik üretimi genel hatlarıyla Şekil 4.14'te verilmiştir (EC, 2012).

Üretilecek nihai çeliğe göre, karbon çeliği olarak adlandırılan vasıfsız çelik veya düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı/paslanmaz çelik üretilmektedir. Avrupa Birliği'nde üretilen toplam çeliğin yaklaşık %88'i karbon çeliği ya da düşük alaşımlı çelikten oluşmaktadır. Karbon çeliği ile düşük alaşımlı çeliklerin üretimi için, aşağıdaki prosesler uygulanmaktadır (EC, 2012):

- Hammaddelerin taşınması ve depolanması,
- Hurdanın ön ısıtılması,
- Elektrik ark ocağında hurdanın ergitilmesi,
- Çelik ve cürufun dökülmesi,
- Kalite ve içeriğin ayarlanması için pota ocağı işlemlerinin gerçekleştirilmesi,
- Cürufun taşınması,
- Sürekli döküm.

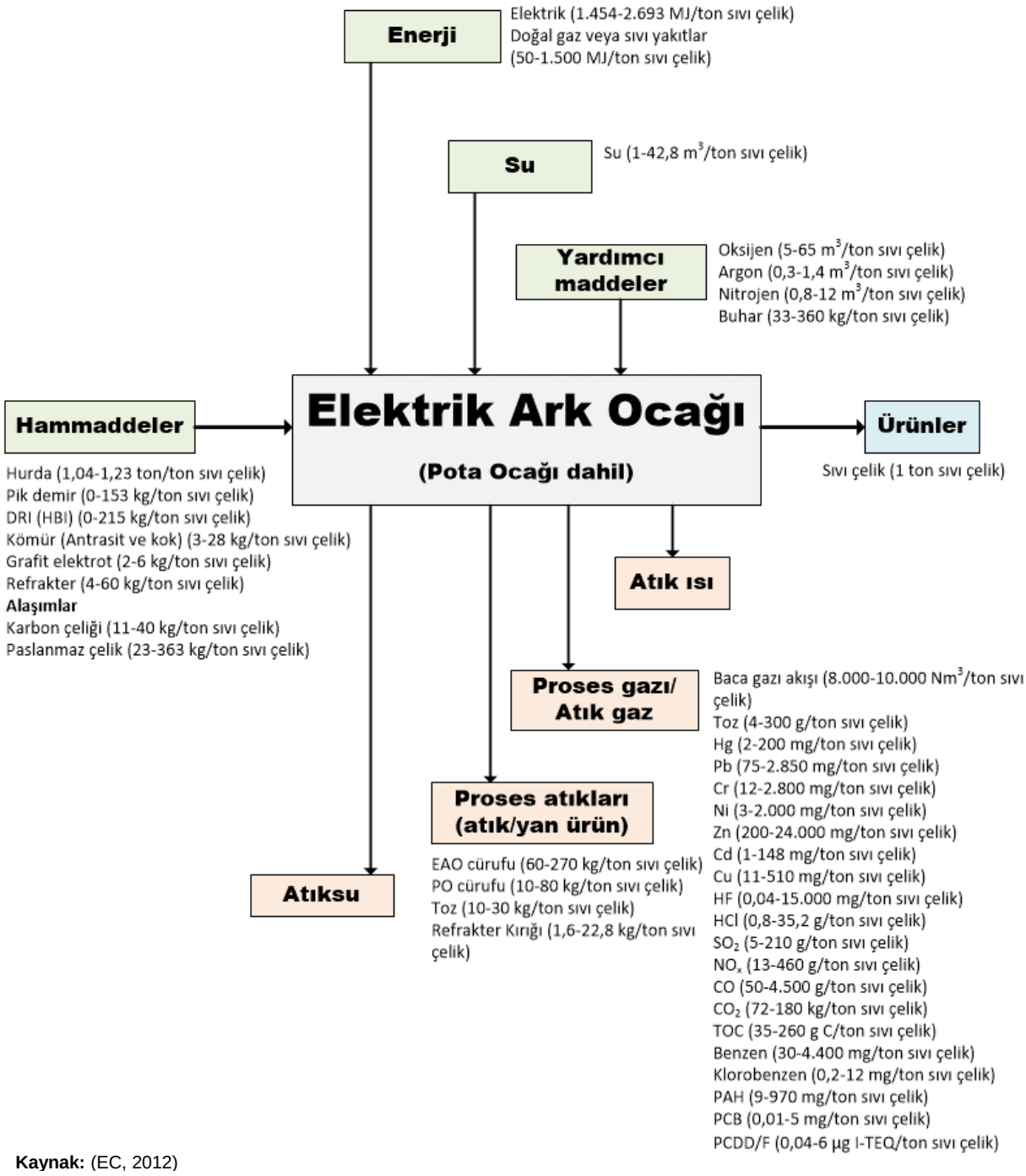


Şekil 4.14 Elektrik ark ocağında çelik üretimi

Yüksek alaşımlı ve özel çelikler için, prosesler daha kompleks ve çeliğe özgüdür. Bu çelikler için, bahsi geçen işlemler dışında aşağıda sıralanmakta olan çeşitli ikincil metalurji işlemleri uygulanmaktadır;

- Kükürdün giderilmesi,
- Azot ve hidrojen gibi çözünmüş gazların giderilmesi,
- Karbonun giderilmesi (AOD: Argon Oksijen Dekarbürasyonu ya da VOD: Vakum Oksijen Dekarbürasyonu) (EC, 2012).

Bir elektrik ark ocağı tesisinin girdi ve çıktılarının ton sıvı çelik başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak 1 ton sıvı çelik üretimi için hammadde olarak 1,04-1,23 ton hurda, 0-153 kg pik demir, 0-215 kg DRI, 3-28 kg kömür, 2-6 kg grafit elektrot, 4-60 kg refrakter, 11-40 kg karbon çeliği ve 23-363 kg paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Proseste kullanılan enerji kaynağı ise 1 ton sıvı çelik üretimi için elektrik, doğalgaz veya sıvı yakıtlar kullanılmakta olup spesifik tüketim değerleri sırasıyla; 1454-2693 MJ ve 50-1500 MJ'dür. Prosese ton sıvı çelik başına 1-42,8 m^3 su , 5-65 m^3 oksijen, 0,3-1,4 m^3 argon, 0,8-12 m^3 nitrojen ve 33-360 kg buhar beslenmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 4.15 Elektrik ark ocağı tesisi kütle akışı

4.2.1 Hurda Hazırlama

Hurda metal genellikle; geniş, üzeri kapatılmamış ve herhangi bir kaplaması olmayan zeminlerde depolanmaktadır. Hurdanın satın alınması uluslararası şartnamelere dayanarak, metal harici parçaların en aza indirgenmesini sağlayacak şekilde yapılır. Demirli hurda metal, kıskaçlar (polipler) veya

mıknatıslar aracılığıyla sepetlere yüklenir. Bu şekilde, manyetik olmayan taş ve odun parçaları ile demir dışı metallerin ocağa girmesi engellenmiş olur. Tehlikeli kirleticilerin yayılmasını engellemek amacıyla belirli düzeyde hurda tasnifi yapılmalıdır. Şarj kolaylığı sağlanması amacıyla hurdanın boyutu küçültülebilir. Hurda, şarj sepetlerine hurda sahasında doldurulabilir veya çelikhane içerisindeki geçici hurda stok hollerine aktarılabilir. Kimi durumlarda, hurda, bir şaftta ya da bir taşıyıcı bantta önceden ısıtılabilir. Gelen hurdada mevcut bulunan radyoaktivite, kimi durumlarda soruna neden olabilir. Bu nedenle hurdanın radyoaktivite kontrolü önemlidir (EC, 2012).

4.2.2 Çelikhane

4.2.2.1 Hurda Ön Isıtma

Enerjiden tasarruf sağlamak amacıyla hurda, EAO'ya şarj edilmeden önce atık gaz kullanılarak ön ısıtmaya tabi tutulabilmektedir. Bu ön ısıtma potalarda veya şarj şaftında (gövdesinde) olabileceği gibi erime süresinde sürekli beslemeye olanak veren (CONSTEEL) hurda taşıma sisteminde de yapılabilmektedir. Normal şaft fırınında hurdanın sadece %50'si ısıtılırken, taraklı şaftlı fırında hurdanın tamamı ısıtılabilmektedir. Birinci sepet bir önceki dökümün arıtılması sırasında, ikinci sepet ise, birinci şarjın ergitilmesi sırasında ısıtılmaktadır. Diğer bir değişiklik ise, birbirine özdeş iki şaft fırınından oluşan çift şaft fırınıdır ve birbirine bitişik olarak duran gövdelerin üzerine bir set elektrot kol donanımı monte edilmiştir. Hurda kısmen baca gazıyla ve kısmen de gövde brulörleri yardımıyla ısıtılmaktadır (EC, 2012).

CONSTEEL sürecinde ise, hurda ark fırınına yatay bir taşıma sistemi ile sürekli olarak beslenmektedir. Ters yönde akan fırın atık gazı vasıtasıyla taşıma sistemi içerisindeki hurdaların ön ısıtma işlemi gerçekleşmiş olur. Bu sistemde birbiri ile yan yana yerleştirilmiş aynı iki fırından oluşan ve tek set elektrot kolu ile çalışan çift gövde fırın ile hurda, kısmen atık gaz ile kısmen de yan duvar ocakları ile ısıtılmaktadır (EC, 2012).

Daha verimli diğer bir şaftlı fırın tasarımı da taraklı şaftlı fırındır. Bu tasarımda, hurda miktarının %100'ünün ön ısıtmaya tabi tutulmasını sağlayan, taraklı bir hurda taşıyıcı sistemi kullanılmaktadır. Birinci sepet bir önceki dökümde alınan çeliğin saflaştırılması sırasında, ikinci sepet ise, birinci şarjın ergitilmesi sırasında ısıtılmaktadır. Isı döngüsü sırasında fırın baca gazının kullanılması sayesinde, fırın teknesindeki son ergitmeden önce hurda yaklaşık 800°C'ye kadar ısıtılabilmektedir. Bu da, enerji ve maliyet tasarrufu sağlamakta; döküm alma süresinde de önemli miktarda azalma anlamına gelmektedir (EC, 2012).

Hurda ön ısıtma sürecindeki gelişmelerden bir diğeri de, şaft sistemlerinin hurdanın yüksek sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tutulması yönündeki faydalarıyla, CONSTEEL prosesinin sürekli hurda besleme gibi faydalarını birleştiren COSS teknolojisidir (EC, 2012).

Hurda ön ısıtma sistemi; poliklorlanmış dibenzo-p dioksinler/furanlar (PCDD/F), klorobenzenler, poliklorlanmış bifeniller (PCB) ve hatta poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) ile hurdanın kontamine olduğu boya, plastik, yağlayıcılar ve diğer organik bileşiklerden dolayı, yüksek seviyede aromatik organohalojen bileşiklerin emisyonuna sebebiyet verebilmektedir. Fırın içerisindeki oksijen brulörleri ile gaz atmosfere atılmadan önce yakma (post-combustion) işlemi gerçekleştirilerek bu durum minimize edilebilmektedir. Bu şekilde, yakma sonucunda ortaya çıkan enerji hurdayı ısıtmak için de kullanılabilmektedir. Bu yakma işlemi, PCDD/F gibi organik bileşik emisyonunu azalmak için elektrik ark ocağı sonrasındaki yakmadan farklı olmakla birlikte önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır (EC, 2012).

4.2.2.2 Hurda Şarj Etme

Genellikle hurda, cüruf oluşturmak amacıyla eklenen kireç veya dolomitik kireç ile birlikte sepetlere doldurulur. Karbon içeren malzemeler de, çelik üretim prosesini iyileştirmek amacıyla, şarj edilebilmektedir. Bazı tesislerde karbon içeriğini ayarlamak için parça kömür de kullanıldığı bilinmektedir. Fakat emisyon ölçümleri ile teyit edilmemiş olmamakla birlikte, parça kömür kullanımının benzol, toluen ve ksilen emisyonlarına neden olabileceği belirtilmiştir (EC, 2012).

Proses öncelikle elektrotların kaldırılması ve hurda şarjı için fırın kapağının açılması ile başlatılır. Birinci hurda sepetiyle hurdanın yaklaşık %50-60'ı şarj edilmektedir. Sonrasında fırın kapağı kapatılır ve elektrotlar hurdayı ergitmek için alçaltılır. Hurda yükünün 200-300 mm üzerinde, elektrot ucunda ark oluşur. Birinci şarjın ergitilmesinden sonra kalan hurda ikinci veya üçüncü sepetler ile ocağa şarj edilir (EC, 2012).

Şaft ocağı, ocaktan gelen sıcak gazlarla ön ısıtılmış olan hurdayı ocak kapağına entegre edilmiş dikey şaft boyunca ocağa şarj eder. CONSTEEL prosesinde ise hurda, yatay bir taşıyıcı sistemiyle elektrik ark ocağına beslenmektedir (EC, 2012).

4.2.2.3 Elektrik Ark Ocağında Ergitme ve Saflaştırma

Ergitmenin ilk aşamasında elektrotlar hurdayı ergitmeye çalışırken, ocak kapağı ve gövdesini radyasyondan korumak amacıyla uygulanan güç düşük tutulmaktadır. Ark hurda yükünü deldikten hemen sonra etrafında hurda ile çevrelenmiş bir kalkan olması sebebiyle, tam ergitme yapabilmek için güç artırılır. Oksijen lansı ve/veya oksijen-yakıt brulörleri ergitmenin ilk aşamalarında, yoğun bir şekilde kullanılır. Kullanılan yakıt doğalgaz veya fuel-oil olabilmektedir. Ayrıca özel nozullar vasıtasıyla ocağın altından veya duvarlarından oksijen üfleme yapılabilmektedir (EC, 2012).

Elektrik ark ocağı ile çelik üretiminde oksijen kullanımı, yalnızca metalurjik nedenlerden dolayı değil, aynı zamanda verimliliğin artırılması amacıyla, son 30 yıldır artan bir öneme sahiptir. Oksijen kullanımının amaçları aşağıda ifade edilmiştir:

- Oksijen ve toz karbonun birlikte enjeksiyonu ile karbonmonoksit baloncukları oluşturulmakta, bu baloncuklar sayesinde "köpüklü cüruf" üretimi mümkün olmaktadır. Karbon çeliği yapımında son zamanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan "köpüklü cüruf" tekniği, fırın duvarlarının arktan kaynaklanan radyasyondan korunmasını sağlamakta ve ark enerjisinin çeliğe transfer verimini artırmaktadır.
- Oksijen, metalurjik işlemlerde, ergimiş metalin karbonsuzlaştırılması ve fosfor gibi istenmeyen elementlerin alınması amacıyla kullanılmaktadır.
- Oksijen, yanma işleminden sonra, EAO'nun üst kısmından enjekte edilerek yanma gazlarının fırını terk etmeden önce, karbonmonoksit ve diğer hidrokarbonlar ile reaksiyona girerek zararlı gazların ocaktan dışarı çıkmalarını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte fırın içerisindeki ekzotermik reaksiyonlardan ortaya çıkan ısının mümkün olduğunca tutulmasını sağlar (EC, 2012).

Oksijen enjeksiyonu fırında gaz ve duman oluşumunu artırmaktadır. Karbonmonoksit ve karbondioksit ile birlikte, oldukça ince demir oksit ve bazı bileşiklerin dumanları oluşmaktadır. Karıştırmanın ve sıcaklığın dengeli dağılmasının sağlanması için azot veya diğer inert gazlar, ergimiş metale enjekte edilebilir. Cüruf metal ara yüzeyindeki kimyasal tepkimelerin kinetiği de bu teknik sayesinde daha iyi

hale getirilmektedir. Ergitme işleminde ortaya çıkan dumanlar ve gazlar, bir baca gazı arıtma tesisinde arıtılmaktadır (EC, 2012).

4.2.2.4 Cüruf Dökümü

Cüruf, döküm alma işleminden önce ısıtma ve oksitleme prosesleri esnasında alınır. Ocağın cüruf deliğine doğru belirli bir açıda devrilmesi ile yere veya cüruf potasına akıtılması sonrasında, toz ve duman açığa çıkmaktadır. Özel çelik türlerinde, özellikle alaşımlı çelikte, metalurjik nedenlerden dolayı, cüruf, potaya sıvı çelikle beraber dökülmektedir. Cürufun çoğu, çelikten cürufsuzlaştırma istasyonunda ayrıştırılarak bir cüruf potasına alınmakta, oluşan duman ise bir egzoz sistemi tarafından toplanmaktadır (EC, 2012).

4.2.2.5 İkincil Metalurji

Karbon çeliği

İkincil metalurji işlemleri, ark ocağından potaya alınan sıvı çeliğin, döküm makinesine gönderilmesinden önce pota ocağında yapılmaktadır. Bu işlemler, genelde bir ark ısıtma biriminde (pota ocağı) gerçekleştirilmekte ve bu birim sıvı çeliğin döküm işlemi için son sıcaklığın ayarlanmasına imkân tanımaktadır. Oksijen giderme amacıyla kullanılan kimyasallar ile alaşım elementleri, çeliğin son kimyasal kompozisyonunu ayarlamak için kullanılır (EC, 2012).

Vakumlama işlemi, bazı durumlarda çeliğin son halinde bulunması istenen hidrojen, nitrojen veya oksijen gibi elementlerin konsantrasyonlarının ayarlanması gibi kimi özel gereksinimleri karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Homojenizasyonu sağlayabilmek için, inert gazlar (argon veya azot) karıştırma amacıyla potaya verilir (EC, 2012).

Paslanmaz çelik

Paslanmaz çeliğin ikincil metalurjisi, ya pota içinde vakum altında (VOD prosesi) ya da AOD konverteri ve bunu izleyen pota işlemi ile yürütülmektedir. Üretilecek çelik sınıfına göre, bazı işletmeciler, AOD ve VOD'den oluşan bir kombinasyonu uygulamaktadırlar (EC, 2012).

Çelik alaşımları

Önemli miktarlarda alaşım elementleri içeren, ancak paslanmaz çelik kategorisine girmeyen çelik alaşımlarının ikincil metalurjisi, üretilen çeliğin sınıfına bağlı olarak, genellikle bir pota ocağı ile gerekli görüldüğü takdirde bir de vakumlama işleminden oluşmaktadır. İkincil metalurji işlemlerinin çoğunda, işlem esnasında ortaya çıkan metal olmayan bileşiklerin tutulmasında cüruf kullanılmaktadır (EC, 2012).

4.2.2.6 Döküm

İstenen çelik kalitesine ulaşıldığında pota içindeki çelik döküm makinelerine iletilir. Yakın zamana kadar standart döküm yöntemi sıvı çeliğin kalıcı kalıplara dökümü şeklinde sürekli olmayan bir proses iken bugün tercih edilen yöntem, çeliğin “Sürekli Döküm Makineleri”nde sürekli dökümüdür (EC, 2012).

Sürekli Döküm

Sürekli döküm, endüstriyel ölçekte ilk olarak 1960'ların sonunda kullanılmaya başlandığından bu yana AB çelik ürünleri içindeki payı yaklaşık %97'ye çıkmıştır. Dünya çapında üretilen tüm çeliğin yaklaşık %90’ı sürekli döküm yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Sıcak döküm makineleri geleneksel ingot

döküm prosesinin yanı sıra, konvansiyonel sıcak haddehanelerdeki blum-slab ve yarı tamamlama işlemlerinin de yerini almıştır. Oksijen giderme ve gaz giderme gibi gerekli ön koşullar modern ikincil metalurji sayesinde gerçekleştirilebildiğinden, bugün hadde ürünü olabilecek her tür kalitedeki çelik, sürekli döküm yöntemine tabi tutulabilmektedir. Dikey, kavisli ve düzelticili yay tipi, oval yay tipi gibi değişik şekillerde sürekli döküm makineleri bulunmaktadır (EC, 2012).

Sürekli döküm tekniğinde, sıvı çelik ocaktan potaya alınır. İkincil metalurji işlemlerinden sonra potadaki çelik sürekli döküm makinesindeki tandişe aktarılır. Tandiş, altında kontrollü akışı sağlayan delikleri bulunan ara potadır. Potalara sıvı çelik alınmadan ön ısıtma yapılması tandişte oluşabilecek sıcaklık farklarını engellemek için gereklidir (EC, 2012).

İstenen sıcaklık değerine getirilmiş olan potadaki sıvı çelik tandişe dökülür. Sıvı çelik tandiş altındaki deliklerden, çeliğin yapışmasını engellemek için yukarı-aşağı hareket eden, metale istenen şekli veren su soğutmalı kısa bakır kalıplara geçer. Kalıplar, sıvı çeliğin kütük, blum, slab, özel profil kütüğü veya şeritler halinde sürekli dökümüne olanak sağlamaktadır. İşlem öncesinde kalıba toz veya nebati yağ halindeki kalıp yağı eklenir. Metal, kalıbı terk ettiğinde üzerinde katılaşmış bir kabuk tabakası oluşur. Hafif kavisli bir hat üzerinde bulunan makaralar (sıkıştırma merdanesi) dökülen çeliğe yatay pozisyona gelene kadar kılavuzluk eder. Sürekli dökümü yapılan slab, blum ve kütükler yatay duruma geldikten sonra alev makinesiyle istenen boyda kesilir. Yüzeyi katılaşmış kütük, blum veya slab bir bölümü tahrikli makaralar üzerinde hareket eder. Bu makaralar aynı zamanda demir eriyik basıncına karşı dış kabuğa destek olmaktadır. İç kısım halen sıvı halde olduğu için tamamen soğuyana kadar çeliğe ikincil soğutma amacıyla dışarıdan su püskürtülür. Bu işlem çeliğin, halen ince bir kabuk olan yüzeylerindeki çatlamaları, ayrıca makaraların aşırı ısınmasını engeller. Taşıyıcı, sürücü ve destek elemanları genellikle içerden ve dışarıdan soğutmalı makaralardır. İkincil soğutma alanında, sprey soğutmanın sıcaklığı yeterince düşürdüğü noktadan itibaren elemanların içeriden soğutulması gereksizdir. Bir kısım yataklar otomatik gres sistemi ile yağlanmaktadır. Yol tamamen soğuduğunda, makas veya yolla birlikte hareket eden torç (alev makinesi) ile istenen boyda kesilir. Hızlı soğutma işlemi çeliğe, istenilen mikro yapıyı kazandırmakla birlikte uygun teknolojik özellikler sağlar. Yolun mikro yapısının katılaşması, aşağı yönlü hava akımı veya su ile soğutma ile etkilenebilmektedir (EC, 2012).

Kalıp geometrisi yolun şeklini belirlemektedir. Geçerli olan kalıp tipleri dikdörtgen, kare, yuvarlak veya çokgen kesitlerdedir. Amaçlanan nihai ürünün kesitlerine yakın ölçülerde kalıp kullanılarak üretim yapılır. Kütük döküm makinelerinde sekiz yola kadar aynı anda döküm yapılabilirken slab makinelerinde yol sayısı iki ile sınırlı kalmaktadır (EC, 2012).

4.2.2.7 Cürufların Taşınması ve İşlenmesi

Eğer cüruf EAO'daki cüruf potasında biriktiriliyorsa, katılaşması için dışarıdaki cüruf çukurlarına dökülmesi gerekir. Cürufun soğuması su spreyiyle desteklenebilir. Bazı sahalarda, cürufun nihai kalitesini ve boyutsal istikrarını geliştirmek için sıvı haldeyken içine silika, alümina, bor (kolemanit veya sodyum borat) eklenerek soğuma süresi kontrol edilmektedir (EC, 2012).

Eğer cüruf zemine dökülürse, katılaşmasının ardından ekskavatörler veya kürekli yükleyiciler aracılığıyla ön kırma işleminden geçirilir ve tesisin dışında bir depolama alanına getirilir. Belirli bir süre sonrasında, cüruf parçalanarak ve eleme işleminden geçerek konstrüksiyonda kullanılmak amacıyla istenen özelliklere getirilmektedir. Bu işlem esnasında, cürufta bulunan metal parçalar, manyetik olarak ayrıştırıldıktan sonra parçalama ve elekten geçirilme aracılığıyla cüruftan ayrıştırılabilir ve çelik üretim prosesinde kullanılmak üzere geri gönderilebilir. Cüruftan metal geri kazanımı özellikle ticari değeri

yüksek metaller için daha fazla önem taşımaktadır. EAO'dan cüruf alınması esnasında, kimi zaman cürufun soğutulması için su kullanılabilir ve böylece cürufun mikro yapısı ve mekanik özellikleri iyileştirilebilir (EC, 2012).

4.3 İndüksiyon Ocaklı Tesisler

İndüksiyon ocağı prosesinde, ısı, fırının içerisine yerleştirilmiş ve fırının etrafını saran bir bobin tarafından yaratılan elektromanyetik alandan dolayı indüklenmiş akımlar ile üretilir. Bu elektromanyetik alan, sadece bir voltaj yaratarak şarj edilen malzemeyi ısıtmakla kalmaz; aynı zamanda erimiş haldeki metale kuvvet uygulayarak metal banyosunun en iyi şekilde karışmasını sağlar. Karıştırma miktarı, indüklenen gücün miktarı ile doğru orantılı olarak artar; fakat bu miktar fırın frekansının karekökü ile ters orantılıdır. Birçok indüksiyon ocağı, şebeke frekansı gücü (60 Hertz) kullanmaktadır. Fakat günümüzde, demirin ergitilmesinde kullanılan yüksek güçlü, orta frekanslı fırınlar bulunmaktadır (Campbell, 2013; CSE, 2012; EC, 2005; Schifo, ve diğerleri, 2004). İndüksiyon ocaklarının avantaj ve dezavantajlarından Tablo 4.2'de bahsedilmektedir.

Tablo 4.2 İndüksiyon ocaklarının avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Alaşımlarda ve ergitme rejiminde yüksek derecede esneklik sağlaması	Enerji maliyeti fosil yakıt kullanımına göre daha yüksektir
Kısa ergitme sürelerine sahip olması	15 ton/saat'in altında kalan ergitme kapasiteleri için uygundur.
Dökümhane kaynaklı çevresel sorumlulukların düşük olması	Bekleme sırasında, su soğutmalı indüksiyon bobinindeki ısı kaybı nedeniyle düşük verime sahiptir.
Refrakter tabakasının ömrüne bağlı olarak düşük bakım maliyetleri	Kurulumu yüksek yatırım maliyeti gerektirir. Fakat diğer çevresel yatırımlardan tasarruf etmek mümkündür. Kurulan 1 ton fırın içeriği başına net maliyet 375.000 Avro civarındadır.
İyi proses kontrol: optimum sıcaklık kontrolüne izin veren bilgisayar desteği ve tam otomatik işletme mümkündür.	İndüksiyon ocağının eriyik üzerindeki temizleme etkisi sınırlıdır çünkü düşük miktarda cüruf oluşur ve cüruf ve eriyik arasındaki yüzey alanı küçüktür. Bu nedenle daha yüksek kalitede ve daha pahalı şarj kullanılması gerekmektedir.
Proses parametreleri lokal olarak hesaplanmış ve ayarlanmışsa maksimum termal verimlilik sağlanması mümkündür	
Banyo içerisindeki yoğun karıştırma sayesinde eriyiğin homojen olması sağlanır	

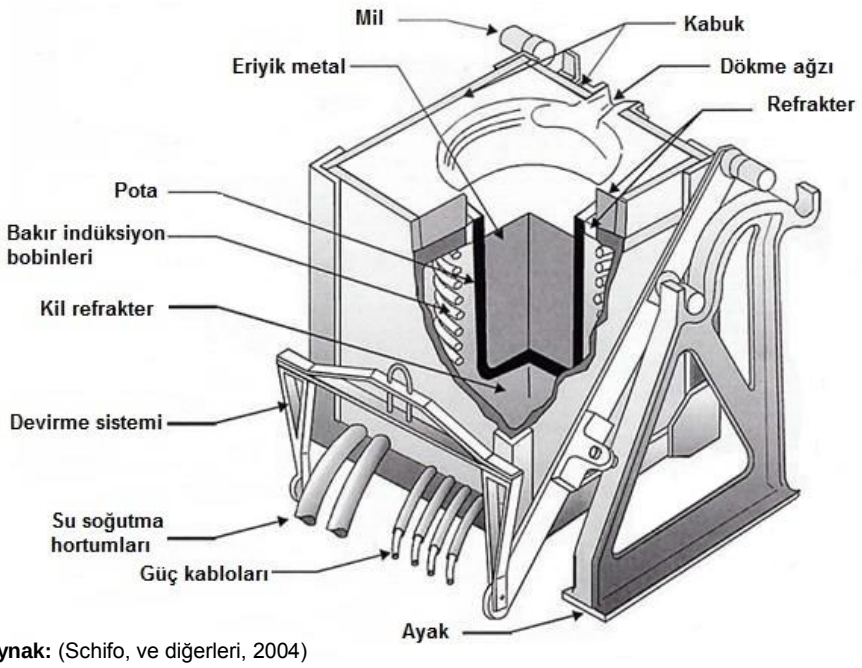
Kaynak: (EC, 2005)

Metallerin ergitilmesinde kullanılan indüksiyon ocakları Çekirdekli (Özlü veya Kanal) ve Çekirdeksiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Demirli metallerin ergitme işleminde çekirdeksiz tip indüksiyon ocağı kullanılmaktadır (CSE, 2012; Campbell, 2013)

Çekirdeksiz İndüksiyon Ocağı

Çekirdeksiz İndüksiyon Ocağı, kesikli ergitme işlemi uygulanan bir ocaktır. Metal, ortası delik olan, spiral şekilde sarılmış bakır bir tüp ile çevrelenmektedir. Bakır tüpün delik olması, içerisinden su geçirilmesini ve bu şekilde indüklenmiş akım nedeniyle ısınan bakır malzemenin soğutulmasını sağlamaktadır. Bakır tüp (bobin), manyetik alanın etkisiyle şekil değiştirmemesi için sıkıca sabitlenir. Ocağın iç kısmında örülü olan refrakter tabakası bobinin erimiş metal banyosu ile fiziksel olarak temas etmesini önlemektedir. Fırın refrakterlerin, ergitilecek alaşımın özelliğine göre, asidik (silika bazlı), nötr (alümina bazlı) veya bazik olabilmektedir. Fırının dış kısmı ise yalıtımlıdır ve çelik bir kabuk ile kaplıdır (Campbell, 2013; Schifo, ve diğerleri, 2004).

Çekirdeksiz fırınlar soğuk şarj ergitmeye olanak sağlamaktadırlar. İzabe işlemi, izabe katkılarının eklenmesi ve oluşan cürufun yüzeyden alınması ile gerçekleştirilmektedir. İndüksiyon ocakları, şarjın tamamen boşaltıldığı ve yeni şarjın ergitildiği kesikli yöntemle veya eriyiğin sadece bir bölümünün (genellikle 1/3'ünün) boşaltıldığı ve yeni şarjın kalan şarja eklenerek ergitildiği dökümden-döküme (tap-to-tap) yöntemiyle çalışmaktadır (Campbell, 2013). Şekil 4.16'da çekirdeksiz bir indüksiyon ocağı gösterilmektedir.



Kaynak: (Schifo, ve diğerleri, 2004)

Şekil 4.16 Çekirdeksiz indüksiyon ocağı kesiti

Kaynak: (EC, 2005)

Şekil 4.17 Çekirdeksiz indüksiyon ocakları

Toz ve diğer safsızlıkları içerisinde barındıran cüruf ocağın üst kısmına doğru yükselir. Cüruf, ocağın eğilmesi ile, deoksidasyon nedeniyle oluşan diğer safsızlıklarla birlikte akıtılarak ocaktan alınır. Erimiş çeliğin deoksidasyonu, oksidasyondan kaynaklanan kusurların olmadığı iyi bir döküm kalitesinin yakalanması için gereklidir. İndüksiyon ocaklarında ton metal şarjı başına 10-20 kg cüruf, 0,006 ila 1 kg arasında toz oluşmaktadır (EPA, 2012).

50-60 Hz frekanslarda türbülans, daha yüksek frekanslarda çalışan fırınlara göre daha yüksektir. Yüksek türbülans nedeniyle şebeke frekanslı fırınlara güç girişi 250 kWh ile sınırlanmaktadır. Frekans aynı zamanda akım geçişini de etkilemektedir. Frekans yükseldikçe geçiş derinliği azalır. Bu durum en küçük şarj parçasının boyutuna ve efektif fırın boyutlarına etki eder. 50 Hz fırınlar 750 kg'ın altındaki kapasitelerde çalışmak için uygun değildir. 10 kHz frekansta ise 10 mm'den daha küçük parçalar ısıtılabilmektedir. Bu nedenle bu frekanslarda 5 kg kapasiteli fırınlar kullanılabilmektedir. Frekanslarına göre indüksiyon ocaklarının kullanım alanları Tablo 4.3'te verilmiştir (EC, 2005).

Tablo 4.3 Frekanslarına göre indüksiyon ocakları kullanım alanları

Frekans (Hz)	Kullanım alanı
70	Pirinç talaşı
100	Alüminyum çapakları
100 – 150	Pik demir delik işleme
250	Alüminyum ekstrüzyon hurdası
250	Dökümhane geri dönüşüm malzemeleri ve çelik hurdası
500 ve 1000	Çelik ergitme ve ıslak pik demir delik işleme
1000 ve 3000	Çok çeşitli bakır alaşımları
3000	Hassas döküm
10000	Mücevher ticareti

Kaynak: (EC, 2005)

Frekanslar genellikle 250-300 Hz ile sınırlıdır. Daha yüksek frekanslarda metal homojenizasyonu yetersiz kalmaktadır. Yüksek frekanslar çok küçük fırınlar gibi özel durumlarda kullanılmaktadır (EC, 2005).

Su soğutma sistemleri çekirdeksiz indüksiyon ocağının işletilmesi için gereklidir. Soğutma işlemi ile, bobin ve yalıtım malzemeleri sadece normal işletme sırasında değil, aynı zamanda güç kapatıldıktan ve

fırın boşaltıldıktan sonra fırının soğuma periyodu boyunca da termal hasarlardan korunmaktadır (EC, 2005).

Çekirdeksiz indüksiyon ergitme için kullanılır fakat izabe için kullanılamaz. Bu nedenle çelikhanelerde indüksiyon ocaklarına doğru kimyasal kompozisyona sahip hammaddenin şarj edilmesi gerekmektedir. İzabe işlemi daha sonra pota ocaklarında gerçekleştirilmektedir (EC, 2005).

4.4 Haddehaneler

Haddeleme metal malzemenin kesit alanının düşürülmesi veya metal ürünlere, dönen merdaneler kullanarak şekil verilmesi işlemidir. Merdaneler dönerek malzemeyi iterken aynı zamanda sıkıştırma uygular. Haddeleme, uygulamaya ve malzemeye bağlı olarak sıcak, ılık veya soğuk olabilmektedir (Campbell, 2013).

Döküm ünitesinden gelen kütük veya slab haldeki çelik, sıcak haddehaneye gönderilmektedir. Tav fırınlarında, çelik, içerdiği karbon miktarına bağlı olarak değişen tavlama sıcaklığına (1050-1300°C) kadar ısıtılır. Üzerindeki tufal temizlenerek hadde merdanelerinden geçirilen kütük haldeki çelikten kangal çubuk, slab haldeki çelikten ise yassı levha elde edilmektedir (EC, 2001a).

Sıcak haddeleme, ham döküm yapısını bozarak daha tek düze bir tane yapısının oluşmasına yardım eder ve parçacıkların daha iyi dağılmasını ve boyutlanmasını sağlar. Haddeleme boyunca iki ezme merdanesi kullanılarak basma bozunması meydana getirilir. Merdaneler, gelen metalin hızından daha yüksek bir yüzey hızla döndürüldüğü için temas yüzeyindeki sürtünme metali yakalar ve ileriye doğru sürer. Tek geçişte bir çift merdane ile elde edilebilecek deformasyon miktarı temas yüzeyindeki sürtünme şartlarına bağlıdır. Çok fazla deformasyon istenmesi durumunda merdaneler duran metal yüzeyinde patinaj yaparken, geçiş başına çok az deformasyon uygulanması, fazladan maliyet oluşmasına sebep olur (Campbell, 2013).

Çelik malzemenin haddelenmesi genellikle yeniden kristalleştirme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılır. Bu sıcaklıklarda makul şekillendirme basınçlarında, yükseklik ve kalınlığın büyük ölçüde düşürülmesi mümkündür (Campbell, 2013).

Daha ince kalınlıkta yassı levha elde edebilmek içinse sıcak haddehaneden çıkan levha soğuk haddehanede işlem görmektedir. Bu işlemi tavlama ve çeşitli kaplama prosesleri takip eder. Kaplama işlemi malzemeyi korozyona karşı korumak için gerçekleştirilir. Kaplama amacıyla çinko, kalay, zinkalum (çinko/alüminyum alaşımı), boya, emaye vb. kullanılmaktadır (EC, 2001a; Campbell, 2013). Uygulanan haddeleme prosesleri aşağıda açıklanmıştır.

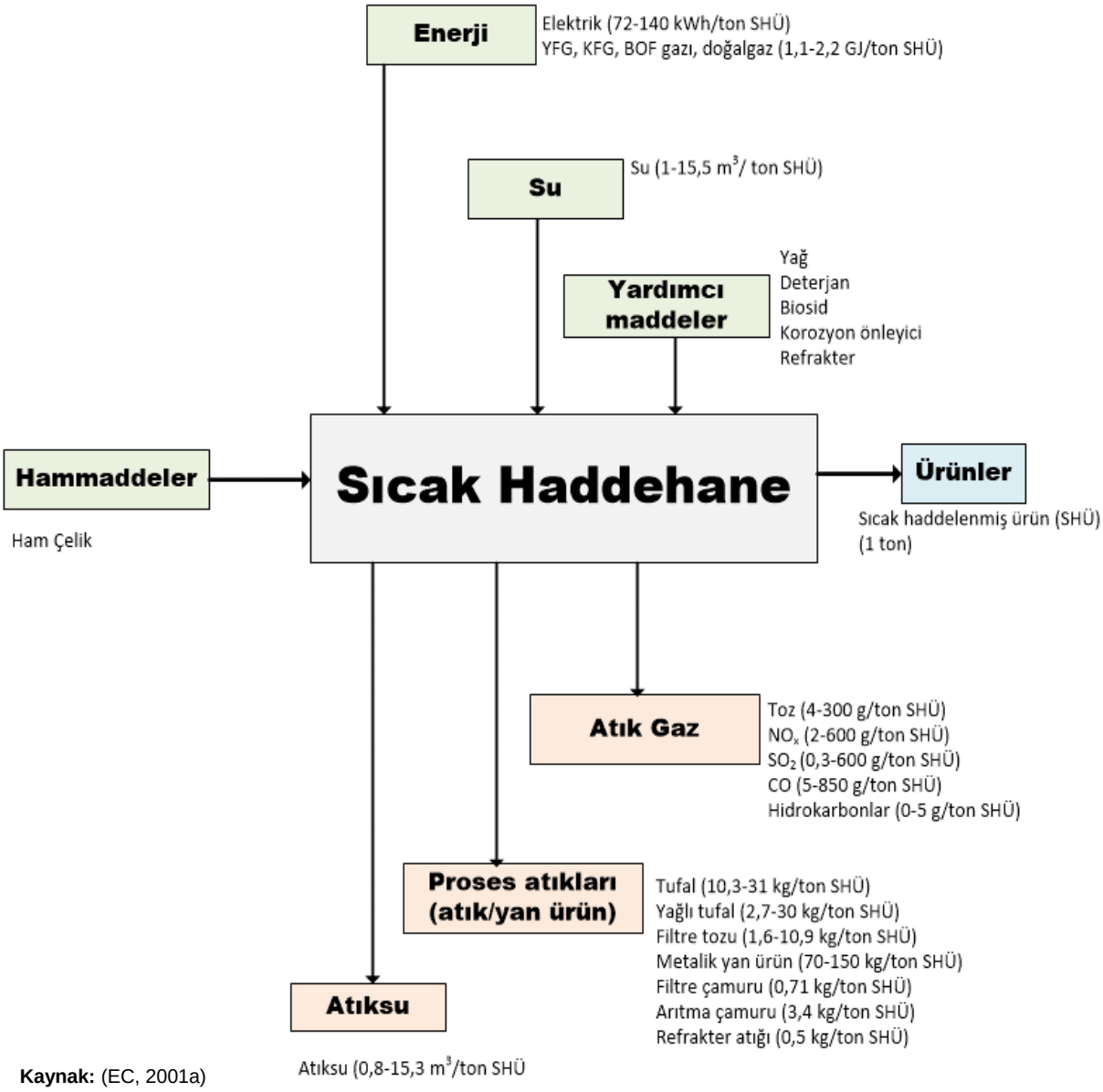
4.4.1 Sıcak Haddeleme

Sıcak haddeleme, östenitik fazdaki çeliklere uygulanır. Bu işlemde çeliğin boyut, şekil ve metalurjik özellikleri, sıcaklığı 1050 ile 1300°C arasında değişen sıcak metale uygulanan pres ile sürekli olarak değiştirilir. Sıcak haddeleme için çelik girdisi form ve şekil açısından çeşitlilik (döküm ingotlar, slablar, kütük, demir/çelik çubuk ve profil) göstermektedir. Sıcak haddelemeden elde edilen ürünler, şekillerine göre düz ve uzun olmak üzere genellikle iki şekilde sınıflandırılır.

Sıcak haddeleme prosesleri; skarf işlemi (yüzey temizleme), tavlama (haddeleme sıcaklığına kadar ısıtma), tufal giderme, boyutlandırarak haddeleme, kesme ve dilme işlemlerinden oluşmaktadır.

Haddeleme prosesleri, ürettikleri ürünlerin türüne göre kütük ve slab üretim hattı, sıcak şerit ve levha hattı, çubuk, köşebent, profil ve boru hattı şeklinde sınıflandırılırlar (EC, 2001a).

Sıcak haddehanenin girdi ve çıktılarının ton sıcak haddelenmiş ürün başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.18'de verilmiştir. Proses girdisi ham çelik olan sıcak haddehanede 1 ton sıcak haddelenmiş ürün üretmek için 72-140 kWh elektrik enerjisi; 1,1-2,2 GJ YFG, KFG, BOF gazı, doğalgaz ve 1-15,5 m^3 su beslenmektedir.



Kaynak: (EC, 2001a)

Şekil 4.18 Sıcak haddehane kütle akışı

4.4.2 Soğuk Haddeleme

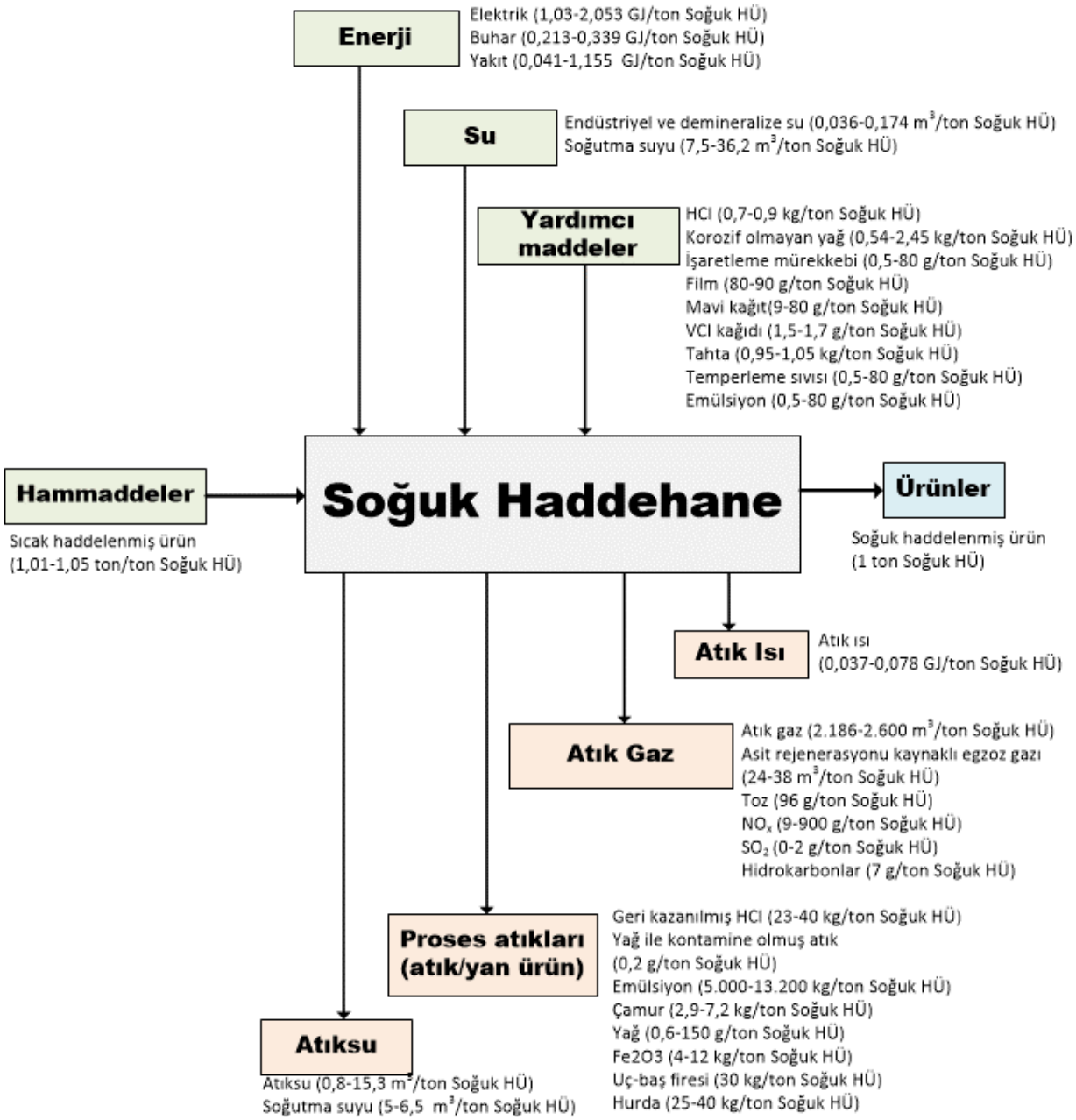
Soğuk haddelemede, sıcak haddelenmiş şerit ürünlerin, mekanik ve teknik özellikleri girdi önceden ısıtılmadan, haddeleme-presleme işlemi ile değiştirilmektedir. Girdi, sıcak haddeleme tesislerinden bobin formunda gelir. Proses adımları işlem yapılacak çeliğin kalitesine bağlıdır. Isıtarak perçinleme, kalınlığı azaltmak için haddeleme; kristal yapıyı yeniden oluşturmak için ısı muamelesi veya tavlama vb. proses adımları düşük alaşımlı çelik ve karbon çeliği için kullanılmaktadır. Temel aşamalar; sıcak bant birleştirme ve ısıtarak perçinleme; soğuk haddeleme; son birleştirme ve asitle temizleme (veya parlak birleştirme); yüzeyin temizlenerek haddelenmesi ve nihai haddeleme aşamalarıdır. Soğuk haddelenmiş ürünler temelde, yüksek kaliteli yüzeye sahip ürünlerde kullanılmak üzere üretilmiş şerit ve levhalardır. Kalınlıkları tipik olarak 0,16-3 mm aralığında değişmektedir (EC, 2001a).

Birçok ürünün, kalınlığının veya kesit alanının sıcak haddeleme ile üretilebilenden daha fazla inceltilmesi ve daha iyi yüzey kalitesine sahip olması gerekir. Bu durumda ürüne soğuk haddeleme işlemi uygulanır. Soğuk haddeleme ürünün şeklini değiştirmez; fakat kalınlığı azaltır ve malzemeyi sertleştirir. Bu nedenle soğuk haddeleme sonrasında malzeme özelliklerinin tekrar kazandırılması amacıyla kesikli veya sürekli tavlama uygulanır (Campbell, 2013).

Sürekli tavlama, kesikli tavlamaya göre daha hızlı bir prosestir. Çelik bobin açılır ve hızlı bir şekilde, sürekli tavlama fırınlarında bulunan yüksek sıcaklık bölgelerinden geçirilir. Sürekli tavlama işleminde yeniden kristalleştirme için dakikalar yeterlidir. Sürekli haddelemede malzeme özellikleri daha homojendir (Campbell, 2013).

Soğuk çekme, başka bir soğuk işlemdir. Çubuk şeklindeki metal, çubuğun çapını gittikçe azaltan bir seri kalıptan geçirilir. Çekme işlemi malzemenin çekme dayanımını artırır (Campbell, 2013).

Soğuk haddehanenin girdi ve çıktılarının, ton soğuk haddelenmiş ürün başına spesifik değerleri kütle akış diyagramı olarak Şekil 4.19'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak 1 ton soğuk haddelenmiş ürün için hammadde olarak 1,01-1,05 ton sıcak haddelenmiş ürün kullanılmaktadır. Proseste kullanılan enerji kaynağı ise 1 ton soğuk haddelenmiş ürün için elektrik, yakıt ve buhar kullanılmakta olup spesifik tüketim değerleri sırasıyla; 1,03-2,053 GJ, 0,041-1,155 GJ, 0,213-0,339 GJ'dür. Prosese ton soğuk haddelenmiş ürün başına 0,036-0,174 m^3 endüstriyel ve demineralize su, 7,5-36,2 m^3 soğutma suyu beslenmektedir (EC, 2001a).



Not: Şema oluşturulurken; pickling tesisinde HCl kullanıldığı, düşük alaşımlı çeliğin haddelendiği, sürekli tavlama uygulandığı, temperleme ve bitirme işlemlerinin uygulandığı kabul edilmiştir.

Kaynak: (EC, 2001a)

Şekil 4.19 Soğuk haddehane kütle akışı

4.4.3 Filmaşin Haddeleme

Filmaşin haddeleme bir diğer adı ile tel çekme, tel çubuk/tellerin boyut olarak küçültüldüğü bir işlemdir. Çekme işlemi, metal kalıp olarak adlandırılan koni şeklinde küçük çapraz kollu açıklıklardan çekilerek gerçekleşir. Girdi genellikle sıcak haddeleme tesislerinden elde edilen, bobin formunda, 5,5 ile 16 mm aralığında boyutları olan tel çubuklardır. Tipik filmaşin haddeleme tesisi aşağıdaki proses adımlarından oluşmaktadır (EC, 2001a):

- Tel çubuğun ön-işlenmesi (mekanik tortu giderme, asitle temizleme)
- Kuru veya ıslak çekme
- Isı muamelesi (sürekli veya kesikli birleştirme, yağ sertleştirme)
- Sonlandırma

4.4.4 Sürekli Galvanizleme

Sıcak daldırmalı kaplama işleminde, çelik levha veya tel, erimiş metalden sürekli olarak geçirilir. İki metal arasında bir alaşım reaksiyonu gerçekleşerek kaplama ve substrat arasında iyi bir bağ oluşumu sağlanır. Sıcak daldırmalı kaplamada kullanılmak üzere, çelik ürününde herhangi bir termal değişiklikten kaçınmak için yeteri kadar düşük erime noktasına sahip alüminyum, kurşun, kalay ve çinko gibi uygun metaller kullanılmaktadır. Sürekli sıcak daldırmalı sistemde en çok kullanılan kaplama metali çinkodur. Genellikle, sac levha için sürekli kaplama hatları, aşağıda belirtilen basamaklardan oluşmaktadır (EC, 2001a):

- Yüzeyin temizlenmesi
- Isıl işlem
- Erimiş metal içeren banyoya daldırılması
- Sonlandırma

Sürekli tel galvanizleme tesisleri ise aşağıda belirtilen basamaklardan oluşmaktadır:

- Asitleme
- Temizleme
- Galvanizleme
- Sonlandırma

4.4.5 Kesikli Galvanizleme

Sıcak daldırmalı kesikli galvanizleme, demir ve çeliğin çinko ile kaplanarak korozyondan korunmasını sağlayan bir prosestir. Kesikli sıcak daldırmalı galvanizleme prosesinde birçok farklı girdi işlenebilmektedir. Girdinin boyut, miktar ve yapısı önemli derecede farklılık gösterebilir. Yarı veya tam otomatik özel galvanizleme tesislerinde gerçekleştirilen çubuk veya boruların galvanizlenmesi işlemleri diğer proseslerde karşılanamamaktadır. Bazı durumlarda, borular geleneksel kesikli kaplama tesislerinde galvanizlenebilmektedir. Galvanizlenmiş çelik inşaat, taşıma, tarım, güç iletimi ve uzun ömrün gerekli olduğu her alanda kullanılabilmektedir. Kesikli galvanizleme genellikle aşağıda belirtilen proses adımlarından oluşmaktadır (EC, 2001a):

- Yağ giderme
- Asitleme
- Temizleme

- Galvanizleme
- Sonlandırma

Bir galvanizleme tesisi, bir dizi proses havuzundan oluşmaktadır. Kaplanacak çelik, tanklar arasında hareket ederek vinçler sayesinde havuzlara daldırılmaktadır.

5 DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜ İÇİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER (MET)

5.1 Uygulanabilir MET Önerilerinin Belirlenmesi

5.1.1 Tesis Yönetimi için MET Uygulamaları

5.1.1.1 Çevre Yönetim Sistemi kurulması

Çevre Yönetim Sistemi (ÇYS), çevresel sorunlarının sistematik bir şekilde çözülmesine olanak veren bir tekniktir. ÇYS'ler bir tesisin genel yönetim ve işleyişinin doğal bir parçası olduklarında etkili ve verimli şekilde uygulanabilirler. Etkili bir ÇYS sürekli iyileştirme konsepti çerçevesinde devam eden bir süreçtir. Farklı süreç tasarımları olmakla beraber, çoğu ÇYS planla – uygula - kontrol et - önlem al (PUKÖ) döngüsüne dayanmaktadır.

ÇYS standart veya standart olmayan bir sistemin şeklini alabilmektedir. Ancak, EN ISO 14001 gibi uluslararası kabul gören standart bir sistemin uygulanması özellikle etkin bir dış doğrulamaya tabi tutulduğunda daha yüksek güvenilirlik sağlamaktadır. Bununla beraber, standart olmayan sistemler de düzgün tasarlanmaları ve uygulanmaları koşuluyla eşit derecede etkili olabilmektedir.

Bir ÇYS aşağıdaki bileşenleri içerebilir:

- Yönetimin taahhüdü
- Sürekli iyileştirmeyi de içeren bir çevre politikası tanımı
- Finansal planlama ve yatırım ile birlikte gerekli amaç, hedef ve prosedürlerin planlanması ve oluşturulması
- Özellikle yapılanma ve sorumluluk, eğitim, farkındalık ve yetkinlik, iletişim, dokümantasyon, verimli proses kontrolü, bakım programları ile acil durum hazırlık ve müdahale gibi konulara dikkat edilecek şekilde prosedürlerin uygulanması
- Kontrol ve düzeltici faaliyetler (özellikle izleme ve kontrol, düzeltici ve önleyici faaliyet, kayıtların sürekliliği, iç ve dış tetkikler dikkate alınarak)
- ÇYS uygunluğu, yeterliliği ve etkinliğinin üst yönetim tarafından gözden geçirilmesi
- Bir belgelendirme kuruluşu veya dış doğrulayıcı tarafından ÇYS'nin doğrulanması
- Temiz teknolojilerin gelişiminin takip edilmesi
- Bir tesisin devreden çıkarılması, yeniden tasarlanması ve kurulumu ile tesisin kullanım ömrü boyunca çevresel etkilerin dikkate alınması
- Düzenli olarak sektörel bazda karşılaştırmalı değerlendirmenin (benchmarking) yapılması

ÇYS, çevresel performansın sürekli iyileştirilmesini teşvik etmekte olup, çevresel performansın iyi olduğu durumlarda ise yüksek performans seviyesinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Çevresel etkilerin sistematik analizi ve iyileştirmelerin kapsamı, çevresel ortamın tamamı için en iyi çözümlerin değerlendirilmesi konusunda temel oluşturmaktadır. Enerji de dahil olmak üzere tüm önemli tüketimler ve emisyonlar işletmeci tarafından finansal planlama ve yatırım döngüsü ile birlikte kısa, orta ve uzun vadede koordineli bir şekilde yönetilmektedir.

ÇYS'nin uygulanabilirliği işletmenin niteliği, ölçeği, karmaşıklığı ve olabilecek çevresel etkilerin düzeyi ile ilişkilidir. İyi bir ÇYS'nin ortaya çıkarılması ve sürdürülmesine ilişkin maliyetlerin ve ekonomik

faydaların belirlenmesi zordur. ÇYS'nin kullanılması sırasında sağladığı ekonomik faydalar da mevcut olup, bunlar sektörden sektöre büyük ölçüde değişmektedir. ÇYS'nin doğrulanmasına ilişkin dış maliyetler Uluslararası Akreditasyon Forumu tarafından yayımlanan kılavuzdan yararlanılarak tahmin edilebilir.

Çevre yönetim sisteminin uygulanmasıyla çevresel performansın iyileştirilmesi, karar verme mekanizması için temeller geliştirilmesi, ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve işletme maliyetinin düşürülmesi konusunda yeni fırsatlar oluşması, sigorta ve uygunsuzluk maliyetlerinin azaltılması gibi faydalar elde edilebilmektedir (EC, 2012).

5.1.1.2 Üretim prosedürlerinin dokümante edilmiş halde bulundurulması ve takip edilmesi

Bir işletmede doğru ve verimli bir üretim yapılabilmesi için potansiyel sorunların kaynaklarının belirlenmesi, değerlendirilmesi ve üretim aşamalarının kontrol edilmesi amacıyla etkin üretim prosedürlerinin uygulanması gerekmektedir. Üretim süreçlerinde doğru prosedürlerin belirlenerek uygulanması kaynakların (hammadde, su, enerji, kimyasal, personel ve zaman gibi) daha verimli kullanılmasını ve üretim süreçlerinde güvenirlik ve kalitenin güvence altına alınmasını sağlamaktadır. Üretim süreçlerinde dokümante edilmiş üretim prosedürlerinin bulunması işletmenin performanslarının değerlendirilmesi ve sorunların çözülmesi için ani refleks geliştirme kabiliyetlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur. Üretim prosesleri özelinde oluşturulan prosedürlerin etkin şekilde uygulanıp izlenmesi ürün kalitesinin güvence altına alınmasında, geri beslemelerin alınabilmesinde ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde en etkili yollardan biridir (Ayan, 2010). Üretim prosedürlerinin dokümante edilip etkin şekilde uygulanması ve izlenmesi iyi bir yönetim uygulaması olup, temiz üretim yaklaşımının ve çevre yönetim sisteminin yapılandırılması ve sürekliliğinin sağlanmasında etkili bir araçtır.

5.1.1.3 Tüm kimyasal maddelerin, Malzeme Güvenlik Bilgi Formları'nda tanımlanan koşullarda saklanması ve depolanması

Tüm kimyasalların, malzeme güvenlik bilgi formlarında (MGBF) tanımlandığı şekilde sızdırmaz zemin üzerinde depolanması, kimyasal dökülmelerin engellenmesi, kimyasalların yüzeysel sulara ve kanalizasyon sistemlerine karışmasının engellenmesi, zehirli ve tehlikeli kimyasalların ayrı depolama alanlarında depolanması/saklanması ve otomatik kimyasal dozlama sistemlerinin kullanılması sağlanmalıdır (EC, 2003). Kimyasal dökülmelerinin gerçekleştiği alanlarda kuru temizleme teknikleri uygulanarak kimyasal döküntülerinin kanalizasyon sistemlerine karışması engellenebilir. Tesislerde kullanılan tüm kimyasallar için MGBF'lerin bulundurulması, kimyasal envanter çalışmasının yapılması, üretim proseslerinde kimyasalların kullanım süreçlerinde dokümante edilmiş prosedürlerin oluşturulması ve etkin şekilde uygulanması ile kimyasal tasarrufları sağlanabilmektedir (Kürkçü, ve diğerleri, 2011). Geliştirilen bu prosedürlerin uygulanması, kimyasal seçiminde çevre dostu kimyasalların kullanımının sağlanmasında, kimyasal dökülmelerin engellenmesinde ve atıksuların toksisitesinin ve kimyasal kirlilik yüklerinin azaltılmasında etkilidir (Öztürk, 2014).

5.1.1.4 Enerji Yönetimi Sistemi kurulması

Enerji Yönetim Sistemi (EYS), enerji verimliliğinin sistematik bir şekilde artırılmasına olanak veren bir tekniktir (ISO, 2011). Bir entegre demir-çelik tesisinde toplam enerji verimliliğini artırmaya yönelik birtakım önemli ve prosese özel hususlar bulunmaktadır. Bunlar:

- ***Enerji Tüketiminin Optimize Edilmesi:*** Genel olarak, çelik üretimindeki bir prosesin enerji kaynağındaki değişiklik diğer prosesleri etkilemektedir (örneğin; yüksek fırında kok fırın gazının kullanılması yüksek fırından çıkan YF gazının kalorifik değerinin yükselmesine neden olabilir). Enerji tüketimi optimize edilirken, proseslerin birbirinden bağımsız bir şekilde değerlendirilmesi yerine tüm proseslerin bir bütün halinde değerlendirilmesi daha iyidir.
- ***Online İzleme:*** Online izleme genellikle tesisteki en önemli enerji akışları ve yanma prosesleri için kullanılır. Özellikle de tüm flare bacaları için online izleme oldukça önemlidir. Online izleme, yanma proseslerinde ve flare bacalarında enerji kayıplarını önlemek için kullanılan ana tekniktir. Enerji ile ilgili proses parametrelerini içeren sürekli izleme sistemleri proses kontrolünü optimize etmek ve anında bakım sağlamak amacıyla kullanılabilir, böylece üretim kesintiye uğramadan gerçekleştirilir.
- ***Raporlama ve Analiz Araçları:*** Raporlama araçları her bir prosesin ortalama enerji tüketimini kontrol etmek için kullanılır. Maliyet kontrolü ile bağlantılı olarak enerji kontrolünün yapılması, enerji tüketimini ve maliyet tasarrufunu optimize etmenin temel unsurudur. Enerji kontrol sistemi geçmiş veriler ile mevcut verileri karşılaştırma olanağı sağlar.
- ***Spesifik Enerji Tüketim Seviyeleri:*** Her bir proses için, spesifik enerji tüketim seviyeleri belirlenebilir. Raporlanan enerji seviyeleri kullanılabilir. Değerler uzun süreli olarak karşılaştırılabilir.
- ***Enerji Denetimleri:*** Bu denetimler enerji yönetiminde önemli bir araç olarak Enerji Verimliliği BREF dokümanında tanımlanır. Bu denetimler sayesinde düşük maliyetli enerji tasarrufu olanaklarını tespit edilebilir.

Enerji yönetiminin amacı prosesten kaynaklanan gazların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Böylece sisteme ilave enerji kaynakları bulma gerekliliği azalır ve sistemin doğasından kaynaklanan kısıtlar içinde spesifik enerji tüketimi optimize edilir (EC, 2012).

5.1.1.5 Çalışanların bilinçlendirilmesi ve teknik altyapının güçlendirilmesine yönelik eğitimlerin düzenlenmesi

Personelin eğitimi, çevre ve enerji yönetim sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Tüm personel, kaynakları verimli kullanmak, israfı önlemek ve kirlilik oluşumundan kaçınmak üzere alınan önlemleri ve uygulanan stratejileri açıkça anlamalıdır. Üst yönetimin çevresel gelişim ve kaynak verimliliği konusunda hazırladığı politikalar, hedefler ve yürütme/uygulama stratejileri konusunda belirlenmiş açık bir taahhüdünün olması ve bu taahhüdün tüm personel tarafından bilinerek özümsenmesi sağlanmalıdır (EC, 2003). Ayrıca personel, görev yaptığı birim ve çalıştığı alan özelinde teknik eğitimler almalıdır. Üretim proseslerinden kaynaklanan kaynak kayıplarının ve çevresel etkilerin bir bölümü görev yapan personelin teknik bilgi yetersizliği ve yeterli çevre/kaynak bilincine sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Personele görev yaptığı alana özgü teknik eğitimlerin verilmesi ve aynı zamanda tesiste temiz üretim yaklaşımının yapılandırılması; potansiyel temiz üretim fikirlerinin ortaya çıkarılmasına, ekonomik avantajların sağlanmasına, kaynak kullanımlarında verimliliğin sağlanmasına ve çevresel performansların iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır (Öztürk, 2014).

5.1.1.6 Tesis genelinde tüm girdi ve çıktıların ünite bazında (hammadde, kimyasal, enerji, su, ürün, yan ürün, atıksu, hava emisyonları, çamur, katı ve tehlikeli atık) miktar ve nitelikleri açısından izlenmesi

İşletmelerde kaynak kullanımındaki verimsizlikler ve çevresel problemler girdi-çıktı akışları ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle üretim prosesleri özelinde girdi-çıktıların en iyi şekilde tanımlanması, miktar ve kaliteleri hakkında mümkün olduğunca çok bilgiye sahip olunması gereklidir. Ancak bu sayede kaynak verimliliğinin, ekonomik ve çevresel performansların artırılması için önerilerin geliştirilmesi mümkün olabilmektedir. Girdi-çıktı envanterleri değişik seviyelerde (en geneli yıllık bazda) düzenlenebilmektedir. Girdi-çıktı kütle akışı değerlendirmesi ve envanteri, çevresel ve ekonomik optimizasyon potansiyellerinin tanımlanmasında temel bir yönetim aracıdır. Bu sürekli iyileştirmenin bir ön koşulu olarak kabul edilmektedir. Bu tür yönetim uygulamaları teknik personel ve üst yönetimin katılımını gerektirdiği gibi çeşitli uzmanların çalışmalarıyla genellikle kendini çok kısa sürede amorti etmektedir. Girdi-çıktı akışları ve envanterlerinin hem mevcut hem de yeni kurulacak tesislerde hazırlanmasında teknik olarak herhangi bir engel bulunmamaktadır. Bu tekniğin uygulanması sırasında, prosesler bazında ölçüm ekipmanlarının kullanılması söz konusudur. Ayrıca prosesler özelinde bazı rutin analizlerin/ölçümlerin yapılması gerekebilmektedir. Uygulamadan en üst düzeyde verim alınabilmesi açısından günümüzde kullanılmakta olan bilgisayarlı izleme sistemlerinden mümkün olduğunca yararlanılması elde edilecek teknik, ekonomik ve çevresel faydaların artmasını sağlayacaktır. Genel iyi yönetim uygulamalarının ayrılmaz ve temel bileşenlerinden birini oluşturan proses bazlı miktar ve niteliklerin izlenmesi uygulaması diğer iyi yönetim uygulamalarıyla (personel eğitimi, çevre yönetim sistemi kurulması vb.) birlikte gerçekleştirildiğinde önemli tasarruflar sağlanması mümkündür (EC, 2003).

5.1.1.7 Kimyasalların dozlanmasında otomatik dozlama yapılması ve dağıtım sistemlerinin kullanılması

Günümüzde, hem üretimde kimyasalların hazırlanması, dağıtılması, dozlanması hem de laboratuvarda kimyasal reçetelerinin hazırlanmasında otomasyona dayalı-bilgisayar destekli sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır (EC, 2003). Modern kimyasal hazırlama ve dozlama sistemleri, kimyasalların istenilen miktarlarda alınmasını, uygun şekilde seyreltilmesini ve proseslere ulaştırılmasını mümkün olan en az kayıp ile sağlamaktadır. Böylelikle kimyasalların dökülmesi, israfı ve verimsiz kullanılması büyük ölçüde engellenerek kimyasal kullanımında miktarsal ve parasal tasarruflar sağlanabilir. Ayrıca kimyasalların atıksu akımlarına karışması ve atıksu arıtma tesislerine taşınan kimyasal yükler önemli ölçüde azaltılabilir (Öztürk, 2014). Bununla birlikte güvenli ve daha sağlıklı bir çalışma ortamı sağlanarak, çalışanların toksik ve tehlikeli maddeler ile teması mümkün olduğunca minimum seviyeye indirilebilir. Otomatik kimyasal hazırlama ve dağıtım/dozlama sistemlerinin kullanılması ile tek seferde doğru üretim anlayışının gelişmesine ve üretim tekrarlarının %2-3 oranında azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Otomatik dozlama sistemlerinin kullanılması ile proses tekrarlarında %17, kimyasal maliyetlerinde %11, iş gücü maliyetlerinde %10, ikinci kalite ürünlerde (hatalı üretim) %43 oranında azaltım sağlanabilir (EC, 2003).

5.1.1.8 Vana, valf, kompresör vb. ekipmanların kullanımında insan kaynaklı hataların önüne geçebilmek amacıyla tüm ekipmanlar için prosedürlerin oluşturulması, optimum çalışma ayarlarının belirlenmesi

İmalat süreçlerinde kullanılan ekipmanların doğru şekilde tasarlanması, kullanılması ve optimize edilmesiyle katı, sıvı ve gaz emisyonlarını önlemek mümkündür. Genellikle tanklar, pompalar, vanalar, kompresörler ve valfler, proses kaçaklarının başlıca kaynakları arasındadır. Bu tür ekipmanların kullanımı optimize edilerek en uygun çalışma ayarlarının belirlenmesi, personel tarafından yapılacak hataların en aza indirilmesinde etkili olabilmektedir. Söz konusu uygulamayla enerji, su ve malzeme (hammadde, kimyasal, yardımcı maddeler vb.) tüketimlerinin azaltılmasının yanı sıra hava, su ve toprak emisyonları da azaltılmaktadır. Ayrıca ısıtma, soğutma, kompresör ve havalandırma gibi sistemlerde aşırı kaynak kullanımlarının önüne geçebilmek için optimizasyon çalışmalarının sonuçlarına göre en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi, kaynak kullanımlarında verimlilik ve çevresel performansların geliştirilmesi açısından önemli bir iyi yönetim uygulamasıdır. Günümüzde, manuel sistemler yerine bilgisayarlı otomasyona dayalı kontrol sistemleri kullanılabilmektedir (EC, 2006).

5.1.1.9 Tank, reaktör, pompa, kompresör, vana vb. ekipmanlardaki kaçakların belirlenmesi ve önlem alınması

Üretim proseslerinde, izleme-kontrol ve bakım-onarım eksiklikleri sonucunda yıpranan ekipmanlar ve hatlarda oluşan enerji, su, hammadde, kimyasal vb. kayıp/kaçaklarının belirlenmesi ve önlenmesi, kaynakların verimli kullanımı ve olumsuz çevresel etkilerin ortadan kaldırılması açısından etkili bir yönetim uygulamasıdır. Kayıp-kaçakların önlenmesi için makine, pompa ve boru sistemlerinin bakımlarının rutin olarak yapılması gerekmektedir. Tüm prosedürlerin iyi şekilde dokümante edildiği düzenli bakım prosedürleri oluşturulmalıdır. Üretim proseslerinde kayıp ve kaçakların önlenmesi amacıyla; pompalar, valfler, ayar düğmeleri, basınç, akış regülatörleri gibi ekipmanların en önemli parçalarının bakım kontrol listesine eklenmesi, sadece su sistemlerinin değil ayrıca ısıtma ve kimyasal dağıtma sistemlerinin, tambur, pompa ve valflerin denetimlerinin yapılması, filtrelerin ve boru hatlarının düzenli olarak temizlenmesi, ölçüm ekipmanlarının (termometreler, kimyasal tartıları, dağıtım/dozlama sistemleri vb.) düzenli kalibrasyonun yapılması ve ısıl işlem ünitelerinin (bacalar dahil olmak üzere) rutin olarak belirlenen periyotlarda denetlenmesi ve temizlenmesi gereklidir (EC, 2003). Etkin bakım-onarım, temizlik ve kaçak kontrolü uygulamaları ile su tüketiminde %1-6, enerji tüketiminde %1-5 ve kimyasal tüketiminde %2-7 oranında tasarruf sağlanabilmektedir (Hasanbeigi, 2010; Öztürk, 2014).

5.1.1.10 Üretimde zaman optimizasyonunun uygulanması, tüm işlemlerin en kısa sürede bitecek şekilde düzenlenmesi

Bir hammaddenin ürüne dönüşene kadar geçirdiği aşamalarda, üretim planlanmasının, en az sayıda proses kullanılarak yapılması iş gücü maliyetleri, kaynak kullanımı maliyetleri ile çevresel etkilerin azaltılması ve verimliliğin artırılması noktasında etkili bir uygulamadır. Bu kapsamda üretim süreçlerinin yeniden gözden geçirilerek en az sayıda proses adımı kullanılacak şekilde yeniden revize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca temel üretim proseslerindeki bazı yetersizlikler, verimsizlik ve tasarım hataları nedeniyle istenilen ürün kalitesinin sağlanamadığı durumlarda, birim miktardaki ürünün imalatında gerekli olan kaynak kullanımı miktarı ve oluşan atık ve emisyon miktarları artmaktadır. Böyle durumlarda üretim proseslerinin yenilenmesi gerekmektedir. Üretim süreçlerinde zaman optimizasyonu yapılması diğer iyi yönetim uygulamaları ile birlikte etkin olarak kullanılabilen bir uygulamadır.

5.1.1.11 Vana, kompresör, fan vb. ekipmanların bulundurulduklari birimlerde çalışma olmadığı durumlarda kapatılması

İşletmelerde, üretim duruşları sırasında; su kontrol ekipmanları, kompresör, fan, aydınlatma vb. ekipmanların kapatılması, kaynak (hammadde, su, enerji, kimyasal vb.) israfının engellenmesinde oldukça önemli bir iyi yönetim uygulamasıdır. Bu ekipmanların çalışmasına gerek olmadığı durumlarda kapatılmasına yönelik dokümante edilmiş prosedürler bulunsa da genellikle manuel kontrollü uygulamalarda yeterli performans sağlanamamaktadır. Günümüzde vanaların, kompresörlerin, fanların, aydınlatma/havalandırma sistemlerinin bilgisayar kontrollü otomatik açma-kapatma ekipmanları ile donatılması ile israfın büyük ölçüde önlenmesi sağlanmaktadır. Bu ekipmanlarda ana tahrik mekanizmasını su akışına bağlayan otomatik durdurma valfleri, bir duruş gerçekleştiği anda su akışını keserek önemli ölçüde su ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (EC, 2003). Otomatik kapatma sistemlerinin kullanılması ile üretim prosesleri bazında su ve enerji tüketimleri %20-30 oranında azalmaktadır (Öztürk, 2014).

5.1.1.12 Malzeme ve ekipman seçiminde korozyona duyarlılığı düşük malzemelerin tercih edilmesi

Günümüzde giderek gelişen teknolojiyle birlikte metal ve metal alaşımlarının da kullanım alanları giderek artmıştır. Ancak metal ve metal alaşımlarının kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda ortam şartlarında bozulması olarak tanımlanan korozyon problemlerini de beraberinde getirmiştir. Korozyon teknik ve ekonomik yönden de büyük önem taşımaktadır. Atmosferle doğrudan temas halinde bulunan tanklar, depolar, betonarme direkleri, korkuluklar, yeraltı boru hatları ve birçok ekipman korozyona maruz kalabilmektedir. Bütün bu yapılar korozyon ile birlikte beklenenden daha kısa sürede servis dışı kalmakta ve önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Gerengi, ve diğerleri, 2013). Korozyonu önlemek amacıyla korozyona karşı dayanıklı malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu malzemeler arasında başta çelik olmak üzere, alüminyum, bakır, plastik ve bazı makine parçalarında kullanılan seramik malzemeler yer almaktadır.

5.1.1.13 Tesisat tasarımında yük kaybı yaratan ekipmanların (dirsek, vana vb.) enerji verimliliğini sağlayacak şekilde planlanması

Tesisat sistemleri dirsek, vana, çap değişim-birleşim noktaları gibi ek parçalarını içermektedir. Tesisat sistemleri üzerinde bulunan bu ek parçalarının akış alanını ve yönünü değiştirmesi, sistemde sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıplarının yanında ek enerji kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır. Genellikle ek parçalarından kaynaklanan bu kayıplar önemli seviyelerde olup, dikkate alınmalıdır (McCabe, ve diğerleri, 1993). Tesisat sistemleri üzerinde bulunan dirsek ve çap değişim noktalarında radyal basınç değişimi nedeniyle akış eğim kazanmakta ve girdap şeklinde ikincil akımlar oluşmaktadır. Bu nedenle dirsek çıkışında ve tesisat isteminin bir bölümünde ikili spiral akış gözlenmektedir. Ayrıca basınç değişimi ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisiyle akış boru çeperinden ayrılmakta ve girdaplar oluşmaktadır. Bu etkiler ve akış düzensizlikleri nedeniyle tesisat sistemlerinde önemli enerji kayıpları gerçekleşmektedir. Bu noktada bir tesiste yeni bir tesisat tasarımı yapılırken yük kaybı oluşturacak elemanların mümkün olduğunca az kullanılması tesisat sistemindeki basıncın korunmasına ve enerji kayıplarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

5.1.1.14 Bakım Yönetim Sistemi kurulması

İşletmelerde bakım yönetim sistemi kurulması ve kullanılan makine, ekipman, cihaz ve teçhizatların rutin bakım onarımlarının yapılması üretim verimliliğini doğrudan etkileyen bir iyi yönetim uygulamasıdır. Bakım onarım programlarının detaylandırılması makinelerin arıza sıklıklarının kaydedilmesi ve sebep olduğu iş-zaman kayıplarının değerlendirilmesi sağlanacak potansiyel faydaları da artırmaktadır. Pompalar, valfler, ayar düğmeleri, basınç ve akış regülatörleri gibi ekipmanların, su sistemlerine ek olarak mevcut enerji ve kimyasal taşıma sistemlerinin, buhar hatlarındaki ekipmanların, filtrelerin, kimyasal ölçüm ve dağıtım cihazlarının, hassas ölçüm cihazlarının (termometre, debimetre, analizör, akım ölçer, hassas tartılar vb.) kalibrasyonlarının da bakım onarım programlarına dahil edilmesi gerekmektedir (EC, 2003). Bu sayede işletmede üretim verimliliğini olumsuz etkileyen noktalar kolaylıkla tespit edilebildiği gibi gelecekte sorun oluşturabilecek riskler de öngörülebilmektedir. Bu tekniğin uygulanması, işletmede önleyici bakım onarım uygulamalarını da kolaylaştırmaktadır. Uygulamanın en önemli faydalarından biri önleyici bakım onarım programları ile iş-zaman kayıplarının ve daha büyük kaza/makine kayıplarının önlenebilmesidir. Böylelikle gelecekte karşılaşılması muhtemel ekstra maliyetler önüne geçilebilir ya da minimum seviyeye indirilebilir. Buhar hatlarının rutin bakım onarımı ve buhar kaçaklarının önlenmesi ile su tüketiminde %0,1-1 ve enerji tüketiminde %0,3-5 oranında tasarruf sağlanabilir. Buhar vanaları ve sistemlerinin bakım onarımı ile toplam buhar tüketiminde %1-4 oranında azalma sağlanabilmektedir (Greer, ve diğerleri, 2013).

5.1.2 Hammadde Seçimi, Depolanması, Kullanımı için MET Uygulamaları

5.1.2.1 Hammadde depolama, elleçleme, taşıma ve harmanlama işlemlerinde oluşan difüz emisyonların azaltılması

Entegre demir-çelik üretim tesisleri ve elektrik ark ocaklı tesislerde difüz emisyonlar açısından birincil kaynak boşaltma, depolama, elleçleme ve taşıma sistemleridir. İkincil toz emisyonları depo veya bertaraf alanlarında bulunan tozlu malzemelerden, taşıt yollarındaki taşıt hareketlerinden ve kullanılan arabaların lastik ve şasisinin kirlenmesinden ileri gelmektedir. Üretim prosesleri de difüz emisyonları açısından başlıca bir kaynak olabilmektedir. Bu açıdan malzeme depolama, elleçleme ve taşıma işlemleri dışında, artıkların sahada işlenmesi ve kırma, eleme, şarj, döküm alma (tapping) esnasında uygulanan toz toplamanın yetersiz kalmasına bağlı olarak daha düşük seviyeli difüz emisyonların oluştuğu bilinmektedir. Bu difüz emisyon kaynakları genellikle ikincil egzoz gazları olarak isimlendirilmektedir.

Demir-çelik üretiminde meydana gelen difüz toz emisyonlarının azaltımı için kullanılabilecek teknikler aşağıda listelenmektedir;

<u>Genel teknikler;</u>

- Çevre Yönetim Sistemi kapsamında difüz toz emisyonlarına ilişkin bir eylem planının oluşturulması
- PM_{10} emisyonlarının yüksek değerlere ulaştığı durumlarda, ilgili bazı süreçlerin geçici olarak durdurulmasının değerlendirilmesi, bu amaçla uygun bir kontrol sisteminin kurulması

Hammaddelerin elleçlenmesi ve taşınması esnasında oluşan toz emisyonlarının önlenmesine yönelik teknikler;

- Hammadde stok yığınlarının hâkim rüzgar yönü dikkate alınarak düzenlenmesi
- Siper olarak rüzgar bariyerlerinin veya doğal arazi koşullarının kullanılması
- Temin edilen malzemelerin nem içeriğinin kontrol edilmesi
- Malzemelerin gereksiz olarak taşınması ve uzun süre açıkta kalmasının önlenmesi amacıyla ilgili prosedürlerin dikkatli bir şekilde takibinin sağlanması
- Konveyör ve bunker sistemlerinin uygun bariyer sistemleri ile donatılması
- Tozuma önleyici su (uygun olduğu durumlarda lateks vb. katkı malzemelerinin de ilave edildiği) spreyleme sistemlerinin kullanılması
- Ekipmanlara etkili bir bakım standardının uygulanması
- Bakım ve temizlik işlemleri açısından (örneğin; yolların temizliği) standardın yüksek tutulması
- Mobil ve sabit vakumlu temizleme sistemlerinin kullanılması
- Toz oluşumunun önlenmesi amacıyla tozuma önleyici sistemler veya toz toplama sistemleri ile torba filtreli temizleme sistemlerinin kullanılması
- Tesis içinde bulunan sert zeminli yolların temizliği amacıyla süpürge arabalarının kullanılması

Malzeme temini ve depolama işlemlerine yönelik teknikler;

- Boşaltma bunkerlerinin filtreli hava toplama sistemine sahip bir binada toplanması veya bunkerlerin toz yönlendirme perdesi ile donatılması ve boşaltma sistemlerinin toz toplama ya da temizleme sistemi ile birlikte kullanılması
- Boşaltım yüksekliğinin maksimum 0,5 metre olacak şekilde sınırlandırılması
- Toz tutma amacıyla su spreylerinin kullanımı (bu aşamada geri kazanılmış suyun kullanılması tercih edilir)
- Depo alanlarının gerekli olduğu durumlarda toz kontrolünün sağlanabilmesi amacıyla filtre sistemleri ile donatılması
- Gerekli olması durumunda toprağa olası bir sızıntının engellenmesi amacıyla hurdaların üstü kapalı ve sert zeminli bir alanda depolanması (teslimat sürelerinin ayarlanması ile bu amaçla kullanılacak sahanın da minimize edilmesi sağlanabilir)
- Stoklama aşamasındaki düzensizliklerin minimize edilmesi
- Stok yığınlarının yüksekliğinin sınırlandırılması ve yığın şeklinin kontrol edilmesi
- Depolama miktarının uygun olduğu durumlarda stok yığınlarının, açıkta oluşturulması yerine kapalı binalarda veya kaplarda oluşturulması
- Doğal arazi koşulları veya bitki örtüsü kullanılarak rüzgar perdelemesinin yapılması (bu sayede hem estetik açıdan görünür tozumanın giderilmesi, hem de bitki örtüsü vasıtasıyla tozun tutulması sağlanabilir)
- Cüruf yığınları vb. malzemelere hidro-tohumlama yapılması
- Kullanılmayan alanların çim ve çalı gibi yüzey bitkileri ile örtülmesi ile bu bölgelerde oluşacak tozumanın önlenmesi
- Yüzeyin dayanıklı toz tutma malzemeleri kullanılarak nemlendirilmesi

- Stok yığınlarının üzerinin branda vb. bir kaplama malzemesi ile kapatılması
- Maruz kalan yüzeyin azaltılması amacıyla deponun istinat duvarı ile bölünmesi
- Beton ve drenaj içeren geçirimsiz yüzeylerin kullanılması

Yakıt ve hammaddelerin deniz yoluyla taşındığı durumlar için önerilen teknikler;

- Boşaltma işleminin operatörlerce kullanılan kendi kendine boşaltımlı tanklar veya kapalı sürekli boşaltma hatları vasıtasıyla yapılması (Çeneli kepçe tipi boşaltma sistemlerinin kullanılması durumunda malzeme nem içeriğinin uygun seviyede sağlanması, boşaltma yüksekliğinin ayarlanması, gemi boşaltım bunkerinin ağız kısmında su spreylemesinin yapılması gibi yöntemler kullanılabilir)
- İçeriğindeki sodyum klorür nedeniyle sinter tesisinde kurulu bulunan elektrostatik çöktürücü ünitelerinde tıkanmaya sebep olabilecek deniz suyu cevher vb. malzemelerin üzerine spreylenmemeli (Hammadde içeriğinde fazladan klorür bulunması PCDD/F vb. emisyonların artmasına ve filtre tozu resirkülasyonunun zorlaşmasına da sebep olabilir)
- Tozumaya müsait ve kuru tutulması gereken karbon, kireç ve kalsiyum karpit gibi malzemelerin sızdırmazlığı sağlanmış silolarda depolanması ve pnömatik sistemler ile taşınması ya da sızdırmazlığı sağlanmış torbalarda depolanması ve taşınması

Malzemelerin tren veya kamyon vasıtasıyla boşaltıldığı durumlar için önerilen teknikler;

- Eğer gerekli ise kapalı bir şekilde tasarlanmış sistemlerin kullanılması

Önemli miktarda toz emisyonuna sebep olabilecek tozumaya müsait malzemeler için önerilen teknikler;

- Aktarma noktası, titreşimli elek, kırıcı, bunker vb. ekipmanlar açısından tamamen kapalı bir şekilde tasarlanmış sistemlerin kullanılması ve torba filtre sisteminde toplanması
- Saçılan malzemelerin temizlenmesi amacıyla yıkama işlemlerinin yerine merkezi veya lokal vakum temizleme sistemlerinin kullanılması (bu şekilde katı halde toplanan tozun geri kazanımı kolaylıkla yapılabilir)

Cürufun elleçlenmesi ve işlenmesine yönelik teknikler;

- Elleçleme ve işleme aşamasında kuru cürufun daha fazla tozumaya sebebiyet vermesi nedeniyle cüruf stok yığınlarının nemli olacak şekilde tutulması
- Toz toplama ve torba filtre sistemi ile donatılmış kapalı cüruf kırma ekipmanlarının kullanılması

Hurdanın elleçlenmesine yönelik teknikler;

- Araç hareketi kaynaklı toz emisyonlarının azaltılması amacıyla hurdanın kapalı depolarda ya da beton duvarlarla çevrilmiş alanlarda depolanması

Malzemelerin taşınmasına yönelik teknikler;

- Otoyollara erişim noktalarının kısıtlanması

- Çamur ve tozun otoyollara taşınmasının engellenmesi amacıyla araç tekerleklerinin temizlenmesine yönelik ekipmanların kullanılması
- Toz bulutlarının oluşumunun önlenmesi amacıyla taşıma yollarının beton veya asfalt malzemeden yapılmış olması ve yolların düzenli aralıklarla temizlenmesi
- Çit, hendek ya da cüruf setleri gibi mekanizmalar vasıtasıyla araçların belirli rotalara erişiminin engellenmesi
- Tozlu rotalarda su spreyleme sistemlerinin kullanılması (örneğin; cüruf elleçleme işlemleri)
- Dökülmenin önlenmesi için taşıma araçlarının son seviyeye kadar doldurulmaması
- Taşıma esnasında malzemenin üstünün kapalı olması
- Taşıma sayısının azaltılması
- Kapalı veya örtülü konveyör sistemlerinin kullanılması
- Bantlar arasında gerçekleştirilen malzeme transferi sırasında yön değişimine bağlı olarak oluşabilen malzeme kaybının azaltılması amacıyla mümkün olan bölümlerde tüp biçimindeki konveyörlerin kullanılması
- Eriyik metalin transferinde ve pota elleçlemesinde iyi uygulama tekniklerinin kullanılması
- Konveyör transfer noktalarının tozsuzlaştırılması

Yukarıda listelenen bu tekniklerin kullanımı ile elde edilecek başlıca çevresel fayda, malzeme depolama, elleçleme, taşıma ve harmanlama işlemlerinden ileri gelen difüz toz emisyonlarının önlenmesidir (EC, 2012).

5.1.2.2 Hammaddelerin elleçlenmesi, harmanlanması ve karıştırılması sırasında suya geçen kirliliğin kontrol edilmesi

Özellikle cevher, kömür ve hammaddelerin depolandığı alanlarda yağmur suyu akışı vasıtasıyla askıda katı maddelerin taşınması mümkündür. Bu alanlardaki yağmur suyu akışı toplanmalı ve çöktürme ya da başka bir yöntemle içeriğindeki askıda katı maddeler giderilmelidir. Depolama ve harmanlama sahalarından toplanan suların kalitesinin takip edilmesine yönelik sistemlerin kurulması gerekmektedir.

Satın alınan hurdanın depolandığı ve elleçlendiği alanlar hurda içeriğindeki yağ ve kimyasalların yağmur suyunda çözünebilmesine bağlı olarak en önemli kirletici kaynaklarıdır. Hurda sert ve geçirimsiz zeminde depolanmalı ve depo sahasında deşarj sistemi (deşarj öncesi toplama kapanı olan) bulunmalıdır. Bu şekilde çevresel riskin ihmal edilebilecek seviyede düşük olması sağlanabilir (EC, 2012).

5.1.2.3 Hurda içeriğinin satın alma aşamasından itibaren takip edilerek hurdaların sınıflandırılması ve istenen çelik kalitesine göre kullanılması

EAO ve BOF proseslerinde kullanılan reçete ve çelik özelliklerine bağlı olarak çeşitli demir içerikli hurda malzeme kullanımı gerektirmektedir. Bu nedenle satın alınan veya iç üretimden geri dönüştürülen hurda ayrı ayrı depolanmalıdır. Hurdalar ağırlık, boyut ve kimyasal analiz sonuçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Hurda sahasında her çeşit hurda için ayrı depo alanı bulunur.

Yüksek oranda ağır metal veya istenmeyen/tehlikeli madde içeriği nedeniyle üretimde kullanılamayan hurda malzemelerin belirlenmesinde operatörlerce uygulanan birçok farklı teknik mevcuttur. Bu tekniklerin bazıları hurdanın karakterize edilmesi noktasında operatörlere destek sağlamaktadır. Hurdanın doğru karakterize edilmesi hem devamında gerçekleştirilecek operasyonların (EAO, BOF vb.) işletilmesi açısından hem de tahmin edilemeyen emisyon profillerinin oluşması açısından önem arz etmektedir.

Hurda kullanımının geliştirilmesine yönelik bazı teknikler şu şekildedir:

- Satın alma sürecinde üretim profiline uygun olacak şekilde kabul kriterlerinin belirlenmesi
- Hurdanın tedarik edildiği kaynağı sıkı bir şekilde takip edilerek hurda kompozisyonu hakkında sağlıklı bir bilgi birikimine sahip olunması (bazı özel durumlarda hurdaya uygulanacak bir ergitme testi ile kompozisyonun belirlenmesi sağlanabilmektedir.)
- Uygun bir kabul tesisi ve teslimat sürecinin bulunması
- İşletmede kullanılmayacak hurdanın ayrılmasına yönelik prosedürlerin oluşturulması
- Hurdanın farklı kriterlere (boyut, alaşımlar, temizlik derecesi vb.) göre sınıflandırılarak depolanması; toprağı kirletme riski taşıyan hurdanın tabanı geçirimsiz olan ve drenaj ve toplama sistemine sahip bir sahada depolanması ya da hurda depo alanının çatı ile kapatılması
- Üretilecek çelik seviyesine uygun kompozisyona sahip hurdanın kullanılması (bu uygulama, bazı durumlarda istenmeyen elementlerin hurda ile birlikte reçeteye karışmasının engellenmesi amacıyla kullanılabilirken bazı durumlarda da istenilen çelik seviyesine uygun kompozisyonun hurdada bulunabilecek elementler vasıtasıyla elde edilmesini sağlayabilmektedir.)
- İç üretimden kaynaklanan tüm hurdanın geri dönüşüm için hurda sahasına iletilmesi
- PCB'lerin, yağ ve gres gibi tehlikeli ya da demir dışı madde içeren kirliliklerin azaltılması amacıyla hurdanın sınıflandırılarak kullanılması (bu işlem genellikle hurda tedarikçileri tarafından gerçekleştirilmekte olup, güvenlik sebebiyle tesiste operatörlerce de son kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle bu kontroller esnasında mümkün olduğunca hurdanın kirleticiler açısından da tetkik edilmesi gerekir. Bu aşamada küçük plastik parçaların da (plastik kaplı parçalar vb.) değerlendirilmesi gerekmektedir.)
- Radyoaktivite kontrolünün yapılması
- Bazı maddelerin hurda içeriğinde bulunmasının yasak olduğu durumlar olabilmektedir. Örneğin AB'de hurda içeriğinde cıva bulunması yasaklanmıştır. Satın alma sözleşmelerinin yapılması aşamasında hurda içeriğinde cıva bulunmaması şartının konulması veya görünürde elektronik parçalar içeren hurdaların kabul edilmemesi uygulanabilecek iki farklı yöntemdir.

Hurda içeriğinin bilinmesi ile çevreye istenmeyen emisyonların oluşması engellenebilmektedir. Yukarıda listelenen bu tekniklerden bazılarının kullanılması ile BOF'a beslenen hurda miktarının 200 kg/ton çelik seviyesinden 250 kg/ton çelik seviyesine artırılması sağlanabilmiştir. Bu durumda BOF konverterinde çevre ve enerji verimliliği açısından iyileşme sağlanmıştır.

Hurda kullanımının geliştirilmesine yönelik belirlenmiş bu teknikler pratikte hurdanın ağırlık ve kimyasal analiz sonuçlarına göre sınıflandırılmasının zorunlu olduğu EAO ve BOF proseslerinde uygulanabilmektedir.

İç üretimde oluşan hurdanın tamamen geri dönüştürülmesi ve hurda kullanım miktarının genel olarak artırılması ile ekonomik açıdan önemli tasarrufların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Öte yandan çelik üretiminin artırılması ile satın alınan kütük miktarında azaltım ve buna bağlı olarak karlılığın artması sağlanabilmektedir.

Bu tekniklerin uygulanması ile çelik üretiminin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve çevresel emisyonların azaltılması mümkün olmaktadır (EC, 2012).

5.1.2.4 Kimyasal ve hammadde kullanımında çevre ve insan sağlığı açısından en az risk taşıyan malzemelerin tercih edilmesi

Üretim proseslerinde kimyasal ve hammaddelerin seçiminde insan sağlığı ve çevre üzerinde en az riske sahip olanların tercih edilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra tercih edilen hammadde ve kimyasallar, üretim verimliliğinin ve çevresel performansların artırılmasına ve kaynak kullanımının azaltılmasına katkı sağlamalıdır. Hammadde ve kimyasalların seçiminde öncelikle mevcut kimyasalların MGBF'lerinden yararlanılarak bir kimyasal envanter hazırlama çalışması yürütülmelidir. Bu kapsamda kimyasalların sucul ortamlar ve insan sağlığı üzerindeki toksik etkileri (LC_{50}, LD_{50}, IC_{50} ve EC_{50}) ve biyodegradasyon/eliminasyon oranları değerlendirilebilir (Öztürk, 2014). Bu kimyasal envanter çalışmasına göre toksik karakterde ve biyodegradasyon/eliminasyon özellikleri düşük (<%70) olan kimyasalların çevre dostu ikameleri ile değişimi gerçekleştirilmelidir. Ayrıca çevre ve insan sağlığı için en az risk taşıyan kimyasalların kullanımının sürekliliğinin sağlanması ve güvence altına alınması için bu kriterler göz önünde bulundurularak dokümante edilmiş bir prosedür oluşturulmalıdır. Hammadde seçiminde ise toksik özellikte olmayan, ikincil kirletme potansiyeli düşük, kalıntı ve atık miktarları daha az, ön işlem gerektirmeyen, proses verimliliği yüksek, işlenmesi kolay, daha az emisyon oluşumuna neden olan, depolama/saklama ve dozlaması kolay olan ve işlenmesi için daha az kaynak kullanımına (su, enerji, kimyasal, katkı maddeleri vb.) ihtiyaç duyulan hammaddeler tercih edilmelidir (Öztürk, 2014). Hammadde seçiminde bu kriterlerin göz önünde bulundurulması ve hammadde seçimi için hazırlanmış özel dokümante edilmiş prosedürlerin oluşturulması kaynak verimliliği ve çevresel performansların geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Hem kimyasal hem de hammadde seçiminde belirtilen bu uygulamaların gerçekleştirilmesi ile biyolojik arıtma tesislerine gelen atıksuların kimyasal yüklerinin azaltılması, arıtma performanslarının geliştirilmesi, toksik maddeler nedeniyle inhibisyonların önlenmesi de sağlanabilir. Bu tekniğin uygulanması ile atık gaz emisyonlarında da azaltım sağlanabilir. Söz konusu iyi yönetim uygulamasının yapılandırılmasıyla iç ortam hava kalitesi iyileştirilerek, çalışanların riskli kimyasallar ile teması mümkün olduğunca azaltılacağından iş güvenliği ve sağlığı uygulamalarına da önemli bir katkı sağlanabilmektedir. Çevre ve insan sağlığı açısından en az risk taşıyan hammaddeler ve kimyasallar, genellikle ön işlemlere tabi tutulduklarından dolayı (bazı durumlarda ek prosesler nedeniyle) daha maliyetli olmaktadır. Ancak yasal düzenlemelere uyum, firma ya da ürünün piyasadaki prestijinin artması, küresel rekabet avantajlarının sağlanması, arıtma ve bertaraf maliyetleri (EC, 2006) başta olmak üzere diğer üretim maliyetlerinin de azaltılması gibi faydalar göz önüne alındığında, bu tür kimyasalların kullanılması ekonomik açıdan uygulanabilir olarak değerlendirilmektedir.

5.1.2.5 Yüksek fırın ve BOF toz ve cüruflarının haddehane tufali ile birlikte işlendiği ve sinter makinesi ve yüksek fırından oluşan DK prosesinin kullanılması

DK prosesi, bir sinter tesisi ve bir yüksek fırından oluşmaktadır. Proses; farklı bir ön işlem içerdiğinden, hammadde kalitesi açısından tipik demir-çelik üretim proseslerinden farklılık göstermektedir. DK

prosesinde kullanılan hammaddelerin %80'den fazlasını, yüksek fırın ve BOF'tan gelen toz, çamur ve tufal oluşturmaktadır. Bunlara ilaveten birçok demirce zengin atık da bu proseste kullanılabilmektedir.

Hammaddelerin hazırlanmasındaki ilk adım, sinterleme prosesidir. Bu proseste; toz, çamur ve tufal, yüksek fırında kullanılabilmek üzere aglomere edilmektedir. Bu aglomerasyon işleminde, ince materyaller, kireç ve kok tozu ile karıştırılır ve bir tabaka halinde sinter yatağına serilir. Ateşleme ocağındaki bir gaz brulörü kok tozunu ateşler ve sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Oluşan sinter yataktan ayrılır ve soğutulmak üzere soğutuculara gönderilir.

Daha sonra sinter, indirgeyici olarak kullanılan kok ile birlikte özel bir pik demir üretmek üzere yüksek fırına iletilir. DK prosesinde kullanılan hammaddeler yüksek çinko içeriğine sahiptir (ortalama %2-3) Bu nedenle yüksek fırın gazı temizlemeden kaynaklanan çamur, çinko endüstrisinde kullanılan saf çinko üretmek amacıyla geri kazanılmaktadır.

Aglomerasyon adımına ait metalurjik koşullar, atık gazda PCDD/F emisyonlarının oluşumuna neden olabilir. Bu nedenle atık gaz, birçok adımda arıtılmaktadır. Çinko, alkaliler ve kurşun, yüksek fırında olumsuz etkilere neden olduğundan, bu maddelere çok dikkat edilmelidir. Bu maddeler, daha yüksek kok tüketimine ve refrakterlerin daha çok aşınmasına neden olmaktadır.

DK prosesi, BOF ve yüksek fırınlardan kaynaklanan toz ve çamurları işlemek için kullanılabilmektedir. Ayrıca, tufal ve demirce zengin diğer atıklar da kullanılabilmektedir. Çinko içeriği %10'a kadar çıkabilmektedir (ortalama %2-3).

Bu prosesin uygulanması ile atıkların birikmesi önlenebilmekte ve demir ile çinko atıklarının geri dönüşümü teşvik edilmektedir. DK prosesinin ürünleri olan pik demir döküm endüstrisinde, çinko konsantresi ise çinko endüstrisinde kullanılmaktadır. Depolamanın yerini DK prosesi ile geri dönüşüm almıştır (EC, 2012).

5.1.2.6 Toz cevherin, soğuk bağlama yöntemiyle topaklaştırılması ile üretilen peletlerin veya briketlerin yüksek fırınlarda tekrar kullanılması

Avrupa'daki bazı entegre çelik fabrikalarında, yüksek fırın beslemesi için çoğunlukla sinter yerine tesis dışından temin edilen peletler kullanılmaktadır. Bu şartlar altında, cevher tozları, elleçleme ve eleme işlemlerinden kaynaklanmakta ve eğer aglomere edilebilirse demir üretim prosesine geri döndürülmektedir. Bu cevher tozları, demir ve/veya karbon içeren diğer materyallerle birlikte soğuk bağlama yöntemiyle aglomere edilerek peletlenmekte/briketlenmektedir.

Bir soğuk peletleme/briketleme tesisi genellikle aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır:

- Girdi malzemelerinin elleçlenmesi, silolarda depolanması ve elenmesi
- Filtre keklerinin ön kurutması
- Bağlayıcıların karıştırılması ve dozlanması
- Peletleme/briketleme için bir pres veya blok yapma makinesi kullanılması
- İnce parçacıkların elenmesi
- İç ortamlarda kullanılacak briketlerin depolanması

Demir-çelik üretiminden kaynaklanan atıklar ayrı ayrı depolanmalıdır. Üretilecek olan soğuk bağlanmış aglomeratların türüne bağlı olarak farklı atıklar kullanılabilir. Bir uygulamada, soğuk bağlanmış aglomeratların yapımında yüksek fırın tozu ve kok tozu gibi karbon içeren materyaller kullanılmıştır.

Diğer briket türleri, ağırlıklı olarak pelet tozları, ince hurda, tufal, BOF çamuru ve cüruf gibi atıklardan üretilmektedir.

Atıklar karıştırılır, alaşımlama elementleri ilave edilir. Çimento, sönmüş kireç ve molas, bağlayıcı olarak kullanılır. Homojenize edilen karışım briket presine veya bir blok yapma makinesine beslenir. Daha sonra üretilen briketler titreşimli bir elek vasıtasıyla elenir ve kürleme odasına iletilir. 24 saat kürleme işleminden sonra briketlerin sertleştirme işlemi tamamlanmaktadır. Yüksek dayanımlı briketlerin üretilebilmesi için briketler, üç haftadan daha uzun süre, çatısı bulunan korunaklı bir alanda depolanmalıdır.

Demir içeren materyallerin geri dönüşümü, düzenli depolama yapılan atık miktarını azaltmakla birlikte, birincil hammadde tasarrufu sağlamakta, çöp dökme ve atık işleme maliyetlerini azaltmaktadır. Ancak, soğuk bağlı pelet/briketler, sinter ve pelet aglomeratlarının yerini tamamıyla alamamaktadır. Soğuk bağlama teknikleri sonucu SO_x ve NO_x emisyonu açığa çıkmamaktadır. Briketleme esnasında ayrılan toz, briketleme tesisine geri döndürülmektedir.

İtalya'da faaliyet gösteren bir tesiste, briketleme prosesinden kaynaklanan emisyonlar, bir torbalı filtrede arıtılmaktadır. Arıtmadan sonra, baca gazı içerisindeki toz konsantrasyonu 10-20 mg/Nm^3'e kadar düşürülebilmektedir.

Bu teknik, mevcut olan ve yeni kurulacak tesislerde uygulanabilir. Bu teknik, sinter fabrikası bulunmayan entegre tesislerde de uygulanabilir. Briket üretimi, konvansiyonel bir tekniktir olmakla birlikte briketlerin yüksek fırında veya BOF'ta kullanımı güvenilirdir.

Değerli demir içeriğinin geri kazanımı ve bertarafı ile ilgili maliyetlerin önlenmesi bakımından önemli faydalardır. İtalya'da faaliyet gösteren 150 bin ton/yıl kapasiteli BOF'a sahip olan bir tesiste, soğuk briketleme tesisi için yapılan toplam yatırım yaklaşık 7-8 milyon Avro'dur.

Bu tekniğin uygulanması ile elde edilecek çevresel faydalar, sağlanacak alan tasarrufu, depolama maliyetlerinden tasarruf ve bir sinter tesisine ait maliyet tasarrufu, uygulamanın hayata geçirilmesi için gerekli itici güçleri oluşturmaktadır (EC, 2012).

5.1.2.7 Düşük alaşımlı ve alaşımlı çeliklerin üretiminde kullanılan yağ miktarının optimize edilmesi

Levha üretiminde çeliğin haddeleme yağı veya antikorozif yağ ile yağlanması sürecinin optimizasyonu yağ tüketiminin azaltımı açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla elektrostatik yağlama makinelerinin kullanımı ile yağ akışının istenilen yağ tabakası kalınlığının elde edilmesi amacıyla hat hızına bağlı olarak sürekli olarak değiştirilebilmektedir. Ancak asitleme sonrasında çelik soğuk haddeleme prosesinde kullanılacaksa haddeleme yağı ile yağlanmasına gerek yoktur. Bunun yanı sıra çeliğin bir sonraki işleme geçişi hemen sağlanacaksa antikorozif yağ ile yağlanmasına da gerek yoktur.

Haddeleme sonunda şerit üzerinde kalan yağ son bölmede kullanılan yağ konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle özellikle son bölmede bulunan yağı uygun yağlama özelliklerini sağlayabilecek mümkün olan en düşük konsantrasyonda tutulması önem taşımaktadır. Ayrıca yağ konsantrasyonunun daha yüksek olduğu bir önceki bölmelerde bulunan yağın son bölmeye taşınmaması için de işletme özelinde (emülsiyon hücrelerinin ayrılması, korunaklı hale getirilmesi vb.) tedbirler alınması gerekmektedir. Sistemin çevresel etkisi yağ tüketiminin azaltılmasıdır (EC, 2012).

5.1.2.8 Soğuk haddehanelerde asit tüketiminin azaltılması

Soğuk haddehanelerde yüzey temizleme (asitleme) işlemi sırasında tüketilen asit miktarının azaltılmasına yönelik uygulanabilecek teknikler aşağıda sıralanmaktadır (EC, 2001a):

- Düşük alaşımlı ve alaşımlı çeliklerin asitlenmesi sürecinde uygun kimyasalların (inhibitörler) ilave edilmesi ile asit tüketimi ve rejenerasyonuna bağlı etkilerin azaltımı sağlanabilir. Ancak inhibitörlerin kullanımı yüzey kalitesi üzerinde olumsuz etkilerin (pas oluşumu vb.) görülmesine neden olabilir.
- Asitleme sürecinin yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi ile asit tüketiminin azaltımı mümkündür. Ancak asitleme sıcaklığı ve asit tüketimi arasındaki dengenin iyi bir şekilde kurulması ve sistemin asit kayıpları, asitleme verimi, enerji tüketimi ve NO_x oluşumu (özellikle paslanmaz çelik üretiminde) açısından kontrolü önem taşımaktadır.
- Asit konsantrasyonunun elektriksel proseslerin kullanımı ile azaltılması sağlanabilir.
- Asidin ısıtılması amacıyla geleneksel olarak kullanılan buharla ısıtma yöntemi yerine doğrudan ısıtma yöntemlerinin kullanılması sağlanabilir. Bu sayede asidin kullanılan buhar nedeniyle seyrelmesi engellenebilmektedir.

5.1.2.9 Soğuk haddehanelerde ardışık asitleme işleminin uygulanması ile asidin verimli kullanılması

Ardışık asitleme işlemi iki veya daha fazla asitleme banyosunun bir arada çalıştırdığı ve asidin banyolar arasında ters akımlı şekilde (sürekli veya kesikli) iletildiği bir yöntemdir. Bu sayede asitleme kalitesi düşürülmeden asidin verimli kullanılması sağlanmaktadır. Sistem ile elde edilen çevresel etkiler taze asit tüketiminin ve kullanılmış asit (atık) miktarının azaltılmasıdır. Hem yeni hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir. Ancak işletmede olan tesisler için uygun alan yaratılması kısıtlayıcı bir faktör olabilmektedir.

Sistemin hayata geçirilmesi ile ortaya çıkacak olan maliyetler, uygun alanın yaratılması için tesisin genişletilmesi, ek tank, sirkülasyon pompası ve gaz toplama sistemi, daha karmaşık bir kontrol sisteminin uygulanması olarak sıralanmakta olup tahmini maliyetin kapasiteye bağlı olmakla birlikte 0,2-0,4 Milyon Avro aralığında olacağı belirtilmektedir (EC, 2001a).

5.1.2.10 Yağlı tufal için geri dönüşüm teknolojilerinin kullanılması

Yağlı tufalin metalurjik proseslerde tekrar kullanımı yağ içeriğine bağlı olarak kısıtlanmaktadır. Partikül boyutu 0,5-5 mm arasında ve yağ içeriği %1'in altında olan tufaller sinter tesisinde herhangi bir ön arıtma gerektirmeden kullanılabilmektedir. Yağ içeriğinin yüksek olması (>%3) durumunda uçucu organik bileşikler ve dioksin emisyonları artmakta ve bu durum baca gazı arıtım sistemlerinde problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle, kalıntıların ve atıkların yeniden kullanılmadan önce bir ön arıtmadan geçirilmesi gerekmektedir. Küçük ölçekli çamurlar genellikle çok küçük partiküller (<0,1 mm) içermektedir. Küçük partiküllerin yağı büyük oranda (%5-20) absorblamaları sebebiyle bu tufaller, sinter prosesine ön arıtma yapmadan geri döndürülememektedir. Yüksek yağ içeriğinin olması durumunda tam yanma sağlanmazsa yağ buharları oluşmakta ve baca gazı arıtım sisteminde yangına sebep olmaktadır.

Bu tekniğin uygulanmasıyla atık miktarı azalmakta ve demir içeriği hammadde olarak kullanılmaktadır. Yağ giderme metotları yıkama ve flokülasyon kimyasallarını tüketme ve bunun sonucunda yağlı atıksu ya da yüzdürmeden gelen yağlı kalıntılar oluşmaktadır. Termal arıtma emisyonlara sebep olmakta ve

enerji tüketimini artırmaktadır. Bu tekniğin uygulanması amacıyla aşağıdaki yöntemler kullanılabilir (EC, 2001a).

Tufal içeren çamurun, bağlayıcı madde eklenerek briket haline dönüştürülmesi ve konvertere/EAO'ya şarj edilmesi

Yağlı tufal çamuru, kireç ve kömür tozu ya da opsiyonel olarak demir ve karbon içeren baca tozu ile karıştırılarak demir-çelik üretim prosesinde yüksek fırın ya da elektrik ark ocağı gibi reaktörlere pnömatik enjeksiyon için uygun olan kuru karışım haline getirilmektedir. Enjekte edilen malzemenin tamamının geri kazanımı beklenmektedir (EC, 2001a).

Yağlı tufal çamurunun, kireç ve kömür tozu ya da opsiyonel olarak demir ve karbon içeren baca tozu ile karıştırılarak kuru karışım haline getirilmesi ve demir-çelik üretim prosesinde yüksek fırın ya da elektrik ark ocağı gibi reaktörlere pnömatik olarak enjekte edilmesi (CARBOFER)

Yağlı tufal çamuru, kireç ve kömür tozu ya da opsiyonel olarak demir ve karbon içeren baca tozu ile karıştırılarak demir-çelik üretim prosesinde yüksek fırın ya da elektrik ark ocağı gibi reaktörlere pnömatik enjeksiyon için uygun olan kuru karışım haline getirilmektedir. Enjekte edilen malzemenin tamamının geri kazanımı beklenmektedir (EC, 2001a).

Tufalin yıkama işlemi uygulanarak yağsızlaştırılması (PREUSSAG metodu)

Bir karıştırma cihazında ön koşullandırılmış çamur (tufal, yağ, su), yıkama suyu ayracı ilavesi altında karıştırılır. Yıkama işleminden sonra süspansiyon, katı, su ve yağ olarak ayrılır. Sonuç olarak yağsız (≤ %0,2) demir malzemesi elde edilmektedir (EC, 2001a).

Tufalin yüzdürme işlemi kullanılarak yağsızlaştırılması (THYSSEN metodu)

Tufal içeren çamur reaktif ilavesi ile şartlandırılmakta ve üç aşamalı yüzdürme prosesi ile yağsızlaştırılmaktadır. Sonuç olarak, demir içeren ürün, yağlı ürün ve bunların karışımı ortaya çıkmaktadır (EC, 2001a).

Tufalin döner fırın kullanılarak yağsızlaştırılması

Tufal ve yağ içeren atıksu, susuzlaştırılmakta ve yaklaşık 450-470°C sıcaklıkta yağı giderilmektedir. Fırın doğrudan ya da dolaylı olarak ısıtılabilmektedir. Sonuç olarak, yağsız (~%0,1) demir ürünü elde edilmekte olup, ilave enerji kullanılması nedeniyle havaya emisyon verilmektedir (EC, 2001a).

5.1.3 Su Yönetimi için MET Uygulamaları

5.1.3.1 Su tüketimlerinin izlenmesi için izleme sistemi kurulması

Birçok sektörde su, üretim proseslerinin vazgeçilmez bileşenlerinden biridir. Tesislerde tüketilen suyun verimli kullanımı ve yönetimi hem üretim maliyetlerinin azaltılması, hem de doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda su tüketiminin üretim proseslerinde akış kontrol cihazları, sayaçlar ve bilgisayar destekli izleme sistemleri kullanılarak

izlenmesi ve kontrol edilmesi teknik, çevresel ve ekonomik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır (Öztürk, 2014). Tesis içerisinde ve çeşitli proseslerde tüketilen su miktarlarının izlenmesi ve tüm atıksu akımlarının kaynakları, bileşimi, miktarları ve kalitesi hakkında bilgi toplanması; mevcut su tüketiminin yüksek seviyede olup olmadığını belirlemek ve değerlendirmek su yönetimini ve verimliliğini değerlendirmek, kayıp ve kaçakları tespit ederek gerekli önlemleri almak, yönetim reflekslerini geliştirmek, gerekli prosedürleri oluşturmak, Ar-Ge çalışmalarının boyutunu belirlemek ve gelecek hedeflerini belirlemek konuları bakımından önemli bir iyi yönetim uygulamasıdır (EC, 2003). Bu kapsamda tesis geneli ve üretim prosesleri özelinde debimetre ve sayaçların kullanılması, sürekli çalışan makinelerde otomatik kapatma vanaları ve valflerin kullanılması, bilgisayar destekli sistemler kullanılarak su tüketimleri ve belirlenen bazı kalite parametrelerine göre izleme-kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi gereklidir.

Su tüketiminin azaltılması ile su kaynaklarının korunmasının yanında, üretim proseslerinde ortaya çıkan atıksu miktarlarında ve dolayısıyla atıksu arıtım maliyetlerinde azaltım sağlanmaktadır. Bu tekniğin uygulanması ile su ve kimyasal tüketimi (su dezenfeksiyonu) ve pompa, kompresör ve ısıtma sistemlerinin enerji tüketimlerinde azaltım sağlanabilir. Bununla birlikte atıksu ve atık gaz emisyonlarında da azaltım sağlanacağı öngörülmektedir. Söz konusu uygulamayla proses bazında su tüketimlerinde %20-30'a varan oranlarda tasarruf sağlamak mümkündür (EC, 2003). Proses bazında su tüketiminin izlenmesi ve kontrolü ile proses suyu tüketiminde %3-5, atıksu miktarlarında %3-6 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. Aynı zamanda enerji tüketiminde %3-6, kimyasal tüketiminde %2-5, atık gaz emisyonlarında %3-6 ve katı atık miktarlarında %5-10 oranında azaltım gerçekleşebilmektedir (Öztürk, 2014).

5.1.3.2 İçme suyunun üretim hatlarında kullanımından kaçınılması

Endüstriyel tesislerde genellikle yeraltı su kaynaklarından temin edilen ham sular arıtıldıktan (kum filtresi, katyonik iyon değiştirici reçineler, ters ozmos vb.) sonra üretim proseslerinde kullanılmaktadır. Ancak bazı durumlarda üretim proseslerinde maliyetli olmasına rağmen içme suları doğrudan kullanılabilmektedir (Özdemir, ve diğerleri, 2010; Oğur, ve diğerleri, 2004). Her bir üretim prosesinde gerek duyulan su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi, gereksiz su temin ve arıtım maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olarak teknik, ekonomik ve çevresel faydaların daha da artırılmasını sağlamaktadır. Bu uygulamayla su, enerji, kimyasal maliyetlerinde azalma sağlanacağı gibi ürün kalitesinin artırılmasına da önemli katkılar sağlanabilir.

5.1.3.3 Toplama sistemleri kurularak yağmur sularının tesis temizliğinde veya uygun alanlarda alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesi

Tatlı su kaynaklarının oldukça sınırlı olduğu dünyamızda kaliteli tatlı su kaynaklarına erişim gün geçtikçe daha da zorlaşmaktadır. Yağmur suları geri kazanılması en ucuz ve toplanması en kolay tatlı su kaynaklarıdır. Yağmur suları çatılardan ve yüzeylerden olmak üzere iki farklı teknikle toplanabilmektedir. Özel drenaj sistemleri ile toplanan yağmur suları su kalitesine uygun olduğu sürece üretim proseslerinde, bahçe sulaması, tank ve ekipman temizliği, yüzey temizliği vb. amaçlar için kullanılabilmektedir (Karakaya, ve diğerleri, 2005; Tanık, ve diğerleri, 2005). Yağmur suyu hasadının başlıca avantajları; düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olması, inşaat ve işletmesinin kolay olması, mevcut su sistemlerine entegrasyonunun kolay olması, olumsuz çevresel etkilerinin az olması, elde edilen suyun bedelsiz olması ve kullanım alanlarına yakın olması ve kaliteli su ihtiyacının karşılanmasında iyi bir alternatif olması olarak sıralanabilir. Tekniğin uygulanmasındaki başlıca

dezavantajlar ise; yağış rejiminde değişik ve dalgalanmaların olması, alternatif su kaynağı olarak yağmur sularının değerlendirilmesine yönelik teşviklerin yetersiz olması ve yüksek hacimde toplama tanklarına ihtiyaç duyulmasıdır. Yağmur suyunun toplanmasında sarnıç sistemleri, zemine sızdırma, yüzeyden toplama, filtre sistemleri ve modüler sistemler kullanılabilmektedir. Yağmur suyu toplama sistemlerinin yapılandırılması için temelde yağmur suyu biriktirme yapıları, toplama kanalları ve ızgaraları, filtreleme sistemleri ve depolama yapılarına gereksinim bulunmaktadır. Yağmur sularının toplanması ve geri kazanımı uygulamaları sanayileşmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Almanya'da bir hastanede yağmur sularının ayrı toplanarak tuvaletlerde kullanma suyu olarak değerlendirilmesi ile toplam su tüketiminde %20 oranında tasarruf sağlanmış ve hemen hemen altı yıl içerisinde yaklaşık 1,5 milyon Avro parasal tasarruf sağlanmıştır (Tanık, ve diğerleri, 2005). Türkiye'de önde gelen bir tesiste yeşil bina konsepti uygulaması kapsamında çatıdan toplanan yağmur suları yumuşatılarak bahçe sulama ve tesis içi kullanım suyu olarak değerlendirilmiş ve bu sayede %50'ye yakın su tasarrufu sağlanabilmiştir (Yaman, 2009; Şahin, ve diğerleri, 2011).

5.1.3.4 Su yumuşatma sistemlerinde rejenerasyon süresinin optimize edilmesi

Yeraltı su kaynaklarından temin edilen ham sular kayaçlara temas etmiş olmaları nedeniyle kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyum (Mg^{+2}), karbonat ve bikarbonat içermektedir. Sert karakterdeki bu ham sular üretim proseslerinde kullanılmadan önce sertlik giderimi yapılmak üzere arıtılmaktadır. Ham sulardan sertlik gideriminde genellikle katyonik iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Katyonik iyon değiştirici reçinelerde Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları tutulmaktadır. Ancak belirli bir süre içerisinde (yaklaşık 300 m^3 su arıtımının ardından) reçine yüzeylerinin Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile büyük ölçüde kaplanması nedeniyle tuzlu su ile rejenere edilmesi gerekmektedir. Rejenerasyonu uygulama süresi üretici firma tarafından belirlenmektedir. Ancak rejenerasyon süreleri, ham suyun sertlik seviyesine bağlı olarak farklı bölgelerde değişkenlik gösterebilir. Su yumuşatma sistemlerinde optimizasyon çalışmaları yapılarak optimum rejenerasyon süresinin belirlenmesi ile su tüketimi, enerji tüketimi, tuz kullanımı ve atıksu miktarlarının azaltılması sağlanabilir. Ayrıca iyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda oluşan atıksular çeşitli üretim proseslerinde ya da temizlik işlemlerinde yeniden değerlendirilebilir (Öztürk, 2014).

5.1.3.5 Su yumuşatma öncesindeki kum filtresi geri yıkama sularının yeniden kullanılması

Günümüzde üretim proseslerinde genellikle yumuşatılmış proses sularına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle genellikle yeraltı su kaynaklarından temin edilen ham sular kum filtresinden geçirildikten sonra katyonik iyon değiştirici reçinelere alınmaktadır. Katyonik iyon değiştirici reçinelerde Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi sularda sertliğe neden olan iyonlar tutulmaktadır. Su yumuşatma sisteminde kullanılan kum filtreleri belirli miktarda suyu filtreledikten sonra ham su içerisinde bulunan katı parçacıklar nedeniyle tıkanmaktadır. Bu durum zamanla filtreleme işlemini olumsuz etkilemektedir ve kum filtresindeki gözeneklerin basınçlı su ile temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kum filtreler ters sifon ve basınçlı su ile geri yıkanmaktadır. Geri yıkama sonrasında oluşan sular atıksu kanalına verilerek uzaklaştırılmaktadır. Tesiste kum filtresi geri yıkama sularının bir rezerve tankta biriktirilmesi ve içeriğinde bulunan katı maddelerin çöktürülerek yeniden kullanılması su tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Öztürk, 2014). Uygulamadaki başlıca çevresel faydalar su tüketiminin azaltılması, tatlı su kaynaklarının korunması ve atıksu oluşumunun azaltılmasıdır. Günümüzde bazı

tesislerde kum filtresi geri yıkama suları bir eğik tank içerisinde biriktirilmekte ve tank eğimi sayesinde katı maddelerin çökelmesi sağlanabilmektedir. Tankın üst suyundan aynı proses ya da gerek duyulan diğer proseslere su takviyesi yapılmaktadır. Birkaç yılda bir olmak üzere tankın temizliği yapılmaktadır. Uygulamanın yeni kurulacak tesislerde ve mevcut tesislerde yapılandırılmasında bir kısıtlama bulunmamaktadır. Uygulama için gerekli yatırım maliyeti geri kazanılacak su miktarıyla ilişkili olması nedeniyle farklılık göstermektedir.

5.1.3.6 Ters ozmos (TO) konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması

İmalat sanayinde su ihtiyacının önemli bir bölümü yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yeraltı suları (ham su) bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak farklı seviyelerde kalsiyum ve magnezyum bileşikleri içermektedir. Ham sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları boru hatları ve ekipmanlar üzerinde korozyona neden olabilmektedir. Ayrıca buhar üretimi gibi ısıl işlemlerde ham suların kullanılması durumunda kazan taşı problemleri oluşabilmektedir. Bu nedenle, katyonik iyon değiştirici reçinelerde yumuşatılan ham su, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak buhar kazanlarında ve soğutma sistemlerinde ısı söz konusu olduğu için ilave sertlik giderimine ihtiyaç duyulduğu durumlarda ters ozmos (TO) proseslerinden yararlanılmaktadır. Bu proseste, katyonik iyon değiştirici reçinelerde bir miktar sertlik giderimi yapılan proses suları TO membranlarda filtre edilmekte ve yüksek derecede yumuşatılmış su ihtiyacı olan proseslerde (buhar kazanları, soğutma sistemleri vb.) değerlendirilmektedir. TO proseslerinde oluşan konsantreler, ham sulara nazaran daha yüksek seviyede tuz içeriğine sahiptir. Bu konsantreler, endüstriyel işletmelerde genellikle atıksu olarak değerlendirilmekte ve atıksu kanallarına verilmektedir.

Bu uygulamada, TO konsantrelerinin çoğu zaman birçok su kalitesi parametresi açısından daha iyi kalitede olduğu ancak ham sulara göre tuz içeriğinin bir miktar daha yüksek olduğu noktasından yola çıkarak, konsantrelerin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra; üretim proseslerinde, tesis temizliği, yıkama, ham su paçallaması vb. alanlarda yeniden kullanılması önerilmektedir. Bu konsantreler, ham suya yakın iletkenlik ve/veya toplam çözünmüş katı (TÇK) değerlerine sahip ise, ham su deposuna geri gönderilebilir. Bu durumda, TO konsantreleri, ham su deposunun kapasitesine bağlı olarak seyreltilir. Ancak ham su deposunda iletkenlik ve/veya toplam çözünmüş katıların izlenmesi daha iyi sonuç vermektedir. Bu değerlerin izlenebilmesi için su iletkenlik sensörünün de sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. TO konsantreleri yüksek su kalitesine ihtiyaç duyulmayan tesis içi temizlik ve yıkama (zemin, tank ve ekipman temizliği vb.) işlemlerinde arıtılmadan kullanılabilmektedir. TO konsantrelerinin solar evaporasyon, membran distilasyonu, ileri oksidasyon (ozon ile oksidasyon, UV/TiO_2/O_3, O_3/H_2O_2, yon, fotooksidasyon, sonoliz, elektrooksidasyon, fenton vb.) elektrodiyaliz ve elektroklorinasyon prosesleri ile arıtılması mümkündür. Ancak su geri kazanım maliyetleri yüksek olacağından genellikle fizibıl değildir. Bu nedenle TO konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan uygun alanlarda (temizlik, yıkama vb.) kullanılması ya da ham su havuzuna gönderilerek paçallanması daha uygun bir yaklaşımdır.

5.1.3.7 Asitleme işleminde kullanılan suyun azaltılması

Soğuk haddehanelerde yüzey temizleme (asitleme) işlemi sırasında tüketilen su miktarının azaltılmasına yönelik uygulanabilecek teknikler aşağıda sıralanmaktadır (EC, 2001a).

- Su tüketiminin sıfırlanması amacıyla ıslak asitleme prosesinin kısmen veya tamamen mekanik tufal giderme prosesi ile değiştirilmesi mümkündür. Ancak mekanik tufal giderme işleminin tercih edilmesi enerji tüketiminin artmasına neden olabilir. Öte yandan paslanmaz çelik üretiminde prosesin sadece belirli bir kısmında mekanik tufal giderme işlemi kullanılabilir.
- Ardışık akışlı asitleme sistemlerinin kullanımı ile atıksu oluşum hacminin düşürülmesi mümkündür.
- Geliştirilmiş asitleme ve durulama ekipmanlarının (mekanik ön işlem, baca gazı arıtma sistemlerinin verimliliğinin artırılması amacıyla kapalı tanklar, daldırmalı işlem yerine sprey işlemleri, sıkıştırmalı merdaneler) kullanımı ile atıksu oluşumunun azaltımı mümkündür.
- Asitleme ve durulama/yıkama suyunun filtrelerden geçirilerek tekrar kullanılması fayda sağlayabilir.
- Atık asitlerin rejenerasyonu ile asit nötralizasyonu gerekliliği olan atıksu miktarının azaltılması sağlanabilirken rejenerasyonun gerçekleştirilebilmesi için de asit konsantrasyonu ve hacminin belirli bir seviyenin üstüne çıkması gerekmektedir. Rejenerasyonun bir kısmının iyon değiştirme veya elektrodiyaliz yöntemleri ile yapılması mümkündür.

5.1.3.8 Kapalı devre su soğutma sistemlerinin kullanılması

Elektrik ark ocağıyla çelik üretim proseslerinde su genellikle temassız soğutmada ve yaş yıkama tekniği kullanıldığı durumlarda baca gazı arıtımında kullanılmaktadır. EAO prosesinde yaş yıkama tekniği fazla kullanılmamaktadır. En önemli su tüketimi, ocak ekipmanlarının soğutulması sırasında gerçekleşir. Buna ilaveten, atık gazın soğutulması ve ikincil metalurji işlemlerinde de (pota ocaklarında) kullanılabilmektedir. Soğutma elemanları için ihtiyaç duyulan su miktarı yaklaşık 5-12 m^3/m^2sa'dir. Bu tekniğin uygulanması ile sistemden atıksu deşarjı olmamaktadır. Kapalı devre su soğutma sistemi, suyun pompalanması ve tekrar soğutulması için ek enerji gerektirmektedir (EC, 2012).

Soğuk haddeleme sırasında açığa çıkan ısı genellikle plakalı ısı değiştiriciler vasıtasıyla soğutma suyu çevrimine aktarılır. Bu çevrimde kullanılan suyun sirkülasyonunun sağlanması ile soğutma kulelerinde gerçekleşen tüketimin azaltılması da mümkündür. Özel soğutma suyu sistemlerinin kullanımı ile soğutma suyunun yağlarla kirletilmesi ihtimali düşürülmektedir. Öte yandan soğutma suyunun yeniden kullanımı ile doğal kaynakların ve enerjinin korunması sağlanmaktadır (EC, 2001a).

Ayrı ve kapalı soğutma suyu sistemlerinde, proses suyu evaporatif kuleler ya da plakalı ısı değiştiriciler tarafından soğutulur.

5.1.3.9 Yarı veya tam kapalı sistemlerin uygulanması ile su tüketim ve deşarjının azaltılması

Yarı veya tam kapalı sistemlerin uygulanması ile deşarjın mümkün olduğu kadar düşürülmesi sağlanmaktadır. Bazı mevcut tesislerde yeterli alan olmaması sebebiyle yarı kapalı veya kapalı devre sistemlere geçiş mümkün olmamaktadır. Tam donanımlı bir arıtma tesisinin yatırım maliyetlerinin karşılanması ekonomik olmamaktadır. Bu tekniğin uygulanmasıyla enerji ve kimyasal tüketimi artmaktadır ve atık çamur açığa çıkmaktadır (EC, 2001a).

5.1.3.10 Su tüketiminin azaltılması amacıyla soğutma suyunun arıtılarak çevriminin sürdürülmesi

Soğutma suyu çevrimini işletmek için, soğutma suyunun tekrar soğutulması ve arıtılması gerekmektedir. Soğutma, soğutma kulelerinde buharlaştırma veya ısı eşanjörleri ile yapılmaktadır. Basınçlı ters akımlı soğutma kulelerinde soğutulacak su, soğutma kulesi bölmelerinde yer alan ızgaralar (grid) üzerine püskürtülmekte ve tavalardan akarak aşağıya inmektedir. Yan taraflara veya tepeye yerleştirilen fanlar ortam havasını ters yönde su içerisinden geçirmektedir. Böylece, suyun buharlaşmasıyla soğutma sağlanmaktadır. Soğutma verimi, üflenen havanın miktarı ile kontrol edilmektedir. Tuz giderme ise elektrik iletkenliğinin ölçümü vasıtasıyla sağlanmaktadır. Gerekli olması durumunda, dispersant, sodyum hipoklorit, biyosit (bakteri ve mantar üremesinin önlenmesi amacıyla) ve asit veya alkali (pH ayarı için) ilave edilmektedir.

Plakalı ısı eşanjörlerinde su akışını sağlayan kanallar içermektedir. Her bir plakada sıcak atıksu veya soğuk soğutma suyu, bu kanallar yoluyla pompalanmaktadır. Isı transferi plaka duvarları vasıtasıyla olmaktadır.

Hibrit soğutma kulelerinde, plakalı ısı eşanjörü soğutma kulesinin üst kısmına yerleştirilmektedir. Alt kısımda su buharlaştırılarak soğutulmaktadır. Isı eşanjörü nedeniyle, %100 nem içeriğine sahi olan hava ısıtılmakta ve sonrasında sis olarak kondense olmaktadır. Su, proses içerisinde yeniden kullanılabildiği için su tüketimi azalmaktadır. Dispersant ve biyosit ilave edilmektedir. Resirkülasyon pompaları nedeniyle enerji tüketimi artmaktadır.

Devre tipi su arıtma tesislerinin soğutma kuleleri ile birlikte planlanması ve kurulması aşamasında coğrafi koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Geri soğutma prosesi aşamasında suyun buharlaşması sebebiyle, iklim koşullarına bağlı olarak sis oluşabilmektedir.

5.1.3.11 Sıkıştırmalı merdaneler ile donatılmış kademeli (çapraz akışlı) yıkama sisteminin kullanılması ve optimizasyonu

Yıkama prosesinin optimizasyonu ile atıksu oluşumunun azaltılması ve yıkama suyunun kirlenmesinin mümkün olduğunca azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan ortak yöntem sıkıştırmalı merdaneler ile donatılmış kademeli (çapraz akışlı) yıkama sistemidir. Bu sistemle asitleme banyosunda şerit yüzeyine yapışan maddelerin ayrılması sağlanırken, elde edilen yıkama suyunun tekrar kullanımı (örneğin asitleme banyosunda tamamlama suyu olarak) mümkündür. Öte yandan genellikle 3-6 bölmeli olarak tasarlanan çapraz akışlı sistem sayesinde istenmeyen maddelerin diğer bölmelere taşınması engellenmektedir. Su tüketiminin azaltımı, oluşan atıksu ve atık çamur miktarının azaltımı, asit tüketiminin azaltımı en önemli çevresel etkiler arasında yer almaktadır (EC, 2001a).

5.1.4 Enerji Yönetimi için MET Uygulamaları

5.1.4.1 Yakıt-hava oranının izlenmesi ve optimize edilmesi

Kazanlarda yakıt-hava oranı gibi parametreler izlenerek ve optimize edilerek yanma reaksiyonlarının en etkin şekilde gerçekleştirilmesi, enerji yönetimi kapsamında, enerji verimliliğinin sağlanması bakımından oldukça önemlidir. Kazanlarda ısıl verimin sürekli olarak yüksek tutulabilmesi ve emisyonların kontrol edilebilmesi amacıyla baca gazı analizörleri yardımıyla baca gazı bileşenlerinin sürekli veya periyodik olarak izlenmesi, yanmaya etki eden parametrelere zamanında müdahale edilmesi, ayrıca brulörlerin

duruşlarında kazanların iç soğuma kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Kazanlarda yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, karbonmonoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, baca gazı içerisindeki oksijen oranının mümkün olduğunca düşük seviyede olması istenir. Doğalgazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta %5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir (Bilgin, 2006). Bu noktada kazanlarda ya da baca gazlarında analizörlerin kullanılması ve yanma havasının izlenmesi-kontrol edilmesi ile kazan veriminde %2-6 oranında artış sağlanabilmektedir (EC, 2006).

5.1.4.2 Boru, vana, tank ve makinelerin izolasyonunun yapılması

Endüstriyel işletmelerde, kullanılan çeşitli ekipmanlardan dış ortama ısı kaybının önlenmesi için ekipmanlara ısı yalıtımı uygulanmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri genellikle boşluklu yapıları nedeniyle ısı transferini geciktirirler, bu malzemelere ısı izolatörleri denilmektedir. Isı yalıtımı yapılmasındaki temel neden ısı kayıplarının azaltılması ve enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanmasıdır. Ancak ekonomik nedenler dışında ısı yalıtımını gerekli hale getiren başka nedenlerde bulunmaktadır. Bunlar; proses işleyişi sırasında akışkanın sıcaklığının düşmesinin engellenmesi, daha uygun, verimli ve rahat çalışma koşulları sağlanması, personelin güvenliği, yangın veya parlama olasılığının ortadan kaldırılması, çok ani sıcaklık düşüşleriyle boru bağlantı parçaları üzerinde gerilim oluşmasının önlenmesi, gazların yoğuşmasının istenmediği durumlarda ve özellikle kızgın buharın taşındığı borularda ısı kayıplarının önlenmesidir. Yalıtım malzemesinin seçiminde ise özellikle çalışma sıcaklığının göz önünde bulundurulması ve kimyasallara karşı dirençli malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Boruların, valflerin, tankların ve makinelerin izolasyonu, enerji verimliliği ve çevresel etkilerin azaltılması bakımından tüm endüstriyel tesislerde uygulanması gereken etkili bir iyi yönetim uygulamasıdır (EC, 2003).

5.1.4.3 Tesisteki önemli enerji akışları ve yanma prosesleri için online izleme-kontrol sistemlerinin kullanılması

Üretim proseslerinde enerji tüketimlerinin (elektrik, doğalgaz, buhar vb.) izlenmesi ve kontrol sistemlerinin kullanılması ile teorik enerji ihtiyacından daha fazla enerji tüketilen noktaların tespit edilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi ve enerji tüketimlerinin azaltılması için önleyici tedbirlerin alınması sağlanabilir. İzleme ve kontrol sistemleri, tesislerin üretim ve verimlilik reflekslerinin geliştirilmesi açısından etkili olan iyi yönetim uygulamalarındandır. İzleme sistemlerinin uygulanması ile enerji tüketiminde ve emisyon miktarlarında %5-15 arasında değişen oranlarda azalmalar sağlanabilmektedir (EC, 2006). Uygulama için gerekli yatırım maliyetleri tesis büyüklüğüne ve proseslerin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

5.1.4.4 Her bir prosesin enerji tüketimini kontrol etmek için raporlama ve analiz araçlarının (Pinch Analizi vb.) kullanılması

Pinch analizi, termodinamik ilkeler doğrultusunda uygulanabilir enerji hedeflerinin hesaplanmasıyla (belirlenmesiyle) ve proses koşullarını, enerji tedarik yöntemlerini ve ısı geri kazanım sistemlerini optimize ederek bu hedeflerin gerçekleştirilmesi sayesinde proseslerdeki enerji tüketiminin azaltılması amacıyla kullanılır (EC, 2009).

Pinch analizi son 20 yılda endüstrilerde enerji tüketimlerinin ve emisyon seviyelerinin azaltılmasında giderek genişleyen kullanım alanına sahip bir yöntemdir. Süreç entegrasyonu olarak da tanımlanan bu

analiz, enerji verimliliği, atık azaltımı ve hammaddelerin verimli kullanımıyla ilgilenen bir tasarım yaklaşımıdır. Entegrasyon basamağı hem yeni süreçlerin tasarımında hem de var olan bir sürecin iyileştirme-geliştirme aşamasında uygulanabilmektedir. Pinch analizi, ısıtma ve soğutma sistemleri için en az enerji tüketimi hedeflerinin belirlenmesi, enerji tüketiminin azaltılması, ürün hacminin artırılması, sistemin işletme problemlerinin azaltılması, proseslerin kontrol edilebilirliğinin artırılması, istenmeyen emisyonların azaltılması ve sistem veriminin en üst seviyeye çıkarılması için kullanılabilen bir araçtır (Kahraman, ve diğerleri, 2011).

İşletmelerdeki tüm prosesler sıcak ve soğuk akımlardan oluşmaktadır. Sıcak akımlar soğutmayı gerektiren, soğuk akımlar ise ısıtmayı gerektiren akımlar olarak tanımlanır. Herhangi bir proses için prosesin tüm sıcak veya soğuk akımlarını gösteren bir sıcaklık-entalpi diyagramı üzerinde tek bir hat çekilir. Bu hat ya tüm sıcak akımları ya da tüm soğuk akımları temsil eder ve sıcak, soğuk kompozit eğrileri olarak adlandırılır. Bu soğuk, sıcak kompozit eğrileri aynı sıcaklık-entalpi diyagramı üzerinde gösterilerek prosesin toplam ısıtma ve soğutma ihtiyaçları belirlenir. Böylelikle sıcak ve soğuk akımlar arasındaki ısı transferi olanakları hesaplanarak enerji optimizasyonu yapılır (EC, 2009).

Pinch analizi, farklı sıcaklık seviyelerinde proses akımlarıyla çok çeşitli sektörlere uygulanabilir. Yeni tesis veya ünitelerin tasarımında, tesis performansının artırılmasında veya detaylı araştırmalarda ve hammadde, kalite kısıtları, çevresel kısıtlar olmak üzere farklı proses parametrelerini içeren kesikli, yarı kesikli ve sürekli proseslerde kullanılır. Yukarıda bahsedilenlerin yanında analizin kullanıldığı diğer alanlar aşağıda sıralanmıştır (EC, 2009):

- Proses ünitelerinin/birimlerinin enerji analizi
- Isı ve elektrik güç sistemlerinin analizinin yapılması
- Isı değiştirici ağının tasarlanması ve analizi
- Proses ve enerji entegrasyonunun optimize edilmesi için tesis analizinin yapılması
- Hidrojen ve su sistemlerinin analizi.

Üretim proseslerinde Pinch analizi uygulamalarıyla birçok endüstriyel proseste %10-35 oranında enerji tasarrufu ve %25-40 oranında su tasarrufu sağlanabildiği belirtilmektedir (EC, 2006).

5.1.4.5 Kazan taşı oluşumunun engellenmesi ve ısı transfer yüzeylerinden arındırılması

Ham suların yapısında bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının su yumuşatma sistemlerinde tam olarak giderilememesi sonucunda ısıl sistemlerde ve sıcak yüzeylerde kazan taşı (kalsiyum karbonatın çökelmesi sonucu) oluşumu görülmektedir. Isıl sistemlerde ve sıcak yüzeylerde kazan taşı oluşumu ısı transferini olumsuz etkilemekte, ısıl enerjinin verimli kullanımını azaltmakta, atık ısı miktarını artırmakta, ekipman ve tesisata zarar vermektedir (Durukafa, 2014). Kazan taşı oluşumunun önlenmesi için;

- Sertlik giderimi için su yumuşatma sistemlerinin kullanılması ve bunun yeterli olmadığı durumlarda (buhar kazanları vb.) ekstra yumuşatma sistemlerinin kullanılması,
- Belirlenen uygun periyotlarda kazan iç yüzeylerinin gözden geçirilmesi ve temizlenmesi,
- Baca gazı sıcaklığının izlenmesi ve kontrol edilmesi (baca gazı sıcaklığının artması buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunun nedeni olabilir),
- Kazan ve kapalı olarak çalışan sıcak su sistemlerinde etkin bir bakım-onarım ve kaçak kontrolünün yapılması gerekmektedir.

5.1.4.6 Kazan besleme suyunda ultra-yumuşak su kullanılması

Buhar kazanları gibi ısıl proseslerde besleme suyu kalitesi kazan taşı oluşumunun önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Kazan besleme suyu içerisinde bulunan ve sertliğe neden olan bileşikler (kalsiyum karbonat) ısı transfer yüzeylerinde birikerek kazan taşı oluşumuna neden olmaktadır (Burkut, 2010). Bu durumun önlenmesinde kazan taşı oluşumuna neden olan bileşiklerin etkin bir arıtma yöntemi (yaygın olarak ters ozmos prosesleri kullanılmaktadır) ile giderilmesi gerekmektedir. Böylelikle kazan veriminin artırılması ve enerji kayıplarının azaltımı mümkün olmaktadır. Ultra-yumuşatılmış su kullanımı ile ısıl yüzeylerin faydalı kullanım ömrünün uzatılması ve atık gaz emisyonu miktarlarının azaltımı sağlanabilir. Uygulama ile kazan blöflerinde %30 oranında azaltım sağlanabilmektedir (Burkut, 1997).

5.1.4.7 Proses bazlı enerji denetimleri yapılması

Endüstriyel üretim süreçlerinde izleme ve kontrol ekipmanları ile prosesler bazında enerji tüketimlerinin izlenmesi iyi bir yönetim uygulamasıdır. Bu sayede enerji tüketimleri ve emisyonlar önemli seviyelerde azaltılabilmektedir. Proses bazlı enerji izleme sistemlerinin yapılandırılmasında; üretim proseslerinde teorik enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi, spesifik enerji tüketimlerinin izlenmesi, enerji tüketiminin beklenenin üzerinde gerçekleştiği proseslerde önleyici tedbirlerin alınması ve proseslerin enerji verimliliği açısından geliştirilmesi öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken noktalardır. Proses bazlı izleme sistemlerinin yapılandırılması ile enerji kayıpları ve net enerji tüketimleri de büyük ölçüde belirlenebilmektedir. Tesiste enerji yönetimi ve diğer temel iyi yönetim seçeneklerinin uygulanmasında da proses bazlı izleme sistemlerinin yapılandırılması oldukça etkilidir. Üretim prosesleri özelinde enerji denetimlerinin yapılabilmesi için ön şart analizör, sayaç ve diğer uygun ölçüm ekipmanlarının kullanılması, rutin olarak izlenmesi, analiz edilmesi ve bakım-onarım programlarına dahil edilmesidir. Söz konusu uygulama için tesis içerisindeki mevcut ölçüm cihazlarının izleme sistemine entegre edilmesi ve ölçüm cihazlarının bulunmadığı proseslerde bu cihazların eklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle gerekli yatırım maliyeti ve geri ödeme süreleri tesisten tesise farklılıklar göstermektedir.

5.1.4.8 Reaktif gücün boyutunu azaltmak için alternatif akım (AC) devresinde kapasitörlerin kurulması

Elektrik gücü tedarikinin kalitesi ve uygulanış biçimi enerji verimliliğini etkilemektedir. Tesis içinde ve dış tedarik şebekesinde verimsiz güç olarak enerji kayıpları yaşanabilmektedir. Ayrıca elektrik dağıtım sisteminin kapasitesinde düşüş gerçekleşebilir. Bu durum voltajın düşmesine neden olarak aşırı ısınma, motorların ve diğer ekipmanların erken arızalanmasına yol açar. Bu durum, aynı zamanda, elektrik satın alınırken fiyatların yükselmesine de neden olabilir. Teknik açıdan reaktif gücün boyutunu azaltmak için alternatif akım devrelerinde kapasitörlerin kurulması etkili bir çözüm olabilir. Kapasitör temel olarak elektrik ihtiyacını kısa süreliğine depo edebilen elektrik devre ekipmanlarıdır. Reaktif gücün boyutunu azaltmak için alternatif akım devresine kapasitörlerin kurulması ile reaktif güç faktörü azalacağından reaktif güç çekişi kısmen ya da tamamen ortadan kaldırabilmektedir. Ekipman türü ve güç faktörünün zaman içerisinde değişmesine bağlı olarak düzenli olarak bakım ve kontrolleri yapılmalıdır (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.4.9 Kazan besleme suyundaki çözünmeyen gazın hava giderici yardımıyla uzaklaştırılması

Buhar kazanları besleme suyu ve sıcak su kazanları takviye suları içerisinde çözünmüş halde bulunan serbest oksijen ve kazanlar içerisinde karbonatların parçalanması ile oluşan karbondioksit gazları; buhar kazanlarında, buhar kullanılan cihazlarda ve özellikle tesisatlarda korozyona neden olabilmektedir. Bu gazların etkileri taze besleme suyu oranı ve sistem işletme basıncı arttıkça daha da artmaktadır. Karbondioksit ise; serpantinlerde, buharlı cihazlarda ve kondens borularında aşırı korozyona neden olmaktadır. Kazan besleme sularının oksijen ve karbondioksit gibi çözünmüş gazlardan degazörden geçirilerek arındırılması gereklidir. Aksi takdirde söz konusu sistemlerin faydalı ömrü kısalmaktadır. Degazör sistemleri suya fan ile hava verilerek sudan çözünmüş gazların uçurulmasını sağlayan mekanik sistemlerdir. Degazör sistemi içerisinde su ve hava temas yüzeyinin artırılması sayesinde çözünmüş gaz giderimi artırılabilir. Bu sayede korozyon oluşumu azaltılırken kazan verimi artırılmaktadır.

5.1.4.10 Ekipmanların mevcut çalışma voltajlarının üzerinde çalışmasının engellenmesi

Elektrik dağıtım hatlarında iletim kayıplarını azaltmak ve son kullanıcılara yeterli voltajı sağlamak amacıyla hat voltajları normal değerinden daha yüksek olabilmektedir. Normal besleme değerinde en yüksek verimde ve performansta çalışmak üzere tasarlanan ekipmanların düşük ve/veya yüksek voltajlarda çalıştırılması durumunda verim ve performans kayıpları yaşanabilmektedir. Tesislerde voltaj optimizasyonu yapılarak, voltaj dalgalanmalarının neden olduğu verimsizlik ve performans kayıplarının önlenmesi mümkündür. Voltaj optimizasyon/regülasyon çözümlerinde, bakım gerektirmeyen, uzun ömürlü, paralel bağlanarak gücü artırılabilen, farklı voltaj ve yük karakteristiklerine göre çıkış parametreleri ayarlanabilen, yüksek hızda voltaj düzenlemesi yapan ve endüstriyel uygulamalar için uygun olan ürünler tercih edilmelidir. Bu kapsamda voltaj optimizasyon ve regülasyon üniteleri voltaj dalgalanmalarının önlenmesinde ve elektrikli sistemlerin faydalı kullanım ömürlerinin uzatılmasında etkili bir uygulamadır (Topçu, 1999).

5.1.4.11 Gerek duyulandan daha yüksek güçte motorların kullanımından kaçınılması

Üretim proseslerinde kullanılan motorların yükle uyumlu olarak seçilmesi enerji verimliliği açısından önemlidir. Elektrik motorunun kapasitesinden daha düşük bir yükte çalıştırılması yapılan işe göre tüketilen enerji miktarını artırmakta ve dolayısıyla enerjinin verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Motor verimi genellikle %75 yükte azami seviyeye ulaşmaktadır. Motorlar yüke uygun yükte çalıştırılmadığı durumlarda tüketilen elektrik enerjisi mekanik güç yerine artan oranda ısıya çevrilir. Motorlarda aşırı ısınma, arıza riskini artırıp motorun ömrünü kısaltmaktadır. Buna ek olarak motor seçiminde yüksek verimlilikte motorların tercih edilmesi de enerji verimliliği açından oldukça önemlidir. Uygun motor seçimi ile enerji tüketiminde %1-3 oranında tasarruflar sağlanabilmektedir (Dinçer, 2010). Enerji verimliliği düşük olan motorların enerji verimliliği yüksek motorlar ile değişimi uygulamasının potansiyel geri ödeme süresi 12-17 ay kadar kısa bir sürede gerçekleşmektedir (ETKB, 2016).

5.1.4.12 Ekipmanların hazırda bekleme sürelerinin azaltılması

Frekans kontrolü olmayan motorlar hazırda bekleme süresi boyunca enerji tüketmeye devam ederler. Hazırda bekleme süresi boyunca güç tüketimi tam yükte çalışması durumundaki tüketimin yaklaşık %20-

25'ine karşılık gelmektedir. Bu durumda tam güçte çalıştırılan motorlarla kıyaslandığında aralıklı modda çalışan sabit hızdaki motorların ortalama verimliliği önemli ölçüde azalabilir. Bu gibi durumlarda, sürekli olarak çalışan motorların proses parametrelerinin optimize edilmesi amacıyla gelişmiş ana denetim uygulamalarının kullanılması verimlilik açısından etkin bir araçtır (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.4.13 Kojenerasyon sistemi kurulması

Kojenerasyon (birleşik ısı-güç üretim sistemleri) buhar ve elektriğin birlikte üretildiği sistemlerdir (Avrupa Komisyonu, 2009). Bu sistemlerde doğalgaz, biyokütle, biyogaz gibi yakıt kaynaklarından yararlanılarak yerinde ısı ve elektrik enerjisi birlikte üretilebilmektedir (Pravadalıoğlu, 2011). Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıt ve üretilen enerji (elektrik ve ısıl enerji) birlikte değerlendirildiğinde verimi %80-90 seviyelerinde olmaktadır. Bu nedenle kojenerasyon sistemleri yakıtı elektrik ve ısıya dönüştürmenin en verimli yoludur. Kojenerasyon sistemlerinden yararlanılan tesislerde enerji maliyetleri %40'a varan oranda azaltılabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

Mikro kojenerasyon sistemlerinde 15 kW altında elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Tesislerde mikro kojenerasyon sistemlerinin kurulması amacıyla Almanya başta olmak üzere birçok AB ülkesinde teşvikler getirilmiştir (Pravadalıoğlu, 2011; Avrupa Komisyonu, 2009). Almanya'da mikrokojenerasyon sistemlerinin kullanılması ile 2020 yılına kadar elektrik maliyetlerinin %25 oranında azaltılması planlanmaktadır. Ayrıca İngiltere'de kojenerasyon sistemlerinin yaygınlaştırılması ile karbondioksit emisyonlarının %18 oranında azaltılması planlanmaktadır (Pravadalıoğlu, 2011; Possidente, ve diğerleri, 2006).

Kojenerasyon sistemlerine soğutma sistemlerinin de dahil edilmesi ile (trijenerasyon) %10-30 oranında oluşan verim kayıplarının sıcak su, su buharı, soğuk hava, sıcak hava ve suya dönüştürülmesi (bunun için absorpsiyonlu ısı değiştiricilerin kullanılması gerekli) mümkündür. Böylelikle tesis içerisindeki soğutma ve kurutma gibi proseslerde gerek duyulan enerjinin bir bölümünün de yine kojenerasyon sistemlerindeki atık ısıdan karşılanması mümkündür (Avrupa Komisyonu, 2009). Enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması açısından kojenerasyon sistemleri elektrik enerjisi ve ısıl enerji tüketiminin yüksek olduğu tesislerde kurulabilir.

5.1.4.14 Aydınlatma ihtiyaçlarının gerçekleştirilecek faaliyet için gerekli tayf içeriği ve yoğunluk bağlamında belirlenmesi

Dünya genelinde kullanılan elektrik enerjisinin önemli bir bölümü yapay aydınlatmadan kaynaklanmaktadır. Ofislerde, toplam enerjinin %20-50'si aydınlatma amacıyla tüketilmektedir. Bazı binalarda aydınlatma için tüketilen enerjinin %90'ından fazlası, gereğinden fazla yapılan aydınlatma nedeniyle tüketilir. Aydınlatma sistemlerinin enerjisi özel kullanım ihtiyaçlarına göre optimize edilebilir. Örneğin, konferans ve toplantı odalarının aydınlatması için aydınlatma seviyesinin 800 lüks seçilmesi gerekirken bina koridorları için bu değerin 400 lüks seçilmesi yeterlidir. Doğru ışık renginin (tayfın) seçilmesi de ışık şiddetinin seçimi kadar önemlidir. Aksi takdirde sadece enerji boşa harcanmakla kalmamakta, aşırı aydınlatma nedeniyle insan sağlığı ve psikolojisi üzerinde baş ağrısı, stres ve kan basıncının artması gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca parlak veya fazla ışık işçilerin verimini düşürebilmektedir. Gerçekleştirilecek faaliyet için gerekli tayf içeriği ve yoğunluk kapsamında yapay aydınlatma sistemlerinin optimize edilmesi ve aydınlatma ihtiyaçlarının belirlenmesiyle elektrik tüketiminin ve enerji maliyetlerinin azaltılmasının yanında işçi sağlığı ve veriminin artırılması söz konusudur (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.4.15 Doğal ışık kullanımının artırılması

Tesislerde aydınlatma ihtiyaçlarının karşılanmasında genellikle elektrikli aydınlatma sitemlerinden yararlanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, çevreye duyarlı tasarımlar, enerji bağımlılığının azaltılması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bu kapsamda binalarda gün ışığından mümkün olduğunca fazla yararlanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum nedeniyle birçok bölgesinde gün ışığından mümkün olduğunca fazla yararlanma potansiyeline sahiptir. Bu noktada endüstriyel tesislerde iç ortam aydınlatmasında gün ışığı ve yapay ışık entegrasyonu sağlanması durumunda görsel konfor ve enerji tasarrufu açısından optimum sonuçlar alınabilmektedir. Bu nedenle üretim tesislerinde özellikle çatılarda gerçekleştirilecek yapısal değişiklikler (düşey ya da eğimli çatı yüzeyleri) ile gündüz saatlerinde gün ışığından mümkün olduğunca fazla yararlanmak mümkündür. Gün ışığından yararlanmada çatı gibi alanlarda yapısal değişikler yapılamadığı durumlarda ışık tüpleri kullanılabilir. Işık tüpleri gün ışığının bir yerden başka bir yere taşınmasını sağlayan çağdaş kılavuz sistemlerden biridir (Yener, 2008). Doğal ışıktan yararlanmada fotokromik, termokromik, elektrokromik, gazokromik ve prizmatik paneller kullanılabilmektedir. Ayrıca daha fazla ışık ihtiyacı olan alanlarda LED aydınlatma sistemlerinin lokal olarak kullanılması mümkündür.

5.1.4.16 Aydınlatma yönetimi kontrol sistemlerinin (dedektör, zamanlayıcı, fotosel vb.) kullanılması

Tesis içi aydınlatma sistemlerinde aydınlatma yönetimi kontrol sistemlerinin uygulanması ile elektrik enerjisinin gereksiz kullanımının önüne geçilmekte ve enerji daha verimli kullanılabilmektedir. Bu kapsamda kullanılan hareket-varlık dedektörleri, zamanlama kontrollü dedektörler, ışık şiddeti dedektörleri, kombine kontrol dedektörleri, hareket sensörleri, fotoseller ve zamanlayıcılar yardımıyla sadece ihtiyaç halinde aydınlatma yapılması sağlanmaktadır. Bu sayede aydınlatma sistemlerinde elektrik enerjisi tüketiminde yaklaşık %20 oranında tasarruflar sağlanabilmektedir (Alsat, 2011; Özdeniz, 2015).

5.1.4.17 Proses gazı kullanımının optimizasyonu

Hurdadan ve cevherden üretim yapan demir-çelik tesislerinde, proses gazı kullanımının optimize edilmesiyle enerji verimliliği artırılabilmektedir. Bu kapsamda aşağıdaki teknikler kullanılabilmektedir:

- Tüm yan ürün gazlar için gaz tutucuların ya da kısa süreli depolama için diğer uygun sistemlerin ve proses gazlarının geri kazanımını artırmak için basınç tutma ünitelerinin kullanılması,
- Flare bacalarında enerji kayıplarının olduğu durumlarda, gaz kanallarındaki basıncın artırılması,
- Yakıt verimini kabul edilebilir bir seviyede tutmak için farklı kalorifik değerlere sahip proses gazlarının zenginleştirilmesi,
- Doğalgaz ya da elektrik enerjisi satın alma gereksiniminin azaltılması ve proses gazlarının kullanımının artırılması için proses gazları ile fırınların ön ısıtmasının sağlanması,
- Bilgisayar kontrollü kalorifik değer kontrol sistemlerinin kullanılması,
- Tüketilen kokun ve baca gazının sıcaklığının kayıt altına alınması,
- Proses gazları için (özellikle de proses gazlarındaki değişkenlikle ilgili olarak) enerji geri kazanım tesislerinin kapasitelerinin uygun bir şekilde kurulması.

Yukarıda bahsi geçen tekniklerin uygulanması ile bir demir-çelik tesisinde çelik üretimi için spesifik enerji ihtiyacı azaltılabilir. Enerji verimliliği iyi yanma prosesi kontrolü sayesinde artırılabilir ve buna bağlı olarak hava emisyonları da azaltılabilir. Spesifik enerji tüketimi üretim tesisinin türüne (örneğin; bazik oksijen fırınında uygulanan vakum miktarı, ürün kalınlığı, tavlama sıcaklığı), ürün kalitesine ve prosesin kapsamına bağlı olarak değişkenlik gösterir (EC, 2012).

5.1.4.18 Isının ürünlerden, sıcak atıksu akımlarından ve atık gaz emisyonlarından geri kazanılması

Isı geri kazanımı uygulanması ile birincil yakıtlardan tasarruf sağlanabilmekte böylece CO_2 emisyonları ve diğer çevresel etkileri azaltılabilmektedir. Çelik üretiminde enerji verimliliğini artırmak amacıyla kullanılan bazı geliştirilmiş ısı geri kazanımı uygulamaları aşağıda sıralanmaktadır:

- Isı değiştiriciler ile atık ısının geri kazanımı ve demir-çelik tesisindeki diğer ünitelere ya da bölgesel ısıtma ağına dağıtımı (çevresinde tüketiciler var ise)
- Buhar kazanlarının ya da büyük ön ısıtmalı fırınlarda uygun sistemlerin kurulması (fırınlar buhar ihtiyacının bir kısmını karşılayabilir)
- Yakıt tasarrufu için fırınlarda ve diğer yakma sistemlerinde yanma havasının ön ısıtmaya tabi tutulması (NOx miktarının artması gibi yan etkilere dikkat edilmelidir)
- Sıcak su, buhar ve gaz hatlarının izolasyonunun yapılması
- Ürünlerden (sinter vb.) ısı geri kazanımı yapılması
- Çeliğin soğutulması gerektiği durumlarda hem güneş panelleri hem de ısı pompalarının kullanılması
- Yüksek sıcaklığa sahip fırınlarda baca gazı kazanlarının kullanılması
- Standart eşanjörler arası enerji transferi yapmak amacıyla oksijen buharlaştırma ve kompresör ile soğutma tekniklerinin kullanılması
- Yüksek fırında üretilen gazın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için tepe basınç türbini kullanılması

Yukarıda bahsi geçen tekniklerin uygulanması ile demir-çelik tesislerinde çelik üretimi için ihtiyaç duyulan spesifik enerji miktarı azaltılabilmektedir. Fosil yakıt kullanımı yerine merkezi ısıtma sistemlerinin kullanılması ile CO_2 başta olmak üzere diğer kirletici emisyonların oluşumu önlenebilmektedir.

Bölgesel ısıtma bakım-onarıma az ihtiyaç duyan güvenilir ve ekonomik bir yöntemdir. Bölgesel ısıtma sisteminde, termal enerji binaların ısıtılması ve sıcak servis suyu üretimi için kapalı boru tesisatı yardımıyla dağıtılır. Tüketici her zaman ısı değiştiriciler yardımıyla ısıyı alır. Binaların her biri elektrik hattı ağı, gaz ağı, temiz su ağı ve atıksu ağı için benzer bağlantılara sahiptir. Merkezi ısıtma suyunun sıcaklığı 75-120°C sıcaklıklarda ayarlanır. Sistemden geriye dönen suyun ise sıcaklığı 40-45°C aralığındadır. Merkezi ısıtma sisteminin bir diğer avantajı ise dolaşım suyunun temiz olması ve yüksek sıcaklık farkına sahip olmasıdır. Isı, birleşik ısı ve güç üreten (kojenerasyon) büyük güç tesislerinde veya doğalgaz, ağır yağ ve biyokütle gibi yakıtların ayrı kazanlarda yakılmasıyla üretilir.

Sanayi bölgelerindeki ısıtma sistemlerinde optimizasyon ve kontrol önemli özellikler arasındadır. Yıllık ısı ihtiyacının %90'ının farklı proseslerde açığa çıkan atık ısı ile üretildiği durumlarda, diğer üretim noktalarındaki sıcaklığı ve basıncı kontrol etmek ve optimum ısı yüklerini sürekli bölüştürmek oldukça karmaşıktır.

Kombine ısı ve güç üretimi uygun ısı ihtiyacı olan kentsel alanlara yakın demir-çelik fabrikalarının hepsi için uygulanabilir. Aynı durum diğer pek çok sektör için de geçerlidir. Spesifik enerji tüketimi, üretim tesisinin türüne (örneğin; bazik oksijen fırınında uygulanan vakum miktarı, ürün kalınlığı, tavlama sıcaklığı), ürün kalitesine ve prosesin kapsamına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Her bir entegre demir-çelik tesisi ve üniteleri burada farklı bir ürün yelpazesine, proses konfigürasyonuna, hammadde stratejisine vb. sahiptir. Spesifik enerji kullanımı dikkate alındığında, iklim koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır (EC, 2012)

5.1.4.19 Çeşitli kaynaklardan ısı geri kazanımında ısı pompasının kullanılması

Isıl enerji kullanımının gerçekleştiği proseslerde enerjinin bir kısmı sistemden atık ısı olarak uzaklaştırılmaktadır. Üretim proseslerinde oluşan atık ısının geri kazanılmasında yaygın olarak ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Ancak kullanılan ısı değiştiricilerden ısı geri kazanımı yapılabilmesi için en az 50-60°C sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır. 50°C'nin altındaki sıcaklıklarda ise ısı geri kazanımı için ısı pompaları kullanılmaktadır (Öztürk, 2014). Isı pompaları ile elde edilen enerjinin farklı alanlarda ısıtma işlemlerinde, soğutma ve dondurma sistemlerinde kullanımı mümkündür (EC, 2006). Isı pompaları kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009). Atık ısı geri kazanımında ısı pompası kullanımıyla elde edilebilecek çevresel faydalar enerji tüketimlerinin ve atık gaz emisyonlarının azaltılmasıdır. Bu tekniğin uygulanması ile enerji ve su maliyetleri azaltılabilmektedir. Isı pompalarının çalışmasında ilave elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompaları hava sirkülasyonlu geleneksel kurutma sistemlerinde kullanılabilmekte, aynı zamanda havalandırma-soğutma sistemlerinin de temel bir bileşenini oluşturmaktadır. Isı pompaları diğer atık ısı geri kazanım sistemlerinden farklı olarak atık ısı kaynağına mümkün olduğunca yakın konumlandırılabilmektedir. Atık ısının geri kazanımında ısı pompası kullanımının değerlendirilebilmesi için, elektrik tüketimleri de hesaba katılarak iyi bir fizibilite çalışması yapılmalıdır (EC, 2006).

5.1.4.20 Prosesten gelen atık ısı ve buhar kazanı flaş ve blöfleri ile kazan takviye suyunun ön ısıtılması

Buhar kazanlarında, kazan besleme suyu içerisinde çözünmüş ve süspansiyon halde bulunan katı parçacıklar zamanla kazan içerisinde tortu tabakası oluşturur. Bu tortular kazan ve kazan borularında birikerek ısı transferini yavaşlatır ve ısınmaya neden olur (Gürel, ve diğerleri, 1995). Bu nedenle katı maddelerden kaynaklanan tortuların oluşumunun engellenmesi için katı madde konsantrasyonunun kazan blöfleri ile kontrol altında tutulması gerekir (Bulut, 2011). Kazanın alt bölümünde birikimin yoğun olduğu bölgelerden belirli zaman aralıklarında kazan suyunun bir bölümü kazan dışına atılır ve yerine taze besleme suyu ilavesi yapılır. Kazandan atılan bu su, blöf suyu olarak adlandırılmaktadır (Gürel, ve diğerleri, 1995). Bu ünitelerde ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması ile kazan blöf sularından kaynaklanan ısı kayıplarının azaltılması mümkündür. Genellikle kazan blöf suları basit ısı eşanjörleri kullanılarak kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca bazı sistemlerde, başka proseslerde kullanmak üzere, blöf suları ile birlikte flaş buharından ısı geri kazanımı yapılmaktadır. Isı geri kazanımı ile enerji tasarrufu ve emisyon miktarlarında azalma sağlanabilir.

5.1.4.21 Fan, kompresör ve pompalarda yükün azaltılması için değişken hız sürücülerin kullanılması

Değişken hız sürücüleri yüke göre alternatif akımın frekansını ve dolayısıyla motorun dönüş hızını, gücünü kontrol ederek motorun uygun devirde çalışmasını sağlamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009). Değişken hız sürücüsü donanımları elektronik ya da mekanik olabilmektedir (Alarko, 2006). Proseslerde değişken hız sürücülerinin kullanılması sayesinde motor hızları ayarlanabilmekte ve enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Aynı zamanda, ekipmanlarda daha az yıpranma yaşanmakta ve gürültünün azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Değişken hız sürücülerinin santrifüj pompaları, kompresörler ve fanlarda yapılandırılması ile elektrik tüketimlerinde %50'ye varan oranlarda tasarruflar sağlanabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.4.22 Frekans kontrollü pompa, fan ve elektrik motorlarının kullanılması

Frekans kontrollü pompaların, fanların ve değişken hız sürücülerinin kullanılması, farklı proses koşullarının talepleri doğrultusunda çıkış gazı debileri ve su debisinin daha iyi ve daha hızlı ayarlanmasını sağlayabilmektedir. Genellikle pompalama gücü düşük olmasına rağmen, pompalar yüksek güçte sürekli çalışırlar. Son teknoloji pompa ve fanlar frekans kontrollü olduğundan bu ekipmanlar debi için istenen set değerini elde etmek üzere herhangi bir dönme hızına (rpm değeri) ayarlanabilmektedir.

Enerji kullanan sistemlerin ayrı ayrı değerlendirilmesi yerine bir bütün olarak optimize edilmesi durumunda en fazla enerji tasarrufu elde edilir. Bir sistem optimizasyonu, bir elektromotor sisteminin enerji tüketimini %30 ya da daha fazla azaltabilir. Enerji maliyetlerindeki azalma genellikle %30 ila %50 arasındadır. Bu nedenle sistem analizi üzerine odaklanılır. Örneğin bir pompa sisteminin bileşenleri arasında bir değişken hızlı sürücü, bir elektrik motoru, bir dişli kutusu, bir pompa, borular ve kontrol ekipmanı bulunmaktadır. Kullanılan enerjiyi optimize etmek için alınacak önlemler, her bir pompa sistemi için ayrı ayrı geliştirilmeli ve ekonomik açıdan değerlendirilmelidir. İhtiyaç duyulan parametreleri (basınç, debi, sıcaklık seviyesi vb.), mevcut proses parametrelerini ve her bir sistemin sistem bileşenlerini analiz etmek önemlidir. Tüm bileşenlerin ve bunların etkileşimlerinin ince ayarı da bir optimizasyon planına dahildir. Enerji tüketimi optimize edilmiş bir pompa sisteminin ömrü daha fazladır. Daha düşük mekanik yüke sahip olduğundan bakım maliyeti de azalır. Sistemlerin optimizasyonu için alınması gereken önlemler aşağıda sıralanmaktadır:

- Pompaların kapalı durumda ana kaynaktan komple ayrılmaları,
- Mevcut pompaların daha küçük ve daha verimli pompalarla yer değiştirilmesi,
- Yüksek verimli motorların kurulumu.

Yapılan değişiklikler elektrik enerjisinden tasarruf etmenin yanı sıra bakım maliyetinin ve üretim firelerinin de azalmasına neden olmaktadır. Verimlilik tedbirleri iklim değişikliğinin azaltılması yönünde de önemli bir rol oynamaktadır.

Pompaların güvenilirliğinin proses güvenliği açısından büyük önem taşıdığı uygulamalarda frekans kontrollü pompalar kullanılmaz. Pompa sistemi teknolojisi sanayide ve üretimde oldukça geniş kullanım alanına sahip disiplinler arası bir teknoloji olduğundan, farklı birçok tür şirket bu tecrübelerden yararlanabilir (EC, 2012).

5.1.4.23 Yeterli hava sirkülasyonu için ısı değiştirici yüzey alanlarının maksimize edilmesi

Özellikle sudan-havaya ya da havadan-havaya ısı değiştiricilerin kullanıldığı durumlarda, ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanının maksimize edilmesi ile ısı transferi daha verimli gerçekleşmekte ve daha fazla miktarda atık ısıdan yararlanılabilmektedir (Parmaksızoğlu, ve diğerleri, 1999). Ayrıca hava sirkülasyonunun optimum seviyeye getirilmesi de atık ısıdan enerji geri kazanımı için önemlidir. Isı değiştiricilerin yüzey alanlarının maksimize edilmesi ve yeterli hava sirkülasyonunun sağlanması ile enerji tüketiminin ve atık gaz emisyonlarının azaltılması sağlanabilmektedir.

5.1.5 Buhar Üretimi ve Dağıtım Sistemleri için MET Uygulamaları

5.1.5.1 Buhar sıcaklığının, proseste ihtiyaç duyulan minimum seviyelere indirilmesi

İşletmelerin önemli bir bölümünde buhar üretiminde farklı tipte buhar kazanları kullanılmaktadır. Ayrıca tesislerde yakıt kullanımının ve atık gaz emisyonlarının önemli bir bölümü buhar kazanlarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle buhar kazanlarında yapılacak optimizasyon çalışmaları ile yakıt tüketimlerinde, enerji kayıplarında ve dolayısı ile atık gaz emisyonlarında azaltım sağlanabilir. Bu kapsamda yapılabilecek optimizasyon uygulamaları arasında proseslerde ihtiyaç duyulan sıcaklıkta buhar üretiminin sağlanması yer almaktadır. Buhar kazanlarında buharın ihtiyaç duyulandan daha fazla ısıtılması durumunda yakıt tüketimi artmakta ve buhar ısısının fazlası üretim proseslerinde gerek duyulmadığı için kaybedilebilmektedir. Bu nedenle buhar kazanlarında otomasyon uygulamalarıyla gerek duyulan sıcaklıklarda buhar üretimi sağlanabilmektedir (Gürel, ve diğerleri, 1995). Buharın ihtiyaç duyulan seviyede ısıtılması başka bir deyişle gerek duyulandan fazla ısıtılmaması yakıt tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

5.1.5.2 Kondensat geri dönüşünün en üst seviyeye çıkarılmasıyla enerji, su, atıksu ve kazan besleme suyuna eklenen kimyasal madde miktarlarının azaltılması

Üretim proseslerinde ısıl enerjinin iletilmesinde buharla dolaylı ısıtma teknikleri kullanıldığında yoğunlaşan buharın (kondensatın) buhar kazanlarına mümkün olduğunca yüksek miktarda geri dönmesi enerji tüketiminin ve atık gaz emisyonlarının azaltılması açısından etkili bir uygulamadır. Buhar kondensatlarının buhar kazanlarına geri dönüşünün en üst seviyede sağlanması ile su, atıksu ve kimyasal kullanımlarında da azaltım sağlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009). Kazan beslemesinde soğuk su yerine sıcak kondens suları kullanıldığında buhar üretimi için gerekli enerji miktarı düşmekte, bu sayede yakıt tüketimi teorik olarak %10-30 arasında azaltılabilmektedir. Kondensatın yeniden kullanılması ile kullanılan ve tahliye edilen su miktarı azalmakta, aynı zamanda arıtma işlemi için kullanılacak kimyasallarda da azalma sağlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009). Kondens sularının geri kazanılmasıyla su tüketiminde %5, enerji tüketiminde %0,6-7 oranında azaltım sağlanabilmektedir (Greer, ve diğerleri, 2013).

5.1.5.3 Flaş buharın yeniden kullanılması

Yüksek basınçta kondensatın genleştiği durumlarda flaş buhar oluşumu gerçekleşmektedir. Kondensat düşük basınçta bulunduğu durumlarda da kondensatın bir kısmının yeniden buharlaşması ile flaş buhar

oluşmaktadır. Flaş buhar hem saf su hem de kondensatta bulunan uygun enerjinin büyük bir kısmını içermektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

Blöf suyunun, önceden düşük buharla flaş tankına getirilmesi durumunda düşük basınçta buhar oluşmakta, bu flaş buhar doğrudan gaz gidericiye gitmekte ve burada tatlı suya karışmaktadır. Flaş buhar, çözünmeyen tuz içermemektedir ve blöfteki enerjinin büyük bir kısmına sahiptir. Ancak flaş gaz kondensattan daha fazla hacme sahip olduğundan dönüşüm boruları, basınç artışı olmadan bu durumla başa çıkmak zorundadır. Aksi takdirde ortaya çıkan geri basınç buhar tutucuların ve bileşenlerin düzgün bir şekilde çalışmasını engelleyebilmektedir. Kazan dairesinde, kondensat gibi flaş buhar da gaz gidericideki tatlı besleme suyunu ısıtmak için kullanılabilmektedir. Diğer bir uygulama ise hava ısıtma için flaş buharının kullanılmasıdır. Flaş buharı, kazan dairesi dışında, bileşenleri 100°C'nin altındaki sıcaklıklara kadar ısıtmak için kullanılabilir (Avrupa Komisyonu, 2009).

Düşük basınçlı buhar gereksinimlerini karşılamak için yüksek basınç buharı kullanımı düşürülebilir ancak yüksek basınçlı kondensat kullanılması ile de hesaplı bir yöntem izlenebilir. Flaş buhar, basınçlı kondensatta üretildiğinde kazana geri dönen kondensatın sıcaklığı ve enerji içeriği düşmektedir. Ekonomizerin kurulması avantaj sağlayabilmektedir. Ekonomizer, egzoz yığınından besleme suyu akışına daha fazla enerji geri kazandırabilmekte ve kazan verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Bu en yaygın kullanılan enerji verimliliği kombinasyonudur (Avrupa Komisyonu, 2009).

Kondensat borularındaki flaş buharların toplanması amacıyla aynı hat üzerinde çeşitli bileşenler eklenebilmektedir. Bu durum kondensat geri dönüş borusunun boyutlarının, geri kazanılacak kondensat miktarı için yetersiz olmasına sebep olabilir. Birçok durumda bu kondensat atmosferik basınçta geri kazanılır, böylece borunun büyük bir kısmı flaş buharla dolar. Kondensat tahliyesinde artış varsa bu borulardaki basınç 1 bar'ın üstüne çıkabilir. Bu da sistem girişinde sorunlara yol açabilir ve buhar tutucuların verimli bir şekilde çalışmasını engeller (Avrupa Komisyonu, 2009).

Flaş buharı geri dönüş borusu üzerinde uygun bir noktaya monte edilen flaş tankına boşaltılabilir. Sonrasında flaş buharı yerel ön ısıtmada ya da 100°C'nin altındaki ısıtma işlemlerinde kullanılabilir. Buhar kullanılırken ısıtıcı bobindeki gerçek basıncın ve daha sonraki düzenlemelere ait basıncın 1 bar'ın altına düşmesi mümkündür. Bu da kondensatın bobinde emilmesine ve bobini su altında bırakmasına neden olur. Bu sorun, kondensatın düşük basınçta geri kazanılmasıyla aşılabilmektedir. Düşük basınç neticesinde daha fazla flaş buharı elde edilerek, kondensattan daha fazla enerji sağlanmaktadır. Ancak bu düşük basıncı korumak ve dışarıdan borulara sızacak havayı engellemek için ek pompaların kurulması gerekebilir (Avrupa Komisyonu, 2009).

Bu teknik, tesisin sahip olduğu buhar ağının, buharın üretildiği basınçtan daha az basınca sahip olduğu durumlarda uygulanabilir. Sonrasında flaş buharının yeniden kullanılması, blöfteki ısının ısı değiştirici aracılığıyla değiştirilmesine kıyasla ekserji açısından daha uygundur. Teoride düşük sıcaklıktaki enerji kullanımı, temiz buhar yerine flaş buharın kullanılmasına imkân sağlayabilmektedir. Petrokimya sanayinde yaygın olarak kullanılan sistemin uygulanması kolay değildir. Flaş buharın geri kazanımı ile tatlı suyun ve bu suyun arıtılmasına ilişkin tasarrufların yapılması sağlanırken, en önemli tasarrufun enerji tüketiminde gerçekleştiği bilinmektedir. Flaş buharların geri kazanılması sıvı kondensatın toplanmasına kıyasla daha fazla tasarruf sağlamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.5.4 Kazan blöflerinin azaltılması

Blöf sıcaklığı kazanda üretilen buharın blöfüyle doğrudan ilişkili olduğundan, blöf oranının en aza indirilmesi enerji kayıplarını azaltmaktadır. Buhar üretimi sırasında suda çözünmeyen katılar kazandaki çözünmeyen katıların konsantrasyonunu artırmaktadır. Tutulan katı maddeler ısı transfer kalitesini etkileyen çökeltileri oluşturabilir. Çözünmeyen katılar köpüğe ve kazan suyunun buhara taşınmasına neden olmaktadır. Gerekli blöf miktarının azaltımı; kondensatın mümkün olan en yüksek oranda geri kazanımı, besleme suyu kalitesinin iyileştirilmesi, besleme suyunun ön ısıtılması (%3 oranında blöf miktarını azaltır), tam otomatik blöf sisteminin kurulması ve iletkenliğin izlenmesi ile sağlanabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.5.5 Kazan besleme suyunun ekonomizerde atık gaz ısısı ile ısıtılması

Buhar kazanına hava ayırıcıdan geri döndürülen suyun sıcaklığı yaklaşık 105°C'dir. Kazandaki yüksek basınçlı su aynı zamanda yüksek sıcaklığa sahiptir. Sistem kayıplarının telafi edilmesi ve kondensatların geri dönüştürülmesi için buhar kazanı su ile beslenmektedir. Besleme suyunun önceden ısıtılmasıyla ısı geri kazanımı sağlanmakta, böylece buhar kazanının yakıt ihtiyacı azaltılmaktadır. Bu sayede yakıt maliyetlerinde de %1 oranında azaltım sağlanabilmektedir. Kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında atık gaz ısısının ekonomizerler yardımıyla geri kazanılması ve aynı proseste tekrar kullanılması yaygın bir uygulamadır. Bu teknik ile yakıt-enerji tüketimlerinin ve atık gaz emisyonlarının azaltılması sağlanabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.5.6 Yanma havası sıcaklığının artırılması için ön ısıtma yapılması

Atık gaz bacalarından kaybedilen atık ısının geri kazanımında ekonomizerler ya da borulu ısı değiştiriciler kullanılabilmektedir. Baca gazlarından elde edilen atık ısı, ısı değiştiricilerde kazan giriş havasının ısıtılmasında kullanılabilir (Ersöz, 2009). Böylelikle kazanın yakma verimi yaklaşık %3-4 oranında artırılabilmektedir. Yakma havasının geri kazanılan atık ısı ile ön ısıtılması sayesinde %1,3 tasarruf sağlanabilir. Atık baca gazı sıcaklığı 130°C'nin üstünde ise, reküperatör ile yanma havasının ön ısıtılması veya ekonomizer ile suyun ısıtması sağlanabilmektedir. Kazan yakma veriminde artış ve yakıt tüketiminde azaltım sağlanması sayesinde atık gaz emisyonları azaltılabilmektedir. Ekonomizer ya da borulu ısı değiştiricilerin kullanılması ile atık gaz içerisindeki atık ısının geri kazanılması ve kazan yakma havasının ön ısıtılmasında kullanılması yöntemi birçok endüstriyel tesiste uygulanmaktadır. Yatırımın geri ödeme süresinin 5 ay (1 yıldan daha az) olacağı tahmin edilmektedir (Terhan, ve diğerleri, 2015). Yakıt tasarrufu ile enerji maliyetlerinin azaltılması uygulamanın en önemli itici gücüdür.

5.1.5.7 Yakma hızı ve yük değişimi kontrolü ile buhar kazanlarının en yüksek verimde çalıştırılması için brulör kapasitesinin artırılması

Brulörlerde elektronik yakma yönetim sistemlerinin kullanımı ile hava/yakıt oranının oldukça hassas bir şekilde ayarlanması ve bu sayede tüm yakma kademelerinde tam yanmanın ve sürekliliğinin sağlanması, aynı zamanda oransal çalışmayla birlikte kazan yüküne tam uyumun elde edilmesi ve gereksiz duruşların önlenmesi mümkündür. Bu sayede brulör kapasitesinin artırılması sağlanabilir. Bu uygulama ile buhar kazanlarında verimlilik artırılarak, yakıt kullanımı ve atık gaz emisyonu miktarlarında önemli azalmalar sağlanabilmektedir. Ayrıca birden fazla kazanın kullanıldığı tesislerde brulör yönetimini ve kazanların yüke bağlı olarak devreye alınması ve çıkarılmasını sağlayan otomatik kontrollü sistemler bulunmaktadır (Hızıroğlu, 2005). Yüksek baca gazı sıcaklıklarında brulör ve kazana mutlaka müdahale

edilmeli, kısmen kapasite düşürülerek veya kazan borularına türbülatörler ilave edilerek, baca gazı sıcaklığı düşürülmelidir. Baca gazındaki her 20°C'lik sıcaklık düşüşü, verimde %1 artışa neden olmaktadır (Bilgin, 2011).

5.1.5.8 Kazan blöfünden ısının geri kazanılması

Buhar kazanlarında blöf ve flaş buhardan ısı geri kazanımı yapılarak, geri kazanılan ısının kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılması, tüketilen yakıt miktarlarının azaltılmasını sağlamaktadır. Bu sayede doğalgazın buhar kazanlarında yanması sonucunda oluşan emisyon miktarlarının da aynı oranda azaltılması sağlanabilmektedir. Bu teknik, yeni kurulacak olan ve mevcut tesislerde uygulanabilmektedir.

5.1.5.9 Buhar kayıplarının en aza indirilmesi için otomatik kontrol mekanizmalı ve iyi bir izolasyon sisteminin kullanılması

Tesislerde buhar hatlarının uygun şekilde tasarlanmaması, buhar hatlarının rutin bakım ve onarımlarının yapılmaması, hatlarda meydana gelen mekanik problemler ve hatların uygun şekilde işletilmemesi, buhar hatlarının ve sıcak yüzeylerin tam izolasyonunun yapılmaması durumda buhar kaçakları olabilmektedir. Bu durum tesisin hem su tüketimini hem de enerji tüketimini etkilemektedir. Buhar izolasyonu eksiklikleri olan bölgelerde izolasyonların yapılması, buhar tüketimlerinin sürekli izlenmesi amacıyla analizörlerin ve otomatik kontrol mekanizmalı kontrol sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Buhar kayıplarının azaltılmasına bağlı olarak yakıt tüketiminde ve kazanlardaki ekstra yumuşak su tüketiminde benzer oranlarda tasarruflar sağlanabilir. Buhar kazanlarında yakıt tüketimi azalacağından atık gaz emisyonlarının da aynı oranda azalması beklenmektedir. Uygulamayla buhar kazanlarında kullanılan ekstra yumuşak su kullanımı azalacağından rejenerasyon suyu miktarları, rejenerasyonda kullanılan tuz miktarları ve ters ozmos konsantrelerinde de azalmalar sağlanabilir. Tam buhar izolasyonu uygulaması ve buhar kayıplarının en aza indirilmesi için otomatik kontrol mekanizmaları yoğun buhar tüketimi gerçekleşen birçok tesiste kullanılmaktadır. Uygulamanın yapılandırılması ile buhar kazanlarında %2-4 oranında yakıt tasarrufu sağlanabilir.

5.1.6 Basınçlı Hava Sistemleri için MET Uygulamaları

5.1.6.1 Basınçlı hava ihtiyacının ve basınç seviyesinin izlenmesi ve optimize edilmesi

Üretim proseslerinde ihtiyaç duyulan elektriğin yaklaşık %10'luk kısmı basınçlı hava sistemleri tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle basınçlı hava sistemlerinin izlenmesine, kontrolüne ve optimizasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla; gerekli hava ihtiyacının belirlenmesi, gereksiz kullanımların belirlenmesi, basınç miktarının optimize edilmesi, yük profilinin oluşturulması ve analiz edilmesi, izleme sistemi kurularak kaçakların minimize edilmesi gerekmektedir. Böylelikle elektrik enerjisi tüketiminde ve maliyetlerinde azaltım sağlanabilmektedir.

5.1.6.2 Kompresör kapasitesinin optimize edilmesi

Kompresör sistemleri üretim tesislerinde tüketilen elektrik enerjisinde önemli paya sahiptir. Bu nedenle kompresör sistemlerinin optimize edilerek uygun yüklerde çalıştırılması elektrik tüketiminin

azaltılmasında oldukça önemlidir. Kompresör odasının ve kompresör yerleşiminin uygun şekilde tasarlanması ile giriş havası sıcaklığının azaltılması ile enerji tasarrufu, mevcut kompresör dairesinin havalandırılması ile yakıt tasarrufu, kompresörlerde değişken hız sürücülerinin kullanılması ve yol vericilerin kullanımı ve uygun kompresör seçimi ile de enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

5.1.6.3 Hava girişine nem tutucu takılması

Kompresör giriş havasının özellikleri kompresör verimini etkileyen faktörlerden biridir. Genel prensip olarak soğuk, temiz ve kuru hava girişi verimli bir sıkışma sağlamaktadır (Kanoğlu, 2010). Ancak kompresör sistemlerinde dış ortam havası kullanılmaktadır. Bu nedenle kompresör sistemlerinde pratikte nadiren kuru hava temin edilebilmektedir (Çatak, 2004). Kompresör sistemlerinde sıkışma özelliklerinin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılması amacıyla kompresör hava emme noktasında nem tutucu filtrelerin kullanılması gerekmektedir (Kanoğlu, 2010).

5.1.6.4 Kompresör yağ seviyesinin kontrol edilmesi

Kompresörlerde yağ seviyesinin önleyici bakım-onarım programları hazırlanarak kontrol edilmesi kompresörlerin daha verimli çalışması, enerji kayıplarının azaltılması, mekanik aşınmanın önlenmesi ve faydalı kullanım ömürlerinin uzatılmasında olukça önemli bir uygulamadır. Kompresörlerde yağ seviyesinin azalması ve yağlamaya yetmeyecek seviyede olması kompresörlerin mekanik parçalarının aşırı sürtünmeye maruz kalmalarına, verimsizlik ve ısı kayıplarına neden olmaktadır. Kompresörlerde yağ seviyesinin rutin olarak kontrol edilmesi iyi bir yönetim uygulaması olmakla birlikte enerji verimliliğine de katkı sağlamaktadır. Bu sayede kompresör verimindeki artışa paralel olarak elektrik enerjisi tüketiminde de azalmalar sağlanabilir.

5.1.6.5 Kompresör giriş havası sıcaklığının optimize edilmesi

Kompresör giriş havasının kalitesi kompresör verimini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Kompresör sistemlerinde giriş havası sıcaklığının gerekenden yüksek olması durumunda sıkıştırma için daha fazla enerji harcanması gerekmektedir. Giriş havası sıcaklığının 5°C artması kompresör enerji ihtiyacını %2 oranında artırmaktadır. Bu nedenle kompresör giriş havası sıcaklığının optimize edilmesi kompresör veriminin artırılmasında ve elektrik enerjisi tüketiminin azaltılmasında etkili bir uygulamadır (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.6.6 Boru hacminin uygun şekilde artırılmasıyla sürtünme basıncının düşürülmesi ve kompresörlerdeki enerji ihtiyacının azaltılması

Basınçlı hava sistemlerde boru çapının uygun ölçülerde seçilmesi kompresörün gereken basıncı sağlayabilmesi için ihtiyaç duyduğu enerjinin azaltılmasında etkilidir. Ayrıca boru hattı üzerinde yük kaybına neden olan ekipmanların kullanılması da enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinde uygun boru çapının seçilmesi ve sürtünme ya da yük kaybına neden olan vana ve dirseklerin kullanımından olabildiğince kaçınılması kompresör veriminin artmasını ve buna paralel olarak elektrik enerjisi tüketiminin azaltılmasını sağlayabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.6.7 Basınçlı hava sistemlerinde dış ortam havasının giriş havası olarak kullanılması

Basınçlı hava sistemlerinde dış ortam havasının kompresör giriş havası olarak kullanılması mümkündür. Ancak kompresör veriminin artırılması için dış ortam havasının uygun sıcaklıkta ve düşük nem içeriğine sahip olması gerekmektedir. Bu açıdan kompresör girişine nem tutucuların entegre edilmesi, kompresör giriş havasının bir miktar soğutulması için soğutma odalarının hazırlanması ve kompresörlerin zemin altı gibi soğuk alanlara yerleştirilmesi etkili bir çözümdür (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.7 Soğutma, Isıtma ve Havalandırma Sistemleri için MET Uygulamaları

5.1.7.1 Soğutma sularının ayrı toplanması ve yeniden kullanılması

Isıl enerjinin yoğun olarak kullanıldığı ve soğutmanın gerekli olduğu proseslerde su ile soğutma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğutma suyu geri dönüşünde ısı değiştiricilerin kullanılması ile ısı geri kazanımı yapılması, soğutma suyunun kirlenmesinin önlenmesi ve soğutma suyu geri dönüş oranlarının artırılması ile su ve enerji tasarrufu sağlanması mümkündür. Ayrıca soğutma sularının ayrı toplanması durumunda, toplanan suların soğutma amaçlı kullanılması ya da uygun proseslerde tekrar değerlendirilmesi çoğu zaman mümkün olmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2009). Soğutma sularının yeniden kullanımı ile toplam su tüketiminde %2-9 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. Enerji tüketiminde ise %10'a varan tasarruflar sağlanabilmektedir. Uygulama için gerekli yatırımın geri ödeme süresi 2-7 ay arasında değişmektedir (Greer, ve diğerleri, 2013; Öztürk, 2014).

5.1.7.2 Soğutma yükünün azaltılması

Endüstriyel soğutma sistemlerinde ihtiyaç duyulandan fazla soğutma yapılması enerji verimliliğini olumsuz yönde etkileyen uygulamalardan biridir. Gereğinden daha fazla soğutmanın engellenmesi yönündeki en önemli uygulamalardan biri sensörlerin entegre edildiği bilgisayarlı izleme sistemlerinin kullanılmasıdır. Soğutma sistemlerinde optimizasyon ve yalıtım uygulamalarının yapılması, sıcak havalarda mekanların gereksiz olarak soğutulmaması, soğutulan mekanlara sıcak hava girişinin engellenmesi gibi önlemler ile soğutma yüklerinin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması sağlanabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile soğutma sistemlerinde sağlanacak enerji tasarrufu yaklaşık olarak %30 civarındadır (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.7.3 Kondenserde yoğuşmayan gaz oluşumunun engellenmesi

Yoğuşmayan gazların kondenserde birikmesi basıncın yükselmesine, dolayısıyla türbinin ürettiği enerji miktarının azalmasına neden olmaktadır. Türbinden geçen buhar debisinin bir kısmını buhardan düşük spesifik enerjiye sahip yoğuşmayan gazların oluşturması, türbinde daha az enerji üretilmesine ve yoğuşmayan gazların yüzey tip kondenserlerde borular etrafında direnç yaratarak ısı geçişini azaltmasına neden olmaktadır. Yoğuşmayan gazların alınmasında buhar jet ejektörleri, sıvı halkalı vakum pompası, roto-dinamik (kompresör ve radyal üfleyiciler) ve reboiler sistemleri kullanılabilmektedir (Gökçen, ve diğerleri, 2007).

5.1.7.4 Sıvı soğutucu akışkanının kompresöre gönderilmesi

Sıvı soğutucu akışkanın kompresöre gönderilmesi, sıvı hattı ya da kondenserden alınan bir hat ile yapılmaktadır. Bunun temel nedeni; kompresörde sıkıştırma sırasında soğutma etkisi elde ederek,

soğutma sisteminin veriminin artırılmasıdır. Ayrıca kompresöre sıvı gönderilmesi kondensere kızgınlığı daha düşük soğutucu akışkanın gelmesini sağlamaktır. Kondenserden kompresöre sıvı girişi sistem soğutucu akışkanı ve kompresör yağı açısından olumlu etkiler göstermektedir. Kompresöre sıvı girişi yoğuşma sıcaklığını düşürmektedir. Yoğuşma sıcaklığının düşmesi buharlaşma sıcaklığı arasındaki farkı azaltmaktadır (Ekren, ve diğerleri, 2009).

5.1.7.5 Kompresör basıncının aşırı yükselmesinin engellenmesi

Soğutma sistemlerinde kompresör basıncının gereğinden fazla yükselmesi boru tesisatları ve iletim kanallarında yükü artıracağı için yıpranmalara neden olabileceği gibi kompresörlerin daha verimsiz hale gelmelerine ve yüksek elektrik enerjisi tüketmelerine neden olabilmektedir (MEGEP, 2011). Bu nedenle kompresörlerin izlenmesi-kontrolü, bakım-onarımı, frekans kontrolü, kompresörlerde hız sürücülerinin kullanılması ve kompresör veriminin artırılmasına yönelik tedbirlerin (giriş havası sıcaklığının azaltılması, hava girişine nem tutucu takılması vb.) uygulanması ile kompresörlerin aşırı yüklenmesi engellenebilir (Karataş, 2013). Ayrıca kompresörlerin seçiminde kullanılacak amaca uygun güçte olanların tercih edilmesi gereklidir (Kara, 2003).

5.1.7.6 Sucul organizmalar ve biyolojik risklerin azaltılması

Su soğutmalı sistemlerde, soğutma suyunun yüzeysel su kaynaklarından temin edilmesi durumunda soğutma sularıyla birlikte sucul organizmaların da soğutma sularıyla birlikte soğutma sistemlerine taşınması mümkündür. Bu durumda zamanla soğutma sistemlerinde tıkanmalar ve soğutma kapasitesinin azalması gibi olumsuzluklarla karşılaşılabilmektedir. Soğutma sistemlerinde oluşan biyolojik büyümenin önlenmesinde; soğutma sularının uygun yöntemler ile arıtılması veya dezenfekte edilmesi sağlanabilir. İmalat sektöründe soğutma sularında istenmeyen biyolojik büyümenin önlenmesinde kimyasal dezenfeksiyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda biyolojik risklerin azaltılmasını sağlayan biyositlerin kullanımı da gerekli olabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.7 Soğutma kuleleri yüzeylerinin temiz tutulması, kireçlenme, korozyon ve tıkanmanın önlenmesi

Soğutma kuleleri ve evaporatif kondenserler, klima ve endüstriyel proses soğutma sistemlerinden çıkan ısıyı uzaklaştıran etkili ve düşük maliyetli sistemlerdir (Avrupa Komisyonu, 2001). Bu sistemlerde sirküle edilen suyun %95'inden fazlası geri kazanılabilmektedir. Soğutma sistemlerinde, resirkülasyon suyunun bir kısmı buharlaştırılmakta, bu nedenle safsızlıklar resirkülasyon suyu içerisinde kalmaktadır ve her bir döngüde safsızlık konsantrasyonları giderek artmaktadır. Bunun yanı sıra, hava ile birlikte soğutma sistemine dahil olan safsızlıklar resirkülasyon sularında kontaminasyona neden olabilmektedir. Safsızlıklar ve kirleticiler etkin şekilde kontrol edilmez ise kazantaşı (kışır) ve korozyon oluşumuna, istenmeyen biyolojik büyümeye ve çamur birikimine neden olur. Bu durum ısı transfer yüzeylerinin veriminin düşmesine ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olan kronik bir sorun haline gelebilir. Bu durumda soğutma sistemine verilen besleme suyunun kalitesi, soğutma suyu sistemi yapı malzemesi ve işletme koşulları açısından özel olarak tasarlanmış bir su şartlandırma programının uygulanması gereklidir. Bu kapsamda; blöf kontrolü, biyolojik büyümenin kontrolü, korozyon kontrolü, sert su kullanımından kaçınılması, çamur kontrol kimyasallarının kullanılması, filtrasyon ve elek sistemlerinin kullanılması sağlanabilir (Deren Kimya, 2016). Ayrıca etkin bir temizlik prosedürünün ve programının

oluşturulması ve periyodik olarak uygulanması da soğutma sistemlerinin korunması açısından bir iyi yönetim uygulamasıdır.

5.1.7.8 Soğutmada buhar oluşumunda ve soğutma kulesi yüksekliğinin azaltılmasının gerekli olduğu durumlarda hibrit soğutma sistemlerinin kullanılması

Tesis sahasının sınırları soğutma kulesi yüksekliği gibi tasarım parametrelerini etkilemektedir. Kule yüksekliğinin azaltılması zorunluluğunun bulunduğu hallerde hibrit soğutma sistemi uygulanabilmektedir. Hibrit soğutma sistemleri buharlaştırmalı ve buharlaştırmasız (ıslak ve kuru) soğutma sistemlerinin bir kombinasyonudur. Hibrit soğutma kulesi ortam sıcaklığına bağlı olarak tümüyle ıslak soğutma kulesi olarak işletilebileceği gibi kombine bir ıslak/kuru soğutma kulesi olarak da işletilebilir. Isınan soğutma suyu ilk önce soğutma kulesinin kuru kesiminden geçer ve burada ısı yükünün bir kısmı çoğu zaman bir fan vasıtasıyla tahrik edilen hava akımıyla ortadan kaldırılır. Kuru kesimden geçen su daha sonra kulenin açık çevrimli kule sistemine benzer şekilde çalışan ıslak kısmında soğutulur. Kuru kısımda ısınan hava, kulenin üst kısmında, ıslak kısımdan gelen buharla karıştırılır ve hava akımı kuleyi terk etmeden önce bağıl nem oranı aşağı çekilir. Böylece kule üzerindeki duman oluşumu neredeyse tümüyle azaltılmış olur.

Bir hibrit soğutma kulesi veriminin optimize edilmesi duman emisyonu kontrol gereklerini karşılayacak kuru ısı transferi miktarının optimize edilmesi anlamına gelmektedir. Bu sistemler paket soğutma kuleleri, tahrikli veya cebri soğutma kuleleri ve daha büyük ölçekte hücre veya çevrimli tip soğutma kuleleri olarak inşa edilebilirler. Bir hibrit soğutma kulesi ile konvansiyonel bir soğutma kulesi arasındaki en önemli fark hibrit soğutma kulesinin bir ıslak soğutma kulesine oranla %20'ye varan ölçüde daha az takviye suyu kullanıyor olmasıdır. Nominal koşullarda hava akımı (ıslak ve kuru kısımlar) yaklaşık iki katı olduğundan mekanik çekişli bir hibrit soğutma kulesinin yıllık enerji sarfı mekanik çekişli ıslak soğutma kulesine nazaran 1,1 ila 1,5 kat arasında aşağı çekilebilir. Bir hibrit soğutma kulesi inşasına karar verilirken tesis sahasına özgü gereklilikler (yükseklik sınırı ve duman emisyonunun azaltılması) dikkate alınmalıdır. Bu tür kulelerden özellikle Almanya ve İngiltere'de enerji sektöründe yararlanılmaktadır. Sistemin kullanımı 25-55°C sıcaklık aralığı ile kısıtlıdır; çünkü 55°C üzerindeki sıcaklıklarda tüplerde kalsiyum karbonat çökeltisi meydana gelmesinin çok daha kolay olduğu gözlenmektedir. Ancak bu anlamı 55°C altındaki sıcaklıklarda çökelme gözlenmediği anlamına gelmemekte ve bu hususa dikkat edilmesi gerekmektedir (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.9 Bazı proseslerde takviye soğutma suyunun sınırlı olması durumunda kuru soğutucuların kullanılması

Su soğutma işlemlerinde kanatlı ısı değiştirici yoluyla soğutma sağlayan sistemler kuru soğutma sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Kuru soğutma sistemleri, proses suyu soğutma sistemlerinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Kuru soğutma sistemleri dönüş suyu yükünün fanlı bir eşanjör sistemiyle havaya aktarılması esasına dayanmaktadır. Emilen hava kanatlar arasından geçerken, fanlar, boru içerisindeki akışkanın soğutulmasını sağlamaktadır. Eşanjörün dış yüzeyinin kuru olması nedeniyle kireçleme ve korozyon sorunları meydana gelmez. Ayrıca kuru soğutma sistemleri istenmeyen biyolojik büyüme risklerinin en az olduğu sistemlerdendir. Sistem kapalı devre çalıştırıldığında soğutma suyunun azalması problemi ile karşılaşılmaz. Yeterli soğutma suyu bulunmayan bölgelerde ya da su maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda soğutma takviye suyu miktarının azaltılması için kuru soğutma sistemlerinin veya hibrit soğutma sistemlerinin değerlendirilmesi

etkili bir çözüm olabilmektedir. Fakat kuru soğutma sistemi uygulamaları genellikle proses verimliliğinde bir azalmayı da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, su kısıtının bulunmadığı durumlarda genellikle ıslak sistemler tercih edilmektedir.

Söz konusu uygulamanın yapılandırılması ile sağlanabilecek başlıca çevresel fayda soğutma sistemlerinde su ihtiyacının azaltılmasıdır. Bununla birlikte, fanlı soğutma sistemlerinin kullanılması durumunda elektrik enerjisi tüketimi bir miktar artmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.10 Soğutmada kullanılan suların şartlandırılması

Açık çevrimli sistemlerde korozyon en önemli problemlerden biridir. Sistemde korozyona ve kireç oluşumuna neden olabilecek başlıca faktör besleme suyunun kalitesidir. Özellikle sülfat, klorür, karbonat gibi korozyona neden olan çözünmüş katı maddeler, zaman içerisinde metallerde aşınmaya neden olmaktadır. Soğutma kulesinde kullanılan suyun pH değeri yükseldikçe (pH>9) bakır akşamlarda, pH değeri düştükçe (pH<7) diğer metal aksamlarda meydana gelen korozyon miktarı artar. Soğutma suyunun sertlik derecesi arttıkça cidarlarda kireç taşı ve birikinti oluşumu gerçekleşir. Birikinti oluşumu ısı transferini olumsuz yönde etkileyerek enerji verimliliğini azaltmakta ve enerji maliyetlerini artırmaktadır. Sistem içerisinde buharlaşmanın artması ile sudaki iyon konsantrasyonu ve iletkenlik değeri artmaktadır. Toplam tuzluluktaki artış korozyon oluşumunu hızlandırır (Kayabek, ve diğerleri, 2005). Bu olumsuzlukların engellenmesi için soğutma suyuna kireç ve korozyon önleyici kimyasal şartlandırma yapılması, soğutma kulelerinin yılda en az iki kez kimyasal ve mekanik temizliğe tabi tutulması ve tortuların temizlenmesi, sertlik ve iletkenlik değerlerinin mümkün olduğunca düşük seviyede tutulması gerekmektedir (Kayabek, ve diğerleri, 2005; Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.11 Biyosit kullanımı

Tek-geçişli (once-through) ve açık çevrimli soğutma sistemlerinde mikrobiyal kirlenmeler meydana gelmektedir. Kontrolsüz mikrobiyal büyüme ısı değiştiricilerin ısı transfer kapasitesinin azalmasına ve artan sürtünme direnci nedeniyle enerji kayıplarına neden olur. Ayrıca mikrobiyal kirliliğe maruz kalan metal aksamlarda mikrobiyal kaynaklı korozyon da oluşabilmektedir. Açık çevrimli soğutma sistemlerinde mikrobiyal kirliliğin önüne geçmek için soğutma suyuna biyosit eklenir. Biyositler soğutma suyundaki mikrobiyolojik büyümeyi yavaşlatıp, besleme suyundaki toplam hücre sayısını azaltıp, mikrobiyal büyümenin neden olduğu biofilm stabilitesini zayıflatarak soğutma suyundaki organik kirliliği en az seviyeye indirir (EC, 2001b).

Genellikle, biyositler oksitleyici biyositler veya oksitleyici olmayan biyositler olarak tanımlanır. Oksitleyici biyositlerin spesifik olmayan geniş spektrumlu bir biyosit etkisi vardır. Bu da organizmaların bu biyositlere karşı direnç geliştirebilme derecesini sınırlar. Oksitleyici olmayan biyositler, daha seçici ve daha karmaşıktır. Bu nedenle oksitleyici biyositlerden daha uzun bir reaksiyon süresine ihtiyaç duyarlar (EC, 2001b).

Biyosit tüketim miktarı, soğutma sistemi türü, su kaynağı (tuzlu su, vb.), prosesten suya geçen/bulaşan organik malzemeye göre değişiklik gösterir. Tek-geçişli sistemlerde mikrobiyal kirlenme için sadece biyosit kullanılır. Bunlar, genellikle hipoklorit gibi oksitleyici biyositler ya da hipobromit gibi biyosit türevleridir. Açık çevrimli soğutma sistemlerinde ya sadece oksitleyici biyosit tek başına kullanılır ya da oksitleyici olmayan biyositle bir kombinasyonu halinde kullanılır. Oksitleyici olmayan ve diğer şartlandırma ajanlarının kullanımı tamamıyla açık çevrim soğutma sisteminin türüne göre belirlenir (EC, 2001b).

5.1.7.12 Soğutma kulelerinde oluşan hüzmenin yer seviyesine ulaşmasının engellenmesi

Açık ve kapalı ıslak soğutma kulelerinde yüksek nem içeriğine sahip atık havanın soğutma kulesini terk ederken atmosfere karışıp tekrar soğumasıyla meydana gelen hüzme oluşumu önemlidir. Görülen hüzmenin şekli ve büyüklüğü sıcaklığa, atmosferdeki bağıl nem oranına ve aynı zamanda rüzgâr durumuna bağlıdır. Atmosfer soğudukça ve nem oranı yükseldikçe hüzme daha durağan ve kalıcı olacaktır. Sert hava koşullarında, hüzmenin, çökerek yollarda buzlanmaya da sebep olabildiği rapor edilmiştir.

Atmosferik dispersiyon özelliklerinin yeterli olmadığı şartlarda, soğutma kulelerinde oluşan emisyonların yer seviyesine ulaşmasının engellenmesi gerekmektedir. Soğutma kuleleri, hüzmenin yer seviyesine veya yerleşim bölgelerine erişmesini önleyecek yükseklikte ve mesafede planlanmalıdır. Yüksek kapasiteli tesislerden kaynaklanan hüzme, gerek duyulandan daha küçük boyutlarda kulelerin kullanılması durumunda yer seviyesinde sis oluşumuna neden olabilmektedir.

Hüzme zayıflatma, soğutma sistemi konfigürasyonunu değiştirmeyi içeren entegre bir teknolojik tedbirdir. Nemli atık hava deşarj edilmeden önce bir miktar sıcak kuru havayla karıştırılıp kurutularak hüzme oluşumunun önüne geçilebilir. Açık hibrit (veya ıslak/kuru) soğutma kuleleri ve kapalı ıslak/kuru soğutma kuleleri (veya yeniden soğutucular) özellikle hüzme oluşumunu engellemek üzere tasarlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.13 Sodyum hipoklorit kullanımın azaltılması

Soğutma sistemlerinde istenmeyen mikrobiyal büyümenin kontrolünde en yaygın kullanılan biyositlerden birisi sodyum hipoklorittir. Ancak sodyum hipoklorit, su ortamlarında yüksek dezenfeksiyon kabiliyetine sahip olsa da dezenfektan yan ürünleri gibi ikincil kirlenmelere neden olmaktadır. Bu nedenle soğutma sistemlerinde kullanılan sodyum hipoklorit miktarının azaltılması çevreci bir uygulamadır. Sodyum hipoklorit kullanımının azaltılmasında; kirliliğin tanımlanması ve izlenmesi, soğutma sistemlerine organik maddelerin girişinin önlenmesi, uygun biyosit dozunun belirlenmesi, açık çevrimli sistemlerde biyolojik izleme programının oluşturulması, okside edici olmayan biyositlerle kombine kullanılması, biyosit kullanımının ve dozlama sisteminin optimize edilmesi, otomatik dozlama sistemi kullanılması, soğutma sularının ön arıtımı veya yan akım filtrelemesi, online ve offline temizlik yapılması, ısıl arıtım, kaplama ve boyama, ultraviyole (UV), ultrason (US), ozon ve ozmotik şok kullanılması, makro ve mikro filtreleme yapılması gibi yöntemlerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.14 Açık tip soğutma sistemlerinde serbest oksidan (kalıntı) emisyonlarının azaltılması

Açık sistemlerde makro-kirlenmeye karşı ağırlıklı olarak oksidan biyositler kullanılmaktadır. Açık çevrimli sistemlerde, korozyon ve mikro-kalıntı oluşumuna karşı su ön arıtma işleminden geçirilir. Göreceli olarak daha küçük hacimlerdeki çevrimli ıslak sistemlerde ozon ve UV gibi alternatif arıtma yöntemleri başarıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler özel proses koşullarına ihtiyaç duymakta ve yüksek maliyetli olabilmektedirler. Şok arıtma sırasında tahliyenin durdurulması ve blöfün alıcı yüzey suyuna deşarj işleminden önce arıtmadan geçirilmesi, soğutma suyu deşarjından kaynaklanan zararlı etkilerin azaltılması amacıyla uygulanan önlemlerdir. Blöfün bir atıksu arıtma tesisinde arıtılması söz konusu

olduğunda kalan biyosidal aktivite daha sonradan mikrobiyal popülasyonu etkileme potansiyeline sahip olduğundan mutlaka izleme altına alınmalıdır (Avrupa Komisyonu, 2001).

5.1.7.15 Havalandırma girişlerinin sayısının, şeklinin ve boyutunun optimize edilmesi

Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri bir tesiste azımsanmayacak seviyede (toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %10'u) enerji tüketimine neden olan sistemlerdir. Bu nedenle havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması oldukça önemlidir. Havalandırma sistemlerinde hava akışı enerji tüketimini etkileyen başlıca öğelerdendir. Akış oranı ne kadar düşük ise enerji tüketimi de o kadar azdır. Havalandırma sistemlerin uygun boyutta ve sayıda olması, daha az basınç kaybı sağlayan dairesel kanalların kullanılması, dirsekler ve çap değişim noktalarının sayısının azaltılması enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Örneğin çapta %10 artış absorbe edilen güçte yaklaşık %70 azalma sağlayabilir. Havalandırma sisteminin tüm parametrelerinin optimize edilmesinin ardından enerjide yaklaşık %30 oranında tasarruf edilebilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.7.16 Sistem dengesinin kontrolü ve hava akışının optimize edilmesi

Soğutma ve havalandırma sistemlerinde hava basınç kontrolü ve hava akışlarının optimize edilmesi sayesinde elektrik enerjisi tüketimi azaltılabilmektedir. Hava kanalı sisteminin, belirli noktalarda fazla havalandırmayı önlemek amacıyla dengelenmesi gerekmektedir. Havalandırma sisteminin optimize edilmesi, tesis içi bakım ve denetim planlarının belirlenmesi ve havalandırma sisteminin izleme-kontrolünün yapılması enerji verimliliği sağlamaktadır. Bilgisayar destekli hava akışı kontrol sistemlerinin kullanılması, havalandırma sistemlerinde enerji verimliliğinin sağlanması ve sürekliliği için iyi bir uygulamadır (Avrupa Komisyonu, 2009).

Akış düzenleme işlemi, hava kontrol ünitesinin önceden ayarlanmış hava akış sabitini koruyacak şekilde çalıştırılmasını içermektedir. Filtreler tıkansa, hava cihazları bloke olsa bile fanların hızı doğru hava akışını sağlayacak şekilde otomatik olarak ayarlanmaktadır (Alarko, 2006). Havalandırma sisteminin tüm parametrelerinin optimize edilmesinin ardından enerji tüketiminde ve dolayısıyla maliyetlerinde %30 oranında azalma sağlanabilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

5.1.8 Çeşitli Üretim Prosesleri için MET Uygulamaları

5.1.8.1 Kok Fırını Tesisleri için MET

Kömür ön hazırlama kaynaklı toz emisyonlarının azaltılması

Kömürün mümkün mertebe homojen bir şekilde kok fırınına beslenmesi gerekmektedir. Bu amaçla karıştırma siloları, kırma/eleme tesisleri, taşıyıcı ekipmanlar ve konveyörler, toz giderme ünitelerinden oluşan modern ön hazırlama tesisinin kapalı bir bina olarak tasarlanması önem taşımaktadır. Ayrıca bu tesislerde bina içinde; gaz yıkama üniteleri, ıslak elektrostatik filtreler ve torba filtrelerin kullanılması, taşıyıcı ekipmanlarda; kapalı veya kaplanmış konveyörlerin kullanılması ve depo alanlarında; yağmurlama sistemleri ve rüzgar önleyicilerin kullanımı ile toz emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması mümkündür. Bahsi geçen yöntemler kullanılarak toz emisyonlarının 10-20 mg/Nm^{3}'ten daha düşük seviyelere düşürülebilmektedir (EC, 2012).

Koklaştırma esnasında düzenli gaz çekişi sağlanarak fırın şarj emisyonlarının düşürülmesi

Fırın şarjı esnasında yaygın olarak şarj arabaları kullanılarak, kendi ağırlığıyla yükleme yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem dumansız şarj, sıralı şarj ve Japon şarjı olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Şarj aşamasında fırının üst kısmında serbest bir gaz alanının yaratılması önem arz etmektedir. Bu sayede şarj ve koklaştırma esnasında düzenli gaz çekişi sağlanarak emisyonların düşürülmesi sağlanabilmektedir.

Bahsedilen her üç yöntemde de şarj aşamasında düşük seviyede emisyonlara ulaşılabilmektedir. Ancak belirleyici ana faktör fırın içerisindeki ve şarj teleskoplarındaki aşırı basınçtır. Şarj arabasında bulunan toz toplama ünitesine sahip teleskobik kollarla şarj yapılması sayesinde 5 g/t koktan (<50 mg/Nm^3) daha az toz emisyonlarının elde edilmesi mümkün olmuştur. Bu durumda tahliye gazı atılmadan önce yakılmıştır. Bununla birlikte, bu amaçla kullanılan bazı sistemlerin işletmede meydana gelen problemler karşısında daha hassas olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Koklaştırma esnasında düzenli gaz çekişi sağlanarak fırın şarj emisyonlarının düşürülmesi amacıyla kullanılabilecek sitemler aşağıda kısaca açıklanmaktadır (EC, 2012).

Dumansız şarj sisteminin kullanılması

Şarj arabası ile kok fırını arasında gaz sızdırmaz bir bağlantı kurulması prensibine dayanan bu teknolojide kok kamaraları hızlı bir şekilde 4 ya da 5 şarj deliği vasıtasıyla doldurulmaktadır. Dikey borunun boyun kısmına buhar veya su enjeksiyonu uygulanması ile içerideki gazın, gaz hattına doğru çekilmesi sağlanmaktadır (EC, 2012).

Sıralı şarj sisteminin kullanılması

Bu süreçte şarj delikleri sıralı bir şekilde art arda doldurulmaktadır. Buna bağlı olarak bu tip proses oldukça uzun bir süre almaktadır. Fırının her iki tarafında da ya her iki dikey borunun da kullanımı ile ya da dikey boru ile bitişikteki fırının atlama borusunun (jumper pipe) kullanımı ile çekiş sağlanmaktadır. Bu uygulamada fırın ve şarj arabaları arasındaki bağlantı tamamen gaz sızdırmaz değildir. Ancak sağlanan çekiş sayesinde sistemin atmosfere çıkışı için sadece bir nokta bulunduğundan hemen hemen hiçbir emisyon oluşmamaktadır (EC, 2012).

Japon şarjı sisteminin kullanılması

Teleskop kollar ile gerçekleştirilen bu şarj yönteminde genellikle 4 şarj deliğinin eş zamanlı olarak doldurulması söz konusudur. Şarj arabaları ve kok fırını arasındaki bağlantı tamamen gaz sızdırmaz değildir. Ancak teleskop kollar yardımı ile etrafı çevrilmiş ve burada toplanan gazlar, şarj arabası ile ana toplama borusu arasında kurulan bir bağlantı vasıtasıyla ana toplama borusuna iletilmektedir. Toplanan bu gazlar yakıldıktan sonra yer seviyesinde konuşlandırılmış bir toz toplayıcı cihaza iletilmektedir. Bazı durumlarda şarj arabaları toz toplama cihazları ile donatılarak toplanan gazların toz açısından arıtılması sağlanmaktadır (EC, 2012).

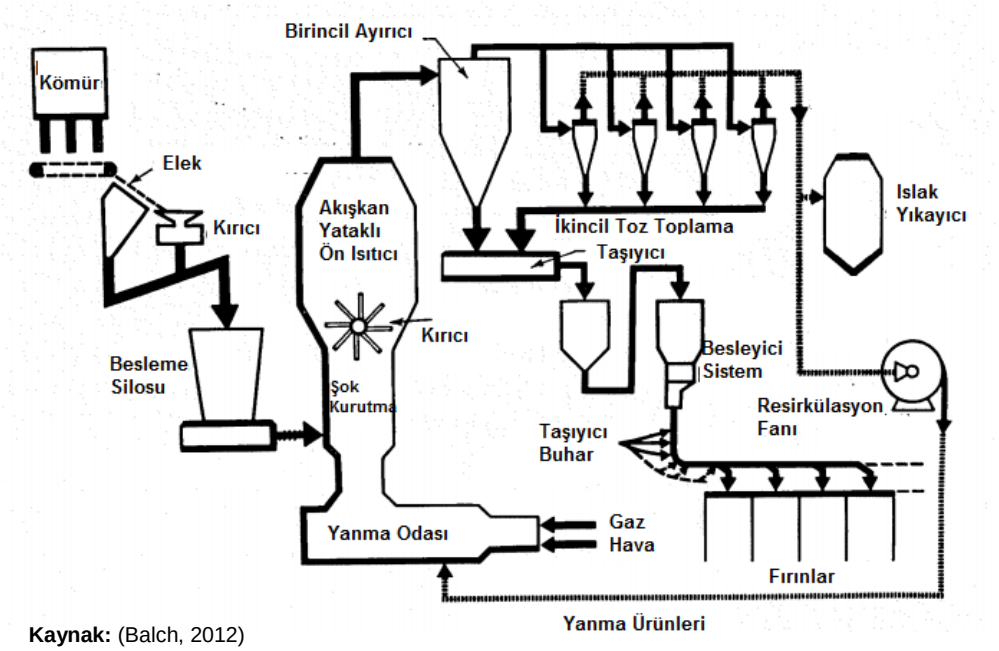
Kapalı şarj sisteminin kullanılması

Allied Kimya firması tarafından geliştirilen kapalı şarj sistemi sayesinde kok fırınlarının kömür şarj işleminde önemli bir değişim yaşanmıştır. Kapalı şarj sisteminde ön-ısıtmalı kömür kapalı bir boru hattı vasıtasıyla kok fırınlarına sürekli olarak beslenmektedir. Böylece şarj işlemi için

geleneksel/konvansiyonel şarj arabalarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sistem sayesinde kok fırın prosesinden kaynaklanan emisyonlar %70 oranında azalmaktadır. Kapalı şarj, pnömatik bir taşıma sistemi ile gerçekleştirilir (Balch, 2012).

Şekil 5.1'de gösterildiği üzere kömür, kok fırın gazının yanma ürünlerinin kullanıldığı sürekli akışkan yatak prosesinde ön ısıtmaya tabi tutulur ve kurutulur. Konvansiyonel siklon toplayıcılarda kömür geri kazanılır ve pnömatik taşıma sistemi ile fırınlara taşınır. Taşıma sisteminde kızgın buhar kullanılır. Buhar sayesinde kömürün boru hattında yukarı ve aşağı yönde hareket etmesiyle, sistemde konvansiyonel sistemlere kıyasla 10 kat daha fazla katı madde taşınabilmektedir. Sistemin başlıca avantajları (Balch, 2012);

- Şarj esnasında açığa çıkan emisyonların engellenmesi,
- Batarya çalışma koşullarının iyileştirilmesi,
- Fırın veriminin %45 artmasıdır.



Kaynak: (Balch, 2012)

Şekil 5.1 Ön ısıtmalı kömürün kapalı şarj sistemi ile beslenmesi

Fırında otomasyona dayalı sistemlerin kullanılması

Fırında kullanılan sistemlerin otomasyona dayalı olması da tesis verimliliğini artırabilmektedir. Bu amaçla aşağıda belirtilen yöntemlerin kullanılması mümkündür:

- İnfrared sıcaklık ölçüm sistemleri
- Her batarya için gerekli ısı miktarının hesaplanması amacıyla bir bilgisayar program
- Duman oluşumunu tespit edebilecek otomatik ölçüm ve kayıt sistemleri
- Emisyonların gözlenebilmesi amacıyla fırının belirli bölümlerine kamera sistemlerinin yerleştirilmesi
- Otomatik itme ve şarj sağlayan bir sistem

- Gaz işleme tesislerinin (yan ürünler) kontrolünü sağlayan bir sistem

Hem yeni hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir. Özellikle kok fırının modüler yapısı, otomasyona dayalı sistemlere geçiş aşamasında işletme gerekliliklerinin de göz önüne alındığı tesise özel çözümlerin üretilmesini kolaylaşmaktadır. Genel olarak kalite dışı kok üretiminin azalması ile tesis verimliliği de artmaktadır (EC, 2012).

Isıtma yüzey sıcaklığının kontrol edilmesi ile fırın sıcaklık dağılımının belirlenmesi ve ısıtma veriminin sağlanması

Bakım ve temizleme işlemleri ile birlikte kok tesislerinin sorunsuz işletilmesi prosese entegre önlemlerin en önemlilerinden biridir. Bu kapsamda alınan önlemlerin yeterli olmaması şiddetli sıcaklık değişimlerine ve itme esnasında kokun tıkanma olasılığının artmasına sebep olmakta ve bunlara bağlı olarak refrakter tabaka ve kok fırını üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Bu da sızıntının artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle kömürün hazırlandığı veya yan ürünlerin işlendiği tesislerde düzenli ve kesiksiz üretimin gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır. Isıtma sisteminde meydana gelebilecek düzensizliklerin tahmin edilebilmesi ve konu ile ilgili önlem alınabilmesi amacıyla kok bataryalarında itici araba tampon sıcaklık sensörleri kullanılarak ısıtma duvarlarının sıcaklıkları modellenebilir. Bu sayede ısıtma verimi artırılabilmekte ve kömürün tamamen koklaşması sağlanabilmektedir.

Sorunsuz işletilen bir tesiste özellikle ısıtma kamarası ile fırın kamarası arasındaki çatlaklardan, deforme olmuş kapılardan, kapı çerçevelerinden ve itme arabalarının durmasından kaynaklanan kaçak emisyonlar önemli ölçüde azaltılabilir. Kalite dışı kok üretiminin azalması ile tesis verimliliği artmaktadır (EC, 2012).

Dikey baca ve şarj delikleri sızdırmazlıklarının sağlanması

Koklaştırma esnasında kok fırın kapaklarının açılmasından kaynaklanan difüz emisyonlar şarj işlemi ve itme sonrası sızdırmazlık verimliliği ile azaltılabilmektedir. Su ile sızdırmazlığın sağlandığı dikey bacalar birçok kok üretim tesisinde kullanılmakta olup bu sistemlerde boruların tıkanmadan çalıştırılması durumunda yeterli verim sağlanabilmektedir. Şarj deliklerinde sızdırmazlığın sağlanması ise ek yerlerinin su-kil (veya kireç) karışımı ile sıvanması ile gerçekleşebilmekledir. Sağlanan sızdırmazlığın kontrolü de ayrıca önem arz etmektedir. Standart metotlar çerçevesinde kaçak emisyon seviyelerinin ve haftalık ortalama oluşum sıklıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Su ile sızdırmazlığın sağlandığı dikey bacalarda toz, karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonlarının önemli ölçüde azaltımı mümkündür. Kil (veya kireç) ile sıvama yöntemi ile şarj deliklerinden yayılan görünür sızıntıların miktarı, bu yöntem kullanılmadığında yayılan sızıntıların %1'inden düşük miktarlara indirilebilmektedir.

Su ile sızdırmazlığın sağlanması atık su oluşumuna neden olmaktadır. Ancak bazı durumlarda buradan çıkan atık suyun amonyak tankı veya amonyak sıyırıcıda kullanılması mümkündür. Ayrıca suyun sirküle edilebilmesi için kullanılan pompalarda da elektrik enerjisi tüketilmektedir (EC, 2012).

Fırın kapı ve çerçevelerinin contalarının temizlenmesi amacıyla her itmede kapı-kasa temizleme ekipmanı kullanılması

Birçok eski kok tesisinde yaysız keskin kenarlı kapılara kullanılmakta olduğundan bu tesislerde kapılardaki sızıntı çok ciddi bir problem olabilmektedir. Ancak bazı durumlarda bakımın iyi yapılması ile birlikte kapılardan kaynaklanan kaçak emisyonların %10‘un altına düşürülmesi sağlanabilmektedir. Temizlik amacıyla her döngüde kazıyıcı aletlerin kullanımı olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

Yüksek basınçlı su jetlerinin kullanıldığı temizleme işlemleri ile görünür emisyonlarda %95’e varan azaltım sağlanabilmektedir. Kazıyıcı temizleme sistemlerin kullanımı ise kapılardan kaynaklanan görünür emisyonların azaltımına önemli oranda katkı sağlamaktadır.

Yüksek basınçlı su jetlerinin kullanımı atık su oluşumuna neden olmaktadır. Oluşan bu atık su akımının bataryalardan gelen diğer atık su akımı ile birleştirilerek işlenmesi mümkün olabileceği gibi bazı tesislerde doğrudan söndürme aşamasında da kullanılabilmektedir (EC, 2012).

Yay baskılı ve esnek kapıların kullanımı ve kapı ve çerçevelerin her itme aşamasında temizlenmesi ile fırın kapı ve çerçevelerinin sızdırmazlıklarının geliştirilmesi

Fırın kapı ve çerçevelerinin sızdırmazlıkları, yay baskılı ve esnek kapıların kullanımı, kapı ve çerçevelerin her itme aşamasında temizlenmesi ve kapılar içinde gaz kanallarının kullanımı ile sağlanabilmektedir. Bu durum fırın büyüklüğüne göre değişmekte olup 5 m’den küçük fırınlar için bakımı iyi yapılan keskin kenarlı kapıların kullanımı yeterli olmaktadır.

Esnek sızdırmaz kapılar ile elde edilen spesifik emisyon değerleri geleneksel kapılara kıyasla çok daha düşüktür. Temiz tutulması sağlanan esnek sızdırmaz kapılar ile fırın kapılarının tamamında ölçülen emisyonların %5’in altında tutulması mümkün olmaktadır. Ancak bakımları iyi yapılan keskin kenarlı kapılara sahip küçük fırınlarda daha olumlu sonuçların alındığı, tam tersi olarak bakımları kötü yapılmış esnek sızdırmaz kapılı büyük fırınlarda daha kötü sonuçların alındığı örneklere rastlamak mümkündür. Kapı içinde gaz kanallarının kullanımı, sızdırmaz çerçeveler için iç ve dış ortam arasındaki basınç dağılımını azaltarak fayda sağlamaktadır. Seviyelendirme kapısında gerçekleştirilecek geliştirme çalışmaları ile kapıdan kaynaklanan kaçak emisyonlarında %93 oranında azaltım sağlanabilmektedir.

Bu teknik daha çok yeni tesislerde kullanılabilmektedir fakat bazı durumlarda kullanımda olan tesislerde de uygulanabilir. Yılda 1,2-1,5 Mton kok üretimi gerçekleştiren 30 adet fırına sahip bir tesis için eski fırın kapılarının yenileri ile değiştirilmesi yaklaşık 6 Milyon Avro’ya mal olmaktadır (EC, 2012).

Seramik kaynak, silikon kaynak veya kuru-yaş spreyleme yöntemleri ile kok fırın kamarası ile ısıtma kamarası arasındaki sızıntıların azaltılması

Düzenli ve sistematik olarak uygulanan bakım programları sayesinde tuğla örgüsü arasından sızan emisyonların önemli ölçüde engellenmesi mümkün olmaktadır. Zira fırın duvarlarındaki boşluklar ham KFG’nin ve buna bağlı olarak SO_2, toz ve hidrokarbon emisyonlarının atmosfere atılmasına sebep olmaktadır. Bu boşluklar, çalışanların fırınlardan çıkan siyah dumanları gözlemlemesi veya itme ve doldurma işlemlerinden sonra fırın içindeki alevlerin pozisyonunu incelemesi ile belirlenmektedir. Tespit edilen boşlukların tamiri, seramik kaynak veya kuru-yaş spreyleme yöntemleri ile gerçekleştirilebilir.

Genellikle partikül madde emisyonları 10 mg/Nm^3'ün altında ölçülmektedir. Spreyleme işlemi ile emisyonların hemen hemen sıfırlanması mümkündür ancak bu noktada fırın refrakter tabakasının durumu da önem arz etmektedir. Bu teknik sadece mevcut tesislerde uygulanabilmektedir.

Tesisin sorunsuz çalışması kapsamında en önemli entegre önlemler arasında yer alan kok fırınlarının bakımına ilişkin çalışmalar sadece kampanya dönemlerinde değil sürekli olarak yapılmalıdır. Bakım bir program çerçevesinde ve özel olarak eğitilmiş personel tarafından yapılmalıdır. Örneğin bir kok fırını için 5 yılda bir yapılacak bakım programı; her fırının periyodik olarak incelenmesi, fırın çeperleri ve dikey bacalarda biriken grafit tabakanın temizlenmesi, refrakter tabakada oluşan kırık ve boşlukların tamir edilmesi, fırın zemininin çimento (torkret - tuğlanın toz halinin çamurlaştırılmış hali) ile tamir edilmesi, çatlakların toz enjeksiyonu veya seramik kaynak (oksitermik kaynak) ile tamir edilmesi, kapıların tüm parçalar ayrı ayrı sökülmek suretiyle temizlenmesi ve tamir edilmesi aşamalarından oluşabilmektedir. Bu 5 yıllık bakım programına ilaveten fırınların destek sistemleri (kaynaklar, bağlantılar, vb.) düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Düzenli bakım ile refrakter tabakada boşlukların oluşması önlenerek, kaçak emisyonları azaltılabilmektedir. Bu şekilde tam yanması gerçekleşmemiş ham gazlarında fırın bacasından atılması önlenebilmektedir. Düzenli olarak bakım-onarımdan geçirilen kapı ve çerçeveler ile deveboynu ve ana toplama borusu için emisyon azaltımına katkı sağlayabilmektedir.

Bakım programı için çalışan kalifiye işçiler için harcanan giderler yüksek (yaklaşık 2 Avro/ton kok) olmasına rağmen sorunsuz işletme kapsamında da destek sağlayan bu önlemler ile tesis verimliliği artmakta, ekonomik açıdan denge sağlanabilmektedir (EC, 2012).

Gaz arıtma sisteminde yüksek uçucu özellikte olan Kok Fırın Gazı'nın (KFG) atmosfere karışmaması amacıyla önlemler alınması

Gaz arıtma sisteminde yer alan flanş, basınç vanaları, pompalar gibi çeşitli ekipman vasıtasıyla taşınan ve yüksek uçucu özellikte olan KFG'nin atmosfere karışmaması amacıyla aşağıda yer alan yöntemler uygulanabilmektedir (EC, 2012):

- Manyetik pompa veya integral pompa sistemlerinin kullanılması
- Depolama tanklarındaki basınç vanalarının çıkışlarının KFG toplama borusuna bağlanması
- Mümkün olan noktalarda boruların kaynak vasıtasıyla birleştirilmesi ve buna bağlı olarak flanş sayısının azaltılması
- Flanş ve vana sistemlerinde özel izolasyon tekniklerinin kullanılması

Günlük fırın itme sayısının ve sızdırmazlığı sağlanan yüzey uzunluklarının azaltılması amacıyla daha geniş kok fırın kamaralarının kullanılması

Sızdırmazlığı sağlanan yüzey uzunluğunun kapı ve çerçevelerden yayılan kaçak emisyonlar ile doğru orantılı olması beklenmektedir. Bu nedenle geniş ve yüksek kok fırın kamaralarının geliştirilmesi;

- Günlük fırın itme sayısının azaltılması ve sızdırmazlığı sağlanan yüzey uzunluklarının azaltılması
- Tek daha az ekipmana ihtiyaç duyulması nedeniyle yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılması

olmak üzere iki temel prensibe dayanmaktadır.

İtme işleminden kaynaklanan emisyonların, itme sıklığının azalmasına bağlı olarak azalması beklenmektedir. Ancak emisyon faktörlerinin (kapak ya da kapı bazında) büyük fırın uygulamalarında değişmediği belirtilmiştir. Daha geniş kok fırınlarının kullanımı bakım-onarım ihtiyacını da artırmaktadır. Bazı fırınlar için karakteristik bilgiler Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1 Çeşitli kok fırın tiplerinin karakteristikleri

Parametre	Birim	Küçük	Orta	Büyük		
Kullanılabilir Boyutlar						
Yükseklik	m	4,5	6,0	7,1	7,85	8,23
Boy	m	11,7	14,2	15,9	17,2	20,8
En	m	0,45	0,45	0,59	0,55	0,59
Kullanılabilir Hacim	m^3	22,1	36,4	62,3	70,0	93
Verimlilik	ton kok/fırın	12,7	21,3	39,8	43,0	55
Fırın Sayısı	adet	322	187	142	120	140
Toplam Fırın Açılışı	adet	2898	1496	1278	1080	380
Sızdırmaz Yüzey Uzunluğu	km	10,5	6,9	6,2	6,0	5,0
İtme Sayısı	adet/gün	430	257	138	128	135
Toplam Açılış	adet/gün	3870	2056	1242	1152	945
Temizlenecek Sızdırmaz Yüzey Uzunluğu	km/gün	14,0	9,5	6,0	5,6	4,9

Kaynak: (EC, 2012)

Bu teknik sadece yeni tesislere uygulanabilmektedir. Bazı durumlarda, eski fabrikalardaki bir kok fırın bataryasının yeniden yapılandırılması esnasında da geniş kok fırın tasarımının seçilmesi mümkündür (EC, 2012).

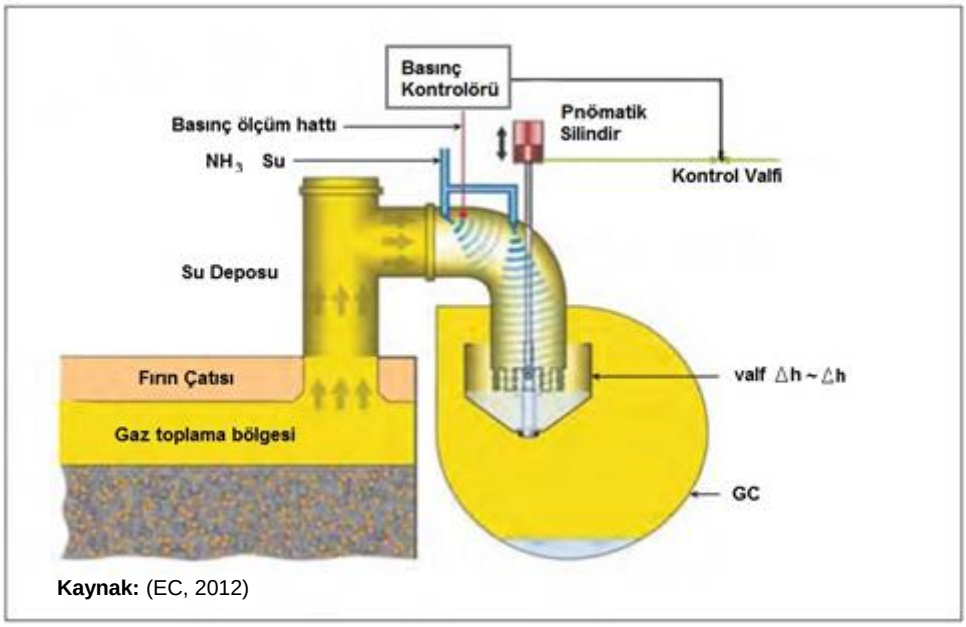
Kok fırınında serbest gaz akışının korunması amacıyla fırın tavan sıcaklığının düşürülmesi ve tavanda biriken grafitin temizlenmesi

Kok fırının içerisinde tepe kısımda gaz ve buharlaşan katranın dikey bacaya doğru akabilmesi amacıyla her zaman boş bir alan bırakılmaktadır. Ancak gaz akışı şarj edilen kömürün fırın tavanına ulaşması ve fırın tavanının grafitle tıkanması sonucu engellenebilir. Buna bağlı olarak fırın içerisinde pozitif basıncın artması ile kapı ve şarj deliklerinde sızıntılar oluşabilir. Bu problemlerin önlenmesi, fırının uygun seviyede doldurulması ve duvarlardaki ısı dağılımının ayarlanması ile fırın tavan sıcaklığının düşürülmesi sayesinde mümkün olabilmektedir. Ayrıca tavanda biriken grafitin temizlenmesi amacıyla itici ekipmanın tavan ile temas eden kısımları kazıyıcı işlevi görecek şekilde tasarlanabilmektedir. Kok fırın kamarasında basınç dağılımının iyi olması sızıntı ve difüz emisyon oluşma riskini önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca itme aşamasında kok şarjı sıkışma riski de azalmaktadır (EC, 2012).

Koklaştırma esnasında fırınlarda değişken basınç düzenleme sistemlerinin kullanılması

Kok fırınında kapılar, dikey bacalar ve şarj boşluklarının bağlantı noktalarında gerçekleşen difüz emisyonların en önemli etmeni fırın içinde üretilen ham gaz sebebiyle oluşan basınç değişikliğidir. Koklaştırma esnasında fırın kamarası genellikle zayıf pozitif basınç altında tutulmaktadır. Zira negatif basınç havanın fırın kamarasına girmesine ve buna bağlı olarak fırında bulunan kokun bir kısmının yanmasına ve fırının deforme olmasına neden olabilir. Öte yandan fırın tabanı atmosferik basınçta tutulmalıdır. Genel kural olarak ana toplama borusundaki yüksek basıncın (mm su sütunu) metre cinsinden fırın yüksekliğinin iki katı olması sağlanmalıdır.

Koklaşma prosesi sırasında, iki saatlik karbonizasyon süresi sonucunda KFG basıncı en yüksek seviyeye ulaşır. Koklaşma süresi içerisinde hem spesifik gaz oranı hem de kamara basıncı düşer. Basıncı dengelemenin ve emisyonu düşürmenin en yaygın yolu ana toplama borusunu aşırı basınçta tutmaktır. Bu önlem birçok tesiste kullanılmakta olmasına karşın ana toplama borusu fırına bağlandığında toplama borusundaki basınç fırın basıncını belirlemekte ve pozitif basınç nedeniyle fırın kapaklarında emisyonlar oluşabilmektedir. Bu durumun önlenmesi amacıyla fırın basıncını su sızdırmazlık seviyesinin bir fonksiyonu olarak kontrol edebilen valf sistemleri geliştirilmiştir (Şekil 5.2).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.2 Örnek valf sistemi (Envi-BAT)

Ana toplama borusundaki pozitif basıncı kamaradan ayırmak amacıyla her bir kamara için ayrı basınç ayarlaması yapan yeni nesil vana sistemleri kullanılmaktadır. Gaz basıncı dikey bacalarda veya deveboynunda ölçülmektedir. Kok fırın işletmesinin zorlu şartlarına dayanıklı bir kontrol sisteminin sağlanabilmesi amacıyla vana bir su perdesi, daimi su akışı ve kontrollü çıkış suyu ile donatılmıştır. Su perdesindeki su seviyesi değiştirilerek her bir fırın için gaz basıncı koklaştırma işlemi boyunca istenilen düzeye ayarlanabilmektedir. Fırın içi basıncın pozitif olduğu durumlarda ana toplama borusu emiş halindedir. Bu emiş, aynı zamanda, gazın, yüksek basınçlı çözelti (likör) aspirasyonuna ihtiyaç duyulmaksızın transferinin gerçekleştirilmesinde oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması ile KFG içerisinde bulunan toz ve kok partikülü emisyonları önemli oranda düşürülebilmektedir. Sistemin PAH emisyonları açısından performansı Tablo 5.2'de belirtilmektedir.

Tablo 5.2 Değişken basınç kontrolü uygulandığında ölçülen PAH emisyonları

Bölge	Şarj sonrası koklaştırma periyodu (saat)	PAH emisyon azaltım oranları (%)
İtme kısmı	0-2	64
	2-5	73
Kok kısmı	0-2	69
	2-5	73

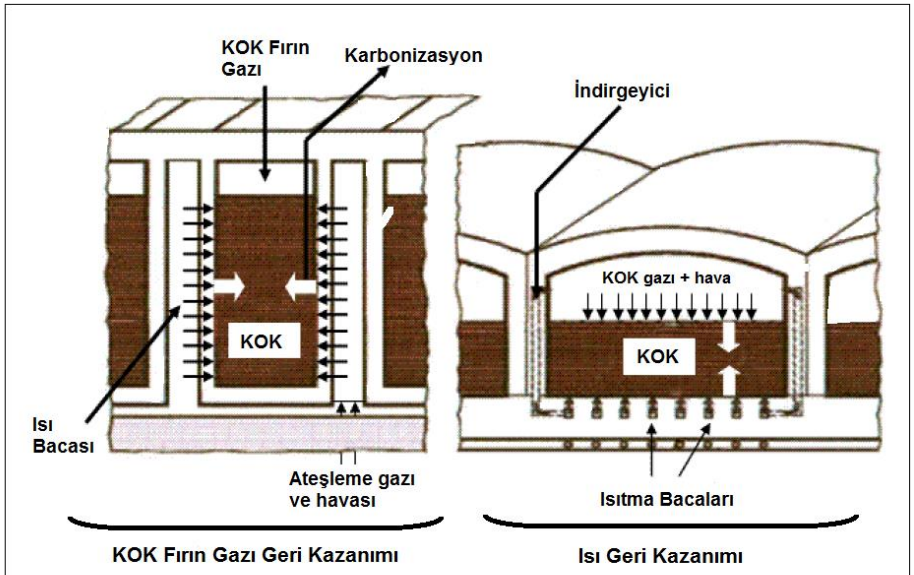
Kaynak: (EC, 2012)

Değişken basınç yöntemi hem yeni hem de mevcut tesislere uygulanabilmektedir. Ancak mevcut tesislerde bu uygulamanın hayata geçirilmesi öncesinde dikkatli bir değerlendirme yapılmasında fayda bulunmaktadır (EC, 2012).

Isı geri kazanımlı koklaştırma için Jewell-Thompson fırınlarının kullanılması

Koklaştırma sistemi genellikle gaz veya kömür kimyasallarının geri kazanılmamasından ötürü "geri kazanımsız koklaştırma" olarak da adlandırılır. Isı geri kazanımı, kok fırınında oluşan atık ısının kullanımı ve atık gazın kükürtsüzleştirme işlemine tabi tutulması ile gerçekleşmektedir. Bu proseste koklaştırma aşamasında oluşan katran ve gazlar fırın içerisinde yakılmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan yatay tip fırınlara kıyasla daha farklı bir tasarım gerektirmekte olan ısı geri kazanımı koklaştırma işleminde fırın gazı işleme ve atık su işlemesi amacıyla ilave tesislerin kurulumuna ihtiyaç duyulmamaktadır. Jewell-Thompson fırını olarak adlandırılan ısı geri kazanımlı koklaştırma sistemi, birden çok fırının bir araya gelerek bir bataryayı oluşturduğu bir tasarıma sahiptir. Bu sistemde karbonizasyon işleminin başlatılması için gereken ısı bir önceki karbonizasyon işleminden temin edilen ısıdır. Fırında açığa çıkan KFG temiz hava ilavesi ile 1200-1400°C'de yakılmakta ve iniş boruları vasıtasıyla fırın tabanında yer alan ısıtma bacalarına iletilmektedir. Bu sayede hem fırının doğrudan ısıtılması hem de tabanda bulunan refrakter tabakanın dolaylı olarak ısıtılması ile kömür koklaştırılması sağlanmaktadır. Bütün sistem atmosferik basınç altında işletilmekte olup, koklaştırma 48 saat sürebilmektedir.

Jewell-Thompson fırınlarını geleneksel fırınlardan ayıran en önemli özellikler; düz yatakta koklaştırma, negatif basınç altında işletme, havanın doğrudan fırınlara beslenmesi, her fırında atık gazın tam yanmasının sağlanması, sıvı akımlarının mevcut olmaması ve yan ürün olarak alçıtaşının oluşması olarak sıralanabilir (Şekil 5.3).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.3 Isı geri kazanımlı ve KFG geri kazanımlı kok tesislerinin karşılaştırılması

Isı geri kazanımlı bir tesise ilişkin emisyon bilgilerine Tablo 5.3'te yer verilmektedir. Bu tabloda yer alan veriler; emisyon kontrol sisteminin uygulanmadığı, kapılardan yayılan emisyonların ihmal edildiği ve şarj

ve itme aşamalarında toz giderme işleminin uygulanmadığı varsayımları ile hesaplanmıştır. Genel olarak bu sistemlerle geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek NO_x emisyonlarının elde edildiği ve koklaştırma esnasında kapılardan salınan benzo(a)piren gibi kanserojen madde emisyonlarının negatif basınç sebebiyle ihmal edilebildiği belirtilmektedir.

Tablo 5.3 Değişken basınç kontrolü uygulandığında ölçülen PAH emisyonları (g/ton kok)

Bileşen	Değer	Şarj Aşaması	İtme Aşaması
Toz	1960	7,35	276
SO_2	7000		
NO_x	380		
CO	77		
Benzen çözünebilir organikler		Tespit edilememiştir.	0,65
Benzo(a)piren		$1,3x10^{-5}$	Tespit edilememiştir.

*EPA emisyon faktörlerine dayanmaktadır. 1 ton kömürün 0,78 ton koka tekabül ettiği varsayımı ile hesaplamalar yapılmıştır.
Kaynak: (EC, 2012)

Yöntemin en önemli dezavantajı fırınların yatay tasarımları nedeniyle geleneksel fırınlara kıyasla fazla yer kaplamasıdır. Koklaştırma esnasında kömürün kısmi yanması daha az miktarda yüksek fırın kokunun çıktı olarak elde edilmesine sebep olmaktadır. Ancak bu yöntemde daha düşük kalitede ve daha ucuz kömür kullanılabilmektedir.

1998 yılında kurulan bir tesiste elde edilen bilgiler doğrultusunda; kok gazının tam yanmaması halinde atık ısı kazanlarında kurum birikiminin olduğu, negatif basınç nedeniyle kapılardaki görünür emisyonların ihmal edilebildiği ve çok çeşitli kömürlerin kullanımı ile yüksek kalitede kok üretilebildiği belirtilmektedir. 1,2 milyon ton kok/yıl kapasiteli bu kok üretim tesis 365 milyon ABD doları yatırım maliyetine sahiptir. Enerji üretim tesisinin yatırım maliyeti ise 140 milyon ABD doları olarak belirtilmiştir.

Bu teknik sadece yeni tesislerde uygulanabilmektedir. Ayrıca bu sistemde KFG gazı üretimi yerine elektrik ve buhar üretimi gerçekleştiği için, üretilen elektrik ve buharı kullanan diğer tesislerin yerleşiminde buna göre düzenlenme yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte özellikle entegre tesislerde KFG'nin yakıt olarak kullanıldığı diğer tesislerin enerji ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tekniğin kullanılması ile az iş gücüne ihtiyaç duyulmakta, ayrıca düşük kaliteli kömürün ve dolayısıyla daha ucuz kömür tiplerinin kullanımı mümkün olmaktadır (EC, 2012).

Kok fırınında açığa çıkan azot oksitlerin (NO_x) giderilmesi

Termal azot oksitler (NO_x) N_2 ve O_2'nin alev içinde reaksiyona girmesi ile oluşmakta olup, yüksek sıcaklık noktaları ve O_2 konsantrasyonları ile doğrudan ilgilidir. Öte yandan NO_x emisyonlarının, dolaylı olarak kullanılan yakıta (YFG veya KFG), kullanılan kömürün cinsine, kömürün şarj ağırlığına, koklaştırma zamanına ve kok fırın kamarasının ebatlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Termal azot oksitlerin oluşumunun önlenmesi amacıyla aşağıdaki teknikler uygulanabilmektedir:

- Isıtma bölgesindeki alev sıcaklığının düşürülmesi
- Hava beslemesinin aşamalı olarak yapılması
- Koklaştırma sıcaklığının düşürülmesi

- Fırında daha ince ve ısıl geçirgenliği daha yüksek refrakter tabakasının kullanılması ile ısıtma kamarası ve kok fırın kamarası arasında azalan bir ısı dağılımı sağlanması

Azot oksit oluşumunun azaltımı amacıyla kullanılabilecek en etkili işlem ısıtma bölgesindeki alev sıcaklığının düşürülmesidir. Bu amaçla kullanılan ilk yöntemde, fırın içinde üretilen atık gazın resirkülasyonu sağlanarak daha düşük O_2 ve daha yüksek CO konsantrasyonlarının elde edilmesine bağlı olarak alev sıcaklığı düşürülebilmektedir. Bunun yanı sıra hava beslemesinin aşamalı olarak yapılması ve koklaştırma sıcaklığının düşürülmesi de uygulanabilecek diğer yöntemler arasındadır.

İlave olarak, fırında daha ince ve ısıl geçirgenliği daha yüksek refrakter tabakasının kullanılması ile ısıtma kamarası ve kok fırın kamarası arasında azalan bir ısı dağılımı sağlanabilir. Sıcaklığı 1320°C olan bir ısıtma kamarası ile önceden 1180°C kok fırın kamarası sıcaklığına ulaşılırken bu yöntem sayesinde 1200°C sıcaklığa ulaşılabilmektedir.

Proseslerinde azot oksit emisyonlarının azaltımına yönelik önlemleri hayata geçiren tesislerde emisyon miktarlarının 340 g NO_x/ton kok (konsantrasyon: 322-414 mg/Nm^3, %5 O_2 oranında) olarak gerçekleştiği bildirilmiştir. Öte yandan NO_x emisyonunun, karışım gaz kullanılan tesislerde 322-358 mg/Nm^3, KFG kullanan tesislerde 322-414 mg/Nm^3 olarak ölçüldüğü belirtilmektedir.

Desülfürizasyon verimliliğinin artırılması amacıyla ham gaz soğutucularının soğutma kapasitesi artırılırsa, enerji tüketimi ve olası termal emisyonlar da artış gösterir.

Bu teknik yeni kurulacak tesislerde uygulanabilmektedir. Mevcut tesislerde uygulandığı takdirde koklaştırma süresinin uzaması ve kapasitenin altında çalışılması gibi etkilerin oluşması muhtemeldir (EC, 2012).

Kok fırın gazı desülfürizasyonu ile kükürt dioksidin (SO_2) giderilmesi

SO_2 emisyonları kullanılan yakıtın kükürt içeriği ile doğrudan alakalıdır. Kok fırınlarında kullanılmakta olan KFG ve zenginleştirilmiş YFG'nin kükürt içeriği ise kullanılan gaz temizleme tesisinde kullanılan desülfürizasyon tekniğinin verimliliği ile ilişkilendirilmektedir. Desülfürizasyonun uygulandığı durumlarda KFG'nin H_2S içeriği 1-1000 mg/Nm^3 aralığında gerçekleşirken, uygulanmadığı durumlarda bu rakam 8-12 g H_2S/Nm^3 mertebelerine yükselmektedir.

Yaygın olarak kullanılan absorpsiyon prosesleri amonyak çözeltisi ile yıkama işlemi yapılan ASK, Carl Still, Diamex, veya Cyclasulf prosesleridir. Yaş oksidasyon prosesi açısından en yaygın proses ise 400-110.000 Nm^3/saat kükürt giderme kapasitesi aralığında uygulanabilen Stretford prosesidir.

Yaş oksidasyon prosesi ile >%99,9 verimliliğe ulaşılabilirken, kok fırın gazındaki artık H_2S konsantrasyonu 1 mg/Nm^3 olarak elde edilmiştir. Öte yandan absorbsiyon prosesinin kükürt giderme verimliliği genellikle >%95 seviyesinde gerçekleşmiş ve kok fırın gazındaki artık H_2S konsantrasyonu genellikle 500-1000 mg/Nm^3 aralığında ölçülmüştür. Diğer taraftan karışım gaz kullanılan desülfürizasyonlu tesislerde 111-157 mg/Nm^3, KFG kullanan desülfürizasyonlu tesislerde 118-128 mg/Nm^3 olarak ölçüldüğü belirtilmektedir. Oxy-Claus olarak bilinen bir başka proseste ise NH_3 parçalanma ve H_2S giderim verimliliğinin %99,9'a yakın olarak gerçekleşmesi mümkündür.

Yaş oksidasyon prosesi ile kükürt giderimi aşağıda belirtilen reaksiyonda da görüldüğü üzere hidrojen siyanürün sodyum tiyosiyanata dönüşmesi ile sonuçlanmaktadır.

$$2HCN + Na_2CO_3 + 2S^o \rightarrow 2NaCNS + H_2O + CO_2$$

Reaksiyon sonucu oluşan sodyum tiyosiyanat, küçük bir miktar sodyum sülfat ve yan reaksiyonlarla oluşan tiyosülfat proseste tekrar kullanılamaz. Bu yüzden bu kimyasallar bir sıvı akımı ile temizlenmektedir. Bu kimyasalların atılması hem ekonomik ve hem de çevresel açıdan son derece sakıncalıdır. Bu noktada kimyasal tüketiminin azaltılabilmesi amacıyla hidrojen siyanürün desülfürizasyondan önce ön yıkayıcılarda sodyum polisülfat veya amonyum polisülfat çözeltisi vasıtasıyla giderimi sağlanabilir. Oxy-Claus prosesinde ise parçalanma süreci için ek enerji ihtiyacı bulunmasına rağmen amonyak giderimi aşamasında katalizör kullanımını gerekmemektedir. İlaveten NO_x emisyonlarının da azaltılması sağlanmaktadır. KFG'nin flare yolu ile yakılması da emisyonlara neden olabilmektedir. Öte yandan desülfürizasyon tesisinde meydana gelen kısa süreli kesintiler emisyonların artışına sebep olabilir. Örneğin, desülfürizasyon tesisinin yaklaşık 3 hafta bakım amacıyla kapatılması ve fırınlarda ham KFG'nin kullanılması sonucu yaklaşık 400 ton SO_2 emisyonun ilaveten salındığı tespit edilmiştir.

Oxy-Claus prosesinin 2002 senesinde kurulduğu bir tesiste emisyonların 1900 g/ton kok seviyesinden 500 g/ton kok seviyesinin altına düşürüldüğü belirtilmektedir.

Stretford prosesinde sadece %10 fazla maliyetle kükürt giderme verimliliğinde %95'ten %99,9'a yükselme kaydedildiği belirtilmektedir. Genel olarak yaklaşık 100 fırına sahip bir tesis için desülfürizasyon prosesinin toplam maliyeti 30 milyon Avro civarındadır. Amonyak buhar yakma sisteminin Oxy-Claus prosesi ile değiştirilmesine ilişkin maliyet ise 1,5 Mton/yıl kapasiteli bir tesis için 12 milyon Avro seviyesindedir (EC, 2012).

Kok fırını itmelerinde emisyonların azaltılması

Kok itme aşamasında oluşan toz emisyonlarının giderimi amacıyla geliştirilen sistemler şu şekildedir;

- Tahliye ve toz toplama ile birlikte kok kenar sundurmaları kullanılır. Toz sundurmalardan tahliye edilir ve torbalı filtrelerde tutulur.
- Kokun fırından bir konteyner arabaya doğrudan itilmesi sağlanır. Bu sayede oksijen ile temas önlenerek ve çok az miktarda partikül madde oluşması sağlanır. Bu yöntem genellikle kok kuru söndürme ile bir arada uygulanır.
- Davlumbazlı (entegre) kok transfer makinesi, sabit kanal ve sabit gaz temizleme ve tercihen torbalı filtre içeren ve "Minister Stein Sistemi" olarak adlandırılan sistem kullanılabilir.
- Yeterli koklaştırma süresi, homojen yanma ve uygun şarj sıcaklığının sağlanması ile daha kaliteli itme koşullarının sağlanabilir.

Azaltım uygulanmadan önce 500 g/ton kok olan toz emisyonu seviyesi en verimli teknik olarak sınıflandırılan Minister Stein sisteminin kullanımı ile >%99 oranında verimlilikle azaltılabilmektedir. Öte yandan kullanılan torba filtre sistemleri için yıllık ortalama emisyonlar 0,9 mg/Nm^3 olarak belirlenmiştir. Yaş azaltım sistemleri ise <20 mg/Nm^3 seviyelerinde emisyon giderimi sağlayabilmektedir. Sistemde toplanan katı atıklar proseste tekrar kullanılabilmektedir. Sistemde kullanılan fanlar ek enerji ihtiyacı oluşturmaktadır (EC, 2012).

Kok kuru söndürme (CDQ) sisteminin kullanılması

Kok kuru söndürme tesisi (CDQ) iki veya daha fazla soğutma ünitesi, atık ısı kazanı ve şarj vinçlerinden oluşmaktadır. Kok, soğutma ünitelerinde sirkülasyon gazı (N_2 veya diğer inert gazlar) vasıtasıyla

soğutulmaktadır. Buradan 780°C'de ayrılan sirkülasyon gazının sıcaklığı ısı değiştiricilerde 150°C seviyesine düşürülmektedir. Yaklaşık 5 saat süren işlem sırasında kok, söndürme sistemine 1050°C'de giriş yaparken, 180°C'de sistemden ayrılmaktadır.

Modern bir kok kuru söndürme sisteminde toz toplayıcı sistemlerin şarj aşamalarında ve kazanlarda kurulu bulunması gerekmektedir. Son aşamada ilaveten kullanılan torbalı filtreler yardımıyla toz emisyonlarının 3 g/ton kok seviyesine (~20 mg/Nm^3) düşürülmesi mümkündür. SO_2 emisyonları ise 200 mg/Nm^3 seviyesinde gerçekleşmektedir. Elde edilen kok tozunun sinter tesisinde yakıt olarak kullanılabilmesi, sistemin yüzey sularına hemen hemen hiç etki etmemesi, elektrik üretimi amacıyla kullanılabilecek 0,5 ton/ton kok seviyesinde buhar üretilebilmesi ve üretilen kokun nem seviyesinin ıslak söndürme sistemine kıyasla daha düşük olması sistemin diğer avantajları arasında sıralanmaktadır.

Kuru söndürme ile üretilen kokun taşınması esnasında ıslak söndürmeye kıyasla daha çok toz emisyonları oluşabilecektir. Toz toplama birimlerinde çalışan elektrikli fanların tüketimleri ihmal edilemez. Ancak elde edilen buhar vasıtasıyla elektrik üretiminin yapılması net tüketimin pozitif olmasını sağlamaktadır.

Sistemin bakım süresinin kısa olması nedeniyle %97 seviyelerinde emre amade olduğu belirtilmektedir. Islak söndürme sisteminde %2-5 arasında gerçekleşen kok nem içeriği kuru söndürme sisteminde %0,05 olarak gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak daha kolay işlenebilir ve daha düzgün kalitede elde edilebilen koka ilişkin taşıma ve hazırlama maliyetlerinin daha düşük olduğu belirtilmektedir.

2 milyon ton kok kapasiteli bir tesis için yatırım maliyeti yaklaşık olarak 100 milyon Avro olarak gerçekleşmektedir. Bu tekniğin kullanılması ile çevresel emisyonların iyileştirilmesinin yanı sıra kok kalitesine ilişkin sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği sağlanabilmektedir (EC, 2012).

Kok yaş söndürme (CWQ) sisteminin kullanılması

Yaş söndürme esnasında söndürme suyunun buharı ile birlikte duman ve toz emisyonları da oluşmaktadır. İşletme şartları, kok özellikleri ve su ilave tipine bağlı olarak değişen bu emisyonların azaltımı amacıyla dumana su püskürtülmesi gibi çeşitli yapısal önlemler alınabilmektedir. En uygun önlemler, ince siperlerin kullanılması ve söndürme kulesi tasarımının uygun şekilde yapılması olarak sıralanmaktadır. Öte yandan kokun üzerine su püskürtülmesinin aksine arabanın su ile doldurulması ve boşaltılan suyun bir kısmının kokun üzerine püskürtülmesine yönelik sistemlerde mümkündür. Böylelikle partikül madde emisyonlarının düşürülmesi sağlanabilir. Ancak kok parçacıkları arasında oluşacak buhar nedeniyle patlama yaşanması da olasıdır. Su püskürtme aşamasında ihmal edilebilir seviyede enerji tüketimi gerçekleşmektedir.

Emisyon kontrol yöntemlerinin uygulanmadığı durumda 200-400 g/ton kok seviyesinde toz emisyonu gerçekleşmektedir. Ancak bahsedilen kontrol yöntemlerinin uygulanması ile bu değerin 50 g/ton kok seviyesine azaltımı sağlanabilmektedir. Dünya genelinde, bu tekniğin uygulandığı ve olumlu sonuçlar elde edilen birçok sistem bulunmaktadır. Teknik hem yeni hem de mevcut tesislere uygulanabilmektedir. Mevcut kulelerin emisyon azaltım siperleri ile modifiye edilebilmesi için kule yüksekliğinin en az 30 m olması gerekmektedir. Bu kulelerin emisyon azaltım siperleri ile modifiye edilmesine ilişkin maliyet 200.000 Avro seviyelerindedir (EC, 2012).

Kok kararlı söndürme (CSQ) sisteminin kullanılması

Geleneksel yönteme kıyasla daha büyük kulelerin kullanıldığı bu sistemde emisyon kontrolü amacıyla hem emisyon azaltım siperleri hem de su spreyleme sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca özel olarak spreyleme ile söndürme ve su ile doldurarak söndürme işlemleri bir arada uygulanmaktadır.

Sistem ile ulaşılan toz emisyonu seviyesi 6-12 g/ton kok arasında değişmektedir. Sistem kok sıcaklığının daha hızlı düşürülmesi, daha kısa reaksiyon süresinin sağlanması, daha az su buharı ve H_2S oluşumu, daha kaliteli ve homojen dağılımlı kok elde edilebilmesi gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel yönteme kıyasla daha yüksek miktarda kok tozu üretilebilmektedir. Ayrıca söndürme için gerekli spesifik su tüketim miktarı 2 m^3/ton kok olarak gerçekleşmektedir. Bunun 1,5 m^3'lük kısmı çöktürme havuzunda toplanmaktadır. İşletmedeki tesislere uygulanabilmesi için eski tip söndürme sistemlerine kıyasla daha geniş tesis alanına ihtiyaç bulunmaktadır (EC, 2012).

Kok işleme aşamasındaki emisyonların azaltılması

Üretilen kokun tasnif edilmesine ilişkin süreç kırma, öğütme ve eleme gibi aşamaları içermekte olup, toz emisyonlarının oluşmasına da katkı sağlamaktadır. Emisyon kontrolü amacıyla;

- Kapalı taşıma sistemlerinin kullanılması
- Depo alanlarında serpme sulama sistemlerinin kullanılması
- Rüzgar kesicilerin kullanılması

mümkündür. Bu aşamada torbalı filtre kullanımı ile toz emisyonlarının yıllık ortalama 0,5-4,5 mg/Nm^3 aralığında ölçüldüğü belirtilmektedir.

İnce granüllü kömürün ve kokun kapalı bantlı konveyör sistemleri ile taşınması çevresel açıdan fayda sağlamaktadır. Bu sistemlerde malzemenin banda aktarıldığı kısım (yaklaşık 12 m) ve malzemenin banttan alındığı kısım (yaklaşık 12 m) açık bant olarak tasarlanabilmektedir. Kapalı olarak tasarlanan sistem sayesinde difüz ve kaçak emisyonlar önlenebilmektedir (EC, 2012).

Süper Kok Fırınının kullanılması (SCOPE 21)

Japon Demir-Çelik Federasyonu tarafından enerji ve üretim verimliliği sağlayan, çevre dostu yeni nesil kok fırınlarının geliştirilmesi amacıyla başlatılan proje kapsamında üretilen SCOPE 21 isimli kok fırın bataryası 2008 yılında 1 milyon ton/yıl kapasiteli bir tesiste kurulmuştur. Proses temel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır (EC, 2012):

- Kömür karışımının akışkan yatak sisteminde 350-400°C'ye ön ısıtılması ile birlikte kısmen briketlenmesi
- Kömür karışımının yerçekiminden faydalanılarak besleyiciler yardımı ile emisyonsuz bir şekilde taşınması ve şarj edilmesi
- Yüksek yoğunluklu ve yüksek termal iletkenliğe sahip silika tuğlalar ve sızdırmazlığı tamamen sağlanmış kapılarla donatılmış geleneksel fırınlarda 6-8 saat süren ve kok çıkış sıcaklığı 850°C olan karbonizasyon işleminin gerçekleştirilmesi
- Elde edilen kokun kuru söndürme tesisine iletilmesi ve burada sıcaklığı 1000°C'ye çıkarıldıktan sonra kuru soğutmanın uygulanması

SCOPE 21 süper kok fırınının kullanılması ile elde edilecek faydalar şu şekildedir:

- Geleneksel fırın teknolojisine kıyasla 2,4 kat daha yüksek üretim verimliliği
- Daha iyi kok kalitesi
- Kömürün topaklanmadan işlenebilmesinde %50 oranında artış
- Kok üretim aşamasında %20 oranında enerji tasarrufu
- Azot oksit emisyonlarında %30 oranında azaltım
- Duman ve toz oluşumunun önlenmesi

Tekli Fırın Basınç Kontrol Sisteminin kullanılması

Bir fırından ana toplama borusuna gazların aktarılması aç/kapa tipi valfler veya değişken basınç düzenleme valf sistemi (PROven) ile gerçekleştirilmektedir. Alternatif olarak PROven sisteminin modifikasyonu sonucunda tekli fırın basınç kontrol sistemi (SOPRECO) geliştirilmiştir. Bu sistemin temelinde, hidrolik ya da pnömatik başlatıcılar ile çalıştırılan ve dikey bacadaki basınç yardımı ile kontrol edilen özel bir valf bulunmaktadır. Fırın basıncının sürekli kontrol edilmesi ile pozitif basıncın önlenmesi ve buna bağlı olarak ana toplama borusunda negatif basıncın oluşturulması ile kapı ve şarj boşluklarında oluşması muhtemel emisyonların engellenmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca sürekli basınç kontrolü ile proses sonunda KFG debisinin azaldığı aşamada negatif basınç oluşması da önlenmektedir. Sistemin işletmede olan tesislerde kolaylıkla kurulabilmesi, olağan dışı durumlarda geleneksel çalışma tipine geri dönüş imkanı vermesi ve çalışma süreçlerine uygun olarak fırın basıncının değiştirilebilmesi en önemli avantajları arasında sıralanmaktadır (EC, 2012).

Kok fırın gazının hidrojen üretiminde, metanol sentezinde, elektrik üretimi amacıyla buhar üretiminde ve yüksek fırında indirgeyici madde olarak kullanılması

KFG'nin yakıt amaçlı kullanımının yanı sıra, hidrojen üretiminde, metanol sentezinde, elektrik üretimi amacıyla buhar üretiminde ve yüksek fırında indirgeyici madde olarak kullanımı konularındaki araştırmalar devam ettirilmektedir. KFG'nin enerji üretimi amacıyla kullanımı yönünde uygulanabilecek bir diğer yöntem, fırından çıkan 800°C sıcaklıktaki KFG'nin soğutulduktan sonra doğrudan yanma veya kısmı oksidasyona tabi tutulmasıdır. Ancak bu yöntem yüksek sıcaklıklarda basınç kontrolünün sağlanmasına yönelik teknik bir çözüm henüz bulunamadığı için endüstriyel olarak uygulanamamaktadır. Bunlar dışında KFG ve katranın yüksek fırına indirgeyici olarak bir arada beslenmesi veya sünger demir (DRI) veya sıcak briketlenmiş demir (HBI) üretimlerinde KFG'nin indirgeyici madde olarak kullanılması gibi çeşitli uygulamalar da mevcuttur (EC, 2012).

5.1.8.2 Sinter Tesisleri için MET

Proses optimizasyonunun yapılması

Planlı ve dikkatli bir şekilde bakım uygulamaları yapıldığı takdirde bir sinter tesisi, herhangi bir önemli kesintiye uğramadan sürekli bir şekilde çalıştırılabilir. Proses optimizasyonu, sinter tesislerinden kaynaklanan emisyonların azaltılması için en önemli entegre proses tedbirlerinden biridir. Sinter yatağındaki alev cephesinin düzgün şekilde ilerlemesinin kesilmesi sinter yatağında plan dışı durmalara sebep olabilir. Bu durum, bazı organik kirleticilerin ve toz emisyonlarının oluşumunda istenmeyen bir etki yaratmaktadır.

Sinterleme prosesinde PCDD/F emisyonları, sıcak gazların sinter yatağının aşağı kısmına doğru inmesi esnasında alev cephesinin tam üzerinde oluşmakladır. Alev cephesinin yayılmasının kesintiye uğraması daha yüksek PCDD/F emisyonu oluşumuna neden olmaktadır.

PCDD/F emisyonlarının azaltılması için; sinterleme prosesi, yatak hızı, yüksekliği ve yatak kompozisyonu (geri kazanılan malzemelerin iyi bir şekilde harmanlanması ve klorür içeriğinin azaltılması) açılarından mümkün olduğunca istikrarlı bir şekilde işletilmelidir.

Sinter yatağının kurutulması gibi kısa bir duraklamadan sonra sinterleme prosesinin başlatılması esnasında normalden daha yüksek seviyelerde partikül emisyonu oluşabilmektedir. Daha uzun duraklamalardan sonra ise, elektrostatik filtre veya torbalı filtre gibi ekipmanların yüksek nemden koruması amacıyla filtreler devreye alınmadan sistemi başlatmak gerekebilir. Böylece, duraklamalar ve kısa dönem dalgalanmaları minimize edilerek, partikül emisyonlarının pik değerinin düşürülmesi sağlanabilir. Havaya salından diğer emisyonlar da aynı şekilde istikrarlı bir sinterleme işlemi ile azaltılabilmektedir.

Nispeten düşük seviyede PCDD/F emisyonu oluşumu için tek bir teknik yeterli değildir. Bu nedenle, sürekli sinterleme işlemi başta olmak üzere yukarıda bahsedilen birkaç tekniğin birlikte uygulanması gerekmektedir.

Proseslerin kararlı halde sürekli şekilde işletilmesi ile enerji tüketimi minimize edilmektedir. Bununla birlikte bahsedilen tekniklerin uygulanmasıyla verimlilikte artış, enerji talebinde azalma ve sinter kalitesinde süreklilik gibi avantajlar elde edilmektedir. Herhangi bir yatırım maliyeti söz konusu değildir. İşletme maliyetleri ise verimlilik artışından sağlanan fayda ve istikrarlı işletmeden sağlanan sinter kalitesi ile denge halindedir (EC, 2012).

Sinter tesislerinde çamur, toz, tufal ve cüruf gibi üretim atıklarının ve yan ürünlerin kullanılması

Bir entegre çelik fabrikası içerisinde yer alan bir sinter tesisinde üretim atıkları önemli yer tutmaktadır. Demir içeriği yüksek atıklar genellikle haddehanelerden kaynaklanırken toz ve çamur ise baca gazı arıtımından kaynaklanmaktadır. Toz, çamur ve tufal, yüksek miktarda demir veya karbon (veya magnezyum gibi farklı mineraller) içerdiği takdirde sinter tesislerinde hammadde olarak kullanılabilmektedir. Çelik cürufu gibi yüksek miktarda kireç içeren materyaller ise kireç veya kireçtaşı takviyesi olarak kullanılabilmektedir.

Sinter tesisinde atıkların kullanımı için bir takım kısıtlamalar mevcuttur. Bu kısıtlamalar, yüksek fırının sorunsuz işletilmesi üzerindeki bazı negatif etkilerden kaynaklanmaktadır. Atıkların içerisinde yer alan bazı elementler yüksek fırının istikrarlı şekilde çalışmasını engellemektedir. Bu nedenle, sinterin çinko, kurşun ve klorür içeriği için birtakım kısıtlamalara gidilmiştir. Neredeyse tüm sinter tesislerinde bir miktar toz, çamur ve haddehane tufali kullanılabilmektedir. Birçok AB tesisinde bu atıklar, sinter beslemesinin yaklaşık %5-6'sını (bazı durumlarda %10-20'ye çıkabilmektedir) oluşturmaktadır. Bazı tesislerde bahsi geçen üretim atıklarının %100'ü kullanılmaktadır. Bu sayede hammadde maliyetleri ve atık bertaraf maliyetleri minimize edilmiş olmaktadır.

Doğal hammadde kullanımında; çamur, toz, tufal vb. atıklar kadar azaltım sağlanmıştır. Bununla birlikte atıkların depolanması önlenmiş olmaktadır. Bazı proses atıkları, organik emisyon (hidrokarbonlar, PCDD/F gibi) oluşumuna sebep olacak yüksek miktarda yağ içeriğine sahiptir. Bununla birlikte, önemli

miktarda uçucu ağır metal (Hg, Cd gibi) içeren atıkların kullanımı ağır metal emisyonlarının artmasına neden olur. Ayrıca, alkaliler ve klorürler gibi istenmeyen bileşenler sinterleme prosesini olumsuz etkilemekte ve atık gaz emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu problemlerden kaçınmak için arıtma ekipmanları (gelişmiş elektrostatik filtreler/torbalı filtreler) etkin şekilde kullanılmalıdır (EC, 2012).

Sinterleme makinelerinden çıkan ana egzoz gazının resirküle edilerek doğrudan sinter yatağına geri döndürülmesi ile atık ısının geri kazanılması

Sinter tesislerinde potansiyel olarak kullanılabilen iki çeşit atık enerji mevcuttur:

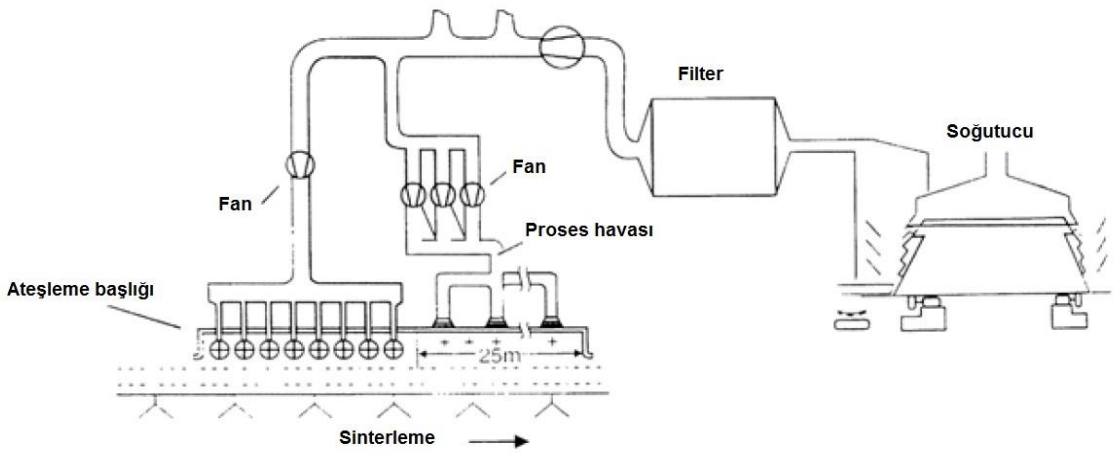
a. Sinterleme makinelerinden çıkan ana egzoz gazının duyulur ısısı
b. Sinter soğutucudan gelen soğutma havasının duyulur ısısı

İlk madde ile ilgili olarak, normal işletme koşullarında, baca gazındaki atık ısıyı geri kazanmak için ısı değiştiricilerin kullanılması, istenmeyen yoğuşma ve korozyon problemlerine neden olduğundan çok tercih edilmemektedir. Duyulur ısı, sıcak resirküle edilen gazlarla birlikte doğrudan sinter yatağına geri döndürülmektedir. 2010 yılı için bu metot, sinterleme prosesinde atık ısının geri kazanımı ile ilgili olarak pratikte yapılan tek uygulamadır.

İkinci madde ile ilgili olarak; sinter soğutucudan çıkan sıcak havanın içindeki duyulur ısı, aşağıdaki uygulamalarda kullanılabilir:

1. Atık ısı kazanlarında buhar veya sıcak su üretimi
2. Yakma bacasında, yanma havasının önceden ısıtılması
3. Sinter beslemesinin ön ısıtılması
4. Sinter soğutma gazlarının atık gaz resirkülasyon sisteminde tekrar kullanılması

Geri kazanılabilen atık ısı miktarı, sinterleme tesisinin tasarımı ve ısı geri kazanım sistemiyle doğrudan ilgilidir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.4 Sinter soğutucudan gelen soğutma havasından ısı geri kazanımı

Isının geri kazanılması için sinter soğutucudan gelen soğutma havasının kullanılması

Sinter soğutmadan çıkan sıcak hava, atık ısı kazanında buhar veya sıcak su üretilmesi ve yakma bacalarında yanma havasının ön ısıtılması için kullanıldığında toplam enerjinin %18'inin atık ısı kazanlarından, %2,2'sinin ise yakma bacalarından geri kazanıldığı belirtilmiştir. 273ºC ve 9 bar basınçta, 120 kg buhar/ton sinter üretilebilmektedir.

Sinter soğutucunun sinter yatağına entegre edildiği kısmi atık gaz resirkülasyonunda, hem sinterleme hem de soğutma bölgesinden gelen atık gazlar ısı kazanlarına iletilirler ve sonrasında yatağa resirküle edilirler. Bu sayede enerji tüketiminin %30'u oranında ısı kazanımı olmaktadır. 25 bar basınçta ve 375ºC'de 120 kg buhar/ton sinter üretilebilmektedir. Mevcut bir tesiste, bu teknik maksimum üretim seviyelerinde uygulandığında, üretim verimi olumsuz etkilenebilir.

Atık gaz resirkülasyon sistemi uygulandığında, sinter yatağına döndürülen atık gazların oksijen içeriğini artırmak için taze hava yerine soğutucudan gelen sıcak hava kullanılır. Bu sıcak havanın küçük bir kısmı aynı zamanda tutuşturma davlumbazındaki tutuşturma havasını ön ısıtmak için kullanılabilmektedir. Bu yöntemin kullanılması ile 2-5 kg kok/ton sinter azaltım sağlanabilmektedir (EC, 2012).

Atık gazın yeniden kullanılması

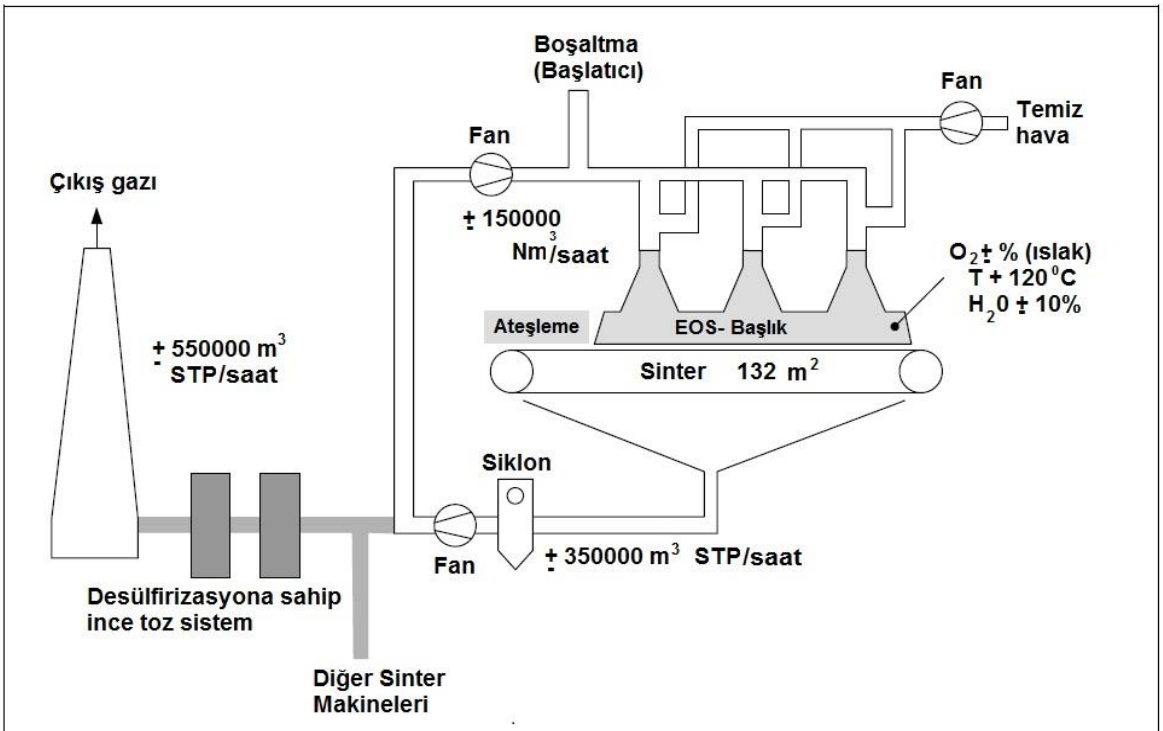
Atık gaz kısmi geri dönüşümü tekniğinde, sinter atık gazının bir kısmı sinterleme prosesinde resirküle edilmektedir. Resirküle edilen atık gaz, sıcak sinterden ve alev cephesinden geçer. Atık gazın kısmen yeniden kullanılması için farklı teknikler geliştirilmiştir. Bunlar (EC, 2012):

- Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın kısmen yeniden kullanılması,
- Sinter yatağının ikinci yarısından toplanan atık gazın ısı değişimi ile birlikte yatak boyunca yeniden kullanılması,
- Sinter yatağının sonunda yer alan sıcaklığın arttığı bölgeden toplanan atık gazlara sinter soğutucudan gelen atık gazın eklenerek yeniden kullanılması,
- Sinter yatağının farklı bölümlerinden toplanan atık gazın yatağın diğer bölümlerinde kullanılmasıdır.

Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın %40-45'inin bütün yatak yüzeyinde yeniden kullanılması

Bu tekniğin amacı, sinter yatağının tüm yüzeyinden toplanan atık gazın bir kısmının bütün yatak yüzeyinde yeniden kullanılmasıdır. Sinter atık gazının geri dönüşüm oranı, yaklaşık %40-45 civarında olup, aynı oranda atık gazın atmosfere salınması engellenmektedir (Şekil 5.5).

Atık gaz, sinter yatağının üst kısmında bulunan ilave bir fan yardımıyla geri dönüştürülmeden önce, gaz içerisindeki toz bir siklonla toplamaktadır. Bu koşullar altında yatak verimi, sabit kalmakta ve kok tozu tüketimi %10-15 oranında azaltılmaktadır.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.5 Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın kısmen yeniden kullanılması

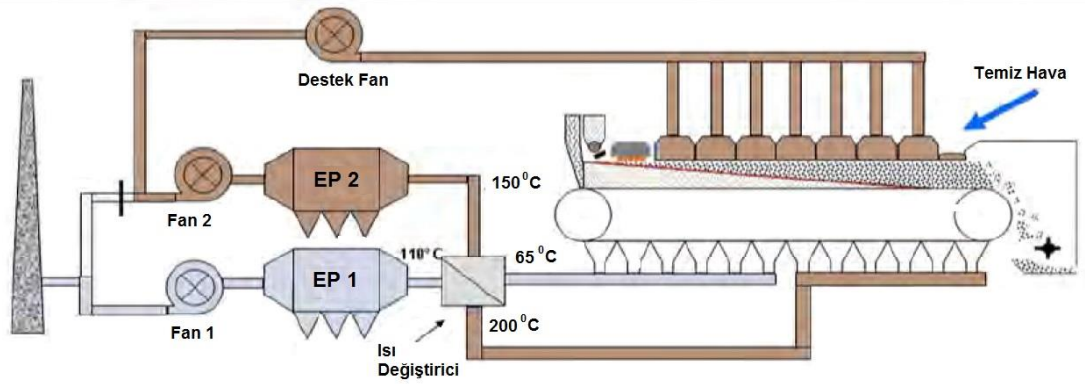
Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın kısmen yeniden kullanılması, öncelikle atık gaz akımının azaltılması sonrasında da toz emisyonları ve PCDD/F emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte atmosfere salınmadan önce, arıtma ekipmanlarında daha düşük hacimlerde gaz arıtılmış olunmaktadır. Bu da işletme maliyetlerinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Bu teknik, emisyonların azaltmasının yanı sıra sinterleme prosesinin enerji tüketimini de azaltmaktadır. Sisteme ilave edilen fanlar elektrik tüketimini artırmaktadır. Fakat bu artış kok tozundaki tasarruf ile kıyaslandığında ihmal edilebilir seviyededir. Bu sistem ilk olarak 1994 yılında kurulmuştur ve sistemin şu anki kullanılma durumu %95'in üzerindedir. Bu teknik, mevcut olan veya yeni kurulacak tesislerde uygulanabilir. Ancak, yeni bir tesiste bu sistem kurulma aşamasında planlanacağından, yatırım maliyeti, mevcut olan tesisteki modifikasyon yatırımlarından daha düşük olmaktadır (EC, 2012).

Sinter yatağının ikinci yarısından toplanan atık gazların yatak boyunca resirküle ettirilmesi

Sinterleme prosesinin doğası gereği, sinter yatağı boyunca atık gazın içeriği sürekli değişmekte ve homojen bir dağılım göstermemektedir. Prosesin ilk yarısında cevher karışımından su uzaklaştırılmaktadır. İkinci yarısında ise gaz içeriğinde kükürt oksitler, klorür bileşikleri ve PCDD/F emisyonlarının derişimi yüksektir.

Atık gaz geri dönüşümü için kullanılan diğer tekniklerin aksine, bu teknik tüm atık gazları sinter yatağının ikinci yarısından toplamaktadır. Toplanan bu gazlar sistem yatağı boyunca resirküle ettirilmektedir. Gaz resirküle ettirildiğinde, toz içeriği sinter yatağında filtrelenmekte, PCDD/F emisyonları kısmi olarak parçalanmakta, kükürt oksitler ile klorür bileşikleri de adsorplanmış olmaktadır (Şekil 5.6).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.6 Düşük emisyon ve enerji konusunda optimize edilmiş sinter (LEEP) prosesi akışı

Bu teknik uygulandığı takdirde, konvansiyonel sinterleme prosesine göre aşağıdaki tabloda (Tablo 5.4) ifade edilen kazanımlar elde edilebilmektedir.

Tablo 5.4 Konvansiyonel sinterleme prosesine göre LEEP prosesinin çevresel faydaları

Parametre	Azalım
Özgün atık gaz hacmi (ton başına)	Yaklaşık %50 (yığında)
Sinterden kaynaklı toz emisyonlar	%50 – 55
SO_2 emisyonları	%27 – 35
NO_x emisyonları	%25 – 50
CO emisyonları	%50 – 55
HF emisyonları	%50
HCl emisyonları	%50
PCDD/F emisyonları	Yaklaşık %75 - 85
Katı yakıt	Yaklaşık 5 -7 kg/ton (sinterde sağlanan CO ve CO_2 azalımı)

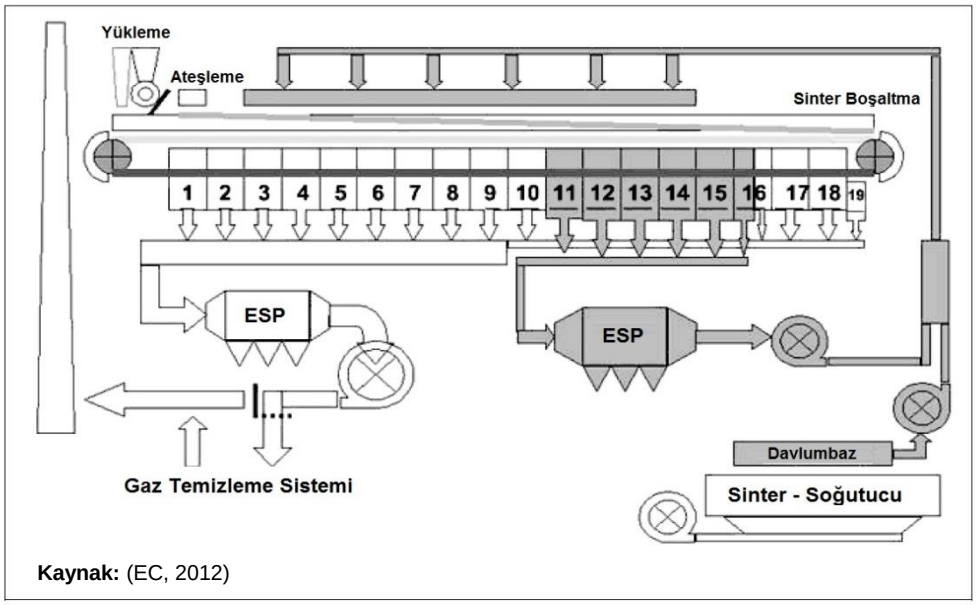
Kok tozu geri dönüşüm gazı enerji içeriğinin eşdeğeri.
Toplam enerji ihtiyacında 213 MJ/ton ya da %12,5'luk bir azalma meydana gelir.
Kaynak: (EC, 2012)

Bu teknik, hem mevcutta faaliyette olan hem de yeni kurulacak tesislerde uygulanabilir. Fakat çalışmakta olan tesislerde tesis yerleşim planından ve alan kısıtından kaynaklı olarak yeni bir atık gaz kısmi geri dönüşüm sitemi kurmak uygun olmayabilir. O_2 ilavesi ve sinter bazikliğinin artırılması gibi yöntemlerin uygulanmasıyla birlikte gelecekte bu tekniğin uygulanmasında yüksek verimlilik oranlarına ulaşılması beklenmektedir. Yakıt tüketimi 5-7 kg katı yakıt/ton sinter (yakıt ihtiyacının %12,5'u) azaltılabilmektedir. Sisteme fan ilave edilmesi nedeniyle elektrik enerjisi tüketiminde ufak bir artış olmaktadır (EC, 2012).

Sinter yatağının sonunda yer alan ve sıcaklığın ivmeli bir şekilde arttığı bölgeden toplanan gaza sinter soğutucudan gelen atık gaz eklenerek yeniden kullanımının sağlanması

EPOSINT (Environmentally Process Optimised Sintering) prosesinde seçici atık gaz resirkülasyonu, sinter yatağının sonunda yer alan ve sıcaklığın ivmeli bir şekilde arttığı bölgeden toplanan gaz ile

gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.7). Gaz içerisindeki partiküllerin daha konsantre olması nedeniyle sistemin avantajlı olduğu düşünülmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.7 EPOSINT prosesi akışı

EPOSINT prosesinde resirkülasyon, kok tozu tüketiminde ve atık gaz hacminde azalma sağlamaktadır. Bununla birlikte resirküle edilen atık gaz içerisindeki düşük O_2 konsantrasyonuna bağlı olarak sinter soğutucudan ek hava çekilmektedir. Sinter üretim prosesinde ve kalitesinde olumsuz bir etkiye neden olmamak için resirkülasyon havası içerisindeki O_2 miktarı en az %13 olmalıdır. Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketimi azaltılmakta, atık gaz hacmi %40'lara varan oranda azaltılmakta ve kok tüketiminde azaltım sağlanmaktadır.

Tablo 5.5 Bölgesel atık gaz resirkülasyon tekniğinin çevresel faydaları

Parametre	Azalım
Atık gaz hacmi (ton başına)	Yaklaşık %25 - 80 (yığında)
Toz emisyonlar (1)	%30 – 35
Sinter soğutucudan kaynaklı toz emisyonlar	%85 – 90
Ağır metal partikül	Yaklaşık %30 – 35 (5)
SO_2 emisyonları	Yaklaşık %25 - 30
NO_x emisyonları (2)	Yaklaşık %25 – 30
PCDD/F emisyonları (3)	%30 azaltılabilir
CO emisyonları	%30 azaltılabilir
Kok tozu tüketimi (4)	Yaklaşık 2 – 5 kg ton sinter başına

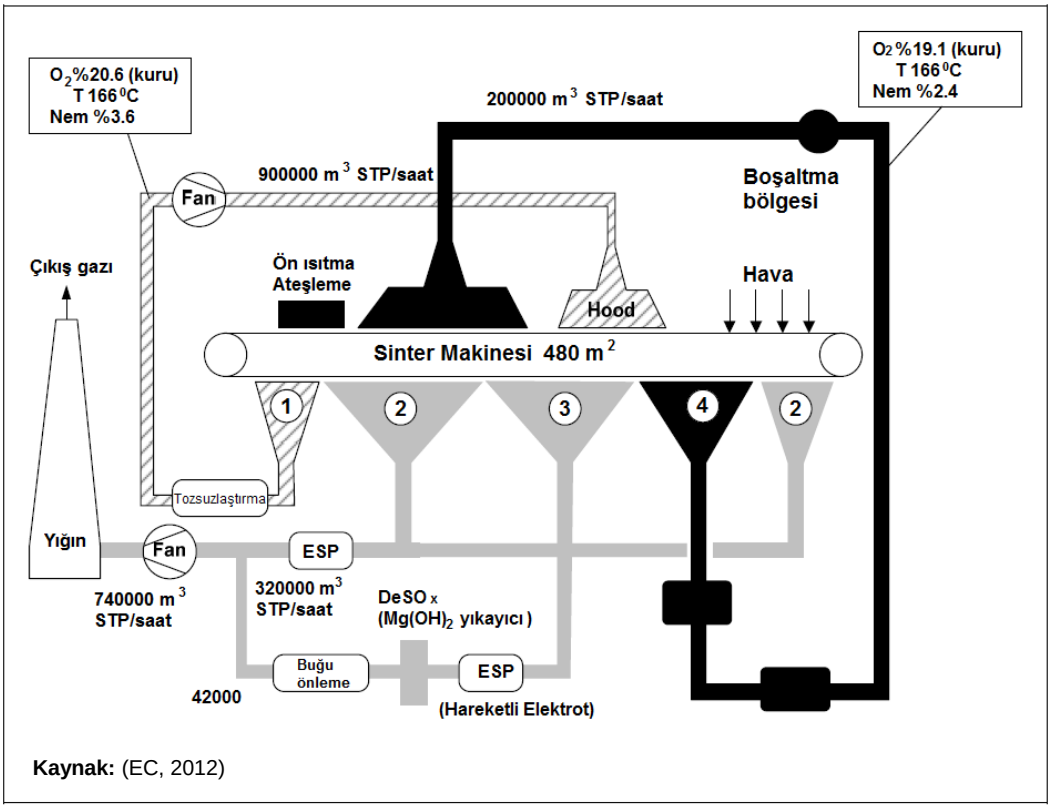
(1) ESF sisteminde gaz buharının temizlenmesi ve çok yüksek toz konsantrasyonundan dolayı toz emisyon bertarafı gaz hacmine görece daha yüksektir.
(2) Sinterleme sonunda yüksek O_2 ve düşük NO_x konsantrasyonu olmasına rağmen resirküle edilen gaz daha yüksek NO_x konsantrasyon değerine sahiptir.
(3) Sinterlemenin son çeyreğindeki atık gaz konsantrasyonu düşüktür.
(4) Üretimdeki bozulma ve kalitenin olmaması durumu.
(5) Toz emisyon azaltım karşılığı.
Kaynak: (EC, 2012)

Sisteme fan ilavesinden kaynaklanan elektrik tüketimindeki artış, yüksek miktarda üretim ve 2-5 kg kok/ton sinter oranında yakıt gereksinimindeki azalma ile telafi edilmektedir. İşçilerin CO zehirlenmesinden korunmaları için resirküle edilen atık gaz içindeki CO miktarına dikkat edilmelidir.

Bu teknik, mevcut olan veya yeni kurulacak tesislerde uygulanabilir. Fakat çalışmakta olan tesislerde tesis yerleşim planından ve alan kısıtından dolayı yeni bir atık gaz kısmi geri dönüşüm sitemi kurmak uygun olmayabilir. 250 m²'lik emiş alanı için yatırım maliyeti yaklaşık 15 milyon Avro'dur. Mevcut atık gaz sisteminde çok fazla modifikasyon gerekmediği için yatırım ekonomik olmaktadır. Yakıt tüketimindeki azaltımdan dolayı işletme maliyetlerinde ve atık gaz hacmi azaldığından gaz arıtma maliyetlerinde de azaltım sağlanabilmektedir. Bu tekniğin modern atık gaz temizleme tesislerinde uygulanması, yatırım ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte kok tüketiminde de %6'lık bir düşüş sağlanabilmektedir (EC, 2012).

Sinter yatağının farklı bölümlerinden toplanan atık gazın yatağın diğer bölümlerinde kullanılması

Kısmi atık gaz geri dönüşüm teknolojisindeki genel yaklaşım, atık gazın sinter bandındaki belli bir bölgeden çekilerek sinter yatağının diğer bölümlerine tekrar verilmesi şeklindedir. Bu işlem şekli EOS (Emission Optimized Sintering) prosesi ile arasındaki temel farklılıktır.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.8 Sinter yatağının farklı bölümlerinden toplanan atık gazın tekrar kullanılması

Bu tekniğe göre sinterleme yüzeyi dört farklı bölgeye ayrılır (Şekil 5.8):

- 1. Bölge: Sinter ön ısıtmadan gelen gazlar, sinter yatağının ortasına geri döndürülür (yüksek O_2, düşük H_2O ve sıcaklık).

- 2. Bölge: SO_2'si düşük atık gaz, tozsuzlaştırmadan sonra bacadan dışarı atılır (düşük O_2, yüksek H_2O, düşük sıcaklık).
- 3. Bölge: SO_2'si yüksek olan gaz, tozsuzlaştırma ve kükürt giderme işleminden sonra bacadan dışarı atılır (düşük O_2, yüksek H_2O, düşük sıcaklık).
- 4. Bölge: SO_2'si yüksek gaz, ateşleme bölgesi yanındaki sinter yatağının ilk bölgesine geri döndürülür (yüksek O_2, düşük H_2O, çok yüksek sıcaklık).

Bu proseste geri dönüştürülecek atık gazın O_2 konsantrasyonu yüksek (%19) kalırken, nem oranı düşüktür (%3,6).

Atmosfere salınan atık gazda önemli ölçüde azalma (yaklaşık %28), toz emisyonunda azalma (yaklaşık %56) ve SO_2 emisyonlarında azalma (yaklaşık %63,3, desülfürizasyon dâhil), NO_x emisyonlarında ise düşük oranda azalma (%3) sağlanabilmektedir. Sisteme fan ilave edilmesi nedeniyle elektrik enerjisi tüketiminde ufak bir artış olmaktadır fakat bu artma kok tozundaki tasarruf ile kıyaslandığında ihmal edilebilir seviyededir.

Bu teknik, mevcut olan veya yeni kurulacak tesislerde uygulanabilir. Ancak, yeni bir tesiste bu sistem kurulma aşamasında planlanacağından, yatırım maliyeti, mevcut olan tesisteki modifikasyon yatırımlarından daha düşük olmaktadır (EC, 2012).

PCDD/F adsorpsiyonu için karbon emdirilmiş polimerlerin kullanılması

Plastikler, korozyona karşı üstün dirençlerinden dolayı baca gazı temizleme ekipmanlarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. PCDD/F emisyonları genellikle karbon içeren plastikler (karbon partikülleri içeren polimerler) üzerine adsorplanmakta ve diğer atık arıtım yöntemleriyle (ıslak yıkayıcılar) bu emisyonların giderimi tamamlanmaktadır.

Atık yakma sektöründe, bir ıslak yıkayıcı kullanılması durumunda %60-70 oranında gaz faz giderim verimi sağlanmıştır. Emdirilmiş dolgu malzemesi kullanılmadığı durumlarda ise giderim veriminin %0-4 oranında olduğu ifade edilmiştir. Bir yaş yıkayıcı yerine bir kuru sistem kullanıldığında ise giderim verimi %97'nin üzerinde olmaktadır. Çünkü ıslak yıkayıcı kullanılması durumunda yıkayıcıda oluşan su filmi PCDD/F emisyonlarının kütle transferini sınırlamaktadır.

Adsorbanlar belli bir süre sonra doymuş hale gelmektedir. Bu malzemelerin periyodik olarak bertarafı sağlanmalıdır. Yasal bir engel olmadığı durumlarda fırında yakılabilmektedir.

Karbon emdirilmiş plastikler atık yakma sektöründe kullanılmakta olmasına rağmen henüz demir-çelik sektöründe uygulanmamaktadır. Bu teknik aynı zamanda, daha yaygın kule dolgularında ve/veya devamındaki dioksin baca gazı arıtımının yukarı ya da aşağı akımlarında da uygulanabilir. Çalışma sıcaklığı, 60-80°C civarındadır (EC, 2012).

Baca gazı akışına ters yönde trietanolamin (TEA) veya monoetanolamin (MEA) gibi azot bileşiklerinin enjekte edilmesi ile PCDD/F oluşumunun engellenmesi

Baca gazının akışına ters yönde trietanolamin (TEA) veya monoetanolamin (MEA) gibi azot bileşiklerinin enjekte edilmesiyle PCDD/F emisyonlarının oluşumu engellenmektedir. Bu aminler suda çözünebilmekte ve nozullardan püskürtülebilmektedir.

Belçika'da bulunan bir tesiste baca gazına MEA enjeksiyonu, kirletici emisyonları azaltmamıştır, aksine toz ve mikrokirletici emisyonları; MEA'nın 150°C civarındaki düşük reaktivitesi, amonyum tuzları, yapışkan toz oluşumu vb. nedenlerden dolayı artmıştır. Sinter tesisi emisyonlarına MEA enjeksiyonunun faydaları ile ilgili kanıtlanmış kesin bir bilgi olmadığı bilinmektedir.

MEA'nın büyük çoğunluğu toz üzerine adsorbe edilmektedir. Bu toz ESF'de tutulan toz ile birlikte arıtılmakta ve sinter karışımına geri döndürülmektedir. Bir sinter tesisinde, PCDD/F oluşumunun yeteri kadar engellenebilmesi için, saatte 0,2 kg MEA/ton sinter kullanılması gerekmektedir.

MEA enjeksiyon prosesinin, saatte 230 ton üretim yapan bir sinter tesisine tamamıyla uygulaması durumunda, reaktif maliyetlerinin 0,149 Avro/ton sinter olacağı, yatırım maliyetlerinin 0,008 Avro/ton sinter, dolayısıyla toplam maliyetin 0,157 Avro/ton sinter olacağı tahmin edilmektedir (EC, 2012).

Sıcak baca gazının soğuk su sisi enjeksiyonu ile hızlı bir şekilde söndürülmesi ile PCDD/F oluşumunun engellenmesi

PCDD/F emisyonlarının oluşumunu engellemenin bir diğer yolu, sıcak baca gazının soğuk su sisi enjeksiyonu ile hızlı bir şekilde söndürülmesidir. Emisyonların önlenebilmesi için bu enjeksiyon sinter yatağının altına mümkün olduğunca yakın bir bölgeden yapılmalıdır (T<260°C) (EC, 2012).

5.1.8.3 Yüksek Fırın Tesisleri için MET

Yollukların hareketli kapaklar ile kaplanması ve sıcak metalin azot ile kaplanarak oksijen ile temas etmesinin engellenmesi ile toz emisyonlarının azaltılması

Yüksek fırından dökülen sıcak metal ve cüruf oluklardan geçerek sırasıyla pota ve cüruf işleme birimine gider. Döküm sırasında sıvı metal havadaki oksijen ile temas ederek demir oksitleri (örneğin Fe_2O_3), "kahverengi duman"ı oluşturur. Cüruf, içerdiği bileşenler zaten oksitlenmiş olduğu için oksijen ile reaksiyona girmez. Fakat alkalin oksitler (Na_2O ve K_2O gibi) cüruf içerisinden buharlaşarak parçacık emisyonu oluştururlar. Yollukların hareketli kapaklar ile kaplanması ve sıcak metalin azot (N_2) ile kaplanarak oksijen ile temas etmesinin engellenmesi toz emisyonlarını azaltmak için uygulanan iki genel yöntemdir. Azaltma uygulanmadığı durumlarda döküm holü toz toplama baca gazındaki toz emisyonu değeri 100-400 mg/Nm³ arasındadır.

Döküm sırasında, azaltım uygulanmazsa, ton sıcak metal başına 400-1500 g toz oluşmaktadır. Döküm holünde ana toz toplama noktaları döküm deliği, soğutucu ve eğimli yolluktur (torpido potasına şarj sırasında). Verimli bir toz toplama ve azaltma sistemi ile emisyon faktörü ton sıcak metal başına 10 gramdan daha düşük düzeylere çekilebilmektedir.

Gazların tahliyesi ve arıtılması işlemlerinde, güçlü fanlar kullanılması gerekir. Bu nedenle ortalama 0,007 GJ/ton sıcak metal ilave enerji kullanımına ihtiyaç duyulur.

Toplanan toz yüksek oranda demir içerir ve sinter tesisinde veya soğuk briketleme yapıldıktan sonra yüksek fırında yeniden kullanılabilir. Elde edilen tozun yüksek fırına tüyer seviyesinden doğrudan enjekte edilmesi tozun tekrar kullanılması için alternatif bir yöntemdir.

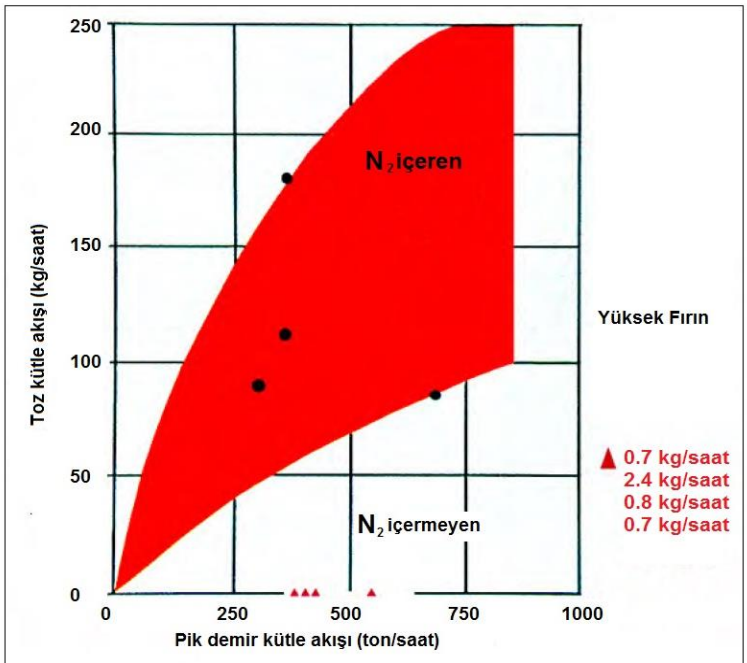
Yatırım maliyeti sistemin kapasitesine göre değişmekle birlikte torbalı filtre sisteminin işletme maliyeti 0,5-2,8 Avro/ton sıcak metal arasındadır. Bir yüksek fırında döküm holü toz toplama sisteminin işletme maliyeti 0,14 Avro/ton sıcak metaldir (EC, 2012).

Erimiş demirin atmosferik oksijen ile reaksiyonuna girerek kahverengi duman oluşturmasını önlemek için, döküm deliğinden torpido potalarına transfer noktalarına kadar, sıcak metal taşıma yolunun perdeleme yapılarak (hareketli kapaklar kullanılarak) bütünüyle kapatılması

Erimiş demirin atmosferik oksijen ile reaksiyonuna girerek kahverengi duman oluşturmasını önlemek için, döküm deliğinden torpido potalarına transfer noktalarına kadar, sıcak metal taşıma yolu perdeleme yapılarak bütünüyle kapatılır. Erimiş demir ve kapak arasındaki boşluk mümkün olduğunda küçük tutulur ve gerekli görüldüğü takdirde azot gazı ile doldurulur. Entegre tesislerde oksijen üretimi için havanın ayrıştırılması sırasında elde edilen azot gazı bu amaç için kullanılabilir.

Bu yöntem ile karmaşık ve pahalı emiş ve filtreleme sistemlerinin kurulmasına ve işletilmesine ihtiyaç duyulmamakta, dolayısıyla maliyet açısından ciddi anlamda tasarruf edilmektedir. Ayrıca filtrede tutulan tozun yeniden kullanım maliyeti de düşürülmektedir. Döküm deliğindeki ve torpido şarj noktasındaki kapalı hacimlerin küçültülmüş (kompakt) olduğu durumlarda bu yöntem düzgün işlemektedir. Fakat döküm deliğinde ve torpidoya şarj noktasının geniş olması durumunda bir emiş sisteminin kullanılması gerekli görülmektedir. Baskılanacak hacimlerin geniş olduğu sistemlerde verimlilik sınırlı olmaktadır.

Sıcak metal şarjı sırasında azot etkisizleştirmesi olan ve olmayan durumlar için toz oluşum karakteristiği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.9 Sıcak metal şarjı sırasında azot etkisizleştirmesi olan ve olmayan durumlar için toz oluşum karakteristiği

Geleneksel döküm yönteminde ton sıcak metal başına 0,4-1,5 kg toz oluşurken toz baskılama sistemi kullanıldığında bu değerler 0,012 kg'a düşürülebilmektedir. Döküm deliğinin ve torpido şarj noktasının yüksek fırın reline işlemi sırasında değişmesi, duman baskılama sistemine ilaveten bir emiş sisteminin

eklenmesini gerektirebilir. Yüksek miktarda azot kullanımı sırasında boğulma tehlikesine karşı döküm holünde azot birikmemesine dikkat edilmelidir.

Duman baskılama sistemi geleneksel toz toplama sistemlerine göre daha ucuzdur. Enerji maliyeti ve bakım maliyeti ton sıcak metal başına sırasıyla 0,063 Avro ve 0,057 Avro'dur (EC, 2012).

Hidrokarbon ve PAH emisyonlarının önlenmesi amacıyla katransız yolluk astarlarının kullanılması

Döküm holündeki yolluk sistemi refrakter bir üst tabakadan oluşmaktadır (örneğin beton). Yolluklar ısıl dirence sahip bir malzeme ile astarlanmıştır. Bu malzeme alümina içeren karbon matrise sahiptir. Katran burada bağlayıcı olarak kullanılır. Artarlar aşınır ve haftada bir yenilenir. Karbon matrisinin kalitesi astarın dayanıklılığı açısından önemli bir faktördür. Zayıf bir matris alüminayı tutamaz ve astarda aşınmalara sebep olabilir. Gerekli dayanım karışımın brulörlerle uzun saatler boyunca ısıtılması ile elde edilebilir. Bu ısıtma sırasında katran bozunarak hidrokarbon ve PAH emisyonları oluşturur. Emisyonların küçük bir kısmı da cüruf ve sıcak metalin dökümü sırasında oluşur. Katran içermeyen yeni tip yolluk astarı geliştirilmiş ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu yeni tip yolluk astarı ile uçucu organik bileşiklerin (VOC) ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) emisyonları azalmıştır. Yeni astar malzemesi geleneksek yolluk astarları ile aynı hatta daha iyi cüruf direncine ve dayanımına sahiptir.

Teorik bir modele göre katransız yolluk astarlarının kullanılması ile hem VOC hem de PAH emisyonlarında %99'luk azaltım gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

Bu önlemin uygulanması, daha az tehlikeli bileşene maruz kalmaları bakımından çalışanların sağlığı üzerinde pozitif bir etki yaratmaktadır (EC, 2012).

Yüksek fırın gazının, içerdiği toz, siyanür (HCN), amonyak (NH_3) ve kükürt bileşiklerinden temizlenmesi

Yüksek fırın gazı, fırından çıktığında toz, siyanürler (HCN), amonyak (NH_3) ve kükürt bileşikleri içerir. YFG gaz şebekesinin gereksinimlerini karşılamak amacıyla genellikle üç adımda temizlenir: ön kaba temizleme, soğutma ve yıkama. Ön temizleme demir içerikli tozunun tekrar beslenmesi veya sinter tesislerinde yeniden kullanılmasına imkan verir. Kaba temizleme kuru siklonlar veya toz tutucular ve deflektörlerle (saptırıcılarla) yapılır. İkinci aşamada ise çinko oksit (ZnO) ve karbon (C) içeren toz, siyanür ve amonyak ıslak yıkayıcıda giderilir. Yıkayıcılar özel olarak çit tipi, venturi veya dairesel boşluklu yıkayıcılar olarak tasarlanabilir. Bazı durumlarda yaş elektrostatik filtreler kullanılabilir.

Yüksek basınç düşüşleri nedeniyle gaz temizleme sistemlerinin enerji verimliliği üzerinde, özellikle tepe gaz basıncı geri kazanımı sistemi üzerinde, olumsuz etkileri olabilir. Bu nedenle amaç düşük basınç düşüşü ve yüksek gaz temizleme verimi olan gaz temizleme sistemleri kurulması olmalıdır.

Yüksek fırın gaz temizleme sistemleri genellikle yüksek verimli ve toz konsantrasyonu 1-10 mg/Nm³'e ulaşan sistemlerdir. Gaz temizleme sisteminde tutulmayan toz YF gazı ile birlikte emilir veya yakılır.

Yıkayıcıların kirli atık su akışı yarattığı göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek fırınlarda brüt su tüketimi 0,1-3,5 m³/ton sıcak metal arasındadır. Yüksek tuz oranına sahip ham maddeler YF gazını temizlemek için daha büyük akışlara neden olabilir. Oluşan su akışı, karbon ve ağır metaller (Zn, Pb) gibi askıda katı maddeler, siyanür bileşikleri ve amonyak içerir. Genellikle atık su ağır metali çöktürülmesi ile temizlenir ve katı atık olarak çamur oluşur.

Dünya genelinde yüksek fırınlar YFG temizleme sistemleri kullanır. Yeni tesislerde düşük basınç düşüşüne sahip ve düşük su ve enerji kullanımına sahip sistemler kullanılır. Birçok YF eski tip yıkayıcılara sahiptir. Bu tip yıkayıcılar gaz hattının gereksinimlerini karşılar fakat daha yüksek su ve enerji tüketimine ve basınç düşüşüne sahiptirler. Bazı durumlarda yıkayıcıyı daha modern yıkayıcılarla değiştirmek mümkündür fakat bu uygulamanın TRT ile birlikte düşünülmesi gerekir. Bu da diğer bütün faktörlerin yanında fırının işletme basıncına bağlıdır (EC, 2012).

Basınç eşitlemesi sırasında tepe bunkerinden deşarj edilen yüksek fırın gazının geri kazanılarak atmosfere salınmasının önlenmesi

Yüksek fırın harmanı (kok ve demirli malzemeler) yüksek fırına tepeden ve kapalı bir şarj sistemi ile beslenirler. Bu sistem fırın gazlarını atmosferden izole ederler. Bu tip bir sistemin kullanılması gereklidir çünkü yüksek fırın içerisindeki basınç atmosferik basınçtan (0,25-2,5 gösterge basıncı) daha fazladır. Şarj istemi çift çan tasarımı veya modern yüksek fırınlarda daha yaygın görülen cansız sistem olabilir. Basınç eşitlemesi sırasında tepe bunkerinden deşarj edilen yüksek fırın gazının geri kazanılarak atmosfere salınması önlenebilir. Bu gazlar doğrudan geri kazanım vanasına yönlendirilerek sıyıcıdan çıkan temiz gaz ana hattına gönderilir. Alternatif olarak normal basınçta çalışan yüksek fırınlar için tepe bunkerlerinin azot veya buhar gibi bir gaz ile basınçlandırılması yöntemi de uygulanmaktadır. Tepe gazındaki (CO ve H_2) ve şarj sırasındaki toz emisyonlarının azalması tepe davlumbazının hacmine, günlük besleme sayısına ve tepe gazı basıncına bağlıdır.

Bu sistem için işletme maliyeti 0,01 Avro/ton sıcak metaldir. Bu rakamın içerisine bakım maliyeti de dahildir. Diğer taraftan salınan CO ve H_2'nin kazanımı ile 0,055 Avro/ton sıcak metallik bir kazanım sağlanabilmektedir. Tabloda verilen değerler, bu sistemin yüksek fırında uygulanması ile elde edilen etkileri göstermektedir.

Tablo 5.6 Tepe bunkerinden çıkan gazın geri kazanımı ile kaçak emisyonlardaki azaltım miktarları

Bileşenler	Toplam emisyon azaltımı	Spesifik emisyon azaltımı
Yüksek fırın toz emisyonu	6,19 ton/yıl	1,73 g/ton SM
PM_{10} (%50)	3,09 ton/yıl	0,86 g/ton SM
CO	3262 ton/yıl	911 g/ton SM
Pb	16 kg/yıl	4,5 mg/ton SM
Cr	1,09 kg/yıl	0,30 mg/ton SM
Hg	0,0105 kg/yıl	0,0029 mg/ton SM
Ni	0,22 kg/yıl	0,06 mg/ton SM
Cd	0,314 kg/yıl	0,088 mg/ton SM
V	1,36 kg/yıl	0,38 mg/ton SM
Zn	1,34 kg/yıl	0,40 mg/ton SM
HF	1,39 kg/yıl	0,39 mg/ton SM
HCl	0,026 ton/yıl	0,007 g/ton SM

Kaynak: (EC, 2012)

Bu teknik, hem yeni hem de çansız şarj sistemi bulunan mevcut tesislerde uygulanabilmektedir. Fakat fırın tepe bunkerlerini basınçlandırmak için YFG'den başka bir gaz (azot gibi) kullanılan tesisler için uygun bir yöntem değildir (EC, 2012).

Yüksek fırın çamurunun hidrosiklonlanması ile çinko bakımdan zengin ve düşük çinko içerikli iki tip çamur oluşturulması

Yüksek fırın tepe gazı içerisindeki yüksek orandaki tozun (7-40 kg/ton sıvı maden) yüksek oranda demir ve karbon içeren büyük bölümü gaz temizleme sisteminin ilk adımı olan kuru arıtma ile tutulur ve sinter tesisinde geri kazanılır. Kalanı ise (1-10 kg/ton sıvı maden) ıslak tip yıkayıcılarda yıkanır. Çökelmeden sonra ton sıvı maden başına 3-5 kg çamur oluşur. Bu çamur yüksek oranda çinko içermektedir. Bu nedenle sinter tesislerinde geri kazanımı mümkün olmamaktadır. Çamurun hidrosiklonlanması ile çinko bakımdan zengin ve düşük çinko içerikli iki tip çamur oluşur. Düşük çinko içerikli çamur sinter tesislerinde yeniden kullanılabilir. Çinko bakımından zengin çamur ise depolanır veya katı atık sahasında gönderilir. Bu çamurdan çinko geri kazanımı mümkündür. Çamurun hidrosiklonlanması ile işlenmemiş çamurda olan %0,1-2,5 arasındaki çinko derişimi, zengin çinko içerikli çamurda %1-10 değerlerine yükselmekte, düşük çinko içerikli çamurda ise %0,2-0,6 değerlerine düşmektedir. Bu teknik ile kuru bazda %60-80 oranında çamurun sinter tesislerinde kullanılması mümkün olmaktadır.

Bu teknik için yatırım maliyeti yaklaşık 8 milyon ABD dolarıdır. Siklonların işletilmesi için küçük fakat belirli olmayan bir miktar enerji harcanmaktadır. Yeni ve mevcut tesislerde ıslak toz toplama uygulandığında boru sonu teknoloji olarak ve farklı tane boyutu dağılımına sahip Zn miktarının makul bir ayırma işlemine izin verdiği durumlarda uygulanabilir (EC, 2012).

Cürufun işlenmesi sırasında oluşan H_2S ve SO_2 emisyonlarının azaltılması için duman yoğuşturma yönteminin kullanılması

Cürufun işlenmesi sırasında H_2S ve SO_2 emisyonları oluşur ve bu emisyonlar koku problemlerine neden olabilmektedir. Bu sorunu çözmek için duman yoğuşturma yöntemi kullanılabilmektedir. Yoğuşma suyu ve cüruf susuzlaştırma suyu, taze su kullanılmışsa resirküle edilmekte fakat deniz suyu kullanılmışsa tekrar kullanılmamaktadır. Sirküle edilen suyun soğutulması için önemli miktarda enerji gerekmektedir.

Dumanın yoğuşması ile H_2S emisyonları 1-10 g H_2S/ton sıcak metal seviyesine düşürülebilmektedir. Enerji üretiminin kendisi sıklıkla kükürt emisyonları ile bağlantılıdır. Dumanın yoğuşturulması sırasında azaltılan mutlak kükürt miktarı göreceli olarak küçüktür ve enerji üretimi sırasında yayılan miktarla ilgilidir. Bu birimlerin tasarlanma sırasında güvenlik, özellikle hidrojen ile ilgili problemler düşünülerek hareket edilmelidir (EC, 2012).

Yüksek demir ve düşük gang içeriğine sahip olan sinter veya peletin hammadde olarak kullanılmasının tercih edilmesi

Bu tekniğin ana fikri yüksek demir ve düşük gang içeriğine sahip olan sinter veya peletin hammadde olarak kullanılmasının tercih edilmesidir. %61-63,3 arasında demir içeriğine sahip olan sinter veya %66,6-66,8 arasında demir içeriğine sahip olan pelet kullanılır. Diğer bir önemli faktör ise kokun kül içeriğinin ayarlanması ve düşük kül içeriğine sahip kömürün enjeksiyonudur.

Yüksek kalite cevher kullanılması hem üretim verimini hem de enerji verimliliğini artırır. CO_2 emisyonuna neden olan indirgeyicilerin kullanım miktarını düşürür, dolayısıyla CO_2 emisyonlarının düşmesine neden olmaktadır. 3,4 ton/m³gün verim ve ton sıcak metal başına 15-80 kg CO_2 emisyon azaltımı sağlanabilmektedir. Ek olarak cüruf hacmi 150-200 kg/ton sıcak metal düşmekte bu da cürufun işlenmesi sırasında oluşan emisyonları düşürmektedir.

Demirce zengin sinter ve peletin hammadde olarak kullanımı diğer tesislerde de mümkündür fakat geliştirilmeye ve farklı demir cevherlerinin yüksek fırına etkilerinin temel anlamda anlaşılması gerekmektedir. Örneğin düşük cüruf uygulamasının yüksek fırının rafta ömrünü kısaltmak gibi bir etkisi olabilir.

Ekonomik fayda, artan verimlilik, enerji tüketiminin düşmesi ve daha az indirgeyici kullanılması ile bağlantılıdır. Fakat bu uygulama yüksek demir içerikli cevherin kullanılabilirliği ile sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır (EC, 2012).

Yüksek fırınlarda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla 1150°C izoterminin yerini belirleyen ve ölü adam bölgesinin yüksekliğini termal iletkenlik ile hesaplayan modellerin kullanılması

Yüksek Fırın haznesindeki aşınmayı kontrol etmek için iki ayrı model kullanılmaktadır.

a. Termal iletkenliği ve hazne refrakter astarının içindeki termokupl ölçümlerini kullanarak 1150°C izoterminin yerini belirleyen model, sonlu eleman metodu kullanır.
b. Ölü adam bölgesinin yüksekliğini termal iletkenlik ile hesaplayan model. Soğutma suyunun kapalı çevrim kullanılması iyi bir fırın yönetimi sağlar.
c. Kararlı halde düzgün sürekli işletim sağlar.

Bu teknik kullanılarak enerji verimliliğinde artış ve CO_2 emisyonlarında azalış ve de özellikle refrakterlerin bakım sıklığında düşüş elde edilebilmektedir. Uzun dönemde indirgeyicilerin tüketiminde 5 kg/ton sıcak metallik bir azalma meydana gelmektedir. Bu da CO_2 emisyonlarında yaklaşık olarak 15 kg/ton sıcak metallik bir azalmaya neden olmaktadır. Yüksek fırın kampanya ömrünün birkaç yıl uzaması mümkündür. Düzgün sürekli işletim, harman kaçaklarını azaltmaktadır.

Modeller, yüksek fırın prosesinin ve yüksek fırın haznesinin aşınmasının kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek fırında üretilen demirin kalitesi sabit ve C, Si ve S içerikleri istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Enerji verimliliği sağlayan sistemler Avrupa genelinde genellikle bütün yüksek fırınlarda uygulanmaktadır. Bu tekniğin uygulanması ile enerji tasarrufu sağlayan proses kontrolünün geliştirilmesi ve demir kalitesinin artırılması mümkündür (EC, 2012).

Yüksek fırın tepe gazının, sonrasında yakıt olarak kullanılmak üzere temizlenmesi ve gaz tutucularda toplanması

Normal bir yüksek fırın ton sıcak metal başına 1200-200 Nm^3 YF gazı üretir. YF gazı %20-28 oranda CO ve %1-5 oranda hidrojen içerir. CO yüksek fırın içerisindeki karbonun oksitlenmesi ile oluşur ve oluşan CO'nun büyük bölümü CO_2'ye oksitlenir. Karbonmonoksit ve hidrojen potansiyel bir enerji kaynağıdır ve dünya genelinde kullanılan bütün yüksek fırınlarda bu enerjinin kazanılması amacıyla önlemler alınmaktadır. Bu nedenle yüksek fırın tepe gazı sonrasında yakıt olarak kullanılmak üzere temizlenir ve gaz tutucularda toplanır. YF gazının kalorifik değeri düşük olduğundan, yakıt olarak kullanılmadan önce, genellikle kok fırın gazı, Çelikhane (konverter) gazı veya doğalgaz ile zenginleştirilir. YF gazının temizlenmesi kaçınılmazdır ve atıksu ve katı atık oluşumu ile sonuçlanmaktadır.

Yüksek fırın gazının enerji içeriği karbonmonoksit konsantrasyonuna bağlı olarak 2,7-4,0 MJ/Nm^3 arasında değişir. Bu değer doğalgazın enerji içeriğinin %10'u kadardır. Yine de yüksek miktarlarda YF

gazı üretildiği için enerji kazanım potansiyeli oldukça fazladır. Yüksek fırın gazı ile dışarıya verilen enerji yaklaşık 5 GJ/ton sıcak metaldir. Bu miktar yüksek fırının enerji tüketiminin %30'una eşittir (EC, 2012).

Kömürün yüksek fırına tüyer seviyesinden indirgeyici olarak enjeksiyonu

İndirgeyici malzemelerin doğrudan enjeksiyonunda kokun bir bölümü yerine başka bir hidrokarbon kaynağı fırına tüyer seviyesinden enjekte edilir. Bu hidrokarbonlar ağır yağ, yağ tortuları, geri kazanılmış atık yağlar, granül veya pulverize kömür, doğalgaz veya kok fırın gazı ve atık plastikler olabilir. Tüyerden enjekte edilen en genel malzemeler kömür ve yağdır. Kok ihtiyacı azaltıldıkça toplam kirlilik ve enerji ihtiyacı da düşer. Fakat yine de yüksek fırının doğru bir şekilde işletilebilmesi için kokun yüksek fırında kullanılması gerektiği dikkate alınmalıdır.

Kokun kömür enjeksiyonu ile yer değiştirmesi, verimlilik, kok özellikleri, istenen sıcak metal kalitesi, YF basıncı, kömürün türü (örneğin antrasit) ve şartları (nemlilik) gibi faktörlere bağlıdır. Kömürün yüksek fırına tüyer seviyesinden enjeksiyonu kanal sıcaklığını düşürür. Sıcaklıktaki düşüş derecesi enjekte edilen kömür miktarına bağlıdır ve .bu düşüş yüksek fırının işletilmesinde istenmeyen bir etki yaratabilir. Klasik izabe indirgeme olan fırınlarda, fırının kararlı durumda işletilebilmesi için maksimum 150 kg kömür/ton sıcak metal enjeksiyonuna izin verilmektedir. Sıcak havanın oksijence zenginleştirilmesiyle ve oksi-kömür enjeksiyonu ile bu miktar 260 kg/ton sıcak meal seviyelerine çıkabilmektedir.

İndirgeyici malzemelerin doğrudan enjeksiyonu kok üretimi ihtiyacını azaltır. Böylelikle kok fırınlarındaki emisyonlar önlenmiş olur. Enjekte edilen her bir kilogram kok için 0,85-0,95 kg daha az kok üretimi gerçekleşir. Oksi-kömür enjeksiyonu, enjeksiyon oranını yaklaşık %20 oranında artırır ve buna bağlı olarak kok oranını düşürür. YF gazının temizlenmesinde kullanılan ESF'nin performansı iyileşir. Yüksek fırın geçirgenliğinin üzerindeki olumlu etkileri ve kömür dağılımının iyileşmesi ile yüksek fırının genel performansı iyileşir.

Ölçümler enjekte edilen kömürün %1'inden azının yüksek fırın tepesinden çıktığını göstermektedir. Kömür enjeksiyonu ile sağlanan enerji tasarrufu enjekte edilen ton kömür için 3,76 GJ olarak hesaplanmıştır.

Oksi-kömür enjeksiyonu, kömürün gazlaşmasını iyileştirmek için, helezon tipi, ortak eksenli oksi-kömür lansı ile uygulanır. Bugün, oksi-kömür lanslarının da daha önce yaşanan tıkanma problemlerinin üstesinden gelinmiş ve böylelikle kömürün tüyerler arasında dağılımı iyileştirilmiştir. Yüksek kömür enjeksiyonu oranlarında, fırın direnci artma eğilimi gösterir. Kok ve harmanın direnç süresi artar. Kok ve demirli harman malzemeleri, yüksek fırın gazı içerisindeki halojenli alkali metal bileşiklerine daha uzun süre maruz kalır. Bu nedenle düşük kok oranına sahip harman dağılımını ve duvar ve merkezi gaz akışının hassas dengesini kontrol etmek gerekmektedir. Bununla birlikte kömür enjeksiyonuna geçilmesi beraberinde, oksijenin birlikte enjeksiyonu fırın veriminin iyileştirilmesi imkanını getirmektedir.

Gazlaşmamış kömür artığı parçacıklarının varlığı, erimiş demirli malzemenin karakteristiğini değiştirmekte ve bu da yüksek fırındaki erime bölgesinin yerini ve bölgesini değiştirmektedir.

Bu yöntem pulverize kömür enjeksiyonu ve oksijen zenginleştirme için uygun ekipmana sahip yüksek fırınlarda uygulanabilmektedir. Sağlanan enerji tasarrufu sayesinde enerji maliyetlerini ve CO_2 emisyonlarının azalması söz konusudur (EC, 2012).

Yağların ve sıvı hidrokarbonların yüksek fırına tüyer seviyesinden indirgeyici olarak enjeksiyonu

Kömür enjeksiyonunda olduğu gibi yağların ve sıvı hidrokarbonların yüksek fırına enjeksiyonu kanal sıcaklığını düşürmektedir. Klasik izabe indirgeme olan fırınlarda, kanal sıcaklığının fırının kararlı durumunda belirgin bir kayıp yaşanmasına neden olacak kadar düşmemesi için maksimum 65 kg yağ/ton sıcak metal enjeksiyonuna izin verilmektedir. Uygun kanal sıcaklığının sağlanabilmesi ve aynı zamanda daha yüksek yağ enjeksiyon oranlarına ulaşılabilmesi için ton sıcak metal başına 130 kg'a kadar oksi-yağ enjeksiyonu uygulanmaktadır. Bu durumda yalnızca ağır yağların kullanılması amacıyla tasarlanmış bütün tüyerlere oksi-yağ lansları yerleştirilmektedir. Yağ ve oksijen ayrı ayrı beslenmektedir ve yağ beslenmeden önce 220°C'ye ısıtılmalıdır. Oksijen bakımından zenginleştirme miktarı %7-9 arasındadır.

Oksi-yağ teknolojisi ile yağ enjeksiyonun miktarı iki katına çıkar. Kok tüketimi ve CO_2 emisyonları düşürülebilir. Yağ, karbon ve hidrojen içerir ve koku 1:1,2 oranında (1 kg yağ, 1,2 kg kok) kompanse edebilir. Yağ kullanımı ile sağlanacak kok tasarrufu 15 kg/ton sıcak metaldir ve CO_2 emisyonları kabaca 50 kg/ton sıcak metal azaltılabilir.

Yağ ve oksijen beslemesi için kullanılan ekipmanlara kolaylıkla ulaşılabilir. Oksi-yağ enjeksiyonunu oldukça köklü bir uygulama olarak kabul edilir. İndirgeyici malzemelerin doğrudan enjeksiyonu hem yeni hem de mevcut yüksek fırınlarda uygulanabilir. Verimlilik artışı nedeniyle maliyetten tasarruf sağlanmaktadır. Fakat havanın zenginleştirilmesi için gereken yüksek miktarda oksijenin sağlanması maliyet artışına neden olmaktadır (EC, 2012).

Kok fırın gazının yüksek fırına tüyer seviyesinden indirgeyici olarak enjeksiyonu

İndirgeyici olarak tüyer seviyesinden KFG enjekte edilebilir. Yüksek fırının termokimyasal şartları göz önünde bulundurulduğunda tüyer seviyesinden enjekte edilebilecek maksimum KFG miktarı 100 kg/ton sıcak metaldir. KFG, artık H_2S ve organik kükürt bileşiklerini içermektedir. Bu nedenle gerçek KFG girişi daha düşüktür. Kok fırın gazının tesis içerisinde başka bir yerde yakıt olarak kullanılmasındansa yüksek fırın prosesinde indirgeyici olarak kullanılması, gaz içerisinde bulunan kükürdün bir kısmı yüksek fırın cürufunda tutulacağı için, kükürt emisyonlarının azalmasını sağlayabilir.

1 kg KFG 0,98 kg kok veya 0,81 kg ağır yağ yerine kullanılabilir. Bununla birlikte daha düşük karbon içeriğine sahip kok fırın gazının kullanılması, yüksek fırın prosesinden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının azalmasına neden olur. Kok fırın gazının normalde kullanıldığı ısıtma fırınlarında vb. bu gaz yerine yüksek fırın gazının kullanılmasıyla, SO_2 emisyonları %70-90 arasında düşmektedir.

Kok fırın gazını tüyer seviyesinden enjeksiyonu hem yeni hem de mevcut yüksek fırınlarda uygulanabilir. Fakat bu uygulama, kok fırın gazının entegre tesis içerisinde etkin kullanılabileceği başka yerler olmasına bağlıdır (EC, 2012).

Plastiklerin yüksek fırına tüyer seviyesinden indirgeyici olarak enjeksiyonu

Kanalın termokimyasal ve kinetik şartları göz önünde bulundurulduğunda tüyer seviyesinden enjekte edilebilecek maksimum plastik miktarı 70 kg/ton sıcak metaldir. 1 kg plastik 0,75 kg kok yerine kullanılabilir. Plastikler Cl ve Hg, Cd, Pb ve Zn gibi ağır metaller içerebilir. Bu elementlerin plastik içerisindeki konsantrasyonları gaz kompozisyonunu ve yüksek fırın gazındaki partikül bağlanmış

bileşikleri ve yüksek fırın gazı temizleme sistemindeki toz ayırma davranışını etkiler. Bu nedenle girdi olarak kullanılacak plastiklerin bu elementler için belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Yıkayıcı parametrelerinin modifikasyonu ile bu konsantrasyonların yüksek fırın gazı içerisindeki düzeyleri, plastik enjeksiyonu olmayan standart koşullar ile yakın tutulabilmektedir.

Yüksek fırında kok gibi indirgeyici malzemelerin bir kısmı yerine plastik kullanılması ile kok üretiminden kaynaklanan emisyonlar önlenebilmektedir.

Plastikler, kok veya ağır yağlardan daha düşük kükürt içeriğine sahip oldukları için sıcak metalin kükürt içeriğinde azalma meydana gelmesi mümkündür. Böylelikle sıcak metalden kükürt giderme işlemi sırasında kullanılan kükürt giderici malzemelerin (örneğin; kireç, CaC_2, Mg) miktarları düşebilir. Kullanılan atıkların içeriğine bağlı olarak (örneğin shredder light fraction), yüksek fırın içerisindeki Cr, Cu, Ni ve Mo miktarları artabilir.

İndirgeyici malzemelerin doğrudan enjeksiyonu hem yeni hem de mevcut yüksek fırınlarda uygulanabilir. Fakat bu tekniğin yerel şartlara ve pazar koşullarına bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (EC, 2012).

Atık yağların ve emülsiyonların indirgeyici olarak ve katı demir kalıntılarının yüksek fırına enjeksiyonu

Sanayide kullanılmış yağlar, katı yağlar ve bu yağların emülsiyonları ve su oluşur. Bu artıklar yüksek fırınlara tüyer seviyesinden enjekte edilerek kısmen (12 kg artık/ton sıcak metal) kok ve kömür yerine kullanılabilirler.

Bu işlemin en önemli noktası emülsiyon içerisindeki suyun, yağın ve tozun ayrıştırılmasıdır. Bu ayrıştırmanın yapılması yüksek fırına yapılan su enjeksiyonunun sıkı bir şekilde kontrol edilebilmesi için gereklidir. Bu işlem için disk yığını santrifüjler kullanılmaktadır. Bu işlemin devamında, santrifüj işleminde ayrılan su yüksek fırına enjekte edilen ağır yağa ilave edilir. Eklenen suyun miktarı değiştirilerek kanalın adyabatik alev sıcaklığı kontrol altında tutulabilir.

Yağlı tufal artıkları %20'ye kadar hidrokarbon ile kontamine olmuş yüksek oranda demir içeren katı malzemelerden oluşmaktadır. Bu tip bir malzemeyi kullanmanın ilk adımı yağın demirce zengin katıdan ayrılmasıdır. Bu sistemde yağlı tufal ve benzer malzemelerin boyutları küçültülerek (örneğin; kırma ile) kullanılmış yağlar ile karıştırılırlar. Yağ fazı santrifüj emülsiyonunda ayrılır. Oluşan süspansiyon ayrık lanslarla tüyere enjekte edilir. Hidrokarbonlar indirgeyici malzeme görevi üstlenirken demir oksitler demire indirgenir. Bu tür malzemelerin tüyer seviyesinden enjeksiyonu sonucu açığa çıkan dioksin ve PAH emisyonları kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.

Ayrılmış yağın ağır yağın yerine geçme oranı 1'in çok az altındadır. Bunun nedeni yağ fazından suyun tamamen ayrılamamasıdır. Enjekte edilen malzemenin miktarına göre yüksek fırınına beslenen kok miktarında düşüş 3 ila 8,5 kg/ton sıcak metaldir. Yüksek fırında kok tüketiminin azaltılması ile kok üretiminden kaynaklanan emisyonlar önlenmiş olur. Yağlı tufal, yüksek fırına bire bir oranda demir cevheri yerine enjekte edilebilir.

Artıkların doğrudan enjeksiyonu hem yeni hem de mevcut yüksek fırınlarda uygulanabilir. Fakat bu tekniğin sürekliliğinin artıkların temin ve depolanması konusundaki lojistik kavramlara bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte başarılı bir uygulama için taşıma teknolojisinin de kısmi önemi vardır (EC, 2012).

Yüksek basınca sahip tepe gazından, tepe gazı temizleme donanımından sonra yerleştirilen genleşme türbini vasıtasıyla enerji geri kazanımı

Yüksek tepe basıncına sahip yüksek fırınlar, ürettikleri büyük miktarda basınçlı gazdan enerji geri kazanımı konusunda ideal bir fırsat sunarlar. Enerji, tepe gazı temizleme donanımından sonra yerleştirilen genleşme türbini vasıtasıyla geri kazanılabilir.

Tepe gazı basıncından geri kazanılabilecek olan enerjinin miktarı, tepe gazı hacmine, basınç gradyanına ve giriş sıcaklığına bağlıdır. Bu yol ile enerji geri kazanımı ancak YF gazı temizleme sisteminin ve dağıtım şebekesinin düşük basınç düşüşüne sahip olduğunda uygulanabilir. Modern yüksek fırınlarda tepe gazı gösterge basıncı 0,25-2,5 bardır. Yüksek fırın ana toplama borusu basıncı ise yaklaşık 0,05-0,1 bardır. Tepe gazı basıncının bir bölümü gaz temizleme sisteminde tüketilir.

2-2,5 bar tepe gazı basıncına sahip modern bir yüksek fırında 15 MW'a kadar elektrik üretilebilmektedir. 15 MW'lık bir türbin için tasarruf edilen enerji miktarının 0,4 GJ/ton sıcak metale kadar çıkabileceği tahmin edilmektedir. Bu miktar brüt yüksek fırın enerji ihtiyacının %2'si kadardır.

Tepe gazı basıncından enerji geri kazanımı tekniği genellikle sorunsuz bir şekilde yürütülmektedir. Radyal türbinlerden daha verimli olan eksenel türbinler kullanılabilir. Burada önemli olan nokta türbinin ne zaman durdurulup basınç gradyanının gaz temizleme sistemine gönderilmesi gerektiğidir. Gaz temizleme sistemi ve ana toplama borusunun zarar görmemesi için daima özel güvenlik önlemleri alınmalıdır. Türbinlerin kullanılması tepe gazının tam olarak temizlenmesini gerektirmektedir. Yüksek miktarda alkali içeriği teknik sorunlara (korozyon) neden olabilir.

Tepe gazı basıncının geri kazanımı yeni tesisler ve bazı koşullarda, daha fazla zorluğa ve ek maliyete rağmen mevcut tesislerde kullanılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanmasının temel ilkesi 1,5 bar gösterge basıncından fazla olan yeterli tepe basıncının sağlanmasıdır. Yeni tesislerde tepe gazı türbini ve YF temizleme tesisi hem yıkama hem de enerji verimini artırmak amacıyla birbirine adapte edilebilirler.

Türbinin karlılığı tepe gazı hacminin ve basınç gradyanının artmasıyla ve artan enerji maliyetleri ile artmaktadır. Modern yüksek fırınlarda geri ödeme süresi 3 yılın altında olabilmektedir. Fakat yerel şartlara ve tepe gazı basıncına bağlı olarak bu süre 10 yılı geçebilmektedir (EC, 2012).

Sobalarda enerji verimliliğini optimize etmek için bilgisayar destekli soba işletimi uygulanması

Yüksek fırın sobalarında zenginleştirilmiş Yüksek fırın gazı kullanılır. Sobalarda enerji verimliliğini optimize etmek için bilgisayar destekli soba işletimi uygulanabilir, yakıtın veya yanma havasının atık baca gazı ile ön ısıtılması, yanmanın sağlanması için daha uygun brulörlerin kullanılması ve hızlı O_2 ölçümleri ile takibinde yanma koşullarının buna uygun değiştirilmesi gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sobalarda bilgisayar destekli sistemlerin kullanılması ile enerji tüketiminin gerçek ihtiyaca göre ayarlanarak zenginleştirici gaz ilavesini minimize etmek mümkündür. Baca gazındaki duyulur ısının yakıtın ısıtılmasında kullanılması atık gaz sıcaklığını belirlediği için sobaların verimine bağlıdır. 250°C'nin altında sıcaklığa sahip baca gazı ile ön ısıtma yapmak teknik ve ekonomik olarak istenmeyebilir.

Bilgisayar destekli sobaların kullanımı enerji verimliliğini %5'in üzerinde artırır. Bu da 0,1 GJ/ton sıcak metal enerji tasarrufu anlamına gelmektedir. Yakıtın veya yanma havasının ön ısıtılması 0,3 GJ/ton sıcak metal enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu teknik ile elde edilecek tasarruf 170 MJ/ton çelik

civarındadır. NO_x için 20-25 g/ton sıcak metal, SO_2 için 70-100 g/ton sıcak metal ve CO_2 için 0,4-0,5 g/ton sıcak metal emisyon değerlerine ulaşılabilir. Yanmanın sağlanması için daha uygun brulörlerin kullanılması ve hızlı O_2 ölçümleri ile takibinde yanma koşullarının buna uygun değiştirilmesi teknikleri kullanılarak 0,04 GJ/ton sıcak metal enerji tasarrufu sağlanabilir.

Yakıt ortamının ısıtılması ile baca gazı sıcaklığı artmaktadır. Buna bağlı olarak sobalardan kaynaklanın NO_x emisyonlarının artması beklenmektedir. Modern brulörlerin kullanımı ile NO_x emisyonları düşürülebilmektedir.

Bu teknik tasarım izin verdiği ve ön koşullar sağlandığı sürece hem mevcut hem de yeni tesislerde uygulanabilir. Tekniğin uygulanması ile enerji tüketimindeki azalma nedeniyle ekonomik açıdan kazanç sağlanmaktadır. Karlılığın sağlanması tasarruf edilen enerji miktarıyla ve bahsi geçen tekniklerin yatırım ve işletme maliyetleriyle bağlantılıdır (EC, 2012).

İç yanma odasına sahip sobalardan kaynaklanan CO emisyonlarının reline sırasında refrakter duvarın içerisine uygun kalitede çelik levha yerleştirilmesi ile azaltılması

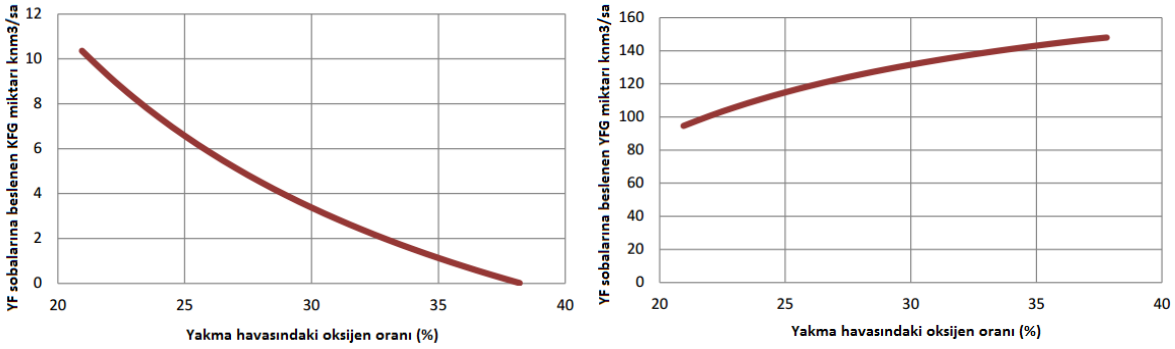
İçten yanmalı ve dıştan yanmalı kamaralı (yanma odalarından) olmak üzere başlıca 2 adet yüksek fırın soba tasarımı bulunmaktadır. İçten yanmalı odalarda, refrakterdeki çatlaklardan sızıntı olması durumunda yüksek miktarda CO emisyonu açığa çıkmaktadır. Bu sızıntı kaçınılmaz gibi görünür ve yanmamış gazın yanma kamarasından çıkmasına neden olur. Tekrar düzenleme yapılması esnasında, refrakter duvarına uygun çelik levhalar yerleştirilerek sızıntı azaltılabilir. Çatlaklardan kaynaklanan yüksek CO emisyonu önemli ölçüde azaltılabilir (EC, 2012).

Yüksek fırın yakma havasının oksijen ile zenginleştirilmesi

YF sobalarında, yakma havasının oksijen ile zenginleştirilmesi sonucunda üflenen hava sıcaklığının 1200°C'ye ulaştığı kabul edilmektedir. Üflenen hava sıcaklığının artması YF prosesinde daha az indirgeyici kullanılmasını sağlar. YF prosesinde indirgeyici olarak kok kullanılır ve fırının üst kısmından demir cevheri ve diğer malzemeler ile birlikte sisteme beslenir. Ayrıca pulverize kömür ve kok da yüksek fırına yakıt ve indirgeyici olarak tüyerlerden enjekte edilir (Wang, ve diğerleri, 2011).

Yakma havasındaki oksijen oranını %1 oranında artmasıyla yüksek fırın prosesinde kullanılan kok ve pulverize kömür miktarı sırasıyla %0,65 ve %1,34 oranında azalmaktadır. Yakma havasının oksijen ile zenginleştirilmesi sonucunda üflenen havanın sıcaklığının her 100°C artırılması durumunda 1 ton sıcak metal başına 9,01 kg kok ya da 9,15 kg pulverize kömür tasarrufu sağlanmaktadır (Wang, ve diğerleri, 2011).

Şekil 5.10'da görüldüğü üzere; YF prosesine üflenen hava sıcaklığı sabit tutulup, yakma havası oksijence zengin hale getirildiğinde sobalarda tüketilen KFG miktarı azalırken YFG miktarı ise artar. Bu sayede kalorifik değeri yüksek olan KFG'den tasarruf edilerek, başka proseslerde kullanılması sağlanır (Wang, ve diğerleri, 2011).



Kaynak: (Wang, ve diğerleri, 2011)

Şekil 5.10 Yakma havasındaki oksijen oranı ile sobalara beslenen KFG ve YFG miktarları arasındaki korelasyon

Oksijen kullanım oranının %30'un üzerine çıkması durumunda, kullanılan hava aynı oranda azalır. Bu durumda hava içerisinde bulunan ve inert olan azot gazının gereksiz yere ısıtılması önlenir. Ayrıca azot gazı girişi azalacağından dışarıya atılan sıcak hava miktarı azalmaktadır. Her iki durumda da enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Taşkın, 2016).

5.1.8.4 Bazik Oksijen Fırını prosesi için MET

Sıcak metalden cüruf alma, kükürt giderme ve potadan potaya boşaltma gibi sıcak metal ön işlemlerinin uygulanması sırasında toz emisyonlarının toplanması

Sıcak metal ön işlemede yer alan üç adımının (kükürt giderme, cüruf alma ve sıcak metal transferi ve ağırlık ölçümü) gerçekleşmesi esnasında, toz emisyonları açığa çıkar. Spesifik toz emisyon faktörü (azaltmadan önce) 110-830 g/ton SÇ arasında değişir. Bu emisyonlar genellikle torbalı filtreler kullanılarak toplanır. Kükürt giderme stantları büyük ölçüde kapalı tiptir. Toz geri kazanım önlemleri;

- Pota kapaklarının kullanılması,
- Kükürt giderme kimyasallarının kontrollü olarak prosese girmesi,
- Entegre cüruf giderme prosesleri,
- Bahsi geçen işlemlerin toz çekme sistemi olan kapalı bir alanda gerçekleştirilmesi,
- Proseste hareketli kapının kurulumudur.

Toplanan edilen gazlar, 10.000 mg/Nm^3 toz ile yüklenir. Bazı durumlarda, kuru ESF uygulanır. Havalandırma sisteminin tahliye verimi önemli bir özelliktir. Davlumbazların yeri ve pozisyonu iyi bir emiş elde etmek amacıyla optimize edilmelidir. Bağımsız toz toplama için, baca gazı akışı 30.000-1 milyon Nm^3/saat aralığındadır. Bağımsız toz toplama sistemi olan bir sistem toz toplama kapasitesini daha iyi kontrol edebilir ve toplanan tozların farklı türlerini geri kullanabilir. Bazı tesislerde, kükürt giderme ekipmanının toz toplaması merkezi ikincil toz toplama sisteminin bir parçasıdır ve ayrı ayrı değerlendirilemez. Bu sistemlerin emiş kapasitesi 300.000 ve 2.200.000 Nm^3/saat arasındadır. Bazı durumlarda, gerekli emiş kapasitesi farklı proses koşullarına göre ayarlanabilir.

Toz etkili bir şekilde toplandıktan sonra torbalı filtrelere ya da bir ESF'ye doğru geçer, ve böylece emisyon değeri 1-10 mg/Nm^3 (yaklaşık 1 g/ton SÇ)'den daha az olacak şekilde işlem başarıyla tamamlanır. Bu tekniğin uygulanması için gerekli yatırım maliyeti yaklaşık olarak 10 milyon Avro'dur.

Emiş pompaları fazla miktarda enerji tüketir. Ayrıca üretilen katı atıklar sinterleme prosesinde kullanılmak üzere geri kazanılabilir. Buna rağmen, bu durum sinterleme prosesinde daha fazla miktarda kükürt emisyonlarının oluşumuna neden olacaktır. Sıcak metal ön işleminde açığa çıkan tozun bileşimi daha ziyade kükürt giderme işleminde kullanılan malzemeye göre değişir. Alternatif olarak toplanan tozlar soğuk briketlemeden sonra BOF'a geri kazandırılabilir ya da çimento sektöründe kullanılabilir (EC, 2012).

Konverterin ağız kısmının üstünde yer alan bir davlumbaz ile toz emisyonlarının toplanması

Sıcak metal ve hurda şarjı, BOF'un dökümü esnasında, toz emisyonlar açığa çıkar. Kullanılan hurdanın kalitesine bağlı olarak şarjdan çıkan emisyonların içinde olan organik maddelerin ısıl bozunmaya uğraması nedeniyle PAH, PCB ve PCDD/F gibi çeşitli organik kirleticiler meydana gelebilir.

BOF proseslerinden oluşan ikincil havalandırma genellikle eğik bir pozisyondaki konverterin ağız kısmının üstünde bir davlumbazdan oluşur. Ayrıca konverterin geriye kalan %75'inde de kapama bulunmaktadır. Davlumbaz tercihen olabildiğince BOF'u kapatacak şekilde yerleştirilir. Bazı mevcut tesislerde, yapı bir davlumbazın BOF'u kapatması için uygun değildir. Bu durumda, davlumbaz çatıya yakın bir yere kurulabilir ama bu da holdeki akış koşulları, toplanan hacim ve davlumbaz büyüklüğü gibi koşullara bağlıdır ve daha az verimlilikle sonuçlanır.

İkincil toz toplamadan çıkan baca gazı akışı 300.000-3.441.000 Nm^3/saat aralığındadır ve temizleme operasyonu genellikle kuru ESF kullanılmasına rağmen torbalı filtreler aracılığıyla gerçekleştirilir.

Sıcak metal ön işlemleri sırasında ikincil baca gazlarından toplanan toz miktarı %94-99 aralığındadır. Bu aşamada toz emisyonları neredeyse tamamen toplanabilir. Bazik oksijen fırınına hurda şarjı sırasında %24-64 oranında toz toplanmaktadır. Sıcak metal şarjı ve oksijen üfleme aşamalarında toz toplama verimliliği %89-90 aralığına yükselmektedir. Sıvı çelik ve cüruf şarjı sırasında ise verimlilik %49-55'e düşmektedir.

5 g/ton SÇ'nin altında nokta kaynak emisyonları yukarıda bahsedilen havaya salınan tek emisyonların her biri için ESF ve torbalı filtrelerle gerçekleştirilebilir. Emisyon konsantrasyonları 2-13 mg toz/Nm^3 aralığındadır.

İkincil toz toplama esnasında, 1 ton sıvı çelik başına 0,5 kg katı atık üretilmektedir. Bu değer 1,2 kg/ton SÇ'ye kadar yükselir. Bu demirce zengin katı atığın yeniden kullanılması atığın içindeki çinko miktarına bağlıdır. Bazı tesisler bu katı atığı yeniden kullanırken bazıları ise bertaraf etmek zorundadır. Havalandırma ve toz temizleme ekipmanlarının enerjiye ihtiyacı vardır. İkincil havalandırma sistemi yaklaşık olarak 300.000-3.441.000 Nm^3/saat tahliye kapasitesi gerektirir. Bir örnekte, etkili enerji tüketimi torbalı filtre kullanıldığı takdirde 13 MJ/ton SÇ olarak raporlanmıştır. Diğer değerler ise uygulanan 1000 Nm^3 başına 0,72-7,2 MJ olarak belirtilmiştir. Enerji tüketimi basınç düşüşüne ve ilgili fanın kapasitesine bağlıdır. İkincil toz toplama sistemleri için spesifik enerji tüketimleri diğer toz toplama operasyonlarına kıyasla oldukça yüksektir.

Yüksek tahliye hızı/debisi nedeniyle, ikincil toz toplama sistemleri önemli ölçüde gürültüye neden olabilir. Bu nedenle gürültüyü önlemek amacıyla fanlar için beton yapılar, bacalarda perde ve filtrelerde ekstra izolasyon gibi ilave önlemlere ihtiyaç duyulur.

Hem torbalı filtreler hem de ESF'ler sorunsuz bir şekilde çalıştırılabilir. İkincil toz toplamada sırasında yaşanabilecek problemler, tahliye verimliliği, üretilen katı atıkların geri dönüşümü ve kanallardaki patlamanın önlenmesidir. Mevcut tesislerde, tesis tasarımı uygun tahliye sistemleri için kısıtlayıcı bir etkiye sahip olabilir.

İkincil emisyon toplama ve azaltma teknikleri için yatırım maliyeti 29 milyon Avro'dur. Bu maliyetin içinde gürültüden korunmak için önlemler de yer almaktadır. Torbalı filtre kullanıldığı takdirde, elektrik tüketimi yaklaşık olarak 13 MJ/ton SÇ'dir. Yüksek ölçüde elektrik fiyatlarına bağlı işletme maliyetleri dikkate alınmalıdır. Filtre vb. ekipmanların bakımları için ilave maliyetler gereklidir. 1996 yılında hesaplanan maliyetler 0,8-4 Avro/ton SÇ aralığındadır. İkincil baca gazlarındaki toz toplama sistemi için yatırım maliyeti 10-30 milyon Avro'dur. Komple ikincil emisyon toz toplama sisteminin uygulanması 5 Mton SÇ üretimi yapan bir mevcut çelik tesisi için 30 milyon Avro'dur (EC, 2012).

İkincil emisyon kaynaklarından çıkan difüz ve kaçak emisyonların önlenmesi

BOF tesislerinde ikincil emisyon kaynaklarından çıkan difüz ve kaçak emisyonların önlenmesi için kullanılabilecek genel teknikler aşağıdaki listelenmiştir:

1. BOF ünitesindeki her bir alt proses için toz tutma ekipmanlarının bağımsız kullanılması
2. Hava emisyonlarının önlenmesi amacıyla kurulan kükürt giderme tesisinin doğru bir şekilde yönetilmesi
3. Kükürt giderme tesisinin komple prosesi kaplaması/içermesi
4. Sıcak metal potası kullanılmadığı zamanlarda kapakların bakımının yapılması, sıcak metal potalarının düzenli olarak temizlenmesi ve skalların çözdürülmesi
5. Çatıdan toz toplama işleminin uygulanmadığı durumlarda sıcak metal potasının, konverter sıcak metal aldıktan sonra en az iki dakika konverterin önünde tutulması
6. Çelik üretim prosesinin optimize edilmesi (taşmanın azalması ya da önlenmesi) ve bilgisayar kontrolü
7. Anti-taşma kimyasallarının kullanılması ve taşmaya neden olan elementlerin sınırlandırılmasıyla döküm esnasında oluşan taşmanı azaltılması
8. Oksijen üfleme esnasında doghouse kapılarının kapatılması
9. Görünür emisyonlar için çatının sürekli kamera ile gözlenmesi
10. Çatı emiş sisteminin kullanılması

Teknik 1: Bu teknik emisyon yakalama verimini optimize etmeye ve yeniden kullanımı teşvik etmeye yardımcı olabilir. Diğer taraftan daha çok çelikhanede kullanılan entegre ikincil toz toplama sistemleri kesin çözüm olarak bilinen ayırma sistemleri gibi aynı çevresel performansa sahiptir. Enerji tüketimi açısından, kombine sistemler avantajlıdır.

Teknik 2: İkincil metalurjide, koku emisyonunda ve farklı bir cüruf kompozisyonunda üretilen farklı bir cüruf kompozisyonunda azalmaya neden olan kükürt giderme prosesinde kalsiyum karbür yerine kalsiyum oksit, reaktiflerin kullanılması.

Teknik 3: Bu ölçüm, bir toz toplama sistemi ile havanın komple tahliyesini sağlar.

Teknik 4: Bu tekniğin kullanımında, potalar daha soğuk olduğundan daha az oyuk oluşumu meydana gelir; potada açığa çıkan dumanlar engellendiği için daha az PM emisyonu açığa çıkar. Eğer çatı emiş sistemi uygulanmıyorsa, bu önlem kullanılır.

Teknik 5: Eğer bir çatı emiş sistemi uygulanmazsa, bu önlem dumanın toplanmasını sağlar.

Teknikler 4, 5, 6 ve 8: Bu tekniklerin bir arada uygulanmasıyla ve yeterli kontrolünün sağlanmasıyla torpido döküm emisyonlarından çelikhane çatı emisyonlarına kadar emisyon değerleri 0,14 kg/SM değerinin altına ve bütün konverter prosesi için 10 g/ton SÇ değerinin altına düşürülebilir.

Teknik 9: Çatı sürekli olarak görülebilir emisyonlar için gözlemlendiğinde, proses koşullarının normal olmaması ya da değişmesi kamerayla gözlemlenen ve kayıt edilen görülebilir emisyonların artmasına neden olabilir (EC, 2012).

Tesis dışı kullanım için, tozun sıcak briketlenmesi ve geri dönüşümü ile birlikte yüksek çinko içerikli peletlerin geri kazanılması

BOF gazının temizlenmesinde kuru ESF tekniği uygulanması durumunda katı tozlar meydana gelir. Bu tozlar yüksek miktarda demir (%40-65) içerir ve bu tozlar briket üretimi için preslendiği zaman değerli hammadde olarak kullanılabilir. Aynı tesiste hem kaba hem ince tozlar briketlenmesine rağmen, farklı özellikleri nedeniyle pres sistemine ayrı ayrı beslenir. Kaba tozdan üretilen briketler %70 oranında metalik demir içerir ve BOF prosesinde hurda yerine kullanılabilir. İnce tozdan üretilen briketler ise yaklaşık olarak %7-20 oranında metalik demir içerir ve soğutma cevheri için ilave hammadde olarak kullanılabilir. Sıcak briketleme işlemi sıcak briketleme tesislerinde gerçekleştirilir. İlk olarak, tozlar hareketli yatak reaktörde sıcak hava ile 750°C'ye kadar ısıtılır. Bu esnada ototermik reaksiyonlar gerçekleşir. İkinci adımda, silindir preste briketler şekillendirilir.

Geri dönüşüm işlemi tozun giderek çinko konsantrasyonun zenginleşmesini sağlar. Toz briketlerin çinko içeriği ortalama ağırlıkça en az %17 oranına ulaştığında, briketler çinko geri kazanımı için harici işlemler için aktarılır. Teknik ve ekonomik uygulanabilirlik açısından, karışım hammaddesi olarak geri kazanılması için çinko içeriğinin %20-24 arasında olması gerekir. Birbirini izleyen toz eliminasyon ve zenginleştirme işlemi nedeniyle oluşan çinko içeriğindeki dalgalanma BOF'a briket şarjının oldukça dalgalı bir şekilde olmasına neden olur. Bu durum sadece metalurjik işlemleri (cüruf oluşumu, atık gaz kanalında toz birikmesi) etkilemez aynı zamanda ısıl dengede (sıcak metal/hurda) önemli bir etkiye neden olur. Çinko içeriğindeki aşırı artış nedeniyle cüruf üretiminin ve çelik kalitesinin zarar görmemesi için düzenli olarak analitik kontrole ihtiyaç duyulur.

Prosesi optimize etmek amacıyla, tozdaki çinko seviyesinin belirlenmesi için online bir teknik geliştirilmiştir. Bu teknoloji LIBS (lazer kaynaklı arıza spektroskopisi) olarak bilinir. Ekipman sürekli olarak konveyördeki tozun çinko içeriğini ölçer. Tozun çinko içeriğinin bilinmesi, tozun uygun kullanımı için önemlidir. Çinko içeriğine göre toz ya dışarıdaki işlemlerde kullanılmak üzere transfer edilir, ya peletlenir ya da sistemden bertaraf edilir.

Briketlenemeyen ince tozlar bağlayıcı maddeler kullanılarak peletlenmektedir. Ayrıca, peletler müşterinin analiz, depolama stabilitesi, taşınabilirliği ve kullanım kolaylığı gibi beklentilerini daha iyi karşılar.

İndirgeyici malzemeler, diğer katkı maddelerinin ilavesi ile sonraki prosesler için optimize edilebilir. Sıcak briketleme ve harici kullanımlar için çinko içeriği yüksek peletlerin üretimi tarif edilmektedir. Demir içerikli değerli temizlenmiş katıların demir üretim prosesine geri dönüştürülmesinden sonra çamur ve tozdan teknik olarak, demir dışı metaller ekstrakte edilebilir. Ekstrakte edilen demir dışı metaller, demir dışı metal sektöründe kullanılabilir.

Aşağıdaki yöntemler uygulanabilmektedir:

- Döner tabanlı fırın prosesleri
- Akışkan yatak prosesleri
- Dolaşımlı akışkan yataklı reaktörler
- Yüksek türbülanslı karıştırma prosesleri
- Plazma prosesleri
- Çok fonksiyonlu oksijenli döküm ocakları

Çinko açısından zengin çamur/toz için ticari ölçekte harici prosesler bulunmaktadır. Bu teknik daha yaygın hale gelmiştir.

Sıcak toz briketleme ve geri dönüşüm tekniklerinin kullanılmasıyla, katı atıkların depolanması önlenir ve değerli hammaddelerden tasarruf edilmiş olur. İşlenecek toz miktarı yaklaşık olarak 10-20 kg/ton SÇ'dir. Toplam demir verimi %1 artar. Ayrıca toz geri dönüşüm oranı %100 olarak gerçekleştirilebilir.

BOF gazının temizlenmesinde kuru ESF kullanımı söz konusu olduğunda bu yöntem uygulanabilir. Edinilen bazı tecrübeler briketleme ile çinko geri kazanımının ıslak toz toplama sistemlerde metalik çinkonun su ile reaksiyonu neticesinde hidrojen oluşumundan kaynaklanan çökeltme tanklarında istikrarsız çöktürme nedeniyle bir çözüm olmadığını göstermiştir. Bu güvenlik nedenlerinden dolayı, çamurdaki çinko içeriği %8-10 arasında sınırlandırılmalıdır. Gelecekte, venturi yıkayıcıdan çıkan çamurların işlenmesi mümkün olabilecek fakat buradaki suyun buharlaştırılması için ekstra enerjiye ihtiyaç duyulacaktır (EC, 2012).

Tozun ve çamurun sisteme geri kazandırılabilmesi için çinko içeriği düşük hurdaların kullanılması

BOF gazının temizlenmesi sonucu açığa çıkan toz emisyonlarda ve çamurda yüksek oranda çinko bulunması, prosese beslenen hurdanın çinko içermesinden kaynaklanmaktadır. Sistemde açığa çıkan çinkonun miktar olarak değişkenlik göstermesi de yine prosese beslenen farklı kaynaklardan alınan hurdadır. Benzer problem kurşun ve kadmiyum için de geçerlidir. Tozun ve çamurun sisteme geri kazandırılabilmesi için, çinko içeriği düşük hurdaların kullanılması gerekmektedir.

Bazı tesislerde düşük çinko içerikli hurdaların kullanılması yönünde sıkı bir uygulama bulunmaktadır. Tozun sinter tesisine %100 geri kazandırılması için, BOF gazı toz toplama sisteminden çıkan çamurun yaklaşık olarak %0,1-0,3 oranında çinko içermesi gerekir.

Bu çözüm yerel bir çözüm olarak görülmelidir. Çünkü dünya genelinde galvanize çelik üretimi oldukça yüksek olduğundan, çelik üretiminde galvanize çelik hurdalar kullanıldığında, açığa çıkan çamurun yüksek oranda çinko içermesi kaçınılmaz bir durumdur.

Düşük çinko içerikli hurdalar oldukça pahalıdır ve sıvı çelik üretim maliyetinin de artmasına neden olmaktadır. Düşük çinko içerikli hurda bulmak zordur. Ama diğer taraftan, düşük çinko içerikli hurdanın kullanılması, BOF gazının temizlenmesinden açığa çıkan toz ve çamurların geri kazanılmasını sağlamaktadır (EC, 2012).

BOF gazından enerji geri kazanımının sağlanması

BOF gazından enerji geri kazanımı, BOF gazındaki duyulur ısı ve kimyasal enerjinin her ikisinin de verimli kullanılmasını gerektirir. Birincil havalandırmada tutulan BOF gazının sıcaklığı yaklaşık olarak 1200°C ve debisi ise 50-100 Nm^3/ton çeliktir. Gaz ortalama %70-80 oranında CO içerir ve ısıl değeri yaklaşık olarak 8,8 MJ/Nm^3'tür. BOF gazının geri kazanılmasında genellikle iki sistem kullanılır.

1. ***BOF gazının konverter gaz kanalında yakılması ve eş zamanlı olarak atık ısı kazanında duyulur ısının buhar üretimi ile geri kazanılması***

BOF gazı birincil havalandırma sisteminin gaz kanalında ortam havası ile kısmen ya da tamamen yakılabilir. Böylelikle birincil havalandırma sisteminde gaz debisi ve duyulur ısı artar ve daha fazla buhar üretilebilir. BOF gazına karıştırılan havanın miktarı üretilecek buhar miktarını belirler. Yaklaşık 30-40 dakikalık çelik üretim çevriminde, oksijen besleme 15 dakika sürer. Oksijen besleme ile doğrudan ilişkili olduğundan buhar üretimi kesiklidir.

2. ***BOF gazının yanmasının baskılanması ve daha sonradan kullanım için gazın gazometrelerde toplanması***

BOF gazının birincil havalandırma sisteminde yanması, sisteme hava girişinin engellenmesi ile baskılanabilir. Bu genellikle konverterin ağız kısmına su soğutmalı geri çekilebilir bir etek daldırılmasıyla yapılır. Bu sayede karbonmonoksit içeriği sabit kalır ve BOF gazı başka yerlerde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Daha sonra gaz temizlenir ve gaz tutuculardа tutulur. Yanmamış BOF gazının duyulur ısısından faydalanmak için bir atık ısı kazanı kurulabilir. BOF gazı, oksijenin sisteme beslenmesi prosesinin başında ve sonunda düşük CO içeriği nedeniyle toplanmaz. Bu esnada birkaç dakika BOF gazı flare bacalarında yakılır. BOF gazının yanmasının baskılanması ile geri kazanılmasına yönelik bir eğilim bulunmaktadır. Tablo 5.7'de BOF gazının yanmasının baskılanması ile geri kazanılmasının avantajları ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 5.7 BOF gazının yanmasının baskılanmasındaki avantajlar ve dezavantajlar

Avantaj	Dezavantaj
• Atık gaz debisinin hacimce azalması • Davlumbazlarda daha benzer hızlara ulaşmak için gaz taşıyıcı bileşenlerin boyutlarının daha büyük olması • Atık gaz fanlarında enerji tüketiminin azalması • Atık-gaz soğutma için ihtiyaç duyulan su miktarının azalması • Daha az atık gaz debi için toz geri kazanım sistemlerinin tasarlanması • Atık gaz kullanım fırsatı • Sızdırmazlık için farklı tasarımların kullanılmasıyla eriyik koşullarda gaz sızıntısının azalması	• Güvenlik standartlarına göre kompleks ekipman teknolojilerinin kullanılması • İlave ekipmanlara ihtiyaç duyulması • İlave güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulması

Kaynak: (EC, 2012)

1 Nm^3 baca gazının atık ısısından 0,9 kg ila 1,5 kg buhar üretilebilmektedir. BOF gazının geri kazanılması için öncelikli olarak gazın sisteme uygun koşullarda temizlenmesi gerekmektedir. BOF gazına tam yakma uygulanırsa, daha fazla baca gazı oluşacaktır ve bu durum daha pahalı ve verimsiz toz azaltmaya neden olacaktır. BOF gazının geri kazanılması tehlikeli ve CO sızıntısı ve patlamalara karşı çok sıkı güvenlik önlemleri gerektirmektedir.

Yanmanın baskılanması ile BOF gazının ve atık ısının geri kazanımı hem yeni hem de eski tesislerde uygulanabilir. Bazı durumlarda bu uygulamalar ekonomik açıdan makul olmayabilir. 80.000 m³'lük gaz tutucu, fanlar, gaz kanalları, atık gaz sistemlerindeki üç yollu vanalar, güvenlik önlemleri, montaj ve mühendislik vb. hususlardan oluşan ve devam eden bir proje için 2007 yılında gerekli yatırım 30,5 milyon Avro olarak hesaplanmıştır. BOF gazının %80'inin geri kazanılması durumunda yıllık enerji tasarrufu 2600 TJ/yıl olup, buna karşılık gelen yatırım maliyeti ise 12 Avro/GJ'dür.

Doğalgaz satın alımından elde edilen tasarruflar, kıymetlendirme maliyetleri, CO_2 emisyon kredileri, flare kayıplarının azaltılması gazın elektrik üreticilerine satılması ve buhar üretim düşüşleri dikkate alındığında geri ödeme süresi yaklaşık beş yıldır (EC, 2012).

Online örnekleme ve çelik analizi yapılarak ile proses süresinin kısaltılması

Bazik oksijen fırın prosesi kesikli bir prosestir. Her şarjda istenilen çelik kalitesine göre ilave malzemeler ve oksijen besleme süresi değişebilmektedir. Bu ilaveler şarj halindeki çeliğin yapısına ve özelliklerine göre belirlenir. Çeliğin yapısı ve özellikleri alınan örneklere yapılan analizler sonucunda tespit edilir. En son geliştirilen modelleme ve izleme sistemleri oksijen besleme esnasında gereksiz örnek alımını önlemeye yönelik bir hassasiyete sahiptir. Çelik dökülürken bir kontrol örneği alınır. Bu teknik örnekleme esnasında gaz salımını engellemektedir.

Örnek almak için BOF yana doğru yatırılır ve oksijen kesilir. Bu zaman alan bir süreçtir ve BOF'tan emisyonların dışarı salınımına sebebiyet verir. Modern tesislerde, örnekler oksijen beslenirken online olarak sub-lans ya da benzer ekipmanlarla alınır. Böylece örnek üzerinde analizler yapılırken, proses devam eder. Bu uygulama proses süresini kısalttığı gibi verimliliği de artırır. Emisyonlar bir önceki uygulamadan daha az açığa çıkar.

Bu tekniğin kullanılması ile her bir döküm için üretim süresi azalır, böylece verimlilik artar. Havaya verilen emisyonlar da azalır. Teknik tüm tesislere uygulanabilir. Mevcut tesislerin örnekleme sistemini kurmaları için modifikasyona ihtiyaçları vardır (EC, 2012).

Otomatik pota kapak sisteminin kullanılmasıyla pota ısıtma aşamasında kullanılan enerjiden tasarruf edilmesi

Çelik potaları, sıvı çeliğin ikincil işlemleri ve BOF konverterinden sürekli döküme taşınmasında kullanılır. Normal uygulamada, pota taşınırken üzeri kapatılmaz, fakat genellikle sürekli dökümde ekstra ısı kaybı olmaması için bir kapak kullanılır. Döküm ve pota bakımı sonrası, potalar kok fırın gazı ya da doğalgaz yakılan brulörlerle ısıtılır. Potalarda kapakların olması ve sadece çeliğin deşarjı sırasında kapakların otomatik olarak açılması ve işlem sonrasında kapanması sayesinde, potaların ısıtılmasına gerek kalmayacaktır.

Bu tekniğin uygulanması sayesinde enerji verimliliği sağlanır ve toz oluşumu azalır. Bu teknik ile pota çevrim süresi kısaldığı için, ortalama boşaltma sıcaklığı 10°C azalmıştır. Daha düşük boşaltma sıcaklığı ekstra bir yakıta ihtiyaç duyulmadan ve daha yüksek verimlilikle BOF prosesinde 8 kg/ton daha fazla hurda oranı sağlayacaktır. Diğer yandan 8 kg/ton daha az sıcak metal ile çelik üretimi sayesinde 15 kg/ton CO_2 emisyonu azalacaktır. Boşaltma sıcaklığındaki sapmanın 4°C daha az olması da stabil proses kontrolü için oldukça önemlidir.

Otomatik pota kapak sistemi teknik olarak mevcut çelik üretimi yapan tüm tesisler için uygulanabilir niteliktedir. Kapaklar refrakter tuğlalardan yapıldığı için çok ağır olabilir. Vinç kapasitesi ve tüm binanın tasarımı mevcut tesislerde bu uygulamanın yapılmasında kısıt oluşturabilir. Fakat mevcut tesisler için spesifik tasarımlar bulunmaktadır. Otomatik pota kapak sistemi üretim maliyetinin önemli ölçüde azalmasını ve proses kontrolünün kararlı hale gelmesini sağlamaktadır (EC, 2012).

Sub–lans sisteminin kullanılmasıyla, konverter sağa ya da sola yatırılmadan çeliğin sıcaklığının ve karbon içeriğinin tespit edilmesi

Sub–lans sisteminin kullanılmasıyla, konverter sağa ya da sola yatırılmadan çeliğin sıcaklığı ve karbon içeriği tespit edilebilir. Böylece bir sonraki karıştırmanın zamanına bağlı olarak, oksijen beslemenin sonrasında 2-3 dakika içinde deşarj başlatılır. Operatör tarafından başlatılan deşarj sekansı aşağıdaki otomatik adımlardan oluşur:

- Çelik döküm alma
- Cüruf sıvama, gerekli ise cüruf sıçratma
- Cüruf döküm alma

Çelik ile cürufu ayırt etmek için kullanılan bir kızılötesi kamera bulunmaktadır. Cüruf boşaltma musluğuna geldiği zaman, kamera bu durumu görüntüler ve otomatik olarak çeliği boşaltma işlemi sonlandırılır (EC, 2012).

Bu tekniğin uygulanması sayesinde enerji verimliliği sağlanır ve böylece toz oluşumu azalır. Bu tekniğin uygulanmasıyla bazı önemli çevresel faydalar sağlanır. Bunlar (EC, 2012):

- Bu tekniğin uygulanmasıyla hedeflenen boşaltma sıcaklığı 15°C azaltılır. Bu durum daha fazla hurda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Boşaltma sıcaklığının 15°C azalması, 1 ton ham çelik için sıcak metal oranının 9 kg azalmasına neden olur. Bu durum da 1 ton ham çelik başına 16 kg daha az CO_2 üretilmesini sağlar.
- Numune alınması esnasında konverterin yatay konuma getirilmesine gerek kalmadan işlemin yapılması sayesinde toz ve sıcak gaz emisyonunun miktarı azalmıştır.
- Çeliğin boşaltılması esnasında musluğun tam zamanında kapatılması hem daha az çelik kaybına neden olurken hem de çeliğin yapısına cürufun karışması engellenerek çeliğin kalitesi korunmaktadır.
- Daha fazla miktarda cüruf kaplama yapılması hem astar ömrünü uzatır hem de kaplamada kullanılan seramik malzemesine daha az ihtiyaç duyulur. Kabaca bir hesap yapılacak olursa, otomatik deşarj işlemi sayesinde astar ömrü %20 artar.

Otomatik BOF deşarj sistemi ile üretim miktarı ve hurda kullanımı artmaktadır. Bu tekniğin uygulanmasındaki diğer faydalar aşağıda listelenmiştir (EC, 2012):

- Üretimin kararlı hale gelmesi, üretim miktarının artması
- Proses kontrolünün iyileştirilmesi
- Çalışma ortamının iyileştirilmesi
- Astar ömrünün artması

Bazik Oksijen Fırınında doğrudan döküm alma yöntemi ile proses süresinin kısaltılması

Genelde, sub-lans ya da DROP IN sensörleri gibi pahalı sistemler potadan alınan numunelerin kimyasal analizi beklenmeden döküm almak için kullanılır. Finlandiya'daki OVAKO çelik tesisi herhangi bir sistem kullanmadan doğrudan döküm alma gerçekleştiren bir uygulama bulmuştur. Karbon doğrudan %0,04'e düşürülürken eş zamanlı olarak banyo sıcaklığı da oldukça düşük bir hedefe indirilir. Döküm almadan önce, sıcaklık ve oksijen aktivitesi bir sonraki adımlar için ölçülür. Finlandiya'daki bu tesisin günümüzdeki tekrar üfleme oranı yaklaşık olarak %5'tir.

Doğrudan deşarj ile enerji verimliliği artarken, çevresel etkiler de pozitif yönde gelişmiştir. Banyo soğutma sıcaklığı 20°C azalırken, deşarjdan deşarja olan süre ise %20 azalmıştır. Bu durum enerji verimliliğinin ve üretimin artmasına neden olmuştur. Isıl ekonominin iyileştirilmesiyle, dolaylı yoldan deşarj ile kıyaslandığında hurda hacmi %5 oranında artmıştır. Bu da CO_2 emisyonlarında yaklaşık olarak 15 kg/ton azalmaya karşılık gelmektedir. Astar ömrünün %10 artması ve yeniden sirküle olan hurda miktarının artması çevresel etkilerin azalmasına neden olmaktadır.

Teknik, bazik oksijen fırın proseslerinde bazı önkoşulların sağlanması ile uygulanabilir hale gelir. Doğrudan deşarj için uygun sıcak metal analizörü ve cüruf tutucu sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Verimliliğin artması, enerji tüketiminin azalması ve refrakter ihtiyacının azalması bu uygulamanın ekonomik faydaları olarak ifade edilebilir (EC, 2012).

BOF cürufunun kararlılığının iyileştirilmesi ile kullanım alanlarının artırılması

BOF cürufunun yapısındaki serbest kireç hacim kararlılığını etkilediğinden dolayı inşaat sektöründe kullanımı kısıtlıdır. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla sıvı cüruf için bir uygulama geliştirilmiştir. Cüruf, cüruf potasına boşaltıldıktan sonra, sıvı haldeki cürufa oksijen ve SiO_2 enjekte edilmektedir. Bu uygulama ile, serbest haldeki kireç kararlı fazlara bağlanır ve böylelikle ortaya çıkan cüruf agregaları sabit hacimli hale gelir.

1998 yılında tamamlanan bir araştırma projesinde geliştirilen bu uygulama, Avrupa'da bazik oksijen prosesiyle çelik üreten iki tesiste kullanılmaktadır. Bu yan ürünün kullanılması, inşaat sektörünün talebine ve ülkenin politik koşullarına bağlıdır.

Beklenenden çok daha zor kontrol edilebilen bir prosestir. Viskozite, reaktivite ve homojenlik ile ilgili problemler ortaya çıkarabilir. Prosese yönelik yapılan son denemeler proses optimizasyonu ve maliyet azaltma ile ilgilidir.

Kararlılığın iyileştirilmesi sayesinde, inşaat sektöründe cüruf kullanımı ile ilgili gereklilikler yerine getirilmiş olacaktır. Cüruf, yol yapımında doğal kaynakların yerine geçerek, doğal malzemelerin üretiminde açığa çıkacak emisyonların önlenmesini sağlayacaktır. Daha iyi yük taşıma ve ısı yalıtımı özelliklerinden dolayı, cürufun kullanılmasıyla elde edilecek tasarruf, cürufun hacminin iki katı kadardır (EC, 2012).

Islak yıkayıcı kullanılan BOF tesislerinde hidro-hibrit filtreler kullanılarak toz emisyonlarının arıtımının iyileştirilmesi

Dünya genelindeki pek çok BOF tesisinde ıslak yıkayıcı sistemler ile baca gazları temizlenmektedir. Bu tesislerde genellikle gaz temizleme işlemi sonrası gazın yapısında 30-50 mg/Nm^3 toz geride kalmaktadır. Eski tesisler ek olarak aşağı akışlı bir küçük ıslak elektrostatik filtre kullanarak, toz

emisyonlarını biraz daha azaltmaktadır. Bu kombine sistem "Hidro-Hibrit Filtre" olarak adlandırılmaktadır. Bu fikir BOF gazının eski tesislerde mevcut yıkayıcı sistemler kullanılarak temizlenmesini kapsar. Mevcut yıkayıcı, kaba tozları çöktürmek için ön toz tutma ekipmanı ve ayrıca ESF için soğutma ve koşullandırma kulesi olarak görev yapar. Islak yıkayıcının basınç kaybı önemli ölçüde azaltıldığı için, fanların güç tüketimi de azalmaktadır. Aşağı akışlı ESF bir ya da daha fazla alandan oluşan küçük bir ünitedir. Fan ya da su arıtma gibi mevcut ekipmanlar, çok az ya da hiç modifikasyona gerek duyulmadan çalıştırılabilir. Bu teknik gelişme aşamasındadır.

Hidro-Hibrit Filtre sistemleri toz emisyonlarını ≤10 mg/Nm^3'e kadar azaltabilir. ESF'nin ek enerji tüketimi, fanın enerji tüketimindeki azalma ile telafi edilebilir. Bu teknik, ıslak yıkayıcı ile gaz temizleme sistemi olan tüm BOF tesislerinde kurulabilir. Yeni tesislerde tercihen kuru ESF teknikleri kurulabilir.

İlave ESF sisteminin boyutunun küçük olması ve mevcut ekipmanların da kullanılması nedeniyle yatırım maliyet düşüktür. Fanın elektrik tüketiminin azalmasına neden olan, yıkayıcıdaki basınç düşüşü nedeniyle işletme maliyeti azalabilir.

Mevcut ıslak yıkayıcılı gaz temizleme sistemlerinin yerel emisyon standartlarını karşılamak suretiyle geliştirilmesi durumunda oldukça düşük maliyetli olması nedeniyle "Hidro-Hibrit Filtre" sistemleri tercih edilebilir (EC, 2012).

Toz toplama için döner davlumbaz kullanılması

Konverterin döküm için sağa sola yatırılması esnasında üretim alanına doğru toz çıkışı olduğundan, hurda şarjından ya da dökümden kaynaklanan bu toz emisyonların yakalanması oldukça zordur. Üretimin farklı aşamalarında vinç ve hurda sepeti için konverterin kapaklarının üzerinde boş alanların olması gerekir. Bu nedenle tozu emen davlumbazlar toz kaynaklarına biraz uzağa yerleştirilmektedir. Tesisin inşasından dolayı, ikincil toz tutma sistemlerinin iyi seviyede toz tutabilmeleri için, farklı türde davlumbaz tasarımları bulunmaktadır. Bunlardan yeni olanları "döner davlumbaz" ya da "kasırga davlumbaz" diye ifade edilen davlumbaz türleridir. Hava tahliye edilirken davlumbazda bir hava akımı oluşur. Bu akış koşulları hava akımındaki basınç dağılımından dolayı eksenel alanda partikülleri taşır ve toz tutma sisteminin karşıt iki emiş borusunun açık kısmından tahliye edilir. Davlumbazdaki tahliye basıncının yeteri kadar güçlü olması gerekir.

Sitem eğer iyi bir şekilde tasarlanırsa, kaçak emisyonların tutulma oranı oldukça yüksek olacaktır. Bu etkiyi ölçmek mümkün değildir çünkü kaçak emisyonların ne kadar yakalandığı ölçülemez. Görülebilir emisyonlardan sadece tahmin yapılabilir (EC, 2012).

5.1.8.5 Elektrik Ark Ocakları için MET

Hammaddelerin şarjı ve işletilmesinin optimize edilmesi

Elektrik ark ocaklarında üretim ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla paslı ve tozlu olan hammaddelerden kaçınılması, optimum boyut ve girdi yoğunluğu/hurda oranının kullanılması gerekmektedir. Bazı hurda çeşitlerinin zararlı içeriklerinin azaltılması konusunda dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca hurdalarda radyoaktivite bulunması durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Diğer yardımcı maddeler parça veya toz haldedir ve kapalı alanda depolanması gerekmektedir. Sevkiyat sonrası elleçleme minimumda tutulmalı ve gerekli olduğunda toz toplama ekipmanları kullanılabilir. Toz

haldeki malzemeler kapalı silolarda depolanabilir (kireç kuru tutulmalıdır) ve pnömatik olarak taşınabilir veya kapalı çuvallarda tutulup elleçlenebilir (EC, 2012).

Döküm sürelerinin düşürülmesi için daha güçlü fırın trafolarının kullanılması

Daha güçlü fırın trafolarının kurulumu ile döküm sürelerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Belli güç kaynakları ile donatılmış UHP (ultra yüksek güç - ultra high power) fırınlarının belirgin özellikleri güç veriminin ve trafo net çalışma süresinin %70'ten fazla olmasıdır. Bu uygulama, verimin artmasına, spesifik elektrot tüketiminin ve spesifik atık gaz miktarının azalmasına neden olurken, diğer taraftan da fırın astarının aşınmasında artışa sebebiyet vermektedir. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Uygun regülasyon sisteminin kullanılması ile enerji tasarrufu sağlanması

Hammadde çeşitliliğindeki artış nedeniyle ve ark ocağı, pota ocağı ve de sürekli döküm ünitelerinde malzeme ve bilgi akışını daha etkin kontrol eden sistemlerin yürütülebilmesi için bilgisayar kontrollü elektrik ark ocakları günümüzde gerekli olmaya başlamıştır. Etkin kontrol sistemleri, verimliliği artırmakta, enerji tüketimini optimize etmekte, spesifik elektrot tüketimini ve toz emisyonunu azaltmaktadır. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Konvansiyonel dekarbürasyon yerine oksijen enjeksiyonunun sağlanması

Oksijenli yakıt brulörleri hurdanın homojen bir şekilde ergimesine katkıda bulunurken, aynı zamanda sistemin elektrik enerjisi ihtiyacını da kısmen dengelemektedir. Oksijenli yakıt brulörleri ve lanslara bağlı ek enerji girdisi genellikle sistemde ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarının azalmasını sağlarken diğer taraftan baca gazı miktarını artmasına yol açmaktadır. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Yükseltgen cürufun döküm esnasında potaya geçme miktarının minimize edilmesi amacıyla tabandan döküm alma yönteminin kullanılması

Tabandan döküm alma sistemi ark ocaklı tesislerde sıkça kullanılan bir uygulamadır. Tabandan döküm alma yöntemi, yükseltgen cürufun döküm esnasında potaya geçme miktarını minimize etmektedir. Bu yöntem aynı zamanda ihtiyaç duyulan refrakter miktarını, döküm alma süresini ve enerji kayıplarını azaltarak maliyetlerin düşmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca baca gazlarının kontrolünü kolaylaştırmaktadır.

Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Köpüklü cüruf uygulaması ile enerji verimliliği sağlanması ve refrakter malzemenin ömrünün uzatılması

Köpüklü cüruf uygulaması hem ocağa şarj edilen malzemeye olan ısı transferini iyileştirir, hem de ocaktaki refrakter malzemeyi korur. Daha iyi ark stabilitesi ve daha az ışınım etkisi nedeniyle köpüklü cüruf uygulaması enerji ve elektrot tüketiminde, gürültü düzeyinde azalma ve de proses veriminde artış sağlar. Ayrıca birçok metalurjik reaksiyonda olumlu bir etkiye sahiptir (örneğin cüruf ve eriyik arasında). Köpüklü cürufun yoğunluğu (1,15-1,5 ton/m^3) FeO içeren EAO cürufundan (2,3 ton/m^3) daha düşüktür. Bu nedenle çelik üretimi esnasında cüruf hacmi artacağı için daha büyük cüruf potalarına ihtiyaç duyulur. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının ark ocağının dışında yapılması ile döküm sayısının artırılması

Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının ark ocağı içerisinde gerçekleştirilmesi gerekli değildir. Bu işlemler, potaya döküm alma esnasında, pota ocağında veya diğer ekipmanlarda daha verimli bir şekilde yapılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile enerji tasarrufu (net 10-30 kWh/ton) sağlandığı, sürekli döküme daha kontrollü sıcaklıklarda döküm gönderildiği, döküm süresinde (5-20 dakika arası), elektrot tüketiminde (0,1-0,74 kg/ton) ve ark ocağı emisyonunda azalma gözlenmiştir. Pota kullanımı ve ikincil metalurji işlemlerin uygulanmasında karşılaşılan zorluk, emisyon kaynaklarının artmasından dolayı ilave toz vb. kirlilik giderici sistemlerin kurulması gerekliliğidir. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamaların hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Hurdanın fırına, fırın kapağına birleşik dikey bir şafttan beslenmesi ve fırından gelen sıcak gazlar ile şafttaki hurdanın ön ısıtmasının sağlanması

Atık gazın sahip olduğu enerjinin geri kazanılması (ortalama 140 kWh/ton SÇ) uygulaması ile EAO proseslerindeki toplam enerji ihtiyacı azalmaktadır. Atık gazın sahip olduğu atık ısı hurdaların ön ısıtmasında kullanılır. Hurdaya kesikli sistemlerde ortalama 800-1000ºC'ye kadar, sürekli sistemlerde ise 300-400ºC'ye kadar ön ısıtma uygulanır ve bu sayede EAO ergitme prosesinin ihtiyaç duyduğu enerji 100 kWh/ton SÇ civarında azaltılabilir. Hurdaya ön ısıtma işlemi ya hurda yükleme sepetlerinde ya EAO'ya yükleme için eklenmiş olan bir şaftta ya da özel tasarlanmış eritme prosesi süresince sürekli yüklemeye olanak sağlayan hurda nakil sistemlerinde uygulanır. Bazı durumlarda ön ısıtma sistemine fosil yakıt enerjisi ilave etmek gerekebilir.

1988 yılında Fuchs Systemtechnik GmbH (şimdiki adı SIEMENS VAI Metals Technologies) sepet türü hurda ön ısıtıcıların eksiklerinin giderilmesi için bir çalışma başlatmış ve hurdanın, EAO'nun kapağı üzerine konumlanmış bir şaftın içinde iken doğrudan yüklenmesini istemiştir. Tek bir şaft kullanılarak hurdanın %100'ünün ön ısıtması yapılabilmektedir.

Şaft ocağında 800-1000ºC aralığında yüksek hurda ön ısıtma sıcaklığına kadar çıkılabilmektedir. Hurda ön ısıtma için tanımlanan teknikler ile enerjiden 70-100 kWh/ton SÇ tasarruf edilebilir. Bu değer, prosese

giren toplam elektrik tüketiminin yaklaşık olarak %10-25'ine karşılık gelmektedir. Ayrıca hurda ön ısıtma uygulaması belirgin bir şekilde döküm süresini kısaltır ve bu da verimliliği önemli ölçüde artırır. İleri baca gazı temizleme ile hurda ön ısıtma sistemlerinin bir araya gelmesi neticesinde sadece verimlilik artışı olmaz aynı zamanda emisyon miktarı da azalır.

Yan etki olarak; baca gazı ön ısıtma için hurdanın içinden geçirilirken hurda filtre görevi yaparak, baca gazındaki ham toz emisyonunu yaklaşık olarak %20 oranında azaltır. Bu azalma tozda geri kazanılabilen çinko içeriğinin artışı ile ilişkilidir.

Ergitme prosesinde açığa çıkan CO ve H_2 gazı ön ısıtmada CO_2 ve H_2O'a dönüşür. Yanma prosesi ile çıkış sıcaklığı 800-1100ºC arasında ve %8-10 oranında oksijen fazlası olan kararlı durumda baca gazı elde edilir. Bu koşullar PCDD/F bileşenlerinin parçalanmasını sağlar. Baca gazı 200-250ºC sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde soğutularak PCDD/F oluşumu önlenir.

Enerji yönetimi açısından bakıldığında hurda ön ısıtma işlemi oldukça önemlidir. Fakat ön ısıtma işlemi hurda harmanı içerisindeki organik bileşenlerden dolayı önemli organik kirleticilerin oluşumuna neden olabilir. Hurda ön ısıtma haznesinde düşük sıcaklıklar nedeniyle hurdaya yapışmış olan yağ ve gres gibi organik bileşikler ısıl bozunmaya uğramazlar fakat buharlaşırlar. Bu nedenle de, uçucu organik klorlu hidrokarbon ve öncü PCDD/F bileşikleri oluşur.

Boya, yağlayıcı, plastik ya da diğer organik bileşiklerle kontamine olmuş hurdalardan, PCDD/F, PCB, PAH ve diğer yanma ürünleri gibi yüksek miktarda aromatik organohalojenler açığa çıkabilir. Örneğin klasik hurda ön ısıtma sistemine sahip bir EAO baca gazında 9,2 ng I-TEQ/Nm^3 ölçülmüştür. Bu emisyonlar, özel tasarlanmış ve fosil yakıtlı brulörler ile donatılmış bir son yakma odasında, baca gazlarının sonradan yakılması ile minimuma indirilebilir. Baca gazlarında var olan kalıcı organik bileşiklerin (POP) bozunması için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğundan, bu işlem için gerekli olan enerji, hurda ön ısıtma ile elde edilen enerji tasarrufunun büyüklüğü kadardır.

Farklı hurda ön ısıtma teknolojilerinin proses verileri bakımından karşılaştırması Tablo 5.8'de verilmektedir.

Uygulamadaki ana itici güç verimlilikteki artış, daha fazla şarj miktarı, düşük üretim maliyeti ve daha az çevresel etkidir. Bazı durumlarda hurda ön ısıtma amacıyla kurulan tırnak şaftlı EAO'lar, ileri düzeyde baca gazı arıtma sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır.

Bir diğer itici güç ise elektrik dağıtım şebekesinin zayıf olduğu bölgelerde, elektriksel salınımların azaltılmasıdır (EC, 2012).

Tablo 5.8 Hurda ön ısıtma sistemlerinin uygulandığı bazı EAO tesislerinden temin edilen proses verileri

Özellikler	Birim	CONSTEEL Tesisi 1	CONSTEEL Tesisi 2	CONSTEEL Tesisi 3		Fuchs-Coss Tesisi	SIMETAL Tırnaklı Şaft Tesisi 1		SIMETAL Tırnaklı Şaft Tesisi 2
Ocak türü		DC	AC	AC			AC		DC
Isı boyutu	ton SÇ	109	187	73		120	126,5		80
Trafo gücü	MVA	90	130	50		100	85		56
Metal yük karışımı		%100 hurda	%80 hurda, %15 pik demir	%80 hurda, %20 pik demir	%80 hurda, %20 sıcak metal	%100 hurda(1)	%100 hurda	%80 hurda, %20 pik demir	%100 hurda
Döküm Sıcaklığı	°C	1650	1630	1600		VB	1620	1673	1630
Ortalama güç	MW	55	82	37	33	VB	57	63	35
Katkı maddeleri	kg/ton SÇ	26	32	41	60	58	50	48	VB
Açık güç süresi	dakika	41	50	43	35	40	40	30	38
Kapalı güç süresi	dakika	8	15	7	7	VB	10	17	12
Elektrik tüketimi	kWh/ton SÇ	343	365	362	265	300	300	248	278
Oksijen tüketimi	Nm^3/ton SÇ	35,5	33	34	35	38	34	37	44
Elektrot tüketimi	kg/ton SÇ	0,8	0,9	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1	0,8
Hurda ön ısıtma verimliliği									
Ön ısıtma sonrası hurda sıcaklığı	°C	200 – 300				300 – 400	800 – 1000		
Hurda ön ısıtma verimliliği	kWh/ton SÇ	15				VB	80 – 100		

(1) Kuramsal olarak erişilebilir. İşletimde olan Coss tesisi %60 hurda ve %40 sıcak metal kullanmaktadır.
VB: Veri bulunmamaktadır.
Kaynak: (EC, 2001a)

Hurdanın ark fırınına yatay bir taşıma sistemi ile sürekli beslenmesi ve ters yönde akan fırın atık gazı ile taşıma sistemi içerisindeki hurdaların ön ısıtmasının sağlanması

Atık gazın sahip olduğu enerjinin geri kazanılması (ortalama 140 kWh/ton SÇ) uygulaması ile EAO proseslerindeki toplam enerji ihtiyacı azalmaktadır. Atık gazın sahip olduğu atık ısı hurdaların ön ısıtmasında kullanılır. Hurdaya kesikli sistemlerde ortalama 800-1000ºC'ye kadar, sürekli sistemlerde ise 300-400ºC'ye kadar ön ısıtma uygulanır ve bu sayede EAO ergitme prosesinin ihtiyaç duyduğu enerji 100 kWh/ton SÇ'ye kadar azaltılır. Hurdaya ön ısıtma işlemi ya hurda yükleme sepetlerinde ya EAO'ya yükleme için eklenmiş olan bir şaftta ya da özel tasarlanmış eritme prosesi süresince sürekli yüklemeye olanak sağlayan hurda nakil sistemlerinde uygulanır. Bazı durumlarda ön ısıtma sistemine fosil yakıt enerjisi ilave etmek gerekebilir.

2000'li yıllardan itibaren sürekli hurda ön ısıtma ve besleme teknolojisi çok popüler olmuştur. Bu sistemlerden biri de CONSTEEL'dir. Hurdalar vinçler yardımıyla özel bir konveyör banda yüklenir. Ön ısıtma kısmında fırından ayrılan baca gazları ile ısıtma sağlanır. Hurda besleme miktarı EAO'ya giren enerjiye göre ayarlanır.

Hurda ön ısıtma uygulaması belirgin bir şekilde döküm süresini kısaltır ve bu da verimliliği önemli ölçüde artırır. İleri baca gazı temizleme ile hurda ön ısıtma sistemlerinin bir araya gelmesi neticesinde sadece verimlilik artışı olmaz aynı zamanda emisyon miktarı da azalır.

Yan etki olarak; baca gazı ön ısıtma için hurdanın içinden geçirilirken hurda filtre görevi yaparak, baca gazındaki ham toz emisyonunu yaklaşık olarak %20 oranında azaltır. Bu azalma tozda geri kazanılabilen çinko içeriğinin artışı ile ilişkilidir. Sürekli beslemeli EAO sistemlerinde hurda ön ısıtma işleminde ortalama 300ºC'ye kadar ısıtılır. Ayrıca bu sistemlerde daha az gürültü kirliliği olmaktadır.

Ergitme prosesinde açığa çıkan CO ve H_2 gazı ön ısıtmada CO_2 ve H_2O'a dönüşür. Yanma prosesi ile çıkış sıcaklığı 800-1100ºC arasında ve %8-10 oranında oksijen fazlası olan stabil baca gazı elde edilir. Bu koşullar PCDD/F bileşenlerinin parçalanmasını sağlar. Baca gazı 200-250ºC sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde soğutularak PCDD/F oluşumu önlenir.

Enerji yönetimi açısından bakıldığında hurda ön ısıtma işlemi oldukça önemlidir. Fakat ön ısıtma işlemi hurda harmanı içerisindeki organik bileşenlerden dolayı önemli organik kirleticilerin oluşumuna neden olabilir. Hurda ön ısıtma haznesinde düşük sıcaklıklar nedeniyle hurdaya yapışmış olan yağ ve gres gibi organik bileşikler ısıl bozunmaya uğramazlar fakat buharlaşırlar. Bu nedenle de, uçucu organik klorlu hidrokarbon ve öncü PCDD/F bileşikleri oluşur.

Boya, yağlayıcı, plastik ya da diğer organik bileşiklerle kontamine olmuş hurdalardan, PCDD/F, PCB, PAH ve diğer yanma ürünleri gibi yüksek miktarda aromatik organohalojenler açığa çıkabilir. Örneğin klasik hurda ön ısıtma sistemine sahip bir EAO baca gazında 9,2 ng I-TEQ/Nm^3 ölçülmüştür. Bu emisyonlar, özel tasarlanmış ve fosil yakıtlı brulörler ile donatılmış bir son yakma odasında, baca gazlarının sonradan yakılması ile minimuma indirilebilir. Baca gazlarında var olan kalıcı organik kirleticiler (POP) bozunması için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğundan, bu işlem için gerekli olan enerji, hurda ön ısıtma ile elde edilen enerji tasarrufunun büyüklüğü kadardır.

Buna rağmen, sürekli hurda besleme sistemine sahip iki tesiste yapılan ölçümlerde, 0,1 ng I-TEQ/Nm^3 değerini önemli oranda aşan yüksek PCDD/F emisyon değerlerine rastlanmıştır. Bu durumda, 0,1 ng I-TEQ/Nm^3 değerinin altında PCDD/F emisyon yoğunluğu için sürekli hurda besleme teknikleri için de

PCDD/F azaltıcı ek önlemlerin alınması gerekmektedir. Tablo 5.9'da bir tesiste sekiz yıllık bir süreçte yapılan sürekli kirlilik ölçümlerinin sonuçları verilmektedir.

Tablo 5.9 Bir tesiste sekiz yıllık süreçte yapılan kirlilik ölçümleri

Parametre	Birimler	1999 - 2007
Baca gazı akışı	Nm^3/saat	750.000-800.000
CO	mg/Nm^3	142-400
NOX	mg/Nm^3	5-50
PCDD/F	Ng I TEQ/Nm^3	0,05-0,20
Toz (PM_{10})	mg/Nm^3	0,40-0,86

Kaynak: (EC, 2012)

2008 yılında kurulan CONSTEEL türü bir fırın için torbalı filtre uygulaması sonrasında toz, dioksin ve cıva emisyonlarını azaltmak için ekstra bir karbon filtre takılmıştır. CONSTEEL fırının uygulanmasından önce ve sonra yapılan ölçümlerde dioksin ve civanın %90'dan daha fazla oranda azaldığı gözlenmiştir.

CONSTEEL prosesi yeni ve mevcut işletmelerde uygulanabilir. Bu yatırım işletmeden işletmeye ocak konseptine ve tesis yerleşim planının elverişliliğine bağlı olarak değerlendirilmelidir. Mevcut işletmelerde hurdalık ve konveyör kurulumu için gerek duyulan alanın olmayışı bu tekniğin uygulanmasında bir kısıt oluşturabilir. Hurda ön ısıtma işlemi için özel hurda boyutuna ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu uygulamada yer alan hurdalık alanı, sepet uygulaması olan fırınlara kıyasla eşdeğerdedir.

Uygulamadaki ana itici güç verimlilikteki artış, daha fazla şarj miktarı, düşük üretim maliyeti ve daha az çevresel etkidir. Bazı durumlarda hurda ön ısıtma amacıyla kurulan tırnak şaftlı EAO'lar, ileri düzeyde baca gazı arıtma sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır. Bir diğer itici güç ise elektrik dağıtım şebekesinin zayıf olduğu bölgelerde, elektriksel salınımların azaltılmasıdır.

1 milyon ton kapasiteli yeni bir demir-çelik fabrikasının kurulumunda CONSTEEL prosesi kurulumu toplam yatırım maliyetinin yaklaşık %10-15'i kadardır. Modernizasyon maliyeti ise yaklaşık olarak 5-10 milyon Avro civarında olup, maliyet fırın büyüklüğüne ve gerekli görülen modifikasyon genişliğine göre değişir. CONSTEEL prosesi ile 1 milyon ton kapasiteli bir tesis için elde edilecek toplam maliyet tasarrufu yaklaşık olarak 9,5 Avro/ton SÇ'dir (EC, 2012).

Taraklar ile hurdayı şaft içerisinde tutan sistemin kullanılmasıyla, hurdanın %100'e kadar önceden ısıtılmasının sağlanması

Atık gazın sahip olduğu enerjinin geri kazanılması (ortalama 140 kWh/ton SÇ) uygulaması ile EAO proseslerindeki toplam enerji ihtiyacı azalmaktadır. Atık gazın sahip olduğu atık ısı hurdaların ön ısıtmasında kullanılır. Hurdaya kesikli sistemlerde ortalama 800-1000ºC'ye kadar, sürekli sistemlerde ise 300-400ºC'ye kadar ön ısıtma uygulanır ve bu sayede EAO ergitme prosesinin ihtiyaç duyduğu enerji 100 kWh/ton SÇ'ye kadar azaltılır. Hurdaya ön ısıtma işlemi ya hurda yükleme sepetlerinde ya EAO'ya yükleme için eklenmiş olan bir şaftta ya da özel tasarlanmış eritme prosesi süresince sürekli yüklemeye olanak sağlayan hurda nakil sistemlerinde uygulanır. Bazı durumlarda ön ısıtma sistemine fosil yakıt enerjisi ilave etmek gerekebilir.

Taraklı şaft fırınlarının tasarımı oldukça verimlidir. Tırnaklı şaft fırınlarında hurdayı alıkoyan tırnaklar vardır. Bu sayede hurdanın %100'ü ön ısıtmaya tabi tutulur. Bu sistemde hurda 1000ºC'ye kadar ısıtılır. Böylece enerji ve maliyet tasarrufu sağlanırken bir taraftan da dökümden döküme olan süre azalır.

4.nesil olarak Siemens VAI ön ısıtma sistemleri ile ortalama enerji tasarrufu 10 kWh/ton SÇ'dir. Hurda ön ısıtma sisteminde açığa çıkan tüm emisyonlar ayrı bir yanma odasında yakılabilir.

Hurda ön ısıtma uygulaması belirgin bir şekilde döküm süresini kısaltır ve bu da verimliliği önemli ölçüde artırır. İleri baca gazı temizleme ile hurda ön ısıtma sistemlerinin bir araya gelmesi neticesinde sadece verimlilik artışı olmaz aynı zamanda emisyon miktarı da azalır.

Yan etki olarak; baca gazı ön ısıtma için hurdanın içinden geçirilirken hurda filtre görevi yaparak, baca gazındaki ham toz emisyonunu yaklaşık olarak %20 oranında azaltır. Bu azalma tozda geri kazanılabilen çinko içeriğinin artışı ile ilişkilidir. Sürekli beslemeli EAO sistemlerinde hurda ön ısıtma işleminde ortalama 300ºC'ye kadar ısıtılır. Ayrıca bu sistemlerde daha az gürültü kirliliği olmaktadır.

Ergitme prosesinde açığa çıkan CO ve H_2 gazı ön ısıtmada CO_2 ve H_2O'a dönüşür. Yanma prosesi ile çıkış sıcaklığı 800-1100ºC arasında ve %8-10 oranında oksijen fazlası olan kararlı halde baca gazı elde edilir. Bu koşullar PCDD/F bileşenlerinin parçalanmasını sağlar. Baca gazı 200-250ºC sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde soğutularak PCDD/F oluşumu önlenir.

Enerji yönetimi açısından bakıldığında hurda ön ısıtma işlemi oldukça önemlidir. Fakat ön ısıtma işlemi hurda harmanı içerisindeki organik bileşenlerden dolayı önemli organik kirleticilerin oluşumuna neden olabilir. Hurda ön ısıtma haznesinde düşük sıcaklıklar nedeniyle hurdaya yapışmış olan yağ ve gres gibi organik bileşikler ısıl bozunmaya uğramazlar fakat buharlaşırlar. Bu nedenle de, uçucu organik klorlu hidrokarbon ve öncü PCDD/F bileşikleri oluşur.

Boya, yağlayıcı, plastik ya da diğer organik bileşiklerle kontamine olmuş hurdalardan, PCDD/F, PCB, PAH ve diğer yanma ürünleri gibi yüksek miktarda aromatik organohalojenler açığa çıkabilir. Örneğin klasik hurda ön ısıtma sistemine sahip bir EAO baca gazında 9,2 ng I-TEQ/Nm^3 ölçülmüştür. Bu emisyonlar, özel tasarlanmış ve fosil yakıtlı brulörler ile donatılmış bir son yakma odasında, baca gazlarının sonradan yakılması ile minimuma indirilebilir. Baca gazlarında var olan kalıcı organik bileşiklerin (POP) bozunması için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğundan, bu işlem için gerekli olan enerji, hurda ön ısıtma ile elde edilen enerji tasarrufunun büyüklüğü kadardır.

Taraklı şaft EAO prosesi ile döküm süresi verimli hurda ön ısıtma işlemi olmayan EAO prosesine kıyasla 10-15 dakika daha kısadır ve toplam süre 35 dakika olmuştur. Bu uygulama 1 yıl mertebesinde kısa bir geri ödeme süresine sahiptir.

Uygulamadaki ana itici güç verimlilikteki artış, daha fazla şarj miktarı, düşük üretim maliyeti ve daha az çevresel etkidir. Bazı durumlarda hurda ön ısıtma amacıyla kurulan tırnak şaftlı EAO'lar, ileri düzeyde baca gazı arıtma sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır (EC, 2012).

Birbiri ile yan yana yerleştirilmiş aynı iki fırından oluşan ve tek set elektrot kolu ile çalışan çift gövde fırın ile hurdanın kısmen atık gaz, kısmen de yan duvar ocakları ile ısıtılmasının sağlanması

Atık gazın sahip olduğu enerjinin geri kazanılması (ortalama 140 kWh/ton SÇ) uygulaması ile EAO proseslerindeki toplam enerji ihtiyacı azalmaktadır. Atık gazın sahip olduğu atık ısı hurdaların ön ısıtmasında kullanılır. Hurdaya kesikli sistemlerde ortalama 800-1000ºC'ye kadar, sürekli sistemlerde ise 300-400ºC'ye kadar ön ısıtma uygulanır ve bu sayede EAO ergitme prosesinin ihtiyaç duyduğu enerji 100 kWh/ton SÇ'ye kadar azaltılır. Hurdaya ön ısıtma işlemi ya hurda yükleme sepetlerinde ya EAO'ya yükleme için eklenmiş olan bir şaftta ya da özel tasarlanmış eritme prosesi süresince sürekli yüklemeye

olanak sağlayan hurda nakil sistemlerinde uygulanır. Bazı durumlarda ön ısıtma sistemine fosil yakıt enerjisi ilave etmek gerekebilir.

Çift şaftlı fırınlar, birbirlerine bitişik olarak konumlandırılmış ve tek bir elektrot kol takımı tarafından hizmet gören iki özdeş şaft fırınından oluşur. Hurdanın ön ısıtması kısmen atık gaz, kısmen de gövde brulörleri ile yapılmaktadır.

Hurda ön ısıtma uygulaması belirgin bir şekilde döküm süresini kısaltır ve bu da verimliliği önemli ölçüde artırır. İleri baca gazı temizleme ile hurda ön ısıtma sistemlerinin bir araya gelmesi neticesinde sadece verimlilik artışı olmaz aynı zamanda emisyon miktarı da azalır.

Yan etki olarak; baca gazı ön ısıtma için hurdanın içinden geçirilirken hurda filtre görevi yaparak, baca gazındaki ham toz emisyonunu yaklaşık olarak %20 oranında azaltır. Bu azalma tozda geri kazanılabilen çinko içeriğinin artışı ile ilişkilidir. Sürekli beslemeli EAO sistemlerinde hurda ön ısıtma işleminde ortalama 300ºC'ye kadar ısıtılır. Ayrıca bu sistemlerde daha az gürültü kirliliği olmaktadır.

Ergitme prosesinde açığa çıkan CO ve H_2 gazı ön ısıtmada CO_2 ve H_2O'a dönüşür. Yanma prosesi ile çıkış sıcaklığı 800-1100ºC arasında ve %8-10 oranında oksijen fazlası olan kararlı durumda baca gazı elde edilir. Bu koşullar PCDD/F bileşenlerinin parçalanmasını sağlar. Baca gazı 200-250ºC sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde soğutularak PCDD/F oluşumu önlenir.

Enerji yönetimi açısından bakıldığında hurda ön ısıtma işlemi oldukça önemlidir. Fakat ön ısıtma işlemi hurda harmanı içerisindeki organik bileşenlerden dolayı önemli organik kirleticilerin oluşumuna neden olabilir. Hurda ön ısıtma haznesinde düşük sıcaklıklar nedeniyle hurdaya yapışmış olan yağ ve gres gibi organik bileşikler ısıl bozunmaya uğramazlar fakat buharlaşırlar. Bu nedenle de, uçucu organik klorlu hidrokarbon ve öncü PCDD/F bileşikleri oluşur.

Boya, yağlayıcı, plastik ya da diğer organik bileşiklerle kontamine olmuş hurdalardan, PCDD/F, PCB, PAH ve diğer yanma ürünleri gibi yüksek miktarda aromatik organohalojenler açığa çıkabilir. Örneğin klasik hurda ön ısıtma sistemine sahip bir EAO baca gazında 9,2 ng I-TEQ/Nm^3 ölçülmüştür. Bu emisyonlar, özel tasarlanmış ve fosil yakıtlı brulörler ile donatılmış bir son yakma odasında, baca gazlarının sonradan yakılması ile minimuma indirilebilir. Baca gazlarında var olan kalıcı organik bileşiklerin (POP) bozunması için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğundan, bu işlem için gerekli olan enerji, hurda ön ısıtma ile elde edilen enerji tasarrufunun büyüklüğü kadardır (EC, 2012).

Cüruf işlemeden kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için kapalı sistemlerin (kırma, eleme ve taşıma) kullanılması

EAO'da çelik üretimi esnasında oluşan cüruf, eğer cüruf potasında toplanıyorsa, deşarj sonrasında cürufun katılaşması için dışarıda bulunan cüruf havuzlarına boşaltılması gerekir. Cürufun soğutulması su püskürtülerek desteklenebilir fakat bu uygulama duman oluşumuna neden olur.

Eğer cüruf doğrudan zemine dökülüyorsa, cüruf katılaştıktan sonra ekskavatörler (kazıcılar) ya da kürekli yükleyiciler kullanılarak kırılır ve kırılan cüruflar dışarıda bir depolama sahasında toplanır. Belirli bir süre sonrasında, toplanan cüruflar daha sonraki kullanım alanına uygun bir şekilde kırılır, elenir ya da metal geri kazanımı işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemler sırasında toz emisyonu oluşabilir. Toz emisyonlarını en aza indirmek için kırma, eleme işlemleri kapalı sistemlerde gerçekleştirilebilir. Kırılmış haldeki cürufun depolanması ve transferi esnasında su ile ıslatma işlemi yapılarak, oluşacak toz emisyonu azaltılabilir. Oluşan emisyonlar torbalı filtre kullanılarak temizlenebildiği gibi konveyör

bantların üzerinin kapatılmasıyla ve aktarma noktalarının ıslatılmasıyla önlenebilmektedir. Bu teknik ile toz emisyon seviyesi 10-20 mg/m^3'ün altına düşürülebilmektedir (EC, 2012).

Gelişmiş emisyon toplama sistemlerinin kullanılması

Gelişmiş emisyon toplama sistemleri havaya salınan birincil ve ikincil emisyonlar için kullanılır. Hem birincil hem de ikincil emisyonlar mümkün olduğunca kaynağında toplanıp, azaltılmalıdır. AC fırınlar için 4. delik (üç elektrot kullanımı) ya da DC fırınlar için 2. delik (tek bir elektrot kullanımı) kombinasyonu, kubbe şeklinde çekiş davlumbaz sistemleri (ya da fırın kapakları) kullanılarak doğrudan ayırma, ya da tüm binanın komple tahliyesi tercih edilen sistemlerdir.

Ergitme ve metal arıtma işlemleri sırasında açığa çıkan birincil emisyonlar 4. delik ya da 2. delik kullanımı ile neredeyse tamamen toplanabilir (Şekil 5.11). Bu tür doğrudan emiş teknolojisi, modern EAO prosesi ile çelik üretiminde birincil emisyonların toplanması bakımından en gelişmiş düzeydir. Ayrıca ikincil metalurji potalarına da uygulanabilir.

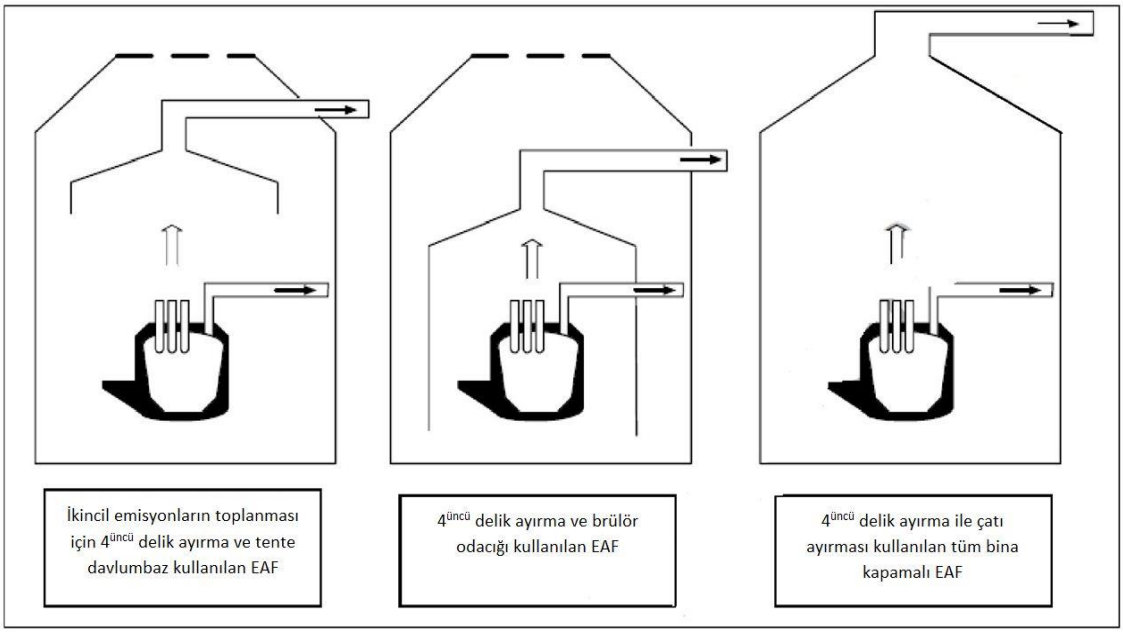
Çekiş davlumbaz sistemlerinde, fırın üzerindeki bir ya da daha fazla çekiş davlumbaz şarj, ergitme, cüruf çekme ve döküm aşamalarında çıkan dumanları (birincil emisyonların %90'ına kadar ve ikincil emisyonları) dolaylı yoldan toplar. Davlumbaz sistemi EAO proseslerinde sıkça kullanılır. Ayrıca davlumbaz sistemi doğrudan ayırma sistemi ile birleştirildiği takdirde birincil hatta ikincil emisyon toplama verimi %98'e kadar artar. Davlumbazlar ikincil metalurji potalarında, silo ve konveyör bantlarda açığa çıkan emisyonları toplamak için de kullanılır.

Şekil 5.11'de gösterildiği gibi EAO'yu tamamıyla kapatan fırın kapamaları (doghouse) bulunmaktadır. Bu sistemde hareketli bir kapak bulunur ve ocak kapısının önünde de çalışma alanı vardır. Atık gazlar sistem duvarının üste yakın kısmından emilir. Daha kompleks işleme sistemleri zaman kaybına ve maliyet artışına (şarj ve deşarj yapmak amacıyla ilave kapak açma ve kapama mekanizmalarına ihtiyaç duyulur) neden olur. Fırın kapamaların toz toplama hızları diğer yöntemlerle aynı ya da daha yüksektir. Uygun olarak inşa edildiklerinde fırın kapamalar gürültü seviyesini düşürücü yönde etki yapar. Elektrik ark ocağında fırın kapamalar ses seviyesini ortalama seviye olan 10-20 dB arasına düşürür.

Ocaktan ikincil emisyon toplamada diğer bir yol işletmeyi tek bir sızdırmaz yapı ile tümüyle kapatmaktır. Bu tip geniş kapsamlı bir ocak emisyon toplama sistemi birçok proses kademesi içerir. Bu tip yapıları inşa etmek yüksek emişte toz giderme sistem yatırımı gerektirdiğinden, maliyet ve uygulama gözden geçirilmelidir.

Yüksek toplama oranı için, yeterli bir ayırma hacmi garantiye alınmalıdır. Atık gaz hacimleri, toplama sistemine bağlı olmakla birlikte, genellikle 600.000 m^3/saat ile 1,2 milyon m^3/saat arasında değişir.

EAO'larda çoğunlukla, doğrudan emiş sistemi ile davlumbaz sistemlerinin bir kombinasyonu kullanılır. Bu sistem birincil emisyonların %98'ini toplamayı başarır. İlave olarak şarj alma ve dökümde çıkan emisyonların da önemli bir kısmı toplanabilir. Toplanan emisyon miktarı davlumbazların sayısı ve tipine bağlıdır. Doğrudan emiş sistemi ile fırın kapama sistemlerinin kombinasyonu sayesinde toplanan toz emisyon oranı %97-100'e çıkar. Binanın bütünsel tahliyesinde ise toz emisyonları %100 oranında toplanır.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.11 EAO'da toplama sistemi

Yeni tasarlanmış ve optimize edilmiş bir toplama sisteminde atık gaz hacmi 600.000 Nm^3/saat'ten 1.250.000 Nm^3/saat'e çıkarılmış, çelikhane ve ergitme atölyelerinin çatı astarları yenilenmiş, EAO'dan çıkan birincil atık gaz kanalları yenilenmiş ve bir torbalı filtre, üç adet fan ve yeni bir baca eklenmiştir. Öncesinde ve sonrasında yapılan ölçümlerde, yatırım sonrası çelikhane bacalarından çıkan toz emisyonlarında %87'lik bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu önlemlerle çatıda bulunan fanlardan çıkan difüz toz emisyonlarının %60 oranında azalarak 6,35 mg/m^3'ten 2,5 mg/m^3'e düşmüştür. Toz toplama sistemleri için, özellikle fanlar için ekstra enerjiye ihtiyacı duyulmaktadır (EC, 2012).

Ağır metallerin geri kazanımı için EAO tozlarının işlenmesi

Çelik üretim miktarına bağlı olarak ton çelik başına 10-30 kg baca tozu oluşmaktadır. Bu değer hurdanın kalitesine göre değişiklik göstermektedir. Gaz arıtma faaliyetleri sonucu ayrılan bu tozlar, genellikle önemli miktarda ağır metal içerir. Toz içerisinde çinko başta olmak üzere kurşun, krom ve nikel bulunmaktadır. Fakat geri kazanılabilirliğinin ekonomik olması için EAO tozunun ağır metal konsantrasyonun yüksek seviyelerde olması gerekmektedir.

Çinko veya diğer ağır metallerin geri kazanılması, değerli madenlerin korunmasına katkıda bulunduğundan önemli bir fırsattır. Çinko için, pirometalurjik ve hidrometalurjik seçenekler mevcuttur. Düşük alaşımlı çelik üretiminden kaynaklanan tozdan çinko geri kazanımı için farklı teknikler mevcuttur ve genellikle demir dışı metal üretim sektörüyle yakın ilişkiler içerisinde olan şirketler tarafından uygulanmaktadır.

Bu ağır metaller toksik olup, sızıntı suyuna karışabilirler. Bu nedenle bu tozlar işlemden geçirildikten sonra düzenli depolama sahalarına doldurulmalıdır.

Çinko zenginleştirmek için çökelmiş EAO tozlarının geri dönüşümünün çelik üretim prosesi üzerinde enerji tüketiminin artması yönünde bazı etkileri olmaktadır. Bununla birlikte, fırına toz ilave edilmesi

fırının performansını da etkileyebilmektedir. Tozun peletlenmesi için ise ekstra enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (EC, 2012).

Gürültü emisyonlarını engelleyecek tekniklerin kullanılması

Elektrik ark ocaklarından kaynaklanan gürültü emisyonlarının engellenmesi konusunda uygulanabilecek teknikler aşağıda belirtilmiştir (EC, 2012).

- EAO işletme binasının, ocağın çalışması sırasında oluşan mekanik sarsıntılardan kaynaklanan gürültüyü absorbe edici bir şekilde inşa edilmesi
- EAO işletme binasında yansımadan kaynaklı gürültünün engellenmesi için duvarların ve çatının iç kısımlarının özel akustik yalıtım malzemeleri ile kaplanması
- EAO işletme binasındaki yapısal kaynaklı gürültünün azaltılması amacıyla ocak ve dış duvarın ayırılması
- Hurda şarjından kaynaklanan gürültü ve toz emisyonunun azaltılması için hurdanın serbest düşüş yüksekliğinin azaltılması

Dairesel şaftlı doğru akım ark ocaklarının (Contiarc) kullanılması

Contiarc ocağı, dairesel bir şafta sahip olan ve doğru akımla çalışan bir ocaktır. Ocak, dairesel şaftın üzerinden hammaddelerin sürekli şekilde şarj edilmesiyle işletilmektedir. Bu teknikte ocağın enerji verimliliği kupol ocaklarına göre daha fazladır. Buna ilaveten, bu teknik ile demirin hem ergitilmesi hem de izabesi saatte 80 ton üreten aynı ocak sisteminde gerçekleştirilmektedir. Ocağa, otomobil doğramaları ve kırpıntıları gibi düşük nitelikli hurdalar, sünger demir (DRI) ve sıcak briketlenmiş demir (HBI) beslenebilmektedir. Ayrıca, kalitenin ayarlanabilmesi için çeşitli oranlarda kömür ve silika kayası kullanılmaktadır.

Hammaddeler ocağa, konveyörü besleyen bir hazne sistemi vasıtasıyla otomatik olarak beslenmektedir. Bilgisayar tabanlı besleme sistemi, yine bilgisayar tabanlı fırın kontrol sistemi ile uyum içinde çalışarak dairesel şaft içerisinde hangi kısımda besleme gereksinimi olduğunu belirlemektedir.

Sürekli ark ile ergitme kavramı, merkezi bir katot (grafit elektrot) ve buna karşılık gelen iletken bir anot ile işletilmektedir. Geleneksel bir ark ocağında, hurda şarjı yapıldığında elektrot hurdanın üzerine yükseltilmektedir. Sürekli ark ocağında ise, elektrot ocağın içerisinde daldırılmış olarak durmaktadır. Merkezi grafit elektrot, iç kısımdaki muhafaza ile hurda düşerken oluşacak hasarlardan korunmaktadır. Muhafazanın alt kısmında bir boşluk oluşturularak elektrot ve eriyik metal banyosu arasında uzun bir doğru akım arkı oluşması sağlanmaktadır.

Tamamen kapalı durumda olan eriyik, ocağın alt kısımlarında indirgeyici bir atmosfer oluşmasını sağlar. Böylece, şaft içerisinde oksitleyici bir ortam oluşturularak istenilen proses metalurjisine ulaşılmış olunur. Buna ilaveten, bu tasarım, oksitlenmiş demir ve silikon kayıplarını azaltmaktadır. Oluşan emisyonlar, bir torbalı filtre sistemi yardımıyla toplanmaktadır (EC, 2012).

Contiarc ocağı hem ergitme hem de izabe işlemlerini yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durum aşağıdaki avantajları sağlamaktadır (EC, 2012):

- Otomobil doğramaları ve kırpıntıları gibi düşük nitelikli hurdalar, sünger demir (DRI) ve sıcak briketlenmiş demir (HBI) ocağa beslenebilmektedir.

- Yüksek maliyetli olan ferrosilikon yerine kuvars (SiO) kullanılabilmektedir.
- Ergitme sırasında karbürizasyon için kok yerine kömür kullanılabilmektedir.
- Kok kullanılmadığında ergimiş metaldeki sülfür seviyesi düşük olmaktadır.
- Daha az cüruf oluşmaktadır.
- Ergitme sırasında, contiarc ocağındaki sıcaklık kontrolü daha esnek olabilmektedir. Akım/Voltaj oranı basit şekilde değiştirilerek ayarlamalar yapılabilmektedir.

EAO'da kömür (antrasit) yerine Bakanlıktan çevre izin ve lisans alınarak ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) kullanılması

Ömrünü tamamlamış lastikler, çimento tesislerinde kullanıldığı gibi çevre izni ve lisansı alındığı takdirde elektrik ark ocaklarında da kömür (antrasit) yerine kullanılarak geri kazanılabilmektedir. Elektrik ark ocağında optimize edilmiş bir geri kazanım prosesi, lastiklerin ocağa doğru yerden şarj edilmesini ve ark ocağından başka bir yerde sonradan yanmanın önlenebilmesi için oksijen lanslarının uygun şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu teknik, eski lastiklerin geri kazanımını ve kömür kullanımının azaltılmasını sağlamaktadır. Eski lastiklerin geri kazanımı, PCDD/F, ağır metaller, PAH, SO_2 ve VOC açısından ekstra emisyon oluşumuna ve ekstra enerji talebine neden olmamaktadır (EC, 2012).

Çelikhanelerde pota ocağı cüruflarının ayrı depolanarak hurdadan çelik üretiminde yeniden kullanılması

EAO'da, BOF ve EAO'larda oluşan sıvı pota cürufu %80 oranla geri kazanılabilmektedir. Katı pota cürufu ise %50 oranla geri kazanılabilmektedir. Kirecin %15'inin yerine 1:2 oranında pota cürufu ikame edilebilir. Kullanılmış manyezit, yumuşak yanmış dolomit ve olivin için uygun bir ikamedir. Cürufun bu şekilde kullanılması için işlenmesine gerek yoktur. Fakat pota cüruflarının BOF ve EAO cüruflarından ayrı depolanması gerekmektedir. Sıvı cürufun geri kazanılması sırasında, fırının ekstra açılması nedeniyle toplam enerji tüketiminde artış görülebilmektedir. Fakat EAO'da üretilen çeliğin kalitesinde herhangi bir zararlı etki gözlenmemiştir. Teknik B için katı malzemenin kullanımı, tercih edilen cüruf içeriğinin seçiminden dolayı avantajlıdır. Metalurjik ve çelik kalitesi ile ilgili bazı minör etkiler ortaya çıkmaktadır. Teknik B için operasyonel maliyetler kireç tasarrufundan dolayı dengelenir. Ekonomik faydalarından biri de bir kenara atılmış pota cürufunun azaltılmasıdır (EC, 2012).

BOF, EAO ve ikincil metalurji işlemlerinden çıkan refrakter malzemenin geri kazanılması

Demir-çelik üretim proseslerinde, fırınların astarlanmasında farklı türde refrakterler kullanılmaktadır. Bir fırının astarının zarar görme derecesine bağlı olarak, refrakterler parçalanır ve ıskartaya çıkarılır. Iskartaya çıkarılan refrakter kırıkları genellikle düzenli depolama alanlarında bertaraf edilir (Hanagiri, ve diğerleri, 2008). Refrakter kırıklarının yapısındaki safsızlıkların giderilmesi sayesinde bu atıklar refrakter yapımında kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır. Refrakter kırıklarının geri kazanılması işlemi birkaç adımda gerçekleşmektedir. Öncelikli olarak refrakter kırıkları MgO, Al_2O_3, karbon içerikli, karbon-serbest refrakter türlerine göre sınıflandırılır. Sınıflandırma sonrası, refrakter kırıkları metal, cüruf ya da diğer safsızlıklardan ayrıştırılması amacıyla öğütülür ve elenir. Sonrasında ise manyetik ayırma ile refrakterdeki çelik vb. safsızlıklar ayrıştırılır (Fang, ve diğerleri, 1999).

5.1.8.6 İndüksiyon Ocakları için MET

Ergitme için temiz hurda kullanımı

Temiz hurda kullanarak ergitme yapmak, metal olmayan bileşenlerin cürufa geçme ve/veya fırın astarına zarar verme riskini ortadan kaldırmaktadır. Bu bileşenler genellikle, CaO, FeO, Al_2O_3, MgO, MnO, SiO_2 gibi asidik ve bazik oksitlerdir. Bu kontaminasyonun önlenmesiyle cüruf oluşumu azaltılmakta, kimyasal korozyon etkisinin azalmasıyla birlikte ocak ve pota ömrü artırılmaktadır. Ocak beslemesinde hurda içerisinde kirletici malzemelerin ve oksitlerin bulunması, bu kirliliklerin, ergitme enerjisinin bir kısmını tüketmesine neden olacaktır. Bununla birlikte, cüruf alma sırasında, cürufu sıvı halde tutabilmek amacıyla daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulacaktır.

Ergitme sırasında temiz hurda kullanımı uygulanması ile cüruf miktarı ve bertaraf edilmesi gereken toz miktarı ve buna bağlı olarak bertaraf maliyetleri azalmakta, VOC emisyonları sınırlanmaktadır. Temiz hurda kullanılması ile cürufun azalmasından dolayı enerji tüketimi %10-15 oranında azalmakta, şarj edilen hurda başına elde edilen sıvı eriyik miktarı ise %2-3 oranında artmaktadır. Temiz hurdanın fiyatı, kirli hurdaya göre %20-30 daha fazladır.

Cüruf miktarının azaltılması çekirdeksiz indüksiyon ocakları için önemli bir iyi uygulama örneğidir. Proses, diğer fırın türlerine göre hurda temizliğinden daha yüksek oranda etkilenmektedir (EC, 2005).

Hammaddelerin şarjı ve işletilmesinin optimize edilmesi

İndüksiyon ocaklarında üretim ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla paslı ve tozlu olan hammaddelerden kaçınılması, optimum boyut ve girdi yoğunluğu/hurda oranının kullanılması gerekmektedir. Bazı hurda çeşitlerinin zararlı içeriklerinin azaltılması konusunda dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca radyoaktif hurda türlerinin de bulunması durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Diğer yardımcı maddeler parça veya toz haldedir ve kapalı alanda depolanması gerekmektedir. Sevkiyat sonrası elleçleme minimumda tutulmalı ve gerekli olduğunda toz toplama ekipmanları kullanılabilir. Toz haldeki malzemeler kapalı silolarda depolanabilir (kireç kuru tutulmalıdır) ve pnömatik olarak taşınabilir veya kapalı çuvallarda tutulup elleçlenebilir (EC, 2012).

Döküm sürelerinin düşürülmesi için daha güçlü fırın trafolarının kullanılması

Daha güçlü fırın trafolarının kurulumu ile döküm sürelerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bu uygulama, verimin artmasına, diğer taraftan da spesifik elektrot tüketiminde ve fırın astarının aşınmasında artışa sebebiyet vermektedir. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Hurda besleme hızı ile ocağa verilen enerji miktarı iyi dengelenmelidir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Yükseltgen cürufun döküm esnasında potaya geçme miktarının minimize edilmesi amacıyla tabandan döküm alma yönteminin kullanılması

Tabandan döküm alma yöntemi, yükseltgen cürufun döküm esnasında potaya geçme miktarını minimize etmektedir. Bu yöntem aynı zamanda ihtiyaç duyulan refrakter miktarını, döküm alma süresini ve enerji kayıplarını azaltarak maliyetlerin düşmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca baca gazlarının kontrolünü

kolaylaştırmaktadır. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamanın hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının indüksiyon ocağının dışında yapılması ile döküm sayısının artırılması

Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının indüksiyon ocağı içerisinde gerçekleştirilmesi gerekli değildir. Bu işlemler, potaya döküm alma esnasında, pota ocağında veya diğer ekipmanlarda daha verimli bir şekilde yapılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile enerji tasarrufu (net 10-30 kWh/ton) sağlandığı, sürekli döküme daha kontrollü sıcaklıklarda döküm gönderildiği, döküm süresinde (5-20 dakika arası), indüksiyon ocağı emisyonunda azalma gözlenmiştir. Pota kullanımı ve ikincil metalurji işlemlerin uygulanmasında karşılaşılan zorluk, emisyon kaynaklarının artmasından dolayı ilave toz vb. kirlilik giderici sistemlerin kurulması gerekliliğidir. Bu teknik, mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilir fakat uygulama için işletme şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Rekabet ortamına uyum sağlamak ve işletmelerde maliyeti azaltmak/verimi artırmak için duyulan ihtiyaç bu uygulamaların hayata geçirilmesindeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Şebeke frekanslı fırınlardan orta frekanslı fırınlara geçiş

Orta frekanslı (250 Hz) fırınlar, şebeke frekanslı (50 Hz) fırınlardan daha yüksek bir güç yoğunluğuna (1000 kW/ton'a kadar) sahiptir. Bu durum, daha küçük pota kullanımına imkan sağladığından toplam ısı kaybı azaltılmaktadır. Bununla birlikte orta frekanslı fırınların termal verimi, şebeke frekanslı fırınlara göre %10 daha fazladır (EC, 2005).

Atık gazın sahip olduğu atık ısı ile hurdaların ön ısıtmasının yapılması

Atık gazın sahip olduğu atık ısı ile hurdaların ön ısıtmasının yapılması ısıtma işlemi ya hurda yükleme sepetlerinde ya da ocağa yükleme için eklenmiş olan bir şaftta ya da özel tasarlanmış eritme prosesi süresince sürekli yüklemeye olanak sağlayan hurda nakil sistemlerinde uygulanır (EC, 2012).

Cüruf işlemeden kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması

İndüksiyon ocaklarında demir üretimi esnasında oluşan cürufun;

- Eğer cüruf potasında toplanıyorsa, deşarj sonrasında cürufun katılaşması için dışarıda bulunan cüruf havzalarına boşaltılması,
- Eğer cüruf doğrudan zemine dökülüyorsa, cüruf katılaştıktan sonra ekskavatörler (kazıcılar) ya da kürekli yükleyiciler kullanılarak kırılması ve kırılan cürufların depolama sahasında toplanması,
- Toplanan cürufların daha sonraki kullanım alanlarına uygun bir şekilde kırılması, elenmesi ya da metal geri kazanımı işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

Toz emisyonlarının en aza indirilmesi için;

- Kırma ve eleme işlemlerinin kapalı sistemlerde gerçekleştirilmesi,

- Oluşan emisyonların torbalı filtreler ile temizlenmesi,
- Konveyör bantların üzerinin kapatılması,
- Aktarma noktalarının ıslatılması,
- Kırılmış haldeki cürufun depolanması, transferi esnasında su ile ıslatma işlemi yapılması gerekmektedir.

5.1.8.7 Sürekli Döküm Tesisleri için MET

Eriyik haldeki metali oksijen kontaminasyonundan korumak ve duman oluşumunu istenilen seviyeye indirmek için döküm örtüsü kullanılması veya kurşunlu çeliklerin dökümü yapılırken ya da kurşun ilavesi yapılırken, tandiş ve potanın üstünün kapatılması

Eriyik haldeki metali oksijen kontaminasyonundan korumak ve duman oluşumunu istenilen seviyeye indirmek için döküm örtüsü kullanılmalıdır. Eğer duman oluşumu istenilen seviyelere düşürülemiyorsa, duman toplama ve azaltma teknikleri kullanılmalıdır. Kurşunlu çelikler için özel duman emiş ekipmanları ve temizleme prosedürü gereklidir. Paslanmaz çeliğin kesilme işleminde kullanılan oksi-gaz kesme ekipmanına demir tozu beslenir. Bu da, torbalı filtreler gibi duman toplama ve azaltma ekipmanlarının kullanımını gerektirecek kadar yoğun kahverengi duman oluşmasına neden olur.

Kurşunlu çeliklerin dökümü yapılırken ya da kurşun ilavesi yapılırken, tandiş ve potanın üstü kapatılabilir. Enjeksiyon tesisi tasarımının, kurşun dumanının açığa çıkma riskini minimize edecek şekilde yapılması gerekmektedir. Duman toplama işlemi kalıp alanının etrafında ve ikincil çelik işlemleri için yapılmalıdır. Oksijen besleme işlemi nozulları temizlemek için yapılırsa, duman diğer kurşun içerikli dumanlarla birlikte emilmeli ve tutulmalıdır. Kurşunlu çelik dökümünden kaynaklanan tüm tozlar özel torbalı filtreli sistemlerle tutulmalıdır.

Torbalı filtre uygulaması olan iki döküm makinesinden elde edilen toz emisyon değerleri 0,5 mg/Nm³ düzeyindedir. Çevresel anlamda elde edilen emisyon değerleri torbalı filtre kullanımı olan ve sadece paslanmaz çelik üretimi yapan EAO işletmesinde kurulu bir döküm tesisinden alınmıştır (EC, 2012).

Nihai ebada yakın şerit döküm tekniğinin (ince slab dökümü) kullanılması

Nihai ebada yakın şerit döküm, 15 mm'den az kalınlıklarda çelik şeritlerin sürekli dökümü anlamına gelmektedir. Döküm prosesi, slabın veya ince slabın sürekli dökümü gibi konvansiyonel dökme teknikleri için kullanılan ara tav fırını olmadan şeritlerin doğrudan sıcak haddelenmesi, soğutulması ve bobin şeklinde sarılması işlemleri ile birleşmiştir. Bu nedenle şerit dökümü, 2 mm'den az genişlikte ve farklı kalınlıkta yassı çelik şeritlerin üretimiyle ilgili teknikle ilgilidir.

Döküm prosesi farklı tekniklere ayrılabilir. Bunların hepsi, döküm tozu kullanmadan hareketli kalıplarla karakterize edilir. Dikey döküm tekniği olarak ikiz merdane şerit döküm ve doğrudan yatay şerit döküm (doğrudan şerit döküm olarak adlandırılır) endüstride en sık kullanılan tekniklerdir.

Haddelenecek şekle yakın dökme veya ince slab dökümü, üretilen slabı istenen nihai ürün kalınlığına en yakın değere getiren ilerlemiş bir sürekli döküm teknolojisi içermektedir. Tavlama teknolojisi ile döküm makinesi ve sıcak haddehane arasındaki bağlantıya göre slab kalınlığı 15-80 mm arasında

değişmektedir (konvansiyonel kalınlıklar 150-300 mm arsında değişmektedir). Mevcut olan ince slab döküm teknikleri şunları içermektedir:

Kompakt Şerit Üretimi (CSP): Yaklaşık 50 mm kalınlığında döküm için huni şeklinde kalıplar kullanılmaktadır.

Sürekli Döküm Makinesinde İnce Şerit Üretimi (ISP): Bu teknolojide slab sürekli döküm makinesinde hemen kalıbın çıkışında daha slabın çekirdeği sıvı iken yumuşak haddelemeyi sağlayan haddelere girmektedir. Bu haddelerin çıkışında slab kalınlığı yaklaşık 60 mm'ye düşmektedir. Daha sonra katı halde şekillendirmeyi sağlayan haddelerle kalınlığı 15 mm'yi bulan bobin üretilmektedir.

Sürekli İnce Slab Dökümü ve Haddelenmesi (CONROLL): 70-80 mm kalınlığında döküm için birbirine paralel düz kalıplar kullanılmaktadır

Doğrudan Şerit Üretimi (DSP): Kalıptan 90 mm olarak çıkan slab kalınlığı yumuşak redüksiyon ile 70 mm'ye düşürülmektedir.

Sürekli döküm makineleri, sıcak haddehanenin bitirme haddelerinin tüm ana konfigürasyonları ile bağlantılı olabilmektedir. Farklı tasarım özelliklerine sahip fırınlar (homojen slab sıcaklığının sağlanması amaçlanmaktadır) sürekli döküm ile sıcak haddehane arasında bağlantı oluşturmaktadır. İnce slab üretim tesisinin tipine bağlı olarak tünel fırınlar veya "cremona kutuları" kullanılmaktadır. Bu tesislerin ana amacı, farklı kesitlere sahip ve boyu 50 m ile 300 m arasında olabilen sürekli döküm slablarının sıcaklıklarını homojenize etmek, ayrıca bitirme haddelemesine beslemeyi düzenlemektir. Sürekli fırınların ateşlenmesi ve yakma sistemleri konvansiyonel fırınlar ile benzerlik göstermektedir.

Enerji tasarrufuna yönelik elde edilecek fayda esasen, sıcak haddelemedeki işlemin azaltılmasının yanında ön ısıtmaya ihtiyaç duyulmamasıdır. Konvansiyonel slab dökümüne kıyasla, sıcak haddeleme için ihtiyaç duyulan sıcaklığa ulaşmada ekstra enerjiye gereksinim olmamasıdır. Bu nedenle ince slab döküm konvansiyonel döküm tekniğine göre yaklaşık %50 oranında, daha az enerji tüketimine ve CO_2 emisyon değerine sahiptir. Bu değer ikiz merdane dökümde yaklaşık %88'dir.

Uygulanabilirlik üretilen çelik sınıfına (örneğin ağır levhalar bu süreçle üretilemez) ve her çelik tesisinin ürün portföyüne (ürün karması) bağlıdır. Şerit döküm makinesine sahip mevcut tesislerde teknoloji yükseltme işlemi yaklaşık 100 m'lik uzunluk gerektirir. Bu yöntem hem EAO hem de BOF prosesi ile çelik üretiminde kullanılabilir. Sonraki metalurjik işlemler, çeliğin kalitesine bağlıdır, döküm tekniğine bağlı değildir. Düşük karbonlu, yüksek mukavemetli alaşımsız ve mikro-alaşımlı yapısal çelik ve karbon içeriği %0,22'den büyük olan çeliklerin üretiminde ve yüksek kalite paslanmaz çeliklerin üretiminde uygulanabilmektedir. Diğer sistemler üzerinde bilinen olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır.

1-3 mm kalınlığındaki şeritlerin konvansiyonel slab döküm ile üretiminde fırın için şarj sıcaklığı 20°C ve deşarj sıcaklığı 1200°C olup, ihtiyaç duyulan spesifik enerji 1,67 GJ/tondur. İnce slab döküm hattında ise fırın için şarj sıcaklığı 960°C ve deşarj sıcaklığı 1150°C olup, ihtiyaç duyulan spesifik enerji 0,50 GJ/ton'dur.

İnce slab döküm tekniği, yassı haddeleme pazarının küçük tesislere açılmasını sağlamaktadır. Bu teknolojinin uygulanması döküm boyutunu küçültmekte, kaba haddeleme makinelerini ortadan kaldırmakta olup, sonuç olarak sermaye maliyeti düşmektedir. Kritik olmayan yüzeysel bölgedeki sıcak bant, ekonomik olarak 0,8-1,0 Mton/yıl kapasitede üretilebilmektedir. Şerit döküm tekniğinin kurulması için yatırım maliyeti, enerji tasarrufu ve gerekli alan olmak üzere üç ana ekonomik teşvik bulunmaktadır.

Ek olarak, geniş bir çelik kalitesi yelpazesi için faydalı bir tekniktir ve tek bir döküm haddeleme makinesi için üretim kapasitesi 1,5 milyon ton/yıl'dır.

Enerji tüketiminin ve proses süresinin azaltılması sebebiyle ekonomik avantajı vardır. Bu uygulamanın gerçekleştirilmesindeki diğer itici güçler:

Malzeme Kuvvetleri: Yatay şerit döküm, ürünün eğilmesi ve doğrulması nedeniyle oluşan etkiyi önler. Yüksek sıcaklıkta kritik sünme özelliğine sahip kalitedeki ürünlerin üretilmesinde avantajlıdır. Yüksek alaşımlı çelikler (özellikle yüksek Al içerikli çelikler), döküm tozu ile etkileşmeden üretilebilir.

Ekonomik ve Çevresel Güç: Temel ekonomik neden, ön ısıtma yapılmadan sıcak haddeleme yapılması nedeniyle, sıcak haddenin işleminin azaltılması. Bu durum aynı zamanda emisyonların da azalmasında etkilidir (EC, 2001a).

Nihai ebada yakın döküm tekniğinin (şekilli kütük döküm) kullanılması

Nihai ebada yakın dökümün daha yaygın olan diğer formu uzun çelik üretimi yapan tesislerde uygulanmaktadır. Enine kesiti dikdörtgen veya kare olan geleneksel kütükler yerine sürekli döküm ile H, I ve T şeklinde kütükler üretilmektedir. Bu teknik uygulandığında tavlama ve haddelemede enerji ihtiyacında azalma olmaktadır. Daha az malzemenin kesilmesi sebebiyle sürekli dökümde verim artmaktadır. Tav fırınında spesifik ısı transferi artmaktadır. Haddeleme süresinin azalması sonucu üretim artmaktadır (EC, 2001a).

Alevle kenar kesme yerine, sıcak haddenin özel ayarı yapılarak kenarı pahlı slab kullanılması

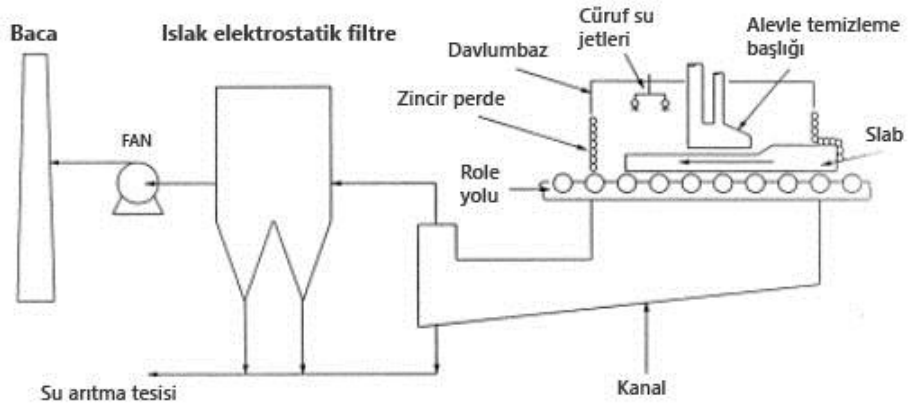
Alevle kenar kesme yerine, sıcak haddenin özel ayarı yapılarak kenarı pahlı slab kullanılmaktadır. Kenarda oluşan pah kenar kontrol sistemi ile kontrol edilmekte (Otomatik en kontrolü ve ölçü ayar presi) veya sıcak levhanın haddeleme esnasında makasla kırpılması ile bozuk kenar uzaklaştırılmaktadır. Alevle kesme sonucu üretilen emisyonlar ve atıklar oluşmamaktadır. Bu teknik, yeni tesisler ve büyük oranda yenilenecek tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Girdilerin şartlandırılması ve skarf (yüzey düzeltme) işlemleri

Skarf işleminin oksi-yakıt alevinden çıkan tozu ve dumanı çeken, sızdırmaz bir odada yapılması

Yüzey temizleme işlemi, oksi-yakıt alevinden çıkan tozu ve dumanı çeken, sızdırmaz bir odada yapılmaktadır (Şekil 5.12). Atık hava kuru veya ıslak elektrostatik filtreler ya da kumaş filtreler yardımıyla temizlenmektedir. Toplanan toz entegre tesis içinde geri dönüştürülmekte veya yetkili firmalar tarafından bertaraf edilmektedir. İşlem sırasında yüzeyde oluşan cürufların uzaklaştırılması için su jetleri kullanılmaktadır. Kullanılmış su ve cüruf, skarf prosesi altında bulunan kanalda toplanarak arıtma havuzuna yollanmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması ile kaçak hava emisyonları/toz azalmakta, enerji tüketiminde artış olmaktadır. Atık olarak, hava emisyonları ve toz yerine filtre tozu veya çamur oluşmaktadır. Bu atıklar da tesis içi geri kazanımla değerlendirilebilmektedir. Bu teknik daha çok yeni kurulan tesislerde uygulanabilmektedir (binaların yapısından dolayı mevcut tesislerde uygulanması zordur).



Kaynak: (EC, 2001a)

Şekil 5.12 Alevle yüzey temizleme akım şeması (ıslak elektrostatik filtre ile)

Alevle yüzey temizleme işlemi sonucu oluşan duman çok korozif olduğundan, toplama sisteminin bakımının yapılması performans açısından önemli bir faktördür. Elektrostatik filtre elektrotlarının ve aksamlarının düzenli kontrolleri, korozyon sebebiyle meydana gelen tahribatın takibi için önem arz etmektedir. Çıkan gazların çok ıslak olduğu durumlarda torba filtrelerde problem yaşanabilmektedir (EC, 2001a).

Manuel taşlama işleminin davlumbaz ile donatılmış özel kabinlerde yapılması

Taşlama işlemi sonrası oluşan toz toplanarak torba filtrelerde çöktürülmektedir. Manuel taşlama işlemi, davlumbaz ile donatılmış özel kabinlerde yapılmaktadır. Makine ile yapılan taşlama ise ses yalıtımlı, tam sızdırmaz ortamda yapılmaktadır. Toz toplama sistemi tek başına veya fabrika genelinde olabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketiminde artış olmaktadır. Atık, filtre tozu veya çamur oluşumu gerçekleşmektedir. Toplanan toz entegre tesislerde kendi içinde geri dönüştürülmekte veya yetkili firmalar tarafından bertaraf edilmektedir (EC, 2001a).

CAQC-Bilgisayar destekli kalite kontrol sisteminin uygulanması ile sürekli döküm makinesinin çıktı kalitesinin artırılması böylece haddelenmiş ürünün yüzey kusurlarının azaltılmasının sağlanması

Bilgisayar destekli kalite kontrol, sürekli döküm makinesinin çıktı kalitesini artırmak için yapılmaktadır. Bu sayede haddelenmiş ürünün yüzey kusurlarının azaltılması sağlanır. Sürekli dökümün çalışma koşulları, çeşitli çevresel ölçümlere dayalı olarak bir bilgisayar modeli ile gözlemlenmekte ve kontrol edilmektedir. İşletme parametrelerindeki her bir değişiklik, sürekli döküm prosesini optimize etmek amacıyla makineye yeni bir ön ayar yapılmasını gerektirmektedir. Sürekli dökümün koşullarında meydana gelen ve düzeltilemeyen değişimlerin sebep olduğu yüzey hataları sistem tarafından görüntülenmekte ve hatanın olası yeri iyi bir şekilde bilinmektedir. Daha sonra kusurlu bölgenin manuel alevli yüzey temizleme ile temizlenmesi mümkün olmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması ile elde edilen çevresel faydalar aşağıda sıralanmıştır.

- Sadece seçili yüzeyin temizlenmesi mümkün olduğundan hava emisyonları ve yüzey temizleme atıkları azalmaktadır.
- Alevle yüzey temizleme için gereken enerji tüketimi azalmaktadır.

- Yüzey kalitesinde iyileşme ve hurdada azalma görülmektedir.

Bu tekniğin ekonomik boyutu ile ilgili sınırlı derecede bilgiye ulaşılabilmiştir. Bilgisayar destekli kalite kontrol uygulanması durumunda ton başına 5$'lık tasarruf sağlandığı bilinmektedir. Sıcak haddelenmiş ürün kalitesi iyileşmekte, verim artmakta ve slab yüzey temizleme masrafları azalmaktadır (EC, 2001a).

Sürekli dökümün üretimini artırmak amacıyla çeşitli genişliklerde dökülen slabların sıcak haddeleme öncesi dilme araçları, dilmeli haddeleme veya şaloma (alevle kesme) ile manuel veya otomatik olarak bölünmesi (slab dilme işlemi)

Sürekli dökümde üretilen slabın ilerleme hızı genelde, ürün kalitesini etkilememesi amacıyla sabit tutulmaktadır. Bu durumda üretilen slabın genişliği üretim kapasitesi açısından en belirleyici parametre olduğundan, üreticiler genellikle daha geniş slab dökmeyi tercih etmektedir. Özellikle kapasite sıkıntısı yaşandığı durumlarda, üretimi artırmak amacıyla geniş boyutlarda döküm yapılabilmektedir. Bu şekilde üretilen geniş slablar sıcak haddeleme öncesi dilme araçları, veya şaloma (alevle kesme) ile manuel veya otomatik olarak bölünerek istenilen dar ebatlara haddelenebilmektedir. Bu teknik ile bir taraftan kapasite artırılırken, diğer taraftan enerji tüketimi ve malzeme kayıpları da artmaktadır. Ayrıca bu teknik, problemsiz bir merkezi segregasyon gerektirmekte olup, ton slab başına 1,6 Nm^3 gaz tüketimi, 2,7 Nm^3 oksijen tüketimi, slab boyutlarına ve kesim sayısına göre %0,5-3 arasında değişen verim kaybı olmaktadır (Taşkın, 2016; EC, 2001a).

Ayrıca ikili veya üçlü döküm (twin or triple casting) tekniği ile slab, kalıp içerisinde yer alan bölmeler sayesinde sürekli döküm makinesinde ikiye veya üçe bölünebilmektedir. Bu bölmeler farklı genişliklere ayarlanabilmekte böylelikle farklı genişliklerde veya aynı boyutlarda birden çok slab veya kütük aynı anda üretilebilmektedir (Taşkın, 2016; EC, 2001a).

5.1.8.8 Tavlama ve Isıl İşlem Fırınları için MET

Fırın otomasyonu/fırın kontrolünün yapılması

Malzeme kalitesi ve boyutlarına uygun olarak ısıtma prosesi bilgisayar yardımıyla optimize edilebilmektedir. Aynı zamanda, yanma havasının oranı gibi parametreler kontrol edilmektedir.

Fırın basınç kontrolü: Fırın basıncının atmosferik basıncın altında olduğu durumlarda kapı ve açıklıklardan içeri soğuk hava girişi olmaktadır. Fırın basıncının atmosferik basıncın üzerinde olduğu durumlarda ise sıcak gazlar aynı açıklıklardan dışarı çıkmaktadır. Enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından tutarlılığı sağlamak adına fırınlar, dış ortam havası ile karşılaştırıldığında genellikle hafif pozitif basınçta çalışılmaktadır. Pozitif basınçta çalışılmasının diğer bir nedeni ise güvenlik olup, özellikle ilk çalışmaya başlama esnasında patlamaya yol açabilecek oranda hava-yakıt karışımının oluşmasına neden olacak hava girişinin engellenmesi amaçlanmaktadır.

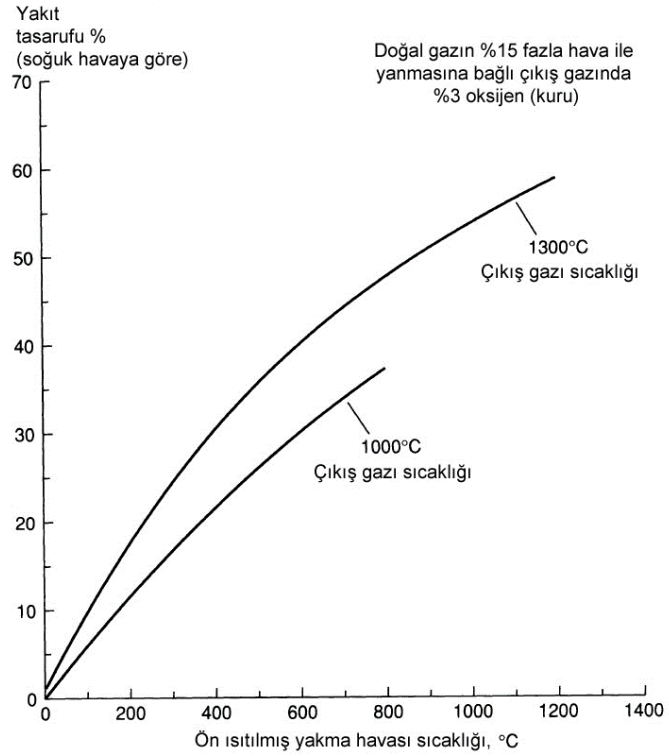
Hava/Yakıt oranı: Alev stabilitesi ve tam yanmayı sağlayabilmesi sebebiyle hava/yakıt oranının kontrol edilmesi yanma kalitesi açısından önemli olmaktadır. Hava yakıt oranının mümkün olduğunca stokiyometrik koşullara göre ayarlanması, yakıt verimini artırmakta ve baca gazı enerji kayıplarını azaltmaktadır. Fırın içerisindeki yanma ürünlerinin oksijen konsantrasyonunun ölçüm değerleri hava/yakıt oranının ince ayarının yapılmasında yardımcı olmaktadır. Bu kontrollerin yapılması ile enerji tüketiminde ve NO_X emisyonu seviyesinde %10 oranında düşüş olmaktadır (EC, 2001a).

Isıtma fırınlarında brulör alev boyu kontrolünün yapılması

İki kademeli (aç/kapa) ve oransal modülasyonlu (proporsiyonel) brulörler en yaygın kullanılan brulör tipleri arasındadır. Oransal modülasyonlu brulörlerde hava/yakıt oranı ayarlanabilmektedir. Fırın içerisinde homojen bir ısıtma elde edilebilmesi ve brulör yanışlarından en iyi verimin alınabilmesi için brulörlerin %60 ila %90 aralığında çalıştırılması gerekmektedir. Hem iki kademeli hem de oransal brulörlerde gaz miktarının değişmesi, basıncın değişmesine bağlı olarak alev boyunun değişmesine neden olmaktadır. Fırın içerisindeki ısı transferi çoğunlukla radyasyon ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısının homojen dağılmasında alevin boyu etkilidir. Alev boyu fırının orta noktasını etkileyemeyecek kadar kısa olduğunda fırın içerisinde yeterli sıcaklığa ulaşamayan bölgeler (gölgeleme) oluşabilmektedir. Öncelikle alev boyu kontrol edilerek gerekli manuel ayarların yapılmasıyla, ayrıca oransal brulörlerin verimsiz çalıştıkları yanma miktarlarında devreden çıkarılması gibi otomatik kontrol yöntemleriyle bu durum engellenebilmektedir (Taşkın, 2016).

Reküperatif veya rejeneratif yakma sistemli tavlama fırınları kullanılması ve proses optimizasyonunun yapılması

Fırınların termal verimini artırmak amacıyla, fırınlardan çıkan gaz yanma havasının ön ısıtması için kullanılabilmektedir. Termal verimlilik ön ısıtma yapılan gazın sıcaklığı arttıkça artar, atık gazın sıcaklığı ile azalır. Yanma havasını ön ısıtılması ile elde edilebilecek potansiyel enerji tasarrufu Şekil 5.13'te gösterilmektedir.

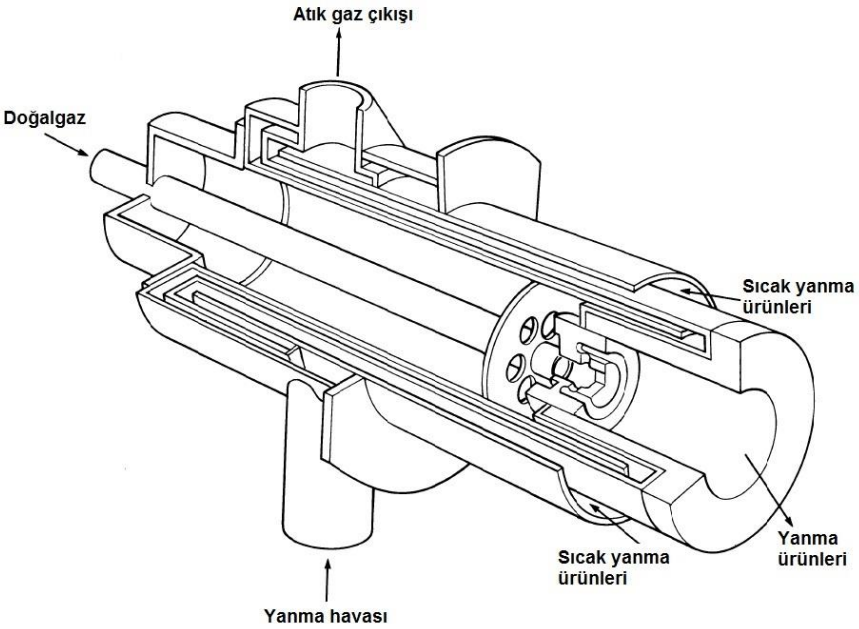


Kaynak: (EC, 2001a)

Şekil 5.13 Yanma havasını ön ısıtılması ile elde edilebilecek potansiyel enerji tasarrufu

Reküperatör, egzoz gazı çıkış bölgesinde bulunan ve ısının ısıtma yüzeyleri boyunca sürekli aktarılmasını sağlayan bir ısı değiştiricidir. Merkezi reküperatör sistemi olan sürekli fırınlarda, brulörsüz baca gazındaki ısının, ön ısıtma bölgesinde, konveksiyon ile soğuk malzemeyi ısıtması ile termal verimlilik elde edilmektedir. Farklı ekipman tasarımları mevcuttur. Kendinden ön ısıtmalı brulörlerde yanma havasının ön ısıtılması için entegre ısı değiştiriciler bulunmaktadır.

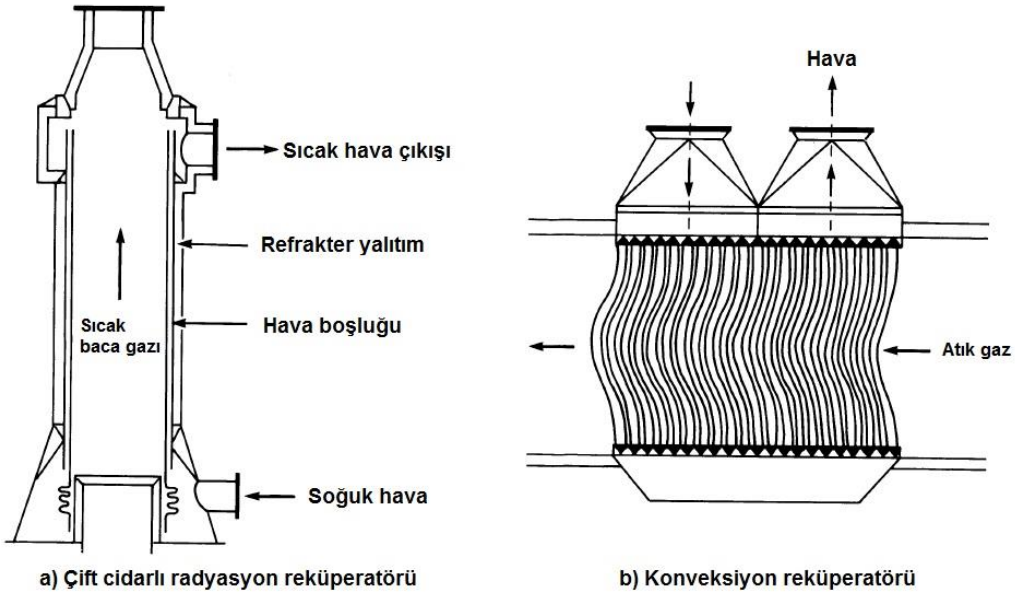
Atık gaz sıcaklığının ısı aktarımı ile yanma havası sıcaklığı, proses sıcaklığına bağlı olarak 550-620°C'ye ısıtılmaktadır. Yakıt/enerji tüketiminde azalma olmaktadır ve yaklaşık olarak %65 termal verimliliğe ulaşılabilmektedir. Daha yüksek ön ısıtma sıcaklıklarına ulaşmak teknik olarak mümkün olmasına rağmen, bu sıcaklıklara ulaşabilmek için ısıya dayanıklı malzemeler kullanılması gerektiğinden maliyet ciddi oranda artmaktadır.



Kaynak: (EC, 2001a)

Şekil 5.14 Reküperatif brulörün şematik görünümü

Yakma havasının sıcaklığı arttıkça, NO_x emisyon seviyesi artmaktadır. Düşük enerji tüketimi SO_2 ve CO_2 emisyonları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmaktadır. Mevcut tesislerde büyük değişikliklerin yapılması durumunda ve yeni kurulan tesislerde uygulanabilmektedir.



Kaynak: (EC, 2001a)

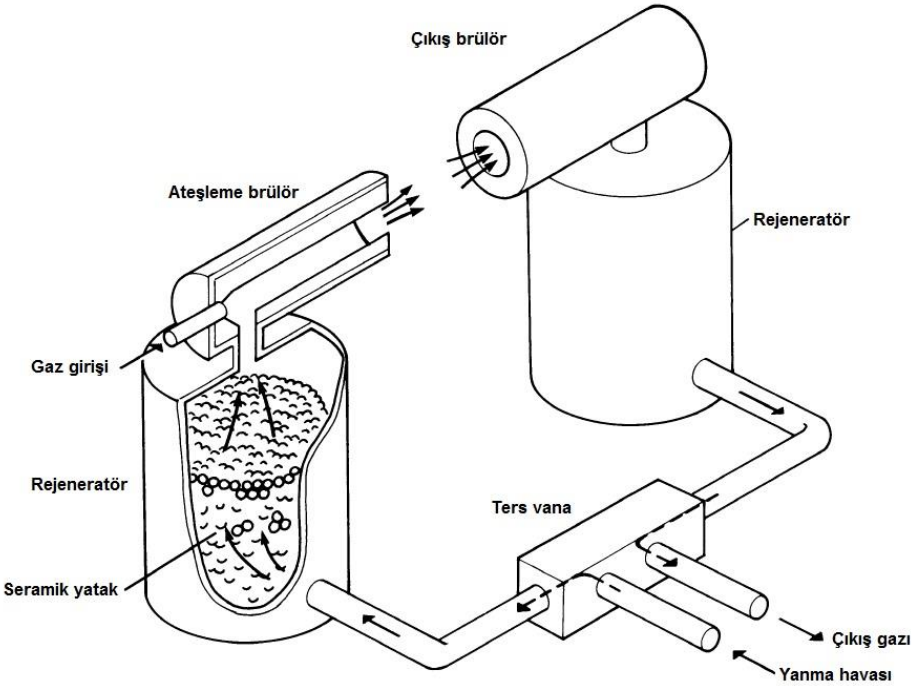
Şekil 5.15 Tipik atık gaz reküperatörü

Rejeneratif brulörlerde, tuğla parçaları ya da seramik toplar içeren iki set ısı değiştiricisi kullanılmaktadır. Şekil 5.16'da, bu şekildeki bir rejeneratif yakıcı sistemini göstermektedir. Brulörlerden biri yanma modunda iken diğer brulörün rejenaratörü atık gazla temas halinde ısıtılmaktadır. Bu gibi sistemlerde, havanın ön ısıtma sıcaklığı 1100-1300°C'ye ulaşabilmektedir, fakat gerçek sıcaklıklar atık gaz giriş sıcaklığına bağlı olmaktadır. Hava ön ısıtma sıcaklıklarına göre NO_x emisyonu 3000 mg/m^3 değerine kadar ulaşabilmektedir.

Rejeneratif brulörler genellikle konvansiyonel brulörlerden daha büyüktür. Bu nedenle, yeri sınırlı olan tesislere rejeneratif brulör kurulamayabilir. Bu teknoloji bugüne kadar tavan brulörlerinde kullanılamamıştır.

Yeni yapılacak yatırımlarda fırın için ayrılan yerin sınırlı olması durumunda rejeneratif brulörler düşünülebilir. Aynı şekilde mevcut fırının boyunu uzatmadan rejeneratif brulörler ile üretim kapasitesinin artırılması mümkündür.

Enerji tüketimi ve baca gazının toplam hacmi azalmaktadır. Enerji tüketimindeki azalma SO_2 ve CO_2 üzerinde pozitif bir etki yaratmaktadır. Yüksek NO_x emisyonu oluşabilmekte (tipik değer 350 mg/Nm^3'tür), ancak enerji tüketiminin nispeten daha düşük olması ve atık gaz akışındaki düşüş ile birlikte, spesifik NO_x emisyonu (g/ton çelik) diğer sistemlerin ulaştığı NO_x emisyonları ile karşılaştırılabilir seviyeye ulaşmaktadır.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.16 Rejeneratif yakma sisteminin şematik gösterimi

Rejeneratif sistemlerin bir dezavantajı toza olan hassasiyetleridir. Isıtma prosesinin önemli miktarda toz oluşturması durumunda, seramik dolguların geçirgenliği çok hızlı düşmekte dolayısıyla dolguların değiştirilmesi gerekmektedir.

Bu sistem, genellikle ön ısıtma alanı olmayan kesikli prosesler için ilgi çekici olmaktadır. %80 termal verimlilik elde edilebilmektedir. Yüksek yatırım maliyetleri, fırın boyunun kısa tutulması ile ve yüksek yakıt verimliliği ile dengelenebilmektedir (EC, 2001a).

Yanma havası yerine endüstriyel kalitede oksijen beslemesinin yapıldığı oksi-yakıt teknolojisinin kullanılması

Normal yanma havası yerine endüstriyel kalitede oksijen kullanılabilmektedir. Bu durumda enerji tüketimi ve CO_2 emisyonu ile birlikte CO ve toplam NO_x emisyonları da azalma göstermektedir. Bu teknik, mevcut tesislerde büyük değişikliklerin yapılması durumunda ve yeni kurulan tesislerde uygulanabilmektedir.

Yatırım maliyeti düşüktür. Ancak, üretimde planlanan artışın gerçekleşmemesi durumunda yüksek işletme maliyeti oluşmaktadır. Verimlilik artışı ve yakıt tasarrufu gerçekleşmekte ve toplam NO_x emisyonu azalmaktadır. Saf oksijen kullanılması nedeniyle potansiyel güvenlik tehlikesi bulunmaktadır (EC, 2001a).

Baca gazının, yanma havası içine resirkülasyonu ile beslenen oksijen miktarının azaltılması ve böylelikle alev sıcaklığının düşürülerek NOx oluşumunun azaltılması

Düşük NO_x emisyonlu brulör, NO_x emisyon seviyesinin azaltılması için çeşitli tasarım özelliklerini birleştirildiği yeni brulör tipleri için kullanılan bir terimdir. Alev tepe sıcaklığının düşürülmesi, yüksek sıcaklık bölgesindeki bekleme süresinin azaltılması ve yanma bölgesindeki oksijenin indirgenmesi bu brulörlerin ana prensiplerini oluşturmaktadır.

Düşük NO_x emisyonlu brulör sisteminde baca gazının tesis içi gaz sirkülasyonu NO_x emisyonunu azaltmakta fakat enerji tüketimini artırabilmektedir. Düşük NO_x emisyonlu brulörlerdeki NO_x emisyon seviyesi, hava ön ısıtma sıcaklığına daha az bağımlıdır. Bazı endüstriyel uygulamalarda düşük NO_x emisyonlu brulörler, NO_x emisyonu açısından beklenen en iyi performansı göstermemektedir. Bu durum, NO_x emisyonlarının fırın türü, yakıt türü, ısıtma sıcaklığı ile işletme ve bakım gibi birçok parametreden etkilendiğini göstermektedir. Bu sebeple çalışma koşullarının iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu teknik, mevcut tesislerde büyük değişikliklerin yapılması durumunda ve yeni kurulan tesislerde uygulanabilmektedir.

Konvansiyonel brulörler ile karşılaştırıldığında, NO_x emisyon seviyesinde yaklaşık %30 azalma elde edilebilmektedir. Doğalgaz kullanılması durumunda spesifik olarak 300 mg NO_x/Nm^3 emisyon oluşumu gerçekleşmektedir. Kok fırın gazı ve ağır yakıt (6 numara fuel-oil) kullanıldığında ise emisyon seviyesi 330 mg NO_x/m^3 olarak raporlanmıştır (EC, 2001a).

Atık gaz içerisindeki ısının atık ısı kazanlarında buhar üretmek amacıyla kullanılması

Atık ısı kazanı, fırın çıkışı ile baca arasına, reküperatör verimliliğini azaltmayacak şekilde; ya da reküperatör ile baca arasına kurulabilmektedir. Atık ısı kazanında atık gaz içerisindeki ısı kullanılarak buhar üretilmektedir. Atık ısı kazanı sonrası baca gazı sıcaklığı 250°C'nin altına düşmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen buhar üretimi ile atık enerji, enerji santrallerinde ve ısıtma işlemlerinde kullanılmış olmaktadır. Üretilen buhar, haddehane içinde ısıtma sistemlerinde ya da haddehane dışında güç santrallerinde elektrik enerjisi üretiminde ve şehirlerin uzun mesafeli ısıtma sistemlerinde kullanılabilmektedir. Verimli enerji kullanımı sağlanmakta ve buhar üretiminde yakıt kullanılmadığından kaynaklar korunmakta ve emisyon oluşumu azalmaktadır. Yeni tesislerde ve yeterli alanın olması durumunda mevcut tesislerde uygulanabilmektedir.

Atık ısı kazanının kurulması, buhar için özel gereklilik olması durumunda anlamlı olmaktadır. Atık ısı kazanından ancak, etkili bir atık ısı geri kazanımı yapan reküperatörler ya da uygun fırın tasarımına sahip bir rejeneratif sistem ile birleştirilmesi durumunda marjinal etki beklenebilmektedir. Uygun koşullar altında %15 oranında NOx azaltımı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır (EC, 2001a).

Skid izlerini azaltmak için optimize skid tasarımı (bölgesel indüksiyon ısıtması) uygulanması

SMC – Skid İzi Kompanzasyon Cihazı

İtmeli tip slab fırınlarında ısıtılan slabların, su soğutmalı destek borularına dayanması sonucu slabın alt taraflarında meydana gelen bölgesel soğumaların, haddelenmiş malzemede sebep olacağı kalınlık değişimlerinin tav fırınının eşitleme bölgesinde, kalış süresi boyunca eşitlenmesi gerekmektedir.

Tav sıcaklığının slab boyunca eşitlenmesi için gerekli zaman bölgesel indüksiyon ısıtması ile azaltılabilir. Zaman içinde soğutma sistemi ve taban refrakteri nedeniyle meydana gelen kayıp, fırının tam ya da kısmi üretim kapasitesinde çalışıp çalışmadığına bakılmaksızın neredeyse sabit kalmaktadır.

Slabın fırında bekleme süresinin azalması sebebiyle enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ancak indüksiyon ısıtmada da yüksek enerji tüketimi olmaktadır (EC, 2001a).

Fırın kızak ve semer sistemi

Gölgeleme ve temas nedeniyle slab üzerinde oluşan sıcaklık farklılıklarının sebep olduğu skid (kızak) izlerinin oluşumunu azaltmak için yarı kızgın kızaklar/semerler kullanılmaktadır. Su soğutmalı fırın rayları için kullanılan bu bağlantı parçaları ısı kaybını azaltan özel malzemelerden (yüksek sıcaklığa dayanıklı metal alaşımları ya da seramik) yapılmaktadır. Bu teknik uygulandığında, gölgelenen bölgelerde slab/kütük üzerinde oluşan 30-40°C'lik sıcaklık farklarının 10°C'ye kadar düşmesi mümkün olmaktadır. Bu teknikle; fırında bekleme süresinin azalması, ısıtma kapasitesinin ve ürün kalitesinin artması ve enerji tüketiminin azalması mümkündür (Taşkın, 2016; EC, 2001a).

Skid kaydırma

Modern yürüyen kirişli fırınlarda su soğutma boruları fırın boyunca düz gitmemektedir. Skidin son bölümünde, fırının çıkışına yakın bölgede kaydırma yapılarak skid izleri azaltılabilmektedir.

Kalite iyileşmekte ve hurda oluşumu azalmaktadır. Skid kaydırma ve fırın kızak ve semer sistemi sadece yeni kurulan tesislerde uygulanabilir olduğundan tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. SMC ise yeni kurulan ve mevcut tesislerde kurulabilmektedir.

Skid kaydırma, fırın kızak ve semer sistemi ve SMC yöntemlerinin kullanılması durumunda, enerji tüketiminde ve NO_x emisyonunda %1'lik bir azalmaya sebep olduğu raporlanmıştır (EC, 2001a).

Taşıma sistemlerinde enerji kaybının azaltılması (izolasyon)

Tav fırınlarında su ile soğutma, bazı bileşenleri (örneğin; kapılar, malzemeyi fırın içinde hareket ettiren sistemler, destek sistemleri ve lentolar) ve fiziksel mukavemetlerini korumak amacıyla kullanılmaktadır. Su ile soğutulan sistemler önemli derece enerji kaybına neden olmaktadır. Tipik işletme koşullarında özellikle yürüyen kirişli tav fırınlarının malzeme taşıma sistemlerinde %6-12 arası yakıt kaybı olmaktadır. Özellikle fırınının bakım zamanı yaklaştığı günlerde, soğutulmuş bileşenlerin izolasyonu düşmeye başladığında bu kayıp %20-25 civarına ulaşmaktadır.

Malzeme taşıma sistemlerinden kaynaklı kayıplar, tasarım sürecinde uygun izolasyon, su soğutmalı ayak ve kirişlerde yapılacak optimizasyon ve azaltım çalışmaları ile azaltılabilmektedir. Mevcut tesislerde refrakter bakımı sırasında optimizasyon yapılabilmektedir. Bununla birlikte itici sistemlerin enerji tüketiminde azalma olmaktadır. Skid izleri azalmakta ve kalite artmaktadır. Yeni veya mevcut tesislerde gerekli önlemler alındığında su soğutma kayıplarında 26,7 GJ/saat azalma olduğu raporlanmıştır (44,5 GJ/saat yakıt tasarrufuna eşdeğerdir). Su kullanımında ise %46 azalma olmaktadır (EC, 2001a).

Buharlı tav fırını soğutma sistemlerinin kullanılması

Skid soğutma sisteminde enerji kayıpları buhar üretmek için kullanılabilmektedir. Tav fırını içerisine %95 su, %5 doymuş buhar karışımı sirkülasyonunun sağlandığı bir skid soğutma sistemi kurulabilir. Skid

borularının soğutulması sırasında oluşan buhar sistemden alınır ve kullanılmak üzere diğer tüketicilere iletilir.

Bu teknik ile enerjinin verimli kullanılması sağlanır. Buharlı tav fırını skid soğutma sistemi iyi bir skid izolasyonu ile birleştirildiğinde marjinal etki elde edilebilmektedir. Uygun koşullar altında %7 oranında NO_x azaltımı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Buhar üretiminde yakıt kullanılmadığı için kaynaklar korunur, emisyon azaltımı gerçekleşir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir. Sadece buhar için özel gerekliliğin olduğu durumlarda kurulması anlamlı olmaktadır. Diğer sistemler üzerinde bilinen olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır (EC, 2001a).

Fırından çıkan atık gazın, slab/kütük üzerinden ve altından üflenmesi ile şarj edilecek malzemenin ön ısıtılması

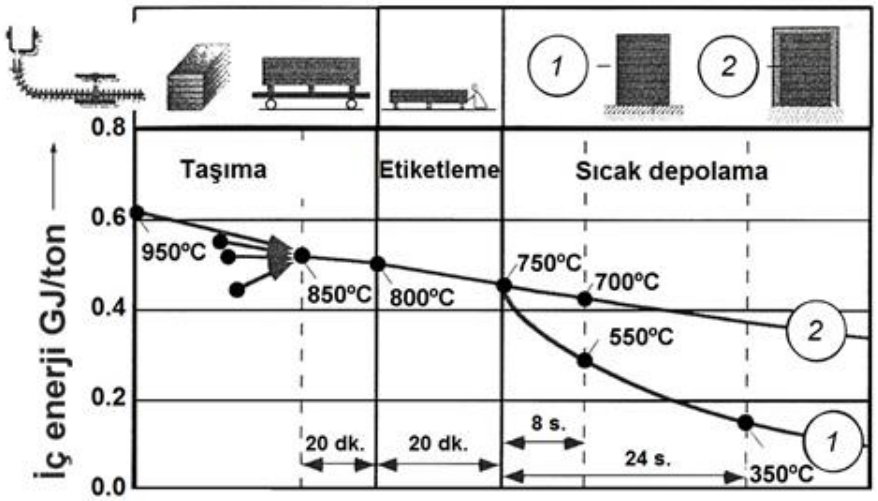
Fırından çıkan atık gaz içerisindeki ısı, atık gazın slabların üzerinden ve altından üflenmesi ile malzemenin ön ısıtmasında kullanılabilmektedir. Hatta rejeneratif brulörler ve atık ısı buhar kazanından sonra bile atık gaz, slabı 400°C'ye kadar ısıtmaya yetecek enerjiye sahip olabilmektedir. Böylelikle, Isıtma fırınlarındaki enerji tüketimi (yaklaşık %20) azalmaktadır. Bu teknik, hem yeni kurulan hem de mevcut olan sürekli tav fırınlarında uygulanabilmektedir. Diğer sistemler üzerinde bilinen olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır.

Soğuk Haddeleme ve Sürekli Kaplama proseslerinde ise sürekli tavlama hattına giren malzemelerin doğrudan atık gaz vasıtasıyla ısıtılması ya da atık gazın kullanıldığı ısı değiştiriciler vasıtasıyla ön ısıtmaya tabi tutulması mümkündür. Sadece kontrollü durumlarda (gaz ve şeridin sıcaklığı, gazın oksitlenme potansiyeli, gazın nem ve partikül madde içeriğine bağlı olarak) atık gazların doğrudan kullanılması uygundur. Bu tekniğin kullanılması ile elde edilen en faydalardan biri enerji tüketiminin azaltılmasıdır (EC, 2001a).

Yarı işlenmiş ürünlerin ısı izolasyonlu kutularda bekletilmesi ve fırın çıkışı ile hadde tezgahları arasına izolasyonlu termal kapakların monte edilmesi

Sıcak kutular veya izolasyonlu odalar, çeliğin içinde ısıyı tutmak amacıyla kullanılmakta ve sıcak kütük stok sahası ile fırın arasında bağlantıyı sağlamaktadır. Yarı işlenmiş ürünler doğrudan şarj edilemediği durumlarda açık stok sahaları yerine ısı izolasyonlu kutularda bekletilir. Böylece slabların ısı kaybı önlenmekte ve yüksek sıcaklıklarda fırına şarj edilir. İzolasyonlu kutularda bekletilen slabların sıcaklığı açık sahada bekletilenlere göre yaklaşık 220°C daha yüksek olmaktadır. Slablar için izolasyonlu odalarda ortalama bekletme süresi 8 saattir. İzolasyonlu kutuların kullanılması durumunda çeliğin sıcaklığındaki ve iç enerjisindeki değişim Şekil 5.17'de gösterilmektedir.

Fırının işletme sıcaklığının ve fırın ile haddehane arasında ısı kaybının azaltılması için uygulanabilecek diğer bir yöntem, fırın deşarjı ile hadde tezgâhları arasına izolasyonlu kapaklar monte edilmesidir. Sürekli döküm ile tav fırını arasındaki ısı kaybını önlemek için de benzer önlemler alınabilmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.17 Şarj sıcaklığını artırmak için modifiye stoklama

Bu tekniğin uygulanması ile tavlamada enerji tüketimi azalmaktadır. Slabların sürekli döküm makinesi ile tav fırını arasındaki termal kapaklar ile 0,33 GJ/ton enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu teknik, hem yeni kurulan hem de mevcut olan sürekli tav fırınlarında uygulanabilmektedir fakat tekniğin uygulanabilmesi için haddehane ile sürekli döküm tesisleri birbirine yakın yerleştirilmiş olmalıdır. Fırın ve haddehane kapasitesi artmaktadır. CAQC sistemi ile bağlantılı olarak sıcak şarj oranı artmaktadır (EC, 2001a).

Ilık şarj / sıcak şarj / doğrudan şarj tekniklerinin uygulanması

Malzemelerin stoklandığı ve soğuduğu konvansiyonel proseslerin aksine sürekli dökümden çıkan slablar, blumlar veya kütükler kalan ısıları ile doğrudan fırın içerisine şarj edilmektedir. Şarj sıcaklığına bağlı olarak, ısıtmada kullanılan yakıtın; ılık şarjda dörtte biri, sıcak şarjda ise yarısı tasarruf edilebilmekte, ayrıca bu oranda ısıtma kapasitesi artırılabilmektedir. Ilık şarj tekniğinde tav fırınına beslenen çelik malzemenin sıcaklığı 400°C'nin altında, sıcak şarj tekniğinde 400°C ila 800°C arasında; doğrudan haddeleme tekniğinde ise 800°C'nin üzerindedir. Bu teknik sadece yüzey kalitesinin iyi olması durumunda uygulanabilmektedir. Ayrıca, çelikhane ile sıcak haddehane üretimlerinin senkronize edilmiş olması gerekmektedir. İki departmanın üretim programlarının müşteri siparişlerine göre ayarlanmasını koordine etmek için sürekli dökümde üretim sırasında genişlik değişim teknolojisi ve kontrol bilgisayarları kullanılmaktadır (Taşkın, 2016; EC, 2001a).

Optimize edilmiş üretim planlama ve kontrol sisteminin çelikhane ile haddehanenin üretim programlarına senkronizasyonu ile 800°C'de %60'tan fazla oranda sıcak şarj yapılması mümkündür. Bazen haddehane öncesinde tav dengeleme fırınları gerekebilir. Bu teknik uygulandığında enerji tüketimi ve SO_2, CO ve CO_2 emisyonları azalmaktadır.

Bu teknik, hem yeni kurulan hem de mevcut olan sürekli tav fırınlarında uygulanabilmektedir fakat işletme lojistiği ve tesis yerleşimi sebebiyle bazı mevcut tesislerde uygulanması sınırlıdır. Bazı durumlarda, brulörsüz ön ısıtma bölgesi bulunan fırınlarda uygulanması mümkün olmamaktadır. Hadde tipi ve konfigürasyonu, sürekli dökümün fırına ve haddehaneye yakınlığı ile çelik spesifikasyonları

tekniğin uygulanmasındaki önemli teknik parametreleri oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra, sıcak şarj ya da doğrudan haddeleme uygulanması; fırının üretim kapasitesinin daha fazla olmasına imkan verecek ekipman kurulumuna, sıcaklık normalizasyonuna, serbest haddeleme (free rolling) programına, haddehane ve çelikhane üretim programının senkronize edilebilir olmasına, malzeme yüzey kalitesinin çok yüksek olmasına, vb. parametrelere bağlıdır.

Bu teknik uygulandığında, malzemenin fırında bekleme süresi azalmakta, böylece yüksek üretim hızlarına ulaşılmaktadır. Şarj sıcaklığının 400°C ve 700°C olması durumunda üretim potansiyeli, sırasıyla, %10 ve %25 artış göstermektedir. Azalan tufal oluşumu ve dekarbürizasyon sebebiyle verimlilik ve ürün kalitesi artar, ilerleyen proseslerde atıklar azalır. Baca gazının sıcaklığı yükselebilmektedir (EC, 2001a).

Fırın iç basıncının kontrolü için uygun kapak (çoklu kapak ve klepe sistemleri) tasarımlarının kullanılması

Fırına şarj sırasında ve fırından çıkarma sırasında açılan kapaklar fırın içine dışarıdan soğuk hava girmesine neden olarak fırını soğutur ve ısı kayıplarını artırır. Bu nedenle fırın iç basıncının kontrolü önemlidir. İç basınç, genellikle 1-3 cm su sütunu yüksekliğinde tutulursa dışarıdan fırın içerisine soğuk hava girmesi engellenmiş olur. Fırın iç basıncı bacaya yerleştirilen klepe (valf, damper) sistemleriyle dengelenir. Ayrıca, fırına şarj ve fırından çıkarma sırasında ne kadar az alan açılırsa o kadar iyidir. Dolayısıyla, çoklu kapaklar sayesinde ihtiyaç miktarı kadar kapağın açılması sağlanır (Taşkın, 2016).

Tav fırınlarına şarj edilen malzemenin boyutuna göre açılabilen birden fazla kapak uygulaması ile ısı kaybının azaltılması sağlanabilmektedir. İki kapaklı sistemde, fırın kapıları eşit boyda iki kapaktan oluşur ve kapak uzunluğunun altındaki boyutlarda olan ürünler için kapaklardan sadece bir tanesi açılır. Üç kapaklı sistemde ise iki kapak arasında kısa bir kapak yer almaktadır. Bu kapak sayesinde fırın içerisinde ilerlerken yatay eksende yer değiştiren ürünleri ikinci büyük kapak açılmadan fırın dışına çıkarmak mümkün olmaktadır (Taşkın, 2016).

Kapakların açılmasıyla birlikte, fırın içerisindeki sıcak havanın bacadan dışarı atılmasını engellemek amacıyla açılıp kapanabilen bir valf (baca klapesi) kullanılmaktadır. Baca klapesi aynı zamanda fırın içerisindeki basıncı ayarlayabilmek için de kullanılabilmektedir (Taşkın, 2016).

Seçici katalitik indirgeme yöntemiyle, yüzey temizleme prosesinde NOx emisyonunun azaltılması

Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) yöntemi atık gaz emisyonları, ilgili MET'lerin altında açıklanmıştır. Bu bölümde, bu tekniğin tavlama ve ısıl işlem fırınlarında uygulanması ile ortaya çıkabilecek etkilerden bahsedilmiştir.

SCR'nin teknik fizibilitesine ilişkin, tav fırınlarında uygulanabilirliğini sınırlandıracak bazı şüpheler bulunmaktadır (EC, 2001a):

- Üretim hızı ve sıcaklık profilinin kararsız olması sebebiyle SCR'nin tav/ısıl işlem fırınlarında uygulanmasında bazı problemler ile karşılaşılması olasıdır. Aşırı amonyak çıkışını ya da bacada fazladan NO_x bulunmasını önlemek için amonyak enjeksiyon hızının kontrol altına alınması gerekmektedir.

- SCR teknolojisinde sıcaklık ve baca gazı debisinin belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bu durum bazı tesisler için mümkün olmamaktadır.
- SCR için uygun olan baca gazı sıcaklığı her zaman sınırlar içerisinde olmayabilir. Sıcaklığın çok yüksek olması durumunda seyreltilmiş hava kullanılabilmektedir. Bu durum baca emişinin düşmesine neden olabilmektedir.
- Rejeneratif brulörlerde SCR'nin rejeneratör yatağının orta kısmına yerleştirilmemesi durumunda baca gazında ısı geri kazanım verimi etkilenmektedir.
- Birçok tesis enerji verimliliği sağlamak için baca gazında atık ısı geri kazanımı yapmaktadır. Atık gazın ortalama sıcaklığı 150-210°C olup, SCR'nin düzgün çalışabilmesi için ısıtılması gerekmektedir. Bu sebeple ilave enerji ihtiyacı bulunmaktadır.
- SCR tekniğinin tav fırınlarında kullanımı ile ilgili sınırlı tecrübe bulunması sebebiyle tekniğin, tüm sıcaklık ve hava oranlarında çalışıp çalışmadığı doğrulanamamıştır.
- Yüksek toz içerikli atık gazlarda toz tutma ünitesine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Entegre demir-çelik tesislerinde üretilen tesis gazı (YFG, BOF konverter gazı ya da KFG) yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu gazların çok az da olsa içerdikleri çinko veya diğer metaller katalizör yüzeyini kontamine ederek verimliliğini ve ömrünü azaltmaktadır.
- SCR reaktöründen sızan amonyak ile soğuk baca gazındaki SO_2 ve SO_3'ün reaksiyona girmesi sonucu asidik amonyum sülfat $(NH_4)_2SO_4$ ya da bisülfat $(NH_4)HSO_4$ parçacıkları oluşmaktadır. Bu parçacıkların birikmesi ekipmanlarda kirlenme, aşınma ve korozyona sebep olmaktadır. Amonyum sülfat oluşumu, kullanılan NH_3'ün stokiyometrik değerin biraz altında tutulması ile minimize edilebilmektedir (0,9-1 mol/mol NO_x).

Seçici katalitik olmayan indirgeme yöntemiyle, yüzey temizleme prosesinde NOx emisyonunun azaltılması

Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme yöntemi atık gaz emisyonları ile ilgili MET'lerin altında açıklanmıştır. Bu bölümde, bu tekniğin tavlama ve ısıl işlem fırınlarında uygulanması ile ortaya çıkabilecek etkilerden bahsedilmiştir.

SNCR'nin teknik fizibilitesine ilişkin, tav fırınlarında uygulanabilirliğini sınırlandıracak bazı şüpheler bulunmaktadır. SNCR'nin tav fırınlarında uygulanması ile ilgili problemler işletme koşullarında meydana gelen büyük değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca SCR uygulamasına benzer olarak, baca gazı sıcaklığının belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir.

- SNCR'de çalışılan sıcaklık aralığı yaklaşık 850-1100°C'dir. Fırın sıcaklığı 1000°C'yi aşan rejeneratif sistemlerde, SNCR yöntemi için uygun olan sıcaklık aralığı, metodun uygulanabilirliğini zorlaştıran rejenerasyon yatağında elde edilebilmektedir. Üretim hızı ve ihtiyaç olan termal gereksinimler değiştiğinde gerekli sıcaklık aralığının oluştuğu nokta değişeceğinden komplike bir kontrol sistemi gerektirmektedir.
- SNCR tekniğinde fazla amonyağın amonyum sülfat oluşturması, bu tekniğin uygulanmasında potansiyel bir engeldir. Doğalgaz gibi temiz yakıtların kullanılması ile yapışkan ve korozif bileşiklerin oluşması engellenebilmektedir.

İsveç'teki bir tesise ilişkin ekonomik verilere göre azaltılan NO_x emisyonunun bir kilogramı başına 6,63 Avro harcanmakta ve haddelenen çeliğin tonu başına 0,33 Avro maliyet getirmektedir.

SNCR üniteleri yerel düzenlemelerin gereği olarak kullanılmaktadır. NOx için toplam yıllık emisyon sınırı bulunmaktadır. Üretim artışına gidildiğinde emisyon sınırını sağlamak amacıyla SNCR kurulumu en iyi çözüm olarak görünmektedir (EC, 2001a).

5.1.8.9 Sıcak Haddehaneler

Atık yağın, hammaddelerin ve sarf malzemelerinin depolanması ve taşınması sırasında kontamine olmuş drenaj sularından ayrılarak yüksek fırın içerisine beslenmesi veya harici geri dönüşüm gibi yollarla yeniden kullanılması

Depolama tankları ve boru hatlarından olabilecek yağ dökülmeleri drenaj kuyularında toplanmakta olup; yağ, gres ve su karışımı atık yağ tanklarına aktarılmaktadır. Dolu tankların boşaltılması yetkili firmalar tarafından yapılabilmekte veya entegre tesis olması durumunda, tesis içinde termal arıtma tesislerinde ya da yüksek fırın ve kok fırınları vasıtasıyla bertaraf edilebilmektedir.

Hidrokarbonların kazayla pompalardan ve boru hatlarından kaçması, periyodik kontrollerin yanında keçelerin, contaların, pompaların ve boru hatlarının koruyucu bakımı ile önlenmektedir.

Kontamine olmuş drenaj sularının toplanması gerekmekte olup, bu sular ara depolama tanklarına pompalanabilmektedir. Sudan ayırma işleminden sonra atık yağ, yüksek fırın içerisine besleme veya harici geri dönüşüm gibi yollarla yeniden kullanılabilmektedir. Yağın tekrar kullanılabilmesi için kimyasal bileşenlerinin ve viskozite gibi fiziksel özelliklerinin kullanılmamış yağ ile aynı olması gerekmektedir. Ayrılan su, ultra filtrasyon veya vakumlu buharlaştırıcılar (endüstriyel yıkama makineleri gibi) gibi yöntemler kullanılarak atıksu arıtma tesislerinde işlenebilmektedir. Suyun hidrokarbonlarla kirletilmesinin alınacak önlemler ile tamamen önlenmesi imkânsız gibidir (EC, 2001a).

Tufal temizleme

Nozul, heder ve basınç optimizasyonu

Tav fırınında ısıtma sırasında malzemenin yüzeyinde 3-10 mm kalınlığında tufal (oksit) tabakası oluşur. Bu tabakanın haddeleme yapılmadan önce temizlenmesi yüzey kalitesi açısından çok önemlidir. Kaliteli üretimin yapıldığı çubuk haddehanelerinde ve tüm yassı haddehanelerinde basınçlı su ile tufal temizliği yapılır. Basınçlı su sistemi için harcanan enerji haddeleme için gereken enerjinin yarısına kadar ulaşabilmektedir. O nedenle kullanılan nozul sayısı, nozulların bağlı olduğu heder yapısı ve sayısı ile pompaların basınç optimizasyonu enerji sarfiyatı açısından çok önemlidir. Temizliği yapmaya yetecek kadar debinin sağlanabilmesi için nozul ve heder sistemi birlikte ele alınmalıdır. Hedef daha az su kullanarak temizliğin yapılabilmesidir (Taşkın, 2016).

Basınç optimizasyonu için pompa ebadını düşürerek basınç akülerinin kullanılması, motorlarda sürücü uygulamasıyla devir değişimi, hidrolik kaplin uygulamalarıyla pompa-motor arasında güç aktarımının kontrolü en yaygın uygulamalar arasındadır. Bu tekniklerle birlikte, hadde üzerinde malzemenin takip edilerek ihtiyaç olmadığı durumlarda pompaların hazırda beklemede çalıştırılması ve enerji harcamasının azaltılması mümkün olabilmektedir (Taşkın, 2016).

Malzeme takibine göre pompa otomasyonu

Malzemenin tufal temizleme ekipmanlarına giriş çıkışı otomasyon ve sensörler ile belirlenir ve operatörün basınçlı su borularının vanalarını açması sağlanır. Böylelikle gerekli su miktarı ihtiyaca göre sürekli ayarlanmaktadır. Bu tekniğin uygulanması ile su tüketimi ve enerji tüketimi azalmaktadır. Kaba haddeleme ve bitirme haddeleri ile sac haddelerinde uygulanabilmektedir. Hem yeni kurulan hem de mevcut olan sıcak haddehanelerde yassı (flat) ürünler için uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yüksek basınçlı depolama ekipmanı (akümülatör) kullanılması

Uygun büyüklükteki yüksek basınçlı depolama tankları, yüksek basınç sularının geçici depolanması ve yüksek güçlü pompaların başlangıç aşamasını kısaltmak için kullanılmaktadır. Ayrıca, eş zamanlı yürütülen çok sayıda tufal temizleme proseslerinde basıncın sabit bir düzeyde tutulması mümkündür. Bu metot enerji tüketiminin mantıklı sınırlar içerisinde tutulmasına yardımcı olmakta, eş zamanlı yürütülen çok sayıda tufal temizleme prosesi olması durumunda sabit sistem basıncı sayesinde optimum temizleme ve yüksek kalitede ürün elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Enerji tüketimi azaltılmaktadır. Bu teknik, kaba haddeleme ve bitirme haddeleri ile sac haddelerinin tufal temizleme proseslerinde uygulanabilmektedir. Ayrıca hem yeni hem de mevcut olan sıcak haddehanelerde yassı (flat) ürünler için uygulanabilir (EC, 2001a).

Hidrolik ayarlı otomatik genişlik kontrolü ile yan kenarların haddelenmesi

Konvansiyonel kenar düzeltme işleminde slabın genişliği malzemenin gerçek boyutu ve sıcaklığından bağımsız olarak azaltıldığından, malzeme boyunca genişlikte değişimler meydana gelmektedir. Otomatik Genişlik Kontrol (AWC) sisteminin yardımı ile kenar düzeltme prosesi bilgisayar modelleri ile yapılmaktadır. Kenar haddelemesini yapan merdanelerin aralığı, çok hızlı hidrolik silindirler ile değiştirilmek suretiyle istenen genişlik düzeltmesi yapılır. Sistemin doğru çalışabilmesi için haddeleme yükü ve genişlik ölçümleri de veri olarak kullanılır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bilhassa şerit uçlarında (ön ve arka) yatay haddelemeden kaynaklı yayılma daha fazla olur. Bu duruma köpek kemiği oluşumu denir. Nihai haddelemeden önce bu düzensiz kısımların kesilmesi gerekir. Otomatik Genişlik Kontrolü ile uçlarda tanımlanmış uzunluk boyunca koniklik verilerek yayılma kaynaklı düzensizlikler azaltılır. Böylece baş ve uç kısımdan kaynaklı hurdaların (uç-baş firesi) ve kesilmiş parçaların miktarı azalır. Ürün kalitesinin ve verimliliğin artması sebebiyle kırpılan malzeme miktarında azalma olmaktadır. Bu teknik, kaba haddeleme ve bitirme haddeleri ile levha haddelerinde uygulanabilmektedir. Ayrıca hem yeni hem de mevcut olan sıcak haddehanelerde yassı (flat) ürünler için uygulanabilir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Slab ezme presi ile yan kenarların haddelenmesi

Yassı haddelemedeki geleneksel dikey haddelemede uygulanabilen ezme miktarı en fazla 100 mm ile sınırlıdır. Ayrıca, dikey haddeleme sırasında kenarlarda meydana gelen şişme/yığılma nedeniyle kalınlık kenarlara doğru artmakta, köpek kemiği yapısında kesitler oluşturmaktadır. Bu şişkinlikler, sonraki yatay haddelemede yana doğru genişleyerek genişliğin azaltılması anlamında verimliliği düşürmektedir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Slab ezme preslerinde ise 400-500 mm ezme miktarlarına ulaşılabilmektedir. Ayrıca, dövme etkisi sebebiyle slabın kenarlarındaki şişme/yığılma çok daha az miktarda meydana gelmektedir. Kesit

alanının şekli dikdörtgene yakın olduğundan yatay haddeleme sırasında meyana gelen kenar genişlemesi azalmakta, verimli bir genişlik azaltımı sağlanmaktadır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Kaba haddeleme sürecinden önce ezme presinin kullanılması; slab genişliği kademelerini, dökümün genişlik aralıklarını ve konik kama tipi slab sayısını azaltarak döküm ve haddeleme işlemlerinin senkronizasyonunu artırmaktadır. Bu sebeple de döküm verimliliği ve sıcak şarj oranı artabilmektedir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketimi ve kırpılmış hurda miktarı azalmaktadır. Bu teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan sıcak haddehanelerde uygulanabilmektedir. Mevcut haddehanelerde, bu tekniğin uygulanmasında çeşitli sınırlamalar bulunmaktadır (EC, 2001a).

Kaba /ön haddeleme

Sürekli haddeleme için kütük birleştirme

Hem çubuk haddehanelerinde hem de yassı haddehanelerde kullanılan bu teknikle uçlardaki ölçü dışı kısımlar azaltılabilmekte, ayrıca bilhassa ince ebatların haddelenmesi sırasında uçların hat üzerinde takılmasından kaynaklı proses duraksamalarının meydana gelmesi önlenebilmektedir. Kütükler kaba haddeleme öncesinde, slablar ise kaba haddeleme sonrasında uç uca elektrik kaynağıyla birleştirilerek nihai haddeleme yapılır. Haddelemeden sonra ise makas sistemiyle istenen boylar elde edilir. Sürekli haddeleme, bobin uçları için şerit kalınlıklarının ve yüzey kalitesinin iyi bir şekilde kontrol edilmesine imkan vermekte ve malzeme verimliliğinin artmasını sağlamaktadır (Taşkın, 2016).

Kaba/ön haddeleme-proses ve kalibre optimizasyonu

Haddelenmek üzere fırından çıkarılan slab ve kütükler için bilgisayar modelleri vasıtasıyla ve anlık fiziki şartlara bağlı olarak paso hesabı yapılabilmektedir. Diğer bir deyişle eski teknolojilerde sabit değerlere göre kaba haddelemesi yapılan slab ve kütükler, bu tekniğin uygulanması ile malzemenin sıcaklık kayıplarıyla sonuçlanan kısa süreli kesinti durumlarında bile mümkün olan bilgisayar modeli hesaplamaları yapılarak en az geçiş sayısı ve geçişler arasında en az zaman kaybı ile haddelenebilmektedir (Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketimi ve fırın deşarj sıcaklığı azaltılabilmekte, geçiş (paso) sayısı optimize edilmektedir. Bu teknik, bilhassa yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Tezgahlar arası gergi kontrolünün uygulanması (loop-boşluk kontrolü)

Nihai Haddeleme bölümü altında açıklanmıştır.

Dilme optimizasyonu

Kaba haddeleme sonrasında genişlik ölçümü ile birlikte CCD-kameraları kullanılarak gerçek kesim şekli tanımlanmaktadır. Otomatik bir sistem, kesme işleminin dikdörtgen alan ile sınırlandırılmasını sağlar. Bu teknik, bitirme aşamasının girişinde uygulanır. Bu tekniğin uygulanması ile hurda miktarı azalmaktadır. Yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Kaba haddelenmiş şerit malzemesinin nihai haddeleme hattına taşınması

Sıcaklık kaybının azaltılması ve sıcaklığın homojen dağılması için bobin kutusu kullanılması

Kaba haddeleme (hazırlama grubu) işleminden sonra belirli kalınlığa kadar inceltilen ara ürün (şerit ön malzemesi), mandrelli veya mandrelsiz olarak elektrik tahrikli sıkıştırma/bükme merdaneleri ve beşik merdaneler vasıtasıyla bobin kutusunda, bobin halinde sarılmaktadır. Sarma işleminin tamamlanmasının ardından bobin, açıcı üzerine yerleştirilmekte, açılmakta ve nihai haddelemeye beslenmektedir. Haddelenmekte olan bobin açma kısmında iken, bir sonraki bobinin sarılmaya başlanması mümkün olduğundan üretim akışındaki darboğazlar ve kısa süreli beklemeler telafi edilebilmektedir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Normal haddelemede baş kısım haddelenirken kuyruk açıkta bekleme nedeniyle soğumaktadır. Bobin kutusu kullanımında ise yüzey alanı küçültüldüğü için ısı kayıpları azalmakta, bobin halinde sarılan çeliğin sıcaklığı sargılar arasında meydana gelen ısı transferi sayesinde homojenleşmektedir. Şerit boyunca sıcaklık dağılımının sabit kalması sayesinde nihai haddelemede daha düşük yüklerde ve hızlarda haddeleme mümkün olduğundan enerji sarfiyatı azalmaktadır. Öte yandan, sarım işlemleri için gerekli ilave enerji gereksiniminin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bobin kutusu kullanımıyla mevcut tesislerin yenilenmesi durumunda ürün aralığı (yelpazesi) artabilmektedir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Nihai haddelemede bir problem olması durumunda, bobin halinde sarılmış şerit ön malzemesi, diğer durumlara kıyasla daha uzun bir süre boyunca, daha düşük bir sıcaklık kaybıyla korunabilmektedir. Daha uzun haddehane duruşlarında, bobin halinde sarılmış çelik, yeniden ısıtma fırınlarında ısıtılarak haddelenebilmektedir. Ancak yeniden ısıtma enerji maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle pek tercih edilmemektedir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Nihai haddelemede hız, istenen çıkış sıcaklığını sağlamak üzere ayarlanır. Eğer malzeme soğuk ise hız artırılarak haddeleme süresi azaltılır ve sıcaklık kayıpları da düşer. Bobin kutusu kullanımında malzemenin nihai haddeleme öncesi sıcaklık kaybı daha az olduğundan daha düşük haddeleme hızları uygulanır ve üretim miktarı düşer. Bu nedenle bobin kutusu, sıcaklığın kritik olduğu ince üretimlerde tercih edilir ve kalın üretimlerde kullanım dışı bırakılarak malzeme doğrudan nihai haddelemeye verilir (Taşkın, 2016).

Bobinlerin kesintiye uğramaları durumunda, yeniden haddeleme sıcaklığına çıkarılması için bobin ısıtma fırını kullanılması

Bobin ısıtma fırınları, bobin kutusuna ek olarak geliştirilmektedir. Bu sebeple, üretimin uzun süre kesintiye uğraması durumunda bobinlerin yeniden haddeleme sıcaklığına çıkarılması sağlanmakta; bu sayede verimlilik artmaktadır. Sıcaklık kayıpları minimize edilmekte ve 2 saate kadar olan kesintiler telafi edilebilmektedir.

Isıtma ve soğutma sıcaklık modelleri ile, ısıtmanın başlangıcındaki sıcaklık profilini dikkate alarak her bir bobin için doğru ısıtma döngüsü belirlenmektedir. Bu profil, kaba hadde pasosundaki haddeleme bilgisayarından elde edilen veriler, sarım öncesi ve sonrasındaki gecikme zamanı, çubuk boyu ve seviyesine göre belirlenmektedir. Isıtma fırınlarının kullanımı ile bobinler 2 saat içinde yeniden haddelenmektedir.

Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketimi azalmaktadır. Teknik, hazırlama ayağındaki bobin kutuları ile birlikte uygulanmaktadır. Yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut mevcut sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Transfer masası ısı kalkanlarının kullanılması

Kaba haddelemeden nihai haddeye röleli masalarda taşınan şerit ön malzemesinin sıcaklık kayıplarını önlemek için uygulanan bir diğer yöntem de röleli masaların üzerinin ısı kalkanlarıyla kapatılmasıdır. Isı kalkanları, gerektiğinde açılabilen izolasyonlu kapaklardır. Bu yöntemle şerit ön malzemesinin sıcaklık kayıpları azaltılır, mamul başı ve sonu arasındaki sıcaklık farkı da azalmış olur (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile ısı kaybı azaldığından nihai haddelemede enerji tüketimi azalmaktadır. Fakat; transfer masalarındaki ısı kalkanları kaplamalarının kolaylıkla hasar görmesi yüksek bakım maliyetlerine neden olabilmektedir. Bu teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan veya mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Şerit kenarlarının sıcaklığının genel sıcaklık düzeyine çıkarılması ve şerit genişliği boyunca sabit bir sıcaklık profilinin elde edilebilmesi için ilave gaz veya indüksiyonla ısıtma ekipmanlarının kullanılması

Tav fırınlarında taşıma sistemlerinin gölgelemesi nedeniyle oluşan skid izleri (soğuk bölgeler) ve haddeleme sırasında kenarların daha fazla soğuması bilhassa ince haddelemelerde sorun oluşturabilmektedir. Skid izlerinin ısıtılması için tav fırını çıkışında indüksiyonla ısıtma, soğuk şerit kenarlarının ısıtılması için de kaba hadde sonrasında gaz veya indüksiyonla ısıtma ekipmanları kullanılmaktadır. Özellikle indüksiyon ısıtmada enerji tüketiminin yüksek olması sistemin başlıca dezavantajıdır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile nihai haddelemede enerji tüketimi azalmakta, şerit boyunca kalınlık dağılımı daha düzgün gerçekleşmekte, çalışan hadde merdanelerinde meydana gelen kenar bölgesi aşınmaları azaldığından haddeleme kampanyalarının, merdane değiştirilmeden daha uzun sürmesi mümkün olabilmektedir. Teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan veya mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Hurda kesme ve itme sistemlerinin kullanılması

Haddehanelerde çalışma sürekliliğinin sağlanması üretkenliğin artırılabilmesi için önemlidir. Haddelemeyi kesintiye uğratan duruşların en önemlilerinden biri, meydana gelen arızalarda hattın üzerinde kalan malzemenin kesilerek uzaklaştırılmasıdır. Bu tür arızi durumlardaki işlem süresinin kısaltılması için kaba hadde transfer masaları üzerine otomatik kesme ve/veya itme sistemleri kurulmaktadır. Kesme ve itme sistemlerinin birlikte olduğu sistemlerde malzeme kesildikten sonra masalar üzerinden itilerek uzaklaştırılmakta, kesme sistemi olmayan itme sistemlerinde ise malzeme masalar üzerinden itildikten sonra hattın dışında manuel olarak kesilmektedir. Bu sistemler sayesinde ortalama yarım saat süren hattın boşaltılma süresi 5-10 dakikaya indirilebilmektedir (Taşkın, 2016).

Kırpıntı optimizasyon sisteminin kullanılması

Kaba haddelemeden sonra ve nihai haddelemeden önce şeridin baş ve kuyruk kısımlarındaki düzensiz bölgelerin kesilmesi gereklidir. Bunun için hem yassı haddelemede, hem de çubuk haddelemede kırpıntı

makası kullanılır. Kesilecek kısmın uzunluğunu optimize ederek %0,5'e varan malzeme verim artışı sağlanabilir. Optimizasyonda uç kısımların genellikle kızılötesi kamera sistemleriyle yapılan ölçüm verileri makas otomasyon sistemine iletilir. Sistem optimum kesim noktasını belirleyerek malzeme hareket halindeyken makası otomatik olarak kumanda eder (Taşkın, 2016).

Nihai haddeleme

Proses otomasyonu ve temel otomasyon uygulanması

Modern haddehanelerde tav fırınından başlayarak hattın tüm kısımlarında yüksek seviyede otomasyon kontrolü bulunmaktadır. Otomasyon sistemleri genellikle üç seviyeli bir hiyerarşi olarak tanımlanır.

Seviye-1: İşlem sırasında sistemden hızlıca aldığı geri bildirimleri değerlendirerek uygun kumanda işlemlerinin otomatik olarak yapılmasını sağlar. Tav fırınlarında; ısıtma ve brulör kontrolü, haddelemede; kalınlık, genişlik, hız ve sıcaklık kontrolleri seviye-1 otomasyonuna örnek olarak verilebilir.

Seviye-2: Malzemenin özelliklerini ve müşteri taleplerini dikkate alarak daha önceden tanımlanmış hesaplama sistematiklerine göre haddeleme parametrelerini hesaplayan bilgisayar modelleridir. Hesaplanan parametreler uygulanmak üzere seviye-1 sistemine komut olarak gönderilir. Bu modellerin en önemli özelliği dinamik olmaları ve haddeleme sırasında aldığı geri bildirimlere göre hesaplamalardaki hatalarını bir sonraki malzeme için düzeltmesidir (öğrenen modeller).

Seviye-3: Üretim planlamasının yapıldığı, ürün kalite bilgilerinin depolandığı sistemlerdir. Seviye-2 sistemine veri sağlar ve seviye-2 sisteminden aldığı özet verileri depolar.

Bu tür otomasyon sistemlerinin uygulanması ile operatör hatasından kaynaklanabilecek her türlü problem en aza indirilmiş olur, sistemin etkinliği ve verimi artırılır. Ayrıca, otomasyonun sağladığı uyarılar ve sinyal izleme sayesinde prosesin gidişatı izlenir, meydana gelen arızaların ve kalite problemlerinin etkin bir şekilde incelenerek çözüm geliştirilmesi mümkün olur (Taşkın, 2016).

Online ebat ölçüm sistemlerinin kullanılması

Nihai haddeleme sonrasında kalınlık ve genişlik sürekli olarak ölçülerek otomasyon sistemine geri bildirim olarak gönderilir. Bu ölçüm sonuçları bazen anlık düzeltmede, bazen de bir sonraki malzemenin haddelenmesinde kullanılır. Yassı haddelemede kalınlık ölçümü genellikle X-Işını, genişlik ölçümü ise kızılötesi veya bir ışık kaynağı ile yapılır. Çubuk haddelemede ise genellikle kızılötesi, lazer veya ışık kaynakları kullanılır. Ölçülen sonuçlara göre anlık düzeltme yapılabilmesi için hadde tezgahlarında hidrolik kumandalı sistemler bulunur ve seviye-1 otomasyon sistemi tarafından kumanda edilir (Taşkın, 2016).

Hidrolik ebat kontrol sistemlerinin kullanılması

Hidrolik ebat kontrolünde, online ebat ölçüm sistemleri ile ölçülen nihai kalınlık bilgisi kullanılabildiği gibi, her tezgahtaki haddeleme yükleri de veri olarak kullanılabilmektedir. Bu sistemler sayesinde haddeleme sırasında hızlı bir şekilde ebat düzeltmeleri yapılır ve üründeki ebatsal sapmalar minimuma indirilerek hassas ölçülerde ürün elde edilir (Taşkın, 2016).

Tezgahlar arası gergi kontrolünün uygulanması (loop-boşluk kontrolü)

Çoklu tezgahların uygulandığı kısımlarda tezgahlar arasındaki gerginin kontrol edilmesi önemlidir. Her tezgahta ebatsal değişim meydana geldiğinden kütle akışının dengeli olabilmesini temin etmek için tezgah hızları da bu ebatsal değişimle uyumlu olmalıdır. Gerginin fazla olması malzeme üzerinde kontrolsüz incelmelere (necking), az olması da tezgahlar arasında yığılmalara sebep olabilir. Bu tür işletmesel problemleri bertaraf edebilmek için haddeleme sırasında ölçülen gergiye göre tezgahların hız düzeltmesi anlık olarak yapılır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Çubuk haddeleme sistemlerinde hem kaba, hem de nihai haddeleme tezgahları arasında gergi-boşluk kontrolü yapılırken, yassı haddelemede nihai hadde tezgahları arasında gergi-boşluk kontrolü yapılır. Gergi ve boşluk kontrolünde uygulama yerine göre hidrolik, düşük atalet ve gerilim ölçümü gibi teknikler uygulanır. Herhangi bir ara ekipman kullanmadan da peş peşe olan tezgahların hız ve motor akımları otomasyon sistemi tarafından izlenerek gerekli düzeltmeler yapılabilir (looperless control) (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Profil ve düzgünlük kontrolü yapılması (APFC)

Sıcak haddelenmiş şeritler için geçerli olan profil ve düzgünlük daha sonraki proses aşamaları için önemli olup, birtakım çalışma koşullarına bağlıdır. Haddeleme sırasında merdanelerin bükülmesi nedeniyle şeridin orta kısmı kalın, kenarlar ince çıkar. Bu kalınlık farkı şerit boyunca uzunluğun da değişmesine neden olur (ince olan kısım daha fazla uzar). Kalınlık farkları bombe, uzunluk farkları da düzgünlüğün bozulması demektir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Şeridin kesitine profil, düz bir yüzeye bırakıldığındaki şekline de düzgünlük denir. Profil ve düzgünlük birbiriyle ilişkilidir. Genellikle profil bozuk ise düzgünlük de bozuktur. Haddehanelerde şerit profili ve düzgünlük kontrolü yapılmasının ana amacı, gerekli toleransların içinde kalarak arzu edilen düzgünlüğü elde etmektir. Uygulamada sıcak haddehanelerde şerit profil ve düzgünlük kontrol sistemleri genelde aşağıdaki hedeflere ulaşmak için tasarlanmıştır (EC, 2001a; Taşkın, 2016):

- Şerit bombe kontrol aralığı; yaklaşık 0-75 µm,
- Şerit düzgünlüğü; yaklaşık 10 I-Unit (I-Unit: $\Delta L/L=10^{-5}$m)
- Kenar kalınlık düşmesinin azaltılması.

Sıcak haddeleme hatlarında iyi bir düzgünlük elde etmek için, bombenin belli sınırlar içinde tutulması gereklidir. Bu amaçla kullanılan bazı sistemler şu şekilde sıralanabilir (EC, 2001a; Taşkın, 2016):

- Destek merdanesi kullanımı
- İş merdanesi ve destek merdanesi bükme sistemleri
- Esnek gövdeli ve ayarlanabilir bombeli merdaneler
- Eksenel kaydırma sistemi (silindirik veya silindirik olmayan merdaneler ile)
- Merdane çaprazlama (cross-pair) sistemleri
- Her tezgahta ezme oranlarının optimizasyonu

Sıcak şerit haddelemede, genelde her bir tezgah, içe veya dışa ya da her iki tarafa da bombe verebilen merdane bükme sistemi ile donatılmaktadır. Bunun, bombe şartlarını karşılamaya yeterli olmadığı durumlarda tezgahlar; CVC-merdaneleri (sürekli değişken bombe merdaneleri), merdane çaprazlama sistemleri gibi diğer ilave aktüatörler ile donatılabilir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Haddeleme hatlarının çıkışına gerçek bombeyi izleyebilmek amacıyla profil ölçüm aletleri (sensörleri), düzgünlüğü izleyebilmek için de kamera sistemleri kurulmaktadır. Tespit edilen bombe ve düzgünlük hataları, yukarıda açıklanan sistemler kullanılarak haddeleme sırasında düzeltilmektedir. Bazen de sadece bombe ölçümü yapılarak düzeltmeler yapılabilmekte, düzgünlük ise hesaplanmaktadır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile ürün kalitesi iyileştirilmektedir. Teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Termo-mekanik haddeleme işleminin uygulanması

Termo-mekanik haddeleme işleminde, sonrasında yapılan ısıl işlemin gerekliliğini azaltmak amacıyla, sıcak haddelenen malzemenin özelliklerine tesir edilir. Tavlama fırınlarından gelen kütük ya da slablara kaba haddeleme sonrasında nihai haddeleme yapılır. Nihai haddelemenin çift fazlı bölgede yapılması yoluyla (termo-mekanik haddeleme) daha küçük tane boyutu elde edilir. Küçük tane boyutu ile bağlantılı olarak; daha az alaşım katkılarıyla daha yüksek mukavemet değerleri, normalizasyon gibi ısıl işlem ihtiyacının azaltıldığı veya tamamen ortadan kaldırıldığı teknolojik parametreler elde edilir. Daha düşük sıcaklıklarda nihai haddeleme yapmak gerektirdiği için termo-mekanik haddelemede daha güçlü motorlar gereklidir (EC, 2001a; Taşkın, 2016).

Bu tekniğin uygulanması ile enerji tüketimi ve ısıl işlemden kaynaklanan emisyonlar azalmaktadır. Teknik, yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde, yeterli gücün sağlanabilmesi durumunda uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Tezgahlar arası şerit soğutma sisteminin uygulanması

Bitirme katarının hızlanmasına imkan vermek ve bu koşulda sabit bir bitirme sıcaklığını sağlamak amacıyla, su spreyleri ve su perdeleri kullanılarak, zorunlu şerit soğutma yapılmaktadır. Bu tekniğin uygulanması ile tufal ve oksit dumanı oluşumu baskılanmaktadır. Çalışılan merdanelerde aşınma miktarı ve taşlama çamuru azalmaktadır ve atıksu oluşmaktadır. Teknik, bitirme tezgahları arasında ve yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Yüzey kontrolü yapılması

Her bir geçişte sabit levha kalınlığının korunduğu konvansiyonel levha haddeleme sırasında, levhanın gerçek dikdörtgen şeklinden belirgin bir farklılaşma gerçekleşmektedir. Şekil kontrollü haddeleme yapılırken, konikleşmiş kalınlık profili veya köpek kemiği yapısında eğrilikler oluşabilmektedir. Köpek kemiği oluşum veya konikleşme miktarı hesaplanmakta ve düzeltme sinyalleri merdane ayarlama sistemine gönderilmektedir. Yüzey kontrolü, otomatik ölçüm sistemine ek olarak uygulanmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması ile hurda miktarı azalmakta, dolayısıyla verim artışı sağlanmaktadır. Teknik, levha haddelemesinde ve yeni kurulan tesislerde ve bazı sınırlamalar çerçevesinde mevcut tesislerde uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Merdane soğutma sisteminin optimize edilmesi

Hadde tezgahlarında, çalışan merdanelerin soğutulmasında çok çeşitli su püskürtme nozul tipleri ve püskürtme başlığı konfigürasyonları kullanılmaktadır. Bu soğutma sistemleri merdanelerin zarar görmemesi ve tufal oluşumunun azaltılması açısından önemlidir.

Bu teknik uygulandığında, tufal oluşumu ile birlikte merdane aşınması ve taşlama çamuru miktarı da azalmaktadır. Bu teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde; kaba haddeleme, bitirme ve levha haddeleme sırasında uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Merdane yağlama sisteminin kullanılması ile malzeme ve merdane arasındaki sürtünmenin azaltılması

Haddeleme yağları malzeme ve merdane arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacıyla merdane boşluklarından nozullar vasıtasıyla eklenmekte; böylelikle, ihtiyaç duyulan sürücü güç ve haddeleme kuvvetleri azaltılmakta, haddelenmiş malzemenin yüzey kalitesi artmaktadır.

Bu teknik uygulandığında, haddeleme yükünün azalması ile enerji tüketimi azaltılmaktadır. Haddehane verimliliği ve asitleme (yüzey temizleme) hızı artmaktadır. Ayrıca merdane aşınmasının azaltılması ile alışma ömrü uzamakta ve taşlama çamuru azalmaktadır. Fakat su sistemleri, haddeleme yağları ile kontamine olabilmektedir. Bu teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde, bitirme tezgahlarında uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Nihai haddeleme sonrası işlemler

Online ısıl işlem (hızlandırılmış soğutma) ile şerit sıcaklığı göz önünde bulundurularak soğutma suyu hacminin kontrol edilmesi

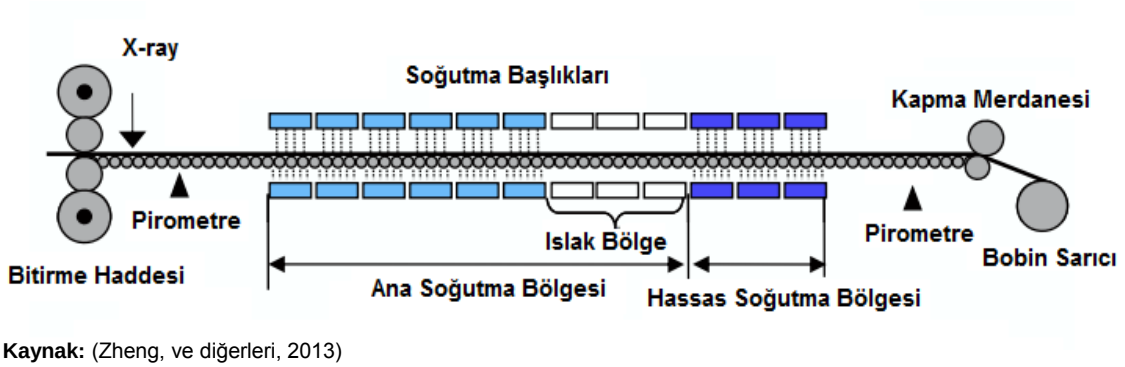
Farklı tasarımlara sahip soğutma sistemleri (su perdeleri, su yastıkları vb. gibi), haddeleme tezgahlarının arkasında yer almaktadır. Şerit sıcaklığı göz önünde bulundurularak soğutma suyu hacminin kontrol dilmesi ile normalizasyon ve söndürme gibi prosesler hat üstünde uygulanabilmektedir.

Bu tekniğin uygulanması ile sıralı ısıl işlem fırınlarından kaynaklanan emisyonlar ve enerji tüketimi azalmaktadır. Teknik, levha haddelemesinde yönelik yeni kurulan tesislerde ve bazı sınırlamalar çerçevesinde mevcut tesislerde uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Duşlu masa laminer akış sisteminin kullanılması ve proses optimizasyonu yapılması

Sıcak haddelenmiş şerit laminer soğutma prosesi (duşlu masa), şeridin sarma sıcaklığı ve soğuma eğrisi ile belirlenen mekanik özellikleri ve alaşım malzemeleri dışında üretimin kalitesi açısından oldukça kritiktir (Zheng, ve diğerleri, 2013).

Şekil 5.18'de gösterildiği üzere, sıcak haddelenmiş şerit laminer soğutma prosesine giriş yapan 200-1100 m uzunluğundaki çelik şerit, duşlu masa vasıtasıyla nihai haddeleme sıcaklığından (750-900°C), sarma sıcaklığı olan 400-600°C'ye kadar soğutulur. Şerit boyutları bitirme haddesinin sonuna yerleştirilmiş X-ray ölçüm cihazı ile sarma hızı ise, bobin millerinin ve merdane motorlarının üzerinde takılı olan hız takometreleri ile ölçülmektedir. Sarma ve bitirme hadde sıcaklıklarının ölçümü bitirme haddesi sonrası ve bobin sarıcı öncesinde bulunan pirometreler ile yapılmaktadır. Bu ölçümler, önceden belirlenmiş değerlerle tutarlı olması açısından her bir şerit noktasının sarma hızı ve sıcaklığının kontrol edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Sistemde yer alan soğutma başlıkları gruplarının soğutma suyu debisi ayarlanabilmektedir (Zheng, ve diğerleri, 2013).



Kaynak: (Zheng, ve diğerleri, 2013)

Şekil 5.18 Sıcak haddelenmiş şerit laminer soğutma prosesi akım şeması

Levha üretiminde düzeltme hattında oluşan toz emisyonlarının toplanması için emiş davlumbazlarının kullanılması

Düzeltme merdanelerinin bükme etkisiyle yüzeyde bulunan tufaller kırılmakta ve kaçak toz emisyonu oluşmaktadır. Hava ile taşınan partiküllerin toplanması amacıyla düzleyici kenarına emiş davlumbazları kurulabilmektedir. Toplanan tozlar emiş borusu vasıtasıyla genellikle bez filtre ile donatılmış bir filtre tesisinden geçirilmektedir.

Bu tekniğin uygulanması ile kaçak partikül emisyonları azalmakta, enerji tüketimi artmakta, atık oluşmakta fakat, toplanan toz partikülleri çelik üretiminde yeniden kullanılmaktadır. Teknik yassı ürünlere yönelik yeni kurulan tesislerde, kesme ve geri sarma hatlarında uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Step kontrollü hidrolik sarıcı kullanılması ile şerit başının sarıcı merdaneler tarafından ezilmesi nedeniyle oluşan izlerin azaltılması

Bu teknik, şerit başının sarıcı merdaneler tarafından ezilmesi nedeniyle oluşan izleri ortadan kaldırmak için uygulanmaktadır. Sıcak şeridin bu bölümleri daha sonra soğuk haddeleme esnasında kesilerek çıkarılır. Sensörler tarafından kontrol edilen, kontrol sistemi olan hidrolik bobin sarıcılar, şerit başı sarıcı merdaneden geçtiğinde otomatik olarak kaldırılır (EC, 2001a).

Sonraki proseslerde kırpıntı hurda miktarı azalmakta, verim artmaktadır. Bu teknik, yassı ürünlere yönelik yeni kurulan ve mevcut olan sıcak haddehanelerde uygulanmaktadır (EC, 2001a).

Hadde atölyesinde su bazlı (klorür içermeyen) solvent kullanımı

Gerekli derecede temizliğin sağlanabilmesi için teknik olarak kabul edilebilir olduğu sürece, su bazlı solvent (çözücü) kullanılması gerekmektedir. Organik bazlı çözücüler kullanılması durumunda ise klorür içermeyen çözücülerin tercih edilmesi gerekmektedir (EC, 2001a).

Merdane otomatik yatak değiştirme sistemlerinin kullanılması

Merdane yataklarının değiştirilmesinde otomatik yatak değiştirme sistemlerinin kullanılması ile duruş süreleri azaltılabilmekte ve bu nedenle oluşan üretim kayıplarının önüne geçilebilmektedir.

Ürün çıkış sıcaklığının optimize edilmesi

Sıcak şerit ve levha haddehanelerinde genellikle nihai haddelemenin bitiş sıcaklığı (ikmal sıcaklığı) istenen özelliklere göre tanımlıdır ve haddeleme hızı bu sıcaklığı elde edebilmek için ayarlanır. Ancak, bilhassa çubuk haddehanelerinde nihai haddelemeden sonraki çıkış sıcaklığı gerektiği gibi kontrol edilmez. Bunun sonucunda hem ürün mekanik özelliklerinde istenmeyen farklılıklar ortaya çıkar, hem de hadde motorları gereksiz olarak yüklenir (Taşkın, 2016).

Eğer termo-mekanik haddeleme yapılmıyorsa düşük karbonlu ve orta karbonlu çelikler için nihai haddeleme çıkış sıcaklığının 900°C civarında olması gereklidir. Eğer sıcaklık yüksek ise haddeleme hızı azaltılarak, sıcaklık düşük ise haddeleme hızı artırılarak sıcaklığın istenen değerde gerçekleşmesi sağlanır. Böylece malzeme mukavemet değerleri de optimize edilmiş olur (Taşkın, 2016).

Üretim parametrelerinin optimizasyonuyla alaşım kullanımında azaltım sağlanması

Standartlara göre herhangi bir çelik kalitesinde kullanılabilecek alaşım değerleri için sınır değerler belirtilmiştir. Üretim parametrelerinin optimizasyonuyla alaşım miktarlarını azaltarak istenen fiziksel değerlerin sağlanabilmesi mümkündür. Bu da üretim maliyetlerinde düşüş demektir. Bilhassa tav fırınında ısıtma sıcaklığı ve tutma süreleri, nihai haddeleme çıkış sıcaklığı ve nihai haddeleme sonrası duşlu masalarda soğutma pratiği mekanik özelliklerin temininde kritik öneme sahiptir (Taşkın, 2016).

Günümüzde mikro alaşım elementleri kullanılarak yüksek mukavemetli çelikler üretildiğinden, tav fırınındaki sıcaklık ve tutma süreleri bu elementlerin yapı içinde çözündürülebilmesi yönünden önemlidir. Ayrıca, nihai haddeleme sonrasında erken soğutma, geç soğutma, yumuşak soğutma pratikleriyle malzemedeki yapı dönüşümleri kontrol edilerek istenen özellikler en az alaşımla sağlanabilir. Ayrıca, üretilen çeliklerde mekanik özelliklerin dağılımı analiz edilerek alaşım kullanımı da bu doğrultuda optimize edilmelidir (Taşkın, 2016).

5.1.8.10 Soğuk Haddehaneler

Yüzey temizleme (asitleme) işlemi

Bobin açıcılarda toz emisyonlarının azaltılması

Bobin açma esnasında açığa çıkan demir oksit toz emisyonları, su perdeleri veya torba filtreli toz emiş sistemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak önlenebilmektedir. İlk yöntem olan ıslak metot ile elde edilen su akımının demir oksit partikülleri yönünden arıtılması gerekirken, bazı durumlarda bu yöntem demir oksit parçacıklarının asitleme hattındaki merdanelere yapışmasına ve buna bağlı olarak yüzey kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu durumlarda tozun dağılmasını engellemek amacıyla toz emiş sistemleri kullanılır. Toz oluşumunun önlenmesi ve buna bağlı olarak hava emisyonlarının azaltımı en önemli çevresel etkiler arasında yer almaktadır. Bu yöntemlerin uygulanması ile ilave enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra atıksu ya da katı atık (filtre tozu) oluşmaktadır. Maliyet bakımından ele alındığında ise 3 milyon ton/yıl üretim kapasiteli bir tesis için su spreylerinin 50.000 Avro, torbalı filtre sistemlerinin ise 280.000 Avro yatırım maliyetine sahip olduğu söylenebilir (EC, 2001a).

Mekanik ön tufal giderme işleminin yapılması

Taşlama, metalin gerdirilerek düzeltilmesi, temper haddeleme veya temper düzeltme gibi çeşitli tekniklerle gerçekleştirilebilen mekanik ön tufal giderme prosesi sıcak haddeleme tufalinin önemli bir kısmının giderilmesini sağlayarak, kimyasal asitleme sürecinde asit tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Mekanik ön tufal giderim prosesleri ile oluşan partikül madde emisyonlarının azaltılabilmesi amacıyla genellikle torba filtreli toz emiş sistemleri kullanılmaktadır.

Asit tüketiminin azaltılması ve asitleme sisteminin verimliliğinin artırılması, mekanik ön tufal giderme işleminin en önemli çevresel etkileri arasında yer almaktadır. Artan enerji tüketimi, oluşan partikül madde emisyonlarının giderimi ve buna bağlı olarak katı atık (filtre tozu) oluşumu, asitleme hattında verimliliğinin artırılmasına bağlı olarak asit banyosu sıcaklığının düşürülmesi, asit tüketiminin azaltılması sonucu asitli atık oluşumunun azaltımı tekniğin uygulanması ile ortaya çıkacak diğer önemli etkileri arasındadır.

Bu teknik, yeni kurulan tesislerde uygulanabildiği gibi, eski tesislerde de uygun alan yaratılması durumunda uygulanabilmektedir. Ancak paslanmaz çelik üretimi için bu teknik sadece asitleme işlemi öncesinde kullanılabilmektedir. Sonraki aşamalarda uygulanması son ürünün yüzey kalitesini etkilemektedir (EC, 2001a).

Soğutma hızının kontrolü ile tufal oluşumunun azaltılması

Sıcak haddeleme ve çeliğin depolanması aşamalarında demir oksit oluşumunun azaltımı amacıyla çeşitli tekniklerin (yüksek basınçla tufal giderimi, hızlı soğutma, depolama süresinin kısaltılması, korozyonsuz depolama ve taşıma gibi) kullanılması mümkündür. Bu noktada özellikle soğutma hızının kontrolü ile tufal oluşumu azaltılabilirken, buna bağlı olarak asitleme hızının ve enerji tüketiminin azaltımı sağlanabilmektedir. Ancak sıcak haddelenmiş şeridin hızlı soğutmaya tabi tutulması ürün kalitesini etkilemesi nedeniyle kısıtlıdır (EC, 2001a).

Türbülanslı yüzey temizleme işleminin uygulanması

Asitleme tankı tasarımı; asitleme verimliliğinin artırılması, asitleme hızı ve kalitesinin geliştirilmesi ve proses kontrolünün kolaylaştırılması gibi çeşitli amaçlarla geliştirilmekte olup, teknoloji derin asitleme tanklarından, asidin şerit üzerinde oldukça düşük aralıklarda spreylendiği türbülanslı asitleme tanklarının kullanımı yönünde şekillenmiştir. Türbülanslı yüzey temizleme işleminin uygulanması ile verimliliğin artırılmakta, enerji tüketimi azaltılmaktadır. Bunun yanında, asit banyosu sıcaklığının düşürülmesine bağlı olarak asit tüketiminin azaltılması, proses kontrolünün artırılmasına bağlı olarak asitleme veriminin artırılması (asitleme kayıpları %20-30 oranında azaltılarak 0,8-1,2 kg/ton seviyesine getirilir) ve taze asit tüketiminin ve/veya asit rejenerasyon kapasitesinin düşürülmesi tekniğin diğer etkileri arasındadır.

Bu teknik, yeni kurulan tesislerde uygulanabildiği gibi, eski tesislerde de uygun modernizasyonun gerçekleştirilmesi durumunda uygulanabilmektedir. Yatırım ve işletme maliyetleri azaltılmakta, asitleme prosesi açısından verimliliğin ve kalitenin artmasında bağlı olarak ekonomik açıdan avantaj sağlanmaktadır (EC, 2001a).

Yüzey temizleme çözeltisinin temizlenmesi ve yeniden kullanılması

Kirlenmiş asitleme çözeltisi öncelikle içeriğindeki parçacıkların tutulması amacıyla filtreden geçirilmekte, sonrasında iletildiği absorpsiyon ünitesinde kullanılan reçine vasıtasıyla içeriğindeki serbest asidin

absorplanması sağlanmaktadır. Bazı durumlarda absorpsiyon öncesinde çözeltinin ısı değiştirici ile soğutulması gerekebilmektedir. Serbest asit yönünden doygunluğa ulaşan reçineden serbest asitler temiz su kullanılarak geri kazanılır. Bu tekniğin uygulanması ile asit tüketimi ve buna bağlı olarak oluşan atıksu ve atık çamur miktarı azaltılmaktadır (EC, 2001a).

Hidroklorik asit rejenerasyonunun sıcak spreyleme yöntemi ile yapılması

Süreç kullanılmış asit çözeltisinin venturi reküperatör ünitesine beslenmesi ile başlar. Burada reaktörden gelen sıcak gazlar ile konsantrasyonu artırılan asit çözeltisi, spreyleme yolu ile üst kısımdan reaktöre iletilir. Reaktörde 450°C'de gerçekleşen pirohidroliz reaksiyonu neticesinde demir klorür ve suyun, hidroklorik asit ve demir oksit oluşturmak üzere ayrılması sağlanmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan demir oksit reaktör tabanından pnömatik yöntemle toplanırken, hidroklorik asit, buhar ve yanma gazlarından oluşan gaz akımı absorpsiyon ünitesine iletilir. Absorpsiyon ünitesinde asitleme hattından elde edilen absorpsiyon suyu kullanılabilir. Absorpsiyon ünitesi çıkışında elde edilen hidroklorik asit, asitleme prosesinde tekrar kullanılırken, geriye kalan atık gaz akımı sodyum tiyosülfat ilave edilerek kostik yıkama yöntemi ile temizlenir ve içeriğindeki HCl ve serbest Cl_2 konsantrasyonu 2 mg/m^3'ün altına düşürülür. Tekniğin uygulanması ile temiz asit tüketimi 12-17 kg/ton seviyesinden 0,7-0,9 kg/ton seviyesine (HCl konsantrasyonu %33) düşürülmekte, oluşan atıksu ve atık çamur miktarı azaltılmaktadır.

Sistemin diğer etkileri; enerji ve su tüketiminin artması, asit rejenerasyonu ve yanma kaynaklı hava emisyonlarının oluşması, asidik atıksu oluşması, deşarj edilen askıda katı madde içeriğinin 2,86 g/ton ürün olması, yeni asit üretimi zorunluluğunun azaltılması ile frit, boya ve cam üretimi gibi farklı sektörlerde kullanılabilen demir oksit yan ürününün ekonomiye kazandırılmasıdır. Sistemlerin büyüklüğüne bağlı olarak hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislere uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Hidroklorik asit rejenerasyonunun akışkan yataklı sistem ile yapılması

Temel olarak sistemin çalışma prensibi, kullanılmış asit çözeltisinin yüksek sıcaklıkta termal bozunmaya uğratılmasına dayanmaktadır. Süreç kullanılmış asit çözeltisinin ayırma tankı ve bunu takiben venturi yıkayıcıya iletilmesi ile başlar. Reaktör atık ısısı vasıtasıyla ısıtılan venturi çıkışında konsantre hale gelmiş asit çözeltisinin bir kısmı 850ºC sıcaklıktaki demir oksit taneleri, asit ve sudan oluşan akışkan yatağa beslenir. Burada reaksiyon sonucu oluşan demir oksit reaktör tabanından sürekli olarak çekilirken, asit, buhar, yanma gazları ve eser miktarda demir oksit partikülü içeren sıcak atık gaz karışımı öncelikle demir oksit partiküllerinin ayrımı amacıyla siklondan geçirilir. Sonrasında venturi yıkayıcıda 100ºC'ye soğutulur. Soğutulmuş gaz karışımı asit geri kazanımının gerçekleştirildiği absorpsiyon ünitesine iletilirken, geri kalan atık gaz karışımı asidik bileşenlerden arındırılarak atmosfere verilmektedir.

Temiz asit tüketimiyle birlikte, oluşan atıksu ve atık çamur miktarı azaltılmaktadır. Sistemlerin büyüklüğüne bağlı olarak hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislere uygulanabilmektedir. Asitleme tesislerine ilişkin yatırım ve işletme maliyetlerinin akışkan yataklı rejenerasyon prosesinin de dahil edilmesi ile değerlendirildiğinde, ham asit tüketimi, durulama ve yıkama suyunun temini, temiz (demir içermeyen) asit üretimi, üretilen demir oksidin diğer endüstri kollarında kullanımı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir (EC, 2001a).

Kristalizasyon yöntemi ile sülfürik asit geri kazanımının sağlanması

Sülfürik asit geri kazanımı sistemi; su, sülfürik asit ve demir sülfat arasındaki çözünürlük ilişkilerine dayanmaktadır. Serbest sülfürik asidin geri kazanımı amacıyla endüstride yaygın olarak $FeSO_4.7H_2O$ oluşumu ile sonuçlanan heptahidrat kristalizasyonu yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen demir sülfat, dolaylı soğutma ile kristalizasyon, siklon kristalizasyonu veya vakum soğutma kristalizasyonu yöntemlerinden biri vasıtasıyla soğutularak kristalize edilmektedir. Kristalizasyon işleminin kullanılması ile serbest asidin nötralize edilmesi ihtiyacı ortadan kalkarken, atıksu oluşumu ve tuz yükünün azaltılması konularında da faydalar sağlanabilmektedir.

Bu sistemin kullanılması ile taze asit tüketimi azaltılmakta, atıksu ve çamur oluşum miktarlarının azaltımı sağlanmaktadır. Enerji tüketiminin artması ve geri kazanım kaynaklı hava emisyonlarının oluşması sistemin diğer etkileri arasında yer almaktadır. Sistemlerin büyüklüğüne bağlı olarak hem yeni kurulan hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Karışık asit (HNO_3 ve HF) geri kazanımının sıcak spreyleme yöntemi ile sağlanması

Demir, krom, nikel, hidroflorik asit ve nitrik asit vb. içeren kullanılmış yüzey temizleme likörü ön-buharlaştırıcıya gönderilir. Burada reaktörden gelen sıcak gazlar ile kısmen temas eder. Buharlaşma nedeniyle derişimi artan yüzey temizleme likörü nozullar vasıtasıyla reaktöre beslenir. Reaktörde gerçekleşen bozunma reaksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$2\ FeF_3 + 3\ H_2O \rightarrow Fe2O_3 + 6\ HF$$

$$2\ CrF_3 + 3\ H_2O \rightarrow Cr_2O_3 + 6\ HF$$

$$NiF_2 + H_2O \rightarrow NiO + 2\ HF$$

Bunlara ilaveten nitrik asit kısmen bozunarak azot oksit oluşturur:

$$2\ HNO_3 \rightarrow NO + NO_2 + H_2O + O_2$$

Reaktör doğalgaz veya diğer gazlarla çalışan brulörlerle doğrudan ısıtılır. Metal oksit karışımı reaktörün altından toplanır. Oksit reaktörün altında, florür içeriğinin %1,5'e kadar düşebilmesi amacıyla 500-600°C'de tutulur ve genellikle peletlenerek EAO'larda geri kazanılır. Su buharı, yanma gazları, HF, HNO_3 ve NO_x içeren reaksiyon atık gazları, iki aşamalı absopsiyon birimine gönderilir. Burada absopsiyon amacıyla soğutulmuş resirküle asit kullanılır.

NO ve NO_2'nin oksitlenmesi amacıyla, ikinci kolona, daha kolay absoblanan hidrojen peroksit eklenir. Hidroklorik asit rejenerasyonunun aksine, absopsiyon izotermal olarak gerçekleşir. Kolonlarda tamamı serbest ve bağlı hidroflorik asit ve %85'e kadar nitrik asit içeren rejenere asit üretilir ve bu asit yüzey temizleme işleminde kullanılır.

Absorpsiyon kolonundan çıkan atık gaz HF kalıntılarının uzaklaştırılması amacıyla önce (alkali) ıslak yıkayıcıda, hala nitrik asitten kaynaklı NOx içeren artık gazlar ise seçici katalitik indirgeme yöntemi ile temizlenir.

Sıcak spreyleme ile asit rejenerasyonunun çevresel etkileri arasında, temiz asit tüketiminin 2,5-7 kg/ton HF ve 3-10 kg/ton HNO_3 seviyesinden 0,8-1,2 kg/ton HF seviyesine azaltılması ve nötralizasyon çamuru oluşum miktarının düşürülmesi yer almaktadır.

Bu sistemin kullanılması ile enerji ve kimyasal tüketimi artmakta, hava emisyonları ve atıksu oluşmakta, farklı işlemlerde kullanılabilecek karışık oksit yan ürünleri elde edilmektedir. Azalan asit tüketimine ve ekonomiye kazandırılan yan ürünlere bağlı olarak maddi faydalar sağlanabilmektedir (EC, 2001a).

Karışık asit (HNO_3 ve HF) geri kazanımının iyon değişimi yöntemi ile sağlanması

İyon değişimi yöntemi ile karışık asit (HF ve HNO_3) geri kazanımı prosesinin temelinde çözünmüş metal iyon değiştirici reçine yatağından geçerken, serbest asidin reçinelerde absorplanması prensibi bulunmaktadır. Reçinede biriktirilen asit ise su ile yıkama sırasında oluşan ozmotik basınç farkına dayanılarak geri kazanılır. Bu yöntemin en önemli avantajı kullanılan ekipmanın küçüklüğü nedeniyle daha az yer ihtiyacı yaratmasıdır.

Rejenerasyon sürecinde, 1 kg demir için yaklaşık olarak 0,25-0,40 kWh elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Sistemin demineralize su ihtiyacı ise yaklaşık olarak 1 m^3 su/m^3 asitleme çözeltisi seviyesindedir. Bu yöntemin kullanıldığı durumlarda asitleme çözeltisinin metal içeriğinin 50-60 g/L değerini aşmaması ve sistemin ekonomik açıdan uygun olabilmesi adına asit tüketiminin en az 40 L/saat olması gerekmektedir (EC, 2001a).

Karışık asit (HNO_3 ve HF) geri kazanımının difüzyon diyaliz yöntemi ile sağlanması

Difüzyon diyaliz yöntemi ile karışık asit (HF ve HNO_3) geri kazanımı prosesinin temelinde sistemde kullanılmış asit çözeltisi ile demineralize suyun ayrılması amacıyla kullanılan iyon değiştirici membranlar arasında konsantrasyon farkı yaratılması prensibi bulunmaktadır. Sistemde kullanılan özel anyon değiştirici membranlar, yapılarında bulunan pozitif yüzey yükü sayesinde anyonların (serbest asit) membran içerisine difüze olmasını sağlarken, pozitif yükleri nedeniyle katyonları (metaller) engellemektedir. Sistemde su ve kullanılmış asit ters akımlı olacak şekilde membranlar üzerinden geçirilmektedir. Sistem çıkışında diyalizat olarak da adlandırılan kullanılmış su akımı nötralizasyon ünitesine iletilmektedir.

Serbest asidin %80-85 oranında geri kazanılabildiği bu sistemde elde edilen asidin %5 metal kirliliği içerecek şekilde saflaştırılması mümkündür. Öte yandan normal ömürleri 3-5 yıl arasında değişen membranların kullanımında oksitleyici veya organik maddelerin membran ile teması ya da sıcaklığın 45°C üzerine çıkarılması gibi durumlar problem yaratabilmektedir.

Difüzyon diyaliz yönteminin; kullanılan ekipmanın küçüklüğü nedeniyle daha az yer ihtiyacı yaratması, düşük enerji tüketimi (0,1-0,23 kWh/kg demir), taze asit ihtiyacının azaltımı, uzun membran ömrü gibi avantajları bulunmaktadır. Atık oluşumunun ve taze asit tüketiminin azaltılması sistemin en önemli etkileri arasında yer almaktadır. Sistemin demineralize su ihtiyacı ise yaklaşık olarak 1 m^3 su/m^3 asitleme çözeltisi seviyesindedir. Öte yandan bu yöntemin kullanıldığı durumlarda asitleme çözeltisinin metal içeriğinin 50-60 g/L değerini aşmaması ve sistemin ekonomik açıdan uygun olabilmesi adına asit tüketiminin en az 60 L/saat civarında olması gerektiği belirtilmiştir (EC, 2001a).

Karışık asit (HNO_3 ve HF) geri kazanımının buharlaştırma yöntemi ile sağlanması

Buharlaştırma yöntemi ile karışık asit geri kazanımı prosesi ile asitleme sürecinde kullanılmış HNO_3 ve HF asitlerinin vakum altında 80°C'de H_2SO_4 ile derişiminin artırılması sonucu geri kazanımı sağlanmaktadır. Süreç sonunda çöken metal tuzları ise $Ca(OH)_2$ ile nötralize edilmektedir. Proses kapsamında öncelikle kullanılmış asitler devridaim eden H_2SO_4 ile birlikte vakumlu buharlaştırıcı ünitesine beslenmektedir. Bu aşamada aşağıda belirtilen reaksiyonlar doğrultusunda metal sülfatları

oluşmaktadır. Reaksiyonlar sonucu geri kazanılan HF ve HNO_3 ise buharlaştırılıp, kondense edildikten sonra ürün tankına iletilir.

$$2\ FeF_2^{+} + 2\ NO_3^{-} + 3\ H_2SO_4 \leftrightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 4\ HF + 2\ HNO_3$$

$$2\ CrF_2^{+} + 2\ NO_3^{-} + 3\ H_2SO_4 \leftrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4\ HF + 2\ HNO_3$$

$$NiNO_3^{+} + NO_3^{-} + H_2SO_4 \leftrightarrow NiSO_4 + 2\ HNO_3$$

Taze asit tüketiminin azaltılması, toz emisyonlarının ve atıksu içeriğinde nitrat oluşumunun ortadan kaldırılması sistemin en önemli etkileri arasındadır. Sistemin diğer etkileri; enerji ve H_2SO_4 tüketiminin artması ve metal hidroksitleri nötralize edilecek metal sülfatlarının oluşmasıdır. Azalan asit tüketimine, asitlemede kullanılan asitlerin kompozisyonunun kolaylıkla sabitlenebilmesine ve asit nötralizasyonu aşamasının tamamen ortadan kaldırılmasına bağlı olarak maddi faydalar sağlanabilmektedir. Toplam asidin rejenerasyonu sistemin uygulanmasında önemli bir itici güçtür (EC, 2001a).

Elektrolitik yüzey temizleme çözeltisinin temizlenmesi ve yeniden kullanılması

Asitleme prosesinde oluşan çözünmeyen tuzların ve metallerin elektrolitik sodyum sülfat çözeltisinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle elektrolit akımının bir kısmı plakalı çöktürme tanklarından geçirilerek içerdiği partikül maddelerin giderimi sağlanır. Temizlenen çözelti elektroliz aşamasında tekrar kullanılırken, elde edilen çamur krom indirgeme ünitesine iletilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile elektroliz kullanım süresi ve atık oluşumu azaltılabilmektedir (EC, 2001a).

Kullanılmış yüzey temizleme çözeltisinin başka bir işlemde kullanılması

Pirohidroliz işleminin, akışkan yatak ve sıcak spreyleme proseslerinin kullanımı ile gerçekleştirilmesi mümkündür. Akışkan yatak sisteminin çalışma prensibi, kullanılmış asit çözeltisinin yüksek sıcaklıkta termal dekompozisyona uğratılmasına dayanmaktadır. Süreç kullanılmış asit çözeltisinin ayırma tankı ve bunu takiben venturi yıkayıcıya iletilmesi ile başlar. Reaktör atık ısısı vasıtasıyla ısıtılan, venturi çıkışında konsantre hale gelmiş asit çözeltisinin bir kısmı 850°C sıcaklıktaki demir oksit taneleri, asit ve sudan oluşan akışkan yatağa beslenir. Burada reaksiyon sonucu oluşan demir oksit reaktör tabanından sürekli olarak çekilirken, asit, buhar, yanma gazları ve eser miktarda demir oksit partikülü içeren sıcak atık gaz karışımı öncelikle demir oksit partiküllerinin ayrımı amacıyla siklondan geçirilir. Sonrasında venturi yıkayıcıda 100°C'ye soğutulur. Soğutulmuş gaz karışımı asit geri kazanımının gerçekleştirildiği absorpsiyon ünitesine iletilirken, geri kalan atık gaz karışımı asidik bileşenlerden arındırılarak atmosfere verilmektedir.

Sıcak spreyleme yönteminde süreç kullanılmış asit çözeltisinin venturi reküperatör ünitesine beslenmesi ile başlar. Burada reaktörden gelen sıcak gazlar ile konsantrasyonu artırılan asit çözeltisi üst kısmından spreyleme yolu ile reaktöre iletilir. Reaktörde 450°C'de gerçekleşen pirohidroliz (pyrohydrolytic) reaksiyonu neticesinde demir klorür ve suyun, hidrolik asit ve demir oksit oluşturmak üzere ayrılması sağlanmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan demir oksit reaktör tabanından pnömatik yöntemle toplanırken, hidroklorik asit, buhar ve yanma gazlarından oluşan gaz akımı absorpsiyon ünitesine iletilir. Absorpsiyon ünitesinde asitleme hattından elde edilen absorpsiyon suyu kullanılabilir. Absorpsiyon ünitesi çıkışında elde edilen hidroklorik asit, asitleme prosesinde tekrar kullanılırken, geriye kalan atık gaz akımı sodyum tiyosülfat ilavesi ile kostik yıkama yöntemi ile temizlenerek, içeriğindeki HCl ve serbest Cl_2 konsantrasyonu 2 mg/m^3'ün altına düşürülmektedir.

Sistemin başlıca çevresel etkileri, taze asit tüketimi ile atıksu ve çamur oluşumunun azaltılmasıdır. Bu sistemler sadece çinko içeriği olmayan çözeltilerde uygulanabilmektedir. Girdi içerisinde çinko bulunması durumunda prosesin bozulacağı belirtilmektedir. Öte yandan bazı kaynaklarda girdi için 2-3 g/L çinko değerinin limit olduğu belirtilmiş olmasına rağmen, çinko içeriğine bağlı sorunlar devam etmektedir. Kullanılmış asidin çinko içeriğinin çeşitli ön arıtma işlemleri ile giderilmesi mümkündür. Sıcak spreyleme yöntemi kesikli sıcak daldırmalı kaplama işleminde rejenerasyon amacıyla kullanılmamaktadır. Bu teknikler düşük kapasiteli üretim için uygun olmadığından galvanizleme endüstrisinde yaygın değildir (EC, 2001a).

Yüksek alaşımlı çelikler için elektrolitik ön yüzey temizleme işleminin uygulanması

Ön asitleme işlemi en fazla 80°C'de tutulan nötral elektroliz tankında, sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Elektrolitik ön asitleme tesislerinde genellikle sızdırmazlık sağlanmış olup, sistem çıkışında gazlar bir baca gazı yıkama ünitesinden geçirildikten sonra atmosfere bırakılmaktadırlar.

Karışık asit tüketiminin azaltılmasına bağlı olarak NO_x ve nitrat salımlarının azaltılması ve baca gazı emisyonları için yıkama ünitelerinin kullanılması sistemin önemli çevresel etkileri arasındadır. Bu teknik yeni kurulan tesislerde uygulanabilmektedir. İşletmede olan tesislerde ise yeni asitleme hatları için uygun alanın sağlanması durumunda uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Proses ve asit tankları kaynaklı emisyonlarının azaltımı (gaz yıkama sistemi)

Asitleme prosesi kaynaklı emisyonlarının kontrolüne yönelik teknolojiler, kullanılan asitleme yöntemi bazında çeşitlendirilebilmektedir. Asitleme tankında oluşan emisyonların toplanması amacıyla kullanılan teknikler, tankın açık ya da kapalı olmasına bağlı olarak değişmektedir. Açık tanklarda emisyon kontrolünün sağlanması amacıyla çatı ya da duvar bağlantılı toplama sistemleri kullanılmakta olup, bu sistemlerde uygun emisyon limitlerine ulaşılabilmesi için yüksek hacimlerin çekilmesi bu nedenlerde yüksek kapasiteli fanların kullanılması gerekmektedir. Öte yandan emisyonların kontrolü açısından en verimli tekniğin kapalı/sızdırmazlığı sağlanmış tankların kullanımıdır. Ancak kapalı sistemler genellikle levha ve tel üretimi gibi sürekli proseslere uygulanabilirken, açık sistemler kesikli proseslerde kullanılmaktadır.

Asitleme prosesi kaynaklı emisyonlarının azaltımına yönelik teknolojiler genellikle kapalı sistemlerde gaz veya sıvının absorplanması olarak tanımlanan ıslak yıkama prensipleri doğrultusunda çalıştırılmaktadır. HCl ve HF gibi çözünür asitlerin ve amonyağın absorpsiyonu için su (genellikle durulama suyu) kullanılırken, SO_2, H_2S ve Cl_2 düşük çözünürlüğe sahip asitlerin absorpsiyonu için bazik çözeltiler kullanılmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması ile hava emisyonları –özellikle kaçak asit emisyonları– azaltılabilmektedir. Sistemin diğer etkileri; enerji tüketiminin artması ile asidik atıksu oluşması ve bunun arıtılmasına bağlı olarak kimyasal tüketiminin ve arıtma çamuru oluşumunun artmasıdır. Oluşan atıksuyun proseste tekrar kullanılması (örneğin HCl rejenerasyonunda durulama suyu olarak) mümkün olabilmekte, fakat arıtılması sürecinde nötralize edilmesi gerekmektedir.

Farklı teknolojiler ile elde edilen emisyon değerleri şu şekildedir:

- Dolgulu yıkayıcı ve ızgaralı sis tutucu (demister) için; 2,7/2,8/21,2 mg/m^3 HCl, sırasıyla %99,5/%97,8/%97 verim ile

- Plakalı yıkayıcı ve ızgaralı sis tutucu için; 3,5 mg/m^3 HCl, %99,96 verim ile
- Plakalı yıkayıcı ve şevron sis tutucu için; 12,9 / 13,4 mg/m^3 HCl, %99,0 verim ile
- Su perdesi ve sis tutucu için; 10-15 mg/m^3 HCl
- Çapraz akışlı dolgulu yıkayıcı için; 10-15 mg/m^3 HCl

Bu teknik hem yeni kurulan hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir. Asitleme/kapalı karışık asit tankları kaynaklı emisyonlarının gaz yıkama sistemi kullanılarak azaltımı prosesi, özellikle NO_x emisyonlarının azaltımı amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla su veya NaOH, H_2O_2 ya da ürenin kullanılması mümkündür.

NO_x azaltım veriminin artırılması amacıyla iki veya daha fazla dolgulu yıkayıcı ünitesi kullanılabilimektedir. Bu tip sistemlerde bir kısım kolon indirgeme, bir kısım kolon ise yükseltgeme amacıyla çalıştırılmaktadır. İndirgeme kolonu NaOH ve indirgeyici madde olarak kullanılan NaHS'in ters akımlı şekilde sistemden geçirilmesi ile çalıştırılırken, yükseltgeme kolonunda NO'nun NO_X'a dönüştürülmesi sağlanmaktadır. H_2O_2 ile gerçekleştirilen yıkama süreçlerinde ise ağırlıkça %20 ve %0,5 oranlarında HNO_3 ve H_2O_2 içeren bir yıkama çözeltisi kullanılmaktadır. Bu tekniğin uygulanması ile hava emisyonları – özellikle kaçak asit (HF ve NO_x) emisyonları – azaltılabilmektedir. 0,2-2 mg/m^3 (en fazla 17 mg/m^3) HF ve 5-1000 mg/m^3 NO_x emisyonu değerleri elde edilebilmektedir. Öte yandan endüstriyel uygulamalarda elde edilen en düşük NO_x emisyonu değerinin 350 mg/Nm^3 olduğu belirtilmiştir.

Sistemin diğer etkileri arasında H_2O_2 ile yıkama prosesinde yan ürün olarak oluşan HNO_3'ün asitleme prosesinde tekrar kullanılması, HNO_3 tüketiminin azaltılması, atıksu ve buna bağlı olarak arıtma çamuru oluşumunun azaltılması, asitleme tankında H_2O_2 veya üre kullanılması durumunda, yıkama suyunun asitleme tankında kullanılması, NaOH ile yıkama prosesinde $NaNO_3$ atığının oluşması yer almaktadır (EC, 2001a).

Karışık asit yüzey temizleme prosesinden çıkan NOx emisyonunun yüzey temizleme banyosuna H_2O_2 (veya üre) ilavesiyle tutulması

Karışık asit yüzey temizleme prosesinden çıkan NO_x emisyonunun asitleme banyosuna H_2O_2 (veya üre) ilavesiyle tutulması işlemi, H_2O_2 ile NO_x arasında gerçekleşen bir dizi reaksiyon çerçevesinde yürütülmektedir. Bu amaçla H_2O_2'in asit banyosuna, resirküle edilen dekapaj çözeltisine enjekte edilmesi ile ya da püskürtme borusundan veya sprey asitleme aracından doğrudan enjekte edilmesi ile ilavesi mümkündür. NO_x emisyonlarının azaltılması sistemin en önemli çevresel etkilerinden bir tanesidir. Asit tüketiminin azaltılması ve H_2O_2 tüketimi (3-10 kg/ton) sistemin diğer etkileri arasında yer almaktadır.

H_2O_2 ilavesi ile birlikte sistemde oluşan NO_x emisyonlarının HNO_3 şeklinde tutulması sağlanırken, bu sayede %25'e varan asit tasarrufu sağlanabilmektedir. Asitleme banyosuna veya gaz yıkama sistemine üre ilave edilmesi durumunda ise NOx emisyonunun 850 mg/m^3'ün altına düşürülmesi mümkün olmaktadır. %70 NO_x azaltımı için H_2O_2 ekleme maliyeti 4 Avro/kg NO_x olarak belirtilmiştir (EC, 2001a).

Paslanmaz çeliğin yüzeyinin nitrik asit yerine H_2SO_4 ve H_2O_2 kullanılarak temizlenmesi

Paslanmaz yüzeyinin çeliğin nitrik asit kullanılmadan temizlenmesi prosesi temelde asitleme sürecine asit ve oksitleyici özellikleri ile katılan HNO_3'in yerine asit özelliğinin sağlanması için H_2SO_4, oksitleyici özelliğin sağlanması için ise H_2O_2 kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bu tekniğin uygulanmasının; yüzey temizleme işleminin daha kısa sürede gerçekleştirilmesi, NO_x emisyonlarının azaltımı, daha az atık çamur oluşumu, asitleme işleminin daha az agresif olmasına bağlı olarak daha uzun süreli banyo

ömrünün elde edilmesi ve asitleme işleminin daha düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi nedeniyle enerji tasarrufunun sağlanması gibi çeşitli avantajları da bulunmaktadır. Yeni tesislerde uygulanabilirken, işletmede olan tesislerde ise ancak geniş çaplı bir modernizasyon yapılması halinde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Asidin seyrelmesini önlemek amacıyla ısı değiştiriciler vasıtasıyla ısıtılması

Proses çözeltilerinin ısıtılması amacıyla ısı değiştiricilerin kullanılması mümkündür. Atık ısının buhar olarak veya daha düşük sıcaklığa sahip başka bir ısıtıcı ortam olarak oluştuğu durumlarda yaygın olarak ısı değiştiriciler kullanılmaktadır ve ısı transferini gerçekleştirmek için geniş yüzey alanına ihtiyaç duymaktadır. Isı değiştiricilerin kullanımı daha eski bir yöntem olan buhar enjeksiyonunun aksine asidin seyrelmesini önlemektedir. Isı değiştiricilerin kullanımında ısı taşıyıcı madde ile ısıtılacak maddenin teması söz konusu değildir (EC, 2001a).

Asidin daldırmalı yanma vasıtasıyla ısıtılması

Proses çözeltilerinin ısıtılması amacıyla kullanılabilecek bir diğer yöntem daldırmalı yanma yöntemidir. Daldırmalı gaz brulörlerinin kullanılması ile ısıtıcı ortam, sıcak baca gazı, ısıtılacak sıvının doğrudan içerisine üflenir. Sıvının doğrudan ısıtılması prensibine dayanarak geliştirilen bu yöntemde ısıl verimin artırılması sağlanırken, ısıtılacak malzemenin CO_2, SO_2 ve NO_x gibi çeşitli kirleticilerle kontamine olmasına da sebep olunabilir (EC, 2001a).

Haddeleme işlemi

Sürekli haddeleme (tandem) prosesinin kullanılması ve otomasyonu

Sürekli haddeleme yönteminde, tandem haddeleme öncesinde kaynak makinesi ve akümülatörün kullanımı ile bobinler birleştirilerek şeridin sürekli beslenmesi sağlanmaktadır. Bobin sonlarında ölçülerin daha iyi kontrolüne bağlı olarak malzeme veriminin artırılması, ürün kalitesinin artırılması ve merdane değiştirme sıklığının azaltılması sistemin önemli avantajları arasında yer almaktadır.

Mümkün olan en dar kalınlık toleranslarının, maksimum çıktı ve optimum verimlilik değerlerinin elde edilebilmesi için, sığ türbülanslı bir asitleme tesisi tankı, bir tandem hadde ile birleştirilebilmektedir. Genellikle tandemden önce bir akümülatör ve kaynak makinesi kullanılmasıyla da aynı iyi sonuçlar elde edilebilmekte ve kapasite artışını sağlanabilmektedir. Tandemden önce akümülatör ve kaynak makinesinin kullanılması, bobinlerin birleşmesi ve şeridin sürekli olarak haddeye beslenmesine imkan vermektedir.

Tandem hattında, asitlenmiş ve sıcak haddelenmiş şerit hat üzerinden tek bir geçişte istenen nihai kalınlığa indirilmektedir. Birkaç ayrı emülsiyon sisteminin kurulması sebebiyle, temizleme etkisinin artırılması için son stantta özel bir emülsiyon uygulanabilmekte ve bu amaçla, deterjan veya %1 yağ içerikli hafif bir emülsiyon kullanılabilmektedir.

Sürekli haddeleme, bobin uçları için şerit kalınlıklarının ve yüzey kalitesinin iyi bir şekilde kontrol edilmesine imkan vermekte olup; malzeme verimliliğinin artması, enerji ve yağ tüketiminin azaltılmasını sağlamaktadır.

Bu teknik, yüksek üretim kapasiteli ve aynı türde ürün üreten yeni veya modernize edilmiş mevcut tesislerde uygulanabilmektedir. Sürekli haddeleme, kesikli haddeleme ile karşılaştırıldığında birçok

avantaja sahip olmaktadır. Malzeme verimliliği ve ürün kalitesinin artması dışında merdane değiştirme sıklığının azalması da bu avantajlar arasında yer almaktadır (EC, 2001a).

Yüzey temizleme prosesinin tandem haddeleme ile birleştirilmesi

Mevcut yüzey temizleme hattının yine mevcut tandem haddeleme ünitesi ile birleştirilmesi, her iki sistemin kapasitelerinin dengede olduğu durumlar için fayda sağlamaktadır. Hataların azaltılmasına bağlı olarak hurda oluşum miktarının düşürülmesi sistemin olumlu etkileri arasındadır. İşlem süresinin düşmesi, hataların azalması ve verimin artması da sistemin hayata geçirilmesi yönündeki önemli etkenlerdir. Yeni kurulan tesislerde uygulanabilirken, işletmede olan tesislerde ise geniş çaplı bir modernizasyon yapılması halinde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yağ tüketiminin azaltılması ve ürün kalitesinin sağlanması amacıyla hadde yağı ve emülsiyon sisteminin optimize edilmesi

Tandem haddeleme yağının seçimi (distilasyonunun iyi olması, yağ giderme hatlarında kolaylıkla ayrılması vb.) ürün kalitesi açısından önem taşımaktadır. Öte yandan tandem hattının; yağ tüketiminin azaltılmasında etkili olacak şekilde iyi yağlama özelliklerine sahip olması, çeşitli kazalar sonucu oluşabilecek yağ kaçaklarının sistemden kolaylıkla ayrılabilmesi, emülsiyonun uzun süreli kullanımının sağlanabilmesi için yağ kalitesinin devamlılığının sağlanması gibi çeşitli kriterler çerçevesinde çalıştırılması gerekmektedir. Yağ tüketiminin azaltılması ve atık emülsiyon gideriminin azaltılması sistemin en önemli çevresel etkileri arasında yer almaktadır (EC, 2001a).

Emülsiyon kalitesinin sürekli izlenmesi, kontaminasyonun önlenmesi

Emülsiyon kalitesinin kontrolü; asitleme hattından asit bulaşması, emülsiyon soğutma suyu karışması, hidrolik veya morgoil yağı bulaşması, emülsiyonda bakteri oluşması ya da demir parçacıkları ile kontamine olması gibi çeşitli nedenlerle kolay değildir. Bu gibi kazaların olması durumunda tandem emülsiyonunun yenilenmesi gerekmektedir. Emülsiyon özelliklerinin (yağ konsantrasyonu, pH, sabunlaşma indeksi, asit konsantrasyonu, kirletici ve demir parçacıkları konsantrasyonu) düzenli ve sürekli olarak takibi emülsiyon kalitesinin kontrolü açısından fayda sağlamaktadır. Yağ/emülsiyon tüketiminin azaltılması ve giderilmesi gereken atık emülsiyon miktarının azaltılması sistemin en önemli çevresel etkileri arasında yer almaktadır.

Bağlantıların ve boruların düzenli kontrol edilmesi ile emülsiyon kaçakları önlenerek hidrolik ve morgoil yağlarının haddeleme emülsiyonuna karışması önlenir. Emülsiyon tüketiminin azaltılması ve atıksu arıtma ve deşarjının düşürülmesi sistemin çevresel etkileri arasındadır. Bu teknik, hem yeni kurulan hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Emülsiyonun temizlenmesi, yeniden kullanılması ve arıtılması

Haddeleme emülsiyonunun, partikül maddelerin, çelik parçacıklarının, tufal veya tozun karışması ile kirlenmesi mümkündür. Emülsiyonun katı maddelerden temizlenmesine ilişkin işlemler çökelme tankı, seperatör, elek filtre veya manyetik filtre gibi yerçekimi kurallarına bağlı olarak çalışan sistemler vasıtasıyla veya santrifüj sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir.

Son dönemde kullanılan sirkülasyonlu emülsiyon temizleme sistemleri ile emülsiyon kalitesinin sürekliliği artırılmıştır. Soğuk haddeleme emülsiyonunun tüketiminin azaltılması ve atıksu oluşum hacminin azaltılması sistemin önemli çevresel etkileridir (EC, 2001a).

Yağ buharı emisyonlarının tutulması ve yağın ayrıştırılması

Emülsiyon buharları hat boyunca tutularak, dolgulu, plakalı ve elekli tip ayırıcılar kullanılarak temizlenmektedir. Bazı durumlarda yağ zerreciklerinin ayrılması amacıyla elektrostatik filtrelerin de kullanımı söz konusudur. Süreç sonunda ayrılan emülsiyon, sistemde tekrar kullanılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile emülsiyon buharı emisyonlarında %90'a varan azaltım sağlanabilmektedir. Sistemde geri kazanılan yağın tekrar kullanılması mümkündür. Ancak bazı durumlarda yağın kalitesi (bakteri içeriği vb.) buna izin vermeyebilir. Bu teknik, hem yeni kurulan hem de işletmede olan tesislerde haddeleme ve şerit kumlama hatlarında uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yağ giderme çözeltisinin arıtılarak yeniden kullanılması

Yüksek yağ konsantrasyonlarında kullanılamaz hale gelebilen yağ giderme banyolarının kullanım ömrünün artırılması amacıyla banyoların bakımı ve temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda sıralanan işlemler uygulanmaktadır.

- Yağ giderme malzemeleri, yağ çökeltileri, partiküller gibi çeşitli kirliliklerin giderimi amacıyla mekanik temizleme (kazıma, yer çekimine bağlı ayırma, sıyırma, yıkama, santrifüjle ayırma vb.),
- Demir parçacıkları ve yağın oluşturduğu karışımın giderimi amacıyla manyetik ayırıcı/filtrelerin kullanımı,
- Yüzey aktif madde ve yağlar ile absorplama (filtrasyon sonrasında çökeltme),
- Membran filtrasyonun kullanımı

Yeni bazik banyolar için kimyasal tüketiminin önemli bir derecede düşürülmesi ve atıksu oluşumunun ve deşarjının azaltılması sistemin önemli çevresel etkileri arasında sınıflandırılmaktadır. Yağ giderme çözeltisinin temizlenmesi sürecinde ortaya çıkan yağ ve gres atıklarının enerji geri kazanımı amacıyla kullanımı veya insinerasyon yöntemi ile bertaraf edilmesi mümkündür (EC, 2001a).

Yağ giderme tesisinde buhar emiş sisteminin kullanılması

Yağ giderme banyolarında ve sürekli tavlama hattının ön temizleme bölümünde oluşan buharlar toplanarak baca gazı arıtma sistemi vasıtasıyla temizlenmektedir. Baca gazı arıtma aşamasında tesis içerisinde geri kazanılan su adsorban olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde oluşan yıkama suyunun bir kısmı, yağ giderme hattında veya sürekli tavlama tesisinde bulunan, atıksu arıtma tesisleri üzerinden deşarj edilmelidir. Yağ giderme banyolarında oluşan buharlardan kaynaklı kaçak emisyonlarının azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir (EC, 2001a).

Temperleme işlemi

Emülsiyon sisteminin optimize edilmesi

Emülsiyon sisteminin optimizasyonu kapsamında; emülsiyon için düşük basınçlı spreylerin kullanılması ve emülsiyon jeti sayısının şerit genişliğine adapte edilmesi olmak üzere iki farklı uygulama mevcuttur. İlk uygulamada, uygun basınç ve tipte sprey sistemlerinin kullanılması ile emülsiyonun atomizasyonu en aza indirgenebilir. İkinci uygulamada ise, temper hadde emülsiyonu yeniden kullanılamadığından, spreylerin diziliminin optimizasyonu ile emülsiyon tüketimi azaltılabilmektedir. İlk uygulama ile yağ emisyonlarının azaltımı sağlanırken, ikinci uygulamada yağ tüketimi azaltılmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Kuru temperleme prosesinin kullanılması

Kuru temperleme sisteminde yağ tüketiminin olmaması en önemli çevresel etkidir. Hava emisyonlarının oluşması, buna bağlı olarak atık gaz tahliye sistemi gerektirmesi ve filtre tozu gibi katı atıkların üretilmesi sistemin diğer etkileri olarak sıralanmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Temper haddeleme emülsiyonun temizlenmesi

Kullanılmış temper haddeleme emülsiyonu deşarj edilmeden önce yağ kalıntılarının giderilmesi amacıyla genellikle tandem haddeleme emülsiyonu ve diğer yağlı atıklar ile birlikte arıtılmaktadır. Su ekosistemi üzerindeki kirlilik yükünün azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Enerji ve ham madde tüketiminin artması sistemin diğer etkileri arasındadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yağ buharı ve toz emisyonlarının, toplanarak ıslak ya da kuru filtrelerden geçirildikten sonra mekanik yağ buharı tutucuları ve siklonlar aracılığıyla temizlenmesi

Yağ buharı ve toz emisyonları toplanarak ıslak ya da kuru filtrelerden geçirildikten sonra mekanik yağ buharı tutucuları ve siklonlar vasıtasıyla temizlenmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile yağ emisyonları %90'nın üzerinde bir oranda azaltılabilmektedir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir. Yağ buharı giderici için yatırım maliyeti 375 bin Avro civarındadır. Bu miktarın 1/3'ü yağ azaltımı, geri kalanı ise toz tutma ekipmanlarının maliyetidir. Bu ekipmanlar, 6000 Avro/yıl işletme maliyetine ve 70 kWh elektrik tüketimine sahiptir. Bu tekniğin uygulanmasında gerekli bir diğer ekipman olan siklonun yatırım maliyeti 25 bin Avro, işletme maliyeti ise 2500 Avro/yıl'dır ve 45 kWh elektrik tüketimine sahiptir (EC, 2001a).

5.1.8.11 Filmaşin Çekimi

Hammadde ve yardımcı maddelerin depolanması ve taşınması sırasında sızdırmazlığın sağlanması ve aside karşı dirençli tali güvenlik bariyerlerinin kullanılması

Taze ve kullanılmış asidin depolandığı tanklar etkin ve sızdırmazlığı sağlanmış tali güvenlik bariyeri ile donatılmış olmalı, gerekli durumlarda koruyucu kalkan ile takviye edilmelidir. Tali güvenlik bariyerinin aside karşı dirençli bir kaplama ile tamamen korunuyor olması ve olası çatlaklara karşı düzenli olarak kontrol edilmesi önem taşımaktadır. İlaveten, asitlerin yükleme ve boşaltımının yapıldığı bölgelerin, olası sızıntıların doğrudan atıksu arıtma sistemine iletilebileceği ya da ayrı bir şekilde toplanabileceği şekilde tasarlanması gerekmektedir (EC, 2001a).

Mekanik tufal giderme (bükme, fırça) yöntemlerinin uygulanması

Haddeleme esnasında telin üzerinde oluşan ve genellikle metal oksitleri içeren tufal, bükme ve burulma işlemleri uygulanarak kırılmakta ve toplama haznelerine düşerek yağsız ve kuru halde toplanabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile atık oluşumu azaltılmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir. Teknik olarak filmaşin çekme işleminde gerçekleştirilen tüm mekanik tufal giderme işlemlerinde kullanılması mümkündür. Geri dönüşüm aşamasındaki kısıtlama ise teknik etkenlere değil, tufali kullanacak olan tesisin kabul kriterlerine bağlıdır (EC, 2001a).

Tufalin kumlama yöntemi ile giderilmesi

Kumlama işlemi ile saniyede binlerce metal parçacığın çelik yüzeyinden koparak ayrılması sağlanmaktadır. Bu amaçla tufal giderme işleminin içerisinde yapılabileceği kapalı bir ortam, hat hızı ve üretim gerekliliklerine bağlı olarak değişebilen güçte kumlama motoru, kumlama malzemesi için uygun bir geri toplama sistemi ve bu malzemenin temizlenmesi için geri kazanım sistemi, kumlama malzemesinin depolanması için uygun depo alanı ve toz toplama sistemi bölümlerinden oluşan bir kumlama prosesi kullanılmaktadır.

Kumlama veya taşlama gibi proseslerin söz konusu olduğu durumlarda kullanılan aşındırıcıların tufale karışması mümkün olmaktadır. Bu tip durumlarda aşındırıcı malzemenin tufalden ayrılarak geri kazanımı hem ekonomik (daha az tüketim) hem de çevresel (daha az atık) sebeplerle faydalı olacaktır. Ancak sınırsız bir geri kazanım, kalitenin düşmesi ve yüksek seviyede toz oluşumu sebepleriyle mümkün değildir. Kumlama işleminin kapalı bir kabinde gerçekleştirilmesi ile toz yayılımı azaltılabilmekte, ayrıca karışım içerisindeki kirletici ve tozdan ayrılan kumlama malzemesinin geri kazanımı sağlanmaktadır. Bu sayede kumlama malzemesinin tüketimi azaltılabilmektedir. Bununla birlikte, sistemin hayata geçirilmesi ile tufal, ayrıca toplanıp tekrar kullanılabilmektedir (EC, 2001a).

Mekanik tufal giderme yöntemi ile toplanan tufalin akışkanlaştırılması ve özel bir haznede filmaşin yüzeyine jet pompaları ve sıkıştırılmış hava vasıtasıyla püskürtülmesi

Tufal giderimi amacıyla kullanılabilecek bir diğer yöntem ise akışkanlaştırma ile tufal giderme yöntemidir. Bu yöntemde filmaşinin bükme ve döndürme işlemlerine tabi tutulması ile tufal giderimi sağlanır. İşlem sonunda toplanan tufal akışkanlaştırılmakta, akışkanlaştırılan tufal ise jet pompaları ve sıkıştırılmış hava vasıtasıyla özel bir haznede filmaşin yüzeyine püskürtülmektedir. Bu sayede metal yüzeyindeki tufal giderilirken, toplanan kaba tufal tekrar kullanılır. İnce tufal ise boya üretiminde girdi olarak değerlendirilir. Bu yöntem düşük ve yüksek karbonlu çelik üretiminde kullanılabilmesi, düşük yatırım maliyeti ve tesis alanı gereksinimi ve kum, çakıl vb. ek malzemelere ihtiyaç duymaması gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Sistemin hayata geçirilmesi ile tufalin ayrıca toplanıp tekrar kullanılması sağlanabilmekte ve kumlama malzemesinin tüketimi azaltılabilimektedir (EC, 2001a).

Tufalin demir ve çelik üretiminde kullanılarak geri kazanılması

Elde edilen tufal diğer atıklardan ayrı toplanarak içeriğindeki demirden fayda sağlanmak üzere birincil demir-çelik üretiminde kullanılabilmektedir. Ancak bu geri dönüşümün hayata geçirilmesi bölgede faaliyette olan demir-çelik endüstrisinin nispeten kullanımı zor olan bu ikincil yan ürüne karşı ilgisine bağlıdır (EC, 2001a).

Kimyasal tufal giderme işlemi ile filmaşinin yüzeyinin temizlenmesi

HCl yüzey temizleme banyosunun banyo sıcaklığı ve asit konsantrasyonu bakımından optimum aralıkta işletilmesi

Açık banyo vasıtasıyla asitleme sürecinde termodinamik denge ve asidin buhar basıncı özelliklerine bağlı olarak banyo sıcaklığı ve asit konsantrasyonunun önem arz ettiği bilinmektedir. Uygun banyo sıcaklığı ve asit konsantrasyonun sağlanması durumunda 10 mg/m^3'ün altında emisyon değerlerinin elde edilmesi mümkündür. Öte yandan banyodaki demir klorürleri içeriğinin de emisyon azaltımı

açısından kontrol altında tutulması önemlidir. Havaya verilen asit emisyonlarının azaltılması sistemin en önemli etkilerinden bir tanesidir. Kullanılan asit konsantrasyonunun düşük olmasına bağlı olarak HCl'nin $FeCl_2$'e dönüşmesi daha yavaş olmakta buna bağlı olarak da taze asit tüketimi artmaktadır. Kullanılmış asidin ikincil bir hammadde olarak tekrar kullanımı zorlaşmaktadır. Zira $FeCl_3$ üretiminde tekrar kullanılacak asidin minimum %10 oranında Fe konsantrasyonuna sahip olması beklenmektedir. Bu kadar yüksek bir konsantrasyon değeri ise sadece başlangıç HCl derişiminin ve HCl dönüşümünün yüksek olduğu durumlarda mümkün olabilmektedir. Ayrıca asitleme süresinin artması nedeniyle asitleme tankı kapasitenin artırılması gerekliliği ortaya çıkarken buna bağlı olarak banyo yüzey alanının artması ile HCl buharlaşma hızının (g/saat) da artması söz konusudur. Asitleme süresinin artmasına bağlı olarak yeni ve/veya daha büyük asitleme tankı yatırımı gerekliliği oluşmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yüzey temizleme tankında buhar kontrolü ve arıtımı yapılması

Asitleme tankında oluşan buhar ve aerosollerin sistem tasarımında gerçekleştirilebilecek düzenlemeler (yandan çekiş sistemleri, davlumbazlı veya üstü kapalı asitleme banyoları vb.) ile kontrolü mümkündür. Bu şekilde toplanan banyo buharı baca vasıtasıyla dışarı atılır. Soğuk haddeleme prosesi için söz konusu olan önlemler filmaşin çekme prosesi için de geçerlidir. Sistemin çevresel etkileri arasında asitleme süreci kaynaklı kaçak emisyonlarının (asit buharları ve aerosolleri) azaltılması yer almaktadır. Buharın yüksek hacimlerde çekilmesi buhar basıncındaki dengeden dolayı daha fazla emisyon oluşmasına neden olabilir. Davlumbaz sistemleri yeni asitleme hatlarında kullanılabilirken, işletmede olan tesislerde ise geniş çaplı bir modernizasyon yapıldığı takdirde uygulanabilmektedir. Ancak işletmede olan tesislerde bulunan asit tanklarına davlumbaz sisteminin eklenmesi veya tankın üstünün kapatılması oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Zira bu tip bir dönüşümün hayata geçirilebilmesi için tamamen yeni bir taşıma ve kontrol sisteminin (tankın üstünün kapatılması durumunda operatörün tankı görerek kontrol etmesi engellenecektir) kurulması gerekecektir. Yandan çekişli sistemler ise hem yeni hem de işletmede olan tesislere uygulanabilmektedir. Çalışma ortamının iyileştirilmesi ile tesisat ve ekipmanların korunması sistemin uygulanması yönündeki önemli etmenlerdir.

Arıtma tekniğinin seçimi açısından önemli parametreler, kullanılan asit tipi ve asitleme banyosunun işletim şeklidir (sıcak/soğuk, inhibitörlü/yüzey aktif maddeli vb.). Genellikle kullanılan teknikler dolgulu veya plakalı baca gazı arıtma sistemleri ve buhar tutuculardır.

H_2SO_4 ve H_3PO_4 banyolarında ısıtma olduğu durumlarda bile buhar basıncı oldukça düşüktür. Bu nedenle asit damlaları oluşmadıkça baca gazının arıtılması gerekliliği yoktur. Damlaların oluşması durumunda ise kuru tip filtre sistemi vasıtasıyla geri kazanılan asidin asitleme tankında tekrar kullanımı mümkündür.

HCl banyolarında ise asit konsantrasyonu, banyo sıcaklığı, birim zamanda işlenen filmaşin miktarı ve katkı malzemelerinin etkisi gibi çeşitli parametreler dikkate alınarak ıslak baca gazı arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Plakalı baca gazı arıtma sistemleri dolgulu sistemlere kıyasla daha az su tüketimine sahip olduğundan daha yoğun asit seviyesine sahip su oluşmasını sağlamaktadır. Elde edilen bu akım asitleme tankında tekrar kullanılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile asit buharı ve aerosol emisyonlarının azaltılması sağlanmaktadır. Buhar tutucuların (H_2SO_4 için) veya baca gazı yıkayıcıların (HCl için) kullanımı ile emisyon limiti olan 20-30 mg/Nm^3 değerlerinin altına düşülebilir. Baca gazı toplama sistemi olan yeni ve eski tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yüzey temizleme prosesinde meydana gelen taşmaların azaltılması

Asitleme prosesinde asidin filmaşin üzerinden banyo içerisine akmasının sağlanması için bobinlerin bekletilme süresinin ayarlanması gerekmektedir. Bu amaçla filmaşinin son banyo tankında yukarıya yavaşça çekilip birkaç saniye askıda bekletilmesi faydalı olurken, bobinin hafifçe titreştirilmesi ile de verimin artırılması mümkündür. Asidin dışarı taşmasının engellenmesine bağlı olarak taze asit tüketiminin, kullanılmış asit (atık) miktarının ve asitleme kayıplarının azaltılması sistemin çevresel etkileri arasındadır (EC, 2001a).

Serbest asidin kristalizasyon (H_2SO_4 için), buharlaştırma (HCl için) ve membran sistemlerinin kullanımı ile ayrılması ve tekrar kullanılması

Asitleme süreci sonunda kristalizasyon (H_2SO_4 için), buharlaştırma (HCl için) ve membran sistemlerinin kullanımı ile ayrılması mümkündür. Ancak ardışık asitleme yönteminin kullanımı söz konusu olduğunda banyoda hemen hemen tüm asidin metal tuzlarına dönüşmesi sağlanabildiğinden serbest asit ayrımı gerekliliği ortadan kalkmaktadır. Bu açıdan serbest asidin ayrılması ve tekrar kullanımına yönelik tekniklerin ardışık asitleme tekniğine birer alternatif olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır. Bu tekniğin uygulanması ile elde edilen çevresel etkiler taze asit tüketiminin ve kullanılmış asit (atık) miktarının azaltılmasıdır (EC, 2001a).

Kullanılmış asidin rejenere edilmesinde Pirohidroliz (akışkan yatak, sıcak spreyleme), Bipolar membran, Buharlaştırma yöntemlerinin veya Elektrolitik yöntemin kullanılması

Kullanılmış asidin rejenerasyonu amacıyla pirohidroliz yöntemi (akışkan yatak, sıcak spreyleme), elektrolitik yöntem, bipolar membran yöntemi veya buharlaştırma yönteminin kullanılması mümkündür. Asitli atıkların azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Rejenerasyon tesislerinde işlenmesi gereken minimum asit kapasitesi, tek bir filmaşin çekme tesisinde tüketilen aside kıyasla oldukça fazladır. Filmaşin çekme işlemi yapılan tesisler asit rejenerasyonu konusunda dış taşeronlara bağlıdır (EC, 2001a).

Harcanan asidin ikincil hammadde olarak tekrar kullanılması

Kullanılmış asidin kimya endüstrisinde $FeCl_3$ üretiminde ve düşük oranda pigment üretiminde ikincil hammadde olarak kullanımı mümkündür. Kullanılmış asitten değerli kimyasalların üretilmesi Avrupa'nın birçok bölgesinde uygulanırken, Zn, Pb gibi bazı özel safsızlıkların giderimine yönelik prosesler de geliştirilmiştir. Asitli atıkların azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Yıkama suyu tüketiminin ardışık yıkama yapılarak minimize edilmesi

Filmaşinler sıralı olarak dizilmiş yıkama tanklarından geçirilerek temizlenmektedir. Tanklarda bulunan suyun kirlilik seviyesi son tanka doğru azalmakta, son tankta ise taze su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir. Su tüketiminin tek aşamalı yıkama işlemine kıyasla azaltılması bu tekniğin en önemli çevresel etkisidir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Soğuk çekme

Buharlaşma emisyonlarının emilmesi ve arıtılması

Çekme makinelerinin tel ile temas eden kısımları kapak veya davlumbaz ile kapatılmalı ve burada toplanan hava filtre vb. bir cihazdan geçirilerek içeriğindeki sabun tozunun tutulması sağlanmalıdır. Telin makineye takılması, kırık bir telin tamiri, kalıbın ayarlanması veya değiştirilmesi ya da sabun eklenmesi gibi çeşitli işlemler söz konusu olduğunda, kapağın kolaylıkla çıkarılabilecek şekilde tasarlanması önem arz etmektedir. Hava emisyonlarının (özellikle kaçak sabun tozu) azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Yeni tesislerde uygulanabilirken, işletmede olan tesislerde uygulanması, tesisin tasarımından ötürü teknik problemler oluşturabilmektedir. Sistemin en önemli amacı tozun çekme makinesi etrafına dağılmasının engellenmesi buna bağlı olarak çalışma ortamının iyileştirilmesidir. Ancak genellikle sabun tozu makineyi tel üzerine yapışmış bir halde terk ettiğinden %100 giderim mümkün değildir.

Filmaşin çekimi esnasında hem kalıp hem de tel sürtünme nedeniyle ısınmaktadır. Soğutma amacıyla kullanılan suyun tekrar kullanım amacıyla soğutma kulesi, hava soğutucusu vb. bir ekipmanın da bulunduğu bir su devresinden geçirilmesi gerekmektedir. Su tüketiminin azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir (EC, 2001a).

Islak çekme prosesinin uygulanması

Tel çekme işlemi esnasında hem kalıp hem de tel sürtünme nedeniyle ısınmaktadır. Oluşan bu ısı bir yağlayıcı tarafından çekilmekte olup, sıcak yağlayıcı genellikle soğutma suyu ile doğrudan temas olmadan soğutulmaktadır. Su tüketiminin azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Tel çekme işleminde yağlayıcı ve soğutucu temizliğinin yapılması

Emülsiyonun temizlenmesi işlemi santrifüjlü veya filtrasyonlu sistemlerin kullanımı ile gerçekleştirilebilmektedir. Çekme yağlayıcılarında işlem sırasında biriken metal parçacıkları çubuğun bozulması, kalitenin düşmesi gibi problemlere neden olabileceğinden yağlayıcıların temizlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Sistemin en önemli çevresel etkisi çekme yağı atığının azaltılmasıdır. Sistemin diğer bir etkisi filtre atığının oluşmasıdır. Çekme yağlayıcısının temizlenmesi ile işletme verimliliğinin ve tel kalitesinin artırılması sağlanabilir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Sürekli tavlama uygulaması

Fırın işletmesinin optimize edilmesi

Brulörlerde stokiyometriye uygun gaz karışımının kullanılması ile fırın atmosferinde O_2'nin bulunması ve buna bağlı olarak tel yüzeyinde demir oksitlerin oluşması engellenmektedir. Zira demir oksit oluşumuna bağlı olarak tel hammaddesi gereksiz yere tükenirken, sonraki proses aşamalarında asit tüketimi ve kurşun kaplamanın akması artar. Baca gazında bulunabilecek karbonmonoksitin oksijen ilavesi ile CO_2'e dönüştürülerek atmosfere verilmesi gerekirken, ısıtma yöntemi nedeniyle baca gazında NO_x oluşumu söz konusu değildir. Prosesin diğer aşamalarında (örneğin asitleme) asit tüketimin azaltılması ve baca

gazında bulunan CO içeriğinin düşürülmesi sistemin önemli çevresel etkileridir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

İndüksiyon ısıtma prosesi uygulanması

Bu yöntemde tel içerisinde manyetik alan oluşturulan bir bobin vasıtasıyla ısıtılmaktadır. Genellikle düşük ısıtma frekansı (5-50 Hz) uygulanmakta olup, nadiren yüksek frekansta (>50 Hz) ısıtma da uygulanabilmektedir. Oluşturulan manyetik alan sayesinde tel üzerinde indirgenmiş elektrik akımı oluşturularak Joule etkisi ile telin ısıtılması sağlanır. İndirgenmiş elektrik akımının telin yüzeyinde küçük bir tabakada yoğunlaşması yüzey etkisi olarak adlandırılır.

İndüksiyonla ısıtma işleminin uygulanabilirliği telin malzemesi, çapı ve hedeflenen sıcaklık artışına bağlıdır. Bu nedenle aşağıda sıralanan durumlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Tel malzemesinin manyetik özellikte olması tercih edilir. Çelik ve bazı çelik alaşımları manyetik özellikte iken, birçok paslanmaz çelik tipi ve metal kaplamaları manyetik özellikte değildir.
- Tel çapının 2-3 mm'den daha yüksek olması tercih edilir. Zira tel çapı küçüldükçe yüzey etkisinin sağlanabilmesi için daha yüksek frekansta çalışılması gerekmektedir.
- Curie sıcaklığının (çelik için yaklaşık 760°C) üzerine çıkıldığında malzeme manyetiklik özelliğini kaybedebilmektedir.

İndüksiyonla ısıtma işlemi genel olarak tek hatlı tel üretiminde östenitleme ve temperleme aşamalarında kullanılmaktadır. Östenitleme, patentleme, yağda sertleştirme ve temperleme gibi farklı ısıl işlemlerin ilk aşamasıdır. Bu işlemlerde tel sıcaklığının kontrolü önemlidir. Öte yandan indüksiyonla ısıtma işlemi çok hatlı tel üretiminde tellerin ön ısıtması için veya pirinç kaplı tel üretiminde kullanılabilmektedir. Yanma kaynaklı hava emisyonlarının engellenmesi sistemin en önemli çevresel etkisidir.

Sistemin uygulanması ile yakıt tüketiminin (doğalgaz veya LPG) yerini elektrik tüketimi almaktadır. Ancak elektrik üretimi için de yakıt tüketildiği düşünüldüğünde bu etki ihmal edilebilir. Orta frekansta indüksiyonlu ısıtma sisteminin kullanımı ile elektrik enerjisi verimliliğinin %60-85 oranında olduğu bilinmektedir. Benzer bir doğalgazlı sistemin enerji verimliliği %25-45 aralığındadır. Fakat doğalgaz ile elektrik üretiminin verimliliğinin de dikkate alındığı durumda verim %50-55 seviyesine çıkmaktadır.

Sıcaklık kontrolünün önemli olduğu tek hatlı tel üretiminde indüksiyonlu ısıtma yönteminin kullanımı oldukça yaygındır. Ancak çok hatlı tel üretiminde bu yöntem yaygın olarak kullanılmamaktadır. Öte yandan uygulanabilirlik tel özelliklerine bağlıdır (EC, 2001a).

Temperleme ve yağda sertleştirme işlemlerinin optimize edilmesi

Yağda sertleştirme ve temperleme işlemi yüksek oranda martensit içeren çelikte, özel bir kristal yapısı oluşturur. Bu yapı çeliğin sertliğini ve aşınma direncini artırır. İlk olarak, filmaşin 850-1000°C'ye ısıtılır ve ardından hızlı bir şekilde soğutulur.

Isıtma işlemi genelde koruyucu bir atmosferde elektrik (radyasyon, endüksiyonla ısıtma) veya yanma ile yapılır. Söndürme işlemi geleneksel olarak yağda yapılır, ancak su ya da katkılı su gibi diğer söndürme malzemeleri de kullanılabilir. Hızlı soğutmanın neden olduğu gerilmeleri gidermek amacıyla yağda sertleştirme işlemini her zaman bir temperleme ya da stres giderme işlemi takip eder. Bu işlem telin tekrar 300-500°C'ye ısıtılması ile yapılır. Genelde elektrikli ısıtma ya da yanma gazı ile doğrudan ısıtmalı bir fırın kullanılır, ayrıca indüksiyonla ısıtma da kullanılabilir (EC, 2001a).

Oksidasyonla oluşabilecek kurşun kaybını önlemek ve enerji kayıplarını azaltmak amacıyla kurşun banyosunun koruyucu bir tabaka ile kaplanması

Kurşun banyosu kaynaklı emisyonların (Pb, CO ve toplam organik karbon (TOK)) azaltılması amacıyla uygulanan en önemli iyi uygulama örnekleri arasında kurşun banyosunun, koruyucu bir tabaka ile kaplanması ve üzerinin örtülmesi yer almaktadır. Bu sayede oksidasyonla oluşabilecek kurşun kaybının önlenmesi ve enerji kayıplarının azaltılması mümkün olmaktadır.

Bunun dışında, banyodaki safsızlıkların giderimi esnasında toz oluşumunun önlenmesi, kurşun ile kirlenmiş atıkların bulunduğu konteynırların ayrı bölgede tutulması ve rüzgar ya da yağmur ile temasının engellenmesi, tel üzerindeki kurşun kaplamanın akmasının engellenmesi için telin yüzey kalitesinin iyileştirilmesi yöntemleri de kurşun banyosu kaynaklı emisyonların azaltılması amacıyla uygulanan teknikler arasındadır. Ayrıca tel üzerindeki kurşun kaplamanın akmasının azaltılması için kurşun banyosunun hemen sonrasında antrasit çakıl taşı vb. bir malzeme ile silme yapılmaktadır. Tel üzerinden akabilecek kurşun tozlarının yayılımını önleyebilmek amacıyla birçok üretim tesisinde, ısıl işlem asitleme ile eşleştirilmektedir. Bunun dışındaki yöntemler telin başka bir malzeme ile kaplanması veya uygun şekilde paketlenmesidir. İyi uygulama yöntemlerinin kullanılması ile kurşun banyosu emisyonlarının 5 mg Pb/Nm^3, 100 mg CO/Nm^3 ve 50 mg TOK/Nm^3 değerlerinin altında tutulması mümkündür (EC, 2001a).

Soğutma banyolarında oluşan yağ zerreciklerinin tutulması ve uzaklaştırılması

Bu teknik, soğutma banyolarında oluşan havanın toplanması ve içeriğindeki yağ zerreciklerinden ayrılmasını içermektedir. Sistemin en önemli çevresel etkisi hava emisyonlarının (özellikle yağ içeren) azaltılmasıdır (EC, 2001a).

5.1.8.12 Sürekli Kaplama Hatları

Yağ giderme çözeltisinin arıtılarak yeniden kullanılması

Soğuk Haddehane Tesisleri için MET başlığı altında “Yağ giderme çözeltisinin arıtılarak yeniden kullanılması” bölümünde açıklanmıştır.

Yağ giderme tesisinde buhar emiş sisteminin kullanılması

Soğuk Haddehane Tesisleri için MET başlığı altında “Yağ giderme tesisinde buhar emiş sisteminin kullanılması” bölümünde açıklanmıştır.

İndüksiyonlu ısıtma sisteminin kullanılması

İndüksiyon elektrik ocağı sıcak daldırmalı kaplama prosesinde kullanılan nispeten yeni bir tekniktir. Hem kaplanmış şeridin galvanizlenmesinde hem de bitirme fazında organik kaplama işleminin kurutma aşamasında kullanılması mümkündür. Bu teknik sürekli olarak iyileştirilmekte ve geliştirilmektedir.

Bu tekniğin uygulanması ile gaz emisyonları salınmamaktadır ve bu nedenle sıcak daldırma işlemine kıyasla konvansiyonel fırınların çevresel performanslarının iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi tüketimi artmaktadır (EC, 2001a).

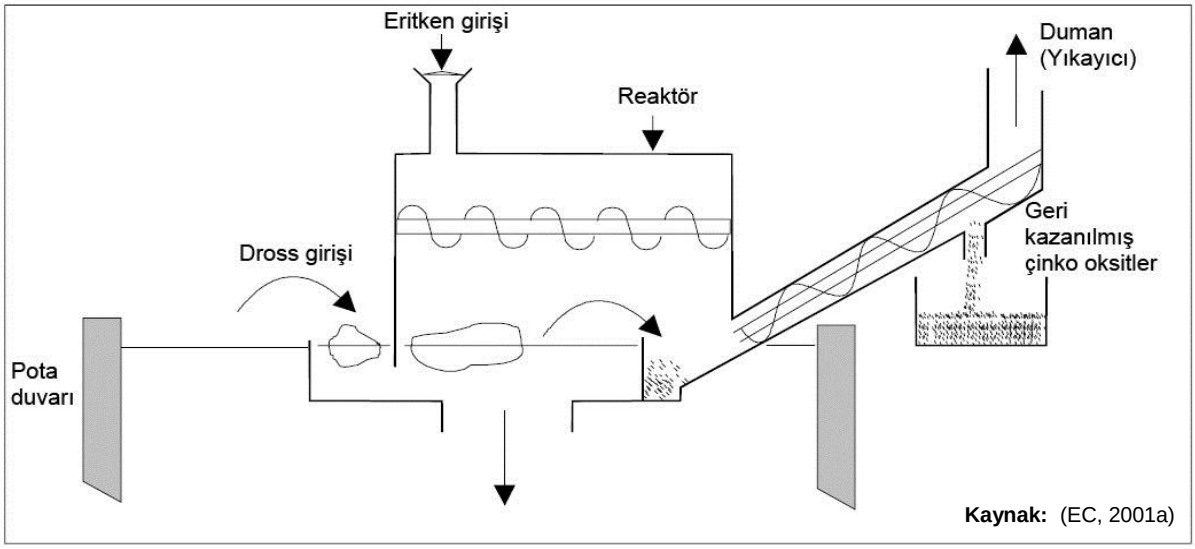
Sıcak daldırma (galvanizleme) yönteminin kullanılması

Hava bıçağı uygulamasının kullanılması ve optimizasyonunun yapılması

Kaplama kalınlığının kontrol edilmesi için şerit yüzeyindeki kurşun fazlalığını süpürme hareketi ile uzaklaştıran hava bıçakları kullanılmaktadır. Böylelikle, atık yağ oluşumu ile uçucu organik bileşikler ve hidrokarbonların emisyonu engellenmektedir. Mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilen teknik ile uçucu organik bileşikler 150 mg/m^3'ten 1 mg/m^3'ün altına düşürülebilmekte olup, emisyonların yok edilmesi amacıyla yakmaya ihtiyaç duyulmamaktadır (EC, 2001a).

Çinko cürufu (dross) oluşumunun azaltılması ve tesis içerisinde geri dönüştürülmesi

Sıcak daldırmalı galvanizleme hatlarında, tüketilen metalik çinkonun %10'undan fazlası, ergimiş çinko banyosu üzerinde çoğunlukla Zn ve ZnO olmak üzere cüruf (dross) olarak görülmektedir. Galvanizli çelik levha üzerinde yaratabileceği olumsuz etkilere karşı cüruf manuel olarak temizlenmekte olup, ortaya çıkan kalıntı ürün çinko ergiticilerine (zinc smelter) satılabilmekte veya yerinde doğrudan arıtma ile çinko külü elde edilebilmektedir. Önceki hacminin yalnızca %20'sine çinko külü, daha yüksek bir fiyattan çinko üretim endüstrisine satılabilmektedir. Çinko geri kazanım tesisi Şekil 5.19'da şematik olarak gösterilmektedir. Bu tekniğin en önemli çevresel etkisi oluşan atık miktarının azaltılmasıdır (EC, 2001a).



Şekil 5.19 Çinkonun cüruftan geri kazanımı

Çinko cürufun (dross) tesis dışında geri dönüştürülmesi

Çinko cürufu toplanmakta ve çinkonun geri dönüştürülmesi için çinko tedarikçisine geri gönderilmektedir. Böylelikle atık oluşumu azalmakta ve doğal kaynaklar korunmaktadır. Mevcut ve yeni tesislerde uygulanabilen yöntemin hem ilk yatırım hem de işletme maliyetleri düşük olmaktadır. Olumlu çevresel ve ekonomik etkilerinin olması, yöntemin uygulanması yönündeki itici güçleri oluşturmaktadır (EC, 2001a).

Sonraki İşlemler

Kaplama çözeltilerinin temizlenmesi ve yeniden kullanılması

Krom çözeltisi resirküle edilirken filtrelerden geçirilir. Tükenmiş çözelti zaman zaman boşaltılır ve su arıtma tesisinde işleme tabi tutulur. Bu işlem, tesis dışında gerçekleştirilir. Bu tekniğin uygulanması ile krom tüketiminin, su arıtma tesisinde su çıkışlarının ve çamur hacminin azaltılması mümkündür.

Fosfat çözeltisi resirküle edilirken filtrelerden geçirilir. Tükenmiş çözeltinin sadece az bir miktarı zaman zaman boşaltılır ve tesis dışında işleme tabi tutulur. Durulamadan çıkan atıksu, su arıtma tesisinde arıtılır. Fosfat tüketiminin, su arıtma tesisinde su çıkışlarının ve çamur hacminin azaltılması bu teknik ile sağlanabilecek faydalar arasındadır. Bu teknik için ilave enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Tesiste yer problemi yok ise, yeni kurulan ve modernize edilmiş tesislerde uygulanabilmektedir. Yatırım ve işletme maliyetleri orta seviyededir (EC, 2001a).

Üstü kapalı proses banyolarının ve depolama tanklarının kullanılması

Zararlı emisyonların ve dumanın toplanması amacıyla depolama tanklarının ve kimyasal işlem yapılan banyoların üstü, toplama sistemi ile kapatılır. Uygulama sayesinde hem kimyasal uygulamalar neticesinde oluşabilecek duman kaçaklarının önüne geçilmekte hem de emisyon miktarı azalmaktadır (EC, 2001a).

Sıkıştırma (sıyırma) merdanelerinin kullanılması

Çelik şerit üzerinde kalan çözelti sıkıştırma merdaneleriyle sıyrılarak çelik üzerinden uzaklaştırılır. Bu sayede çözeltinin bir sonraki bölüme geçme miktarı azaltılmakta ve kimyasal madde kayıpları engellenmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile hammadde tüketiminde azaltım sağlanabilmektedir. İlk yatırım maliyeti çok yüksek olmamakla birlikte işletme maliyeti düşüktür (EC, 2001a).

Yağ geçirmez tepsiler ya da çukur tipi havuz uygulamalarının kullanılması

Galvanizleme hatlarında yağ /gres ile yağlanmış ekipman ve birçok hidrolik istasyona ihtiyaç vardır. Bu birimler sızıntı durumunda yağın zemine nüfuz etmesini önlemek amacıyla genellikle yağ sızdırmaz tepsilere ya da çukur tipi havuzlara yerleştirilir. Bu uygulama sayesinde zeminin kontaminasyon riski azaltılır (EC, 2001a).

Yağ içeren atıkların geri dönüştürülmesi

Çeşitli katı maddeler ile birlikte yağ ve gres içeren yağ giderme banyosu çamurunun, kirlilik yükü ve kalorifik değerine göre enerji geri kazanımı amacıyla insinerasyonda yakılması mümkündür. Nem içeriğinin düşük olduğu bazı durumlarda yağlı çamur buhar üretim veya ısıtma tesislerinde yakıt olarak da kullanılabilir. Yağlı çamurun toplanması ve kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi veya içeriğindeki yağ bileşenlerinin geri kazanılmasına ilişkin işlemler özel bertaraf tesisleri tarafından gerçekleştirilmelidir. Yağ içeren atık miktarının azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir (EC, 2001a).

5.1.9 Demir-Çelik Sektörü Atıksuları için Boru Sonu MET Uygulamaları

5.1.9.1 Atıksu Oluşumunun Önlenmesi ve Boru Sonu Arıtımı için MET Uygulamaları

Atıksu arıtımını ve yeniden kullanımı optimize etmek için farklı kirlilik yüklerine sahip atıksu akımlarının teknik ve ekonomik uygulanabilirlikleri doğrultusunda ayrılması

Tesislerde atıksu akımlarının kirlilik yüklerine ve karakteristiklerine göre ayrılması ve ayrı toplanması için atıksu ayırma sistemi tasarımı yapılabilmektedir. Gıda güvenliği ve ürün kalitesi açısından bir sakınca bulunmayan ayrı toplanmış atıksular, yıkama, temizleme, takviye suyu vb. proseslerde ya da işlemlerde yeniden kullanılabilmektedir. Ayrıca atıksu akımlarının ayrılması ile kirlilik içermeyen atıksuların alıcı ortam deşarj standartlarını sağlamaları durumunda arıtılmadan alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi mümkün olmaktadır. Bazı kirlilik içeren atıksu akımları ise kullanım amacına uygun olarak gerek arıtıldıktan gerekse arıtılmadan üretim proseslerinde yeniden kullanılabilmektedir. Bununla birlikte üretim proseslerinde yeniden değerlendirilmesi mümkün olmayan atıksu akımlarının ayrı toplanması ve uygun arıtım teknikleri ile arıtılması, arıtma sistemlerinde arıtılacak su debisini düşüreceğinden ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasında etkili olmaktadır. Bazı durumlarda ayrılmış atıksu akımlarından değerli malzemelerin geri kazanılması da sağlanmaktadır. Proseslerde atıksu akımlarının ayrılması ile, arıtma performansları artırılmakta ve arıtma ihtiyacının azaltılması ile ilişkili olarak enerji tüketimleri azaltılmakta, atıksu geri kazanımı ve değerli materyallerin geri kazanımı sağlanarak emisyonların azaltımı sağlanmaktadır. Ayrıca ayrılmış sıcak atıksu akımlarından atık ısı geri kazanımı da sağlanabilmektedir. Atıksu akımlarının ayrılması yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilmekte olup, yüksek miktarda atıksuyun ve enerjinin geri kazanılmasının mümkün olduğu durumlarda maliyetlerin azalması sağlanabilmektedir (EC, 2006).

Ters ozmos konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması

İmalat sanayinde su ihtiyacının önemli bir bölümü yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yeraltı suları (ham su) bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak farklı seviyelerde kalsiyum ve magnezyum bileşikleri içermektedir. Ham sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları boru hatları ve ekipmanlar üzerinde korozyona neden olabilmektedir. Ayrıca buhar üretimi gibi ısıl işlemlerde ham suların kullanılması durumunda kazan taşı problemleri oluşabilmektedir. Bu nedenle, katyonik iyon değiştirici reçinelerde yumuşatılan ham su, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak buhar kazanlarında ve soğutma sistemlerinde ısı söz konusu olduğu için ilave sertlik giderimine ihtiyaç duyulduğu durumlarda ters ozmos (TO) proseslerinden yararlanılmaktadır. Bu proseste, katyonik iyon değiştirici reçinelerde bir miktar sertlik giderimi yapılan proses suları TO membranlarda filtre edilmekte ve yüksek derecede yumuşatılmış su ihtiyacı olan proseslerde (buhar kazanları, soğutma sistemleri vb.) değerlendirilmektedir. TO proseslerinde oluşan konsantreler, ham sulara nazaran daha yüksek seviyede tuz içeriğine sahiptir. Bu konsantreler, endüstriyel işletmelerde genellikle atıksu olarak değerlendirilmekte ve atıksu kanallarına verilmektedir.

Bu uygulamada, TO konsantrelerinin çoğu zaman birçok su kalitesi parametresi açısından daha iyi kalitede olduğu ancak ham sulara göre tuz içeriğinin bir miktar daha yüksek olduğu noktasından yola çıkarak, konsantrelerin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra; üretim proseslerinde, tesis temizliği, yıkama, ham su paçallaması vb. alanlarda yeniden kullanılması

önerilmektedir. Bu konsantreler, ham suya yakın iletkenlik ve/veya toplam çözünmüş katı (TÇK) değerlerine sahip ise, ham su deposuna geri gönderilebilir. Bu durumda, TO konsantreleri, ham su deposunun kapasitesine bağlı olarak seyreltilir. Ancak ham su deposunda iletkenlik ve/veya toplam çözünmüş katıların izlenmesi daha iyi sonuç vermektedir. Bu değerlerin izlenebilmesi için su iletkenlik sensörünün de sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. TO konsantreleri yüksek su kalitesine ihtiyaç duyulmayan tesis içi temizlik ve yıkama (zemin, tank ve ekipman temizliği vb.) işlemlerinde arıtılmadan kullanılabilmektedir. TO konsantrelerinin solar evaporasyon, membran distilasyonu, ileri oksidasyon (ozon ile oksidasyon, UV/TiO_2/O_3, O_3/H_2O_2, fotokataliz, fotooksidasyon, sonoliz, elektrooksidasyon, fenton vb.) elektrodiyaliz ve elektroklorinasyon prosesleri ile arıtılması mümkündür. Ancak su geri kazanım maliyetleri yüksek olacağından genellikle fizibıl değildir. Bu nedenle TO konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan uygun alanlarda (temizlik, yıkama vb.) kullanılması ya da ham su havuzuna gönderilerek paçallanması daha uygun bir yaklaşımdır.

Kok fırınında oluşan amonyaklı sudan katranın ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) ayrıştırılması

Normal şartlarda amonyak tutma kolonun atığında katran bulunmamasına rağmen, aksi bir durumun biyolojik atıksu arıtma tesisi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle (katran içeriğinde bulunan PAH mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaratır) katran giderimi önem arz etmektedir. Bu nedenle suyun biyolojik arıtılması öncesinde katran amonyaklı sudan, koagülant ilavesi, filtreleme sonrasında çöktürme (dekanter), santrifüjleme, yüzdürerek ayırma veya kum filtreleme olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılarak ayrıştırılabilmektedir. Kum filtreleme yöntemi ile 700-800 µg/L'nin altında %99 verimle sonuç elde edilebilmektedir. Katranın giderilmesine yönelik tüm teknikler atık oluşumunu artırmaktadır. Ancak elde edilen atık içerdiği katran çamuru nedeniyle kok fırınına tekrar beslenebilmektedir (EC, 2012).

NaOH konsantrasyonunun ve sıyırma prosesi kademe sayısının artırılması ile atıksu içerisindeki amonyak konsantrasyonunun düşürülmesi

Amonyak tutma kolonu ve sıyırıcıda amonyak konsantrasyonun düşük seviyede olması biyolojik atıksu arıtma tesisinin çalışmasına fayda sağlamaktadır. Bu amaçla NaOH konsantrasyonun ve sıyırma prosesi kademe sayısının artırılması ile atıksu içerisindeki amonyak konsantrasyonu önemli oranda düşürülebilir.

Atıksudaki amonyak konsantrasyonu, buhar ve alkali miktarına ve sıyırıcı tasarımına bağlı olarak 20-150 mg/L aralığında değişmektedir. Sıyırıcı ünitesinde 0,1-0,2 ton buhar/m^3 atıksu mertebesinde enerji tüketimi ve 6-22 L/m^3 mertebesinde alkali (NaOH) tüketimi gerçeklemektedir. Öte yandan buhar ve alkali tüketiminin artırılması ile verimliliğin arttığı belirtilmektedir. Ancak yüksek dozda NH_3 ve H_2S içeren buhar akımının desülfürizasyon vb. sistemlerde işlenmesi gerekmektedir.

150 m^3/saat atıksu kapasiteli bir sıyırıcı için yatırım maliyetinin 0,75-0,9 milyon Avro seviyesinde, işletme maliyetinin 0,18 Avro/m^3 seviyesinde olduğu belirtilmektedir (1993 fiyatları ile) (EC, 2012).

Yaş oksidasyon prensibi ile çalışan desülfürizasyon sistemlerine ait atıksuların içeriğinde bulunan bileşenlerin biyolojik arıtma üzerindeki zarar verici etkileri nedeniyle diğer atıksulardan ayrılmak suretiyle işlem görmesi

Yaş oksidasyon prensibi ile çalışan desülfürizasyon sistemlerine ait atıksular içeriğinde bulunan bileşenlerin biyolojik arıtma üzerindeki zarar verici etkileri nedeniyle diğer atık sulardan ayrılmak suretiyle işlem görmesi gerekmektedir. Tablo 5.10'da yaş oksidasyon tekniklerinden biri olan Stretford desülfürizasyon prosesi için atıksu kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 5.10 İki yaş oksidasyonlu desülfürizasyon prosesine ilişkin atıksu kompozisyonları

Bileşik	Stredford desülfürizasyonu (g/L)
NH_3 (serbest)	0,1
Na_2CO_3	5,7 - 65
SCN^-	80 - 300
$S_2O_3^{2-}$	50
SO_4^{2-}	12,2
Vanadat (VO_3^-)	1,2
Antrakinon disülfonat	1,9

Kaynak: (EC, 2012)

Başka bir yaş oksidasyon prosesi olan Thylox prosesinde arsenik bileşiklerinin, Tkahax prosesinde 1,4-naftokinon-2sülfonik asit, Fumaks/Rhodacs prosesinde ise pikrik asit ve tiyosiyanürlerin suya emisyonları gerçekleşebilmektedir (EC, 2012).

Atıksu içerisindeki askıda katı madde ve tufalin çöktürme tankları ve filtreler kullanılarak, yağın ise sıyırma tankları kullanılarak uzaklaştırılması

Sürekli döküm prosesinde su doğrudan slab, kütük ve blumların üzerine püskürtülerek, döküm parçalarının soğutulması amacıyla kullanılır. Birçok durumda, bu su, sıcak haddehaneden gelen atıksu ile birlikte arıtılmaktadır. Su arıtıldıktan sonra sistemde resirküle edilmektedir.

Bu proseste atıksudaki ana kirleticiler olarak askıda katı madde ve yağ açığa çıkmaktadır. Suya yapılan deşarjları azaltmak amacıyla, resirkülasyon oranı yüksek tutmakta ve blöfe sedimantasyon ve/veya filtrasyon uygulanmaktır. Yağın giderilmesi için sıyırma tankları kullanılabilir. Sürekli döküm prosesinin ekipmanlarından olan döküm kalıbı ve silindirler, kapalı devre su ile soğutulduğundan bu kapsamda yer almamaktadır. Sedimantasyon adımında çamur oluşmaktadır. Çamurun yapısında demir bulunduğu için doğrudan sinter tesisine ya da yüksek fırına beslenebilmektedir.

Püskürtme suyu, buharlaşmalı soğutma kulelerinde soğutulduktan sonra kum filtrelerinde çöktürme işlemine tabi tutulur. Kum filtrasyonu, partikül miktarını ve döküm makinesindeki sprey nozullarının yağ kontaminasyonunu düşük seviyelerde tutmaya yardımcı olmaktadır. Kum filtrelerinin tıkanmasının önlenmesi için, yağ sıyırıcıların sisteme kum filtrelerinden daha önce entegre edilmesi gerekmektedir (EC, 2012).

Sürekli döküm prosesinde döküm parçalarının doğrudan su ile soğutulması nedeniyle oluşan atıksuyun spesifik emisyon değerleri Tablo 5.11'de verilmektedir.

Tablo 5.11 Sürekli döküm prosesinde doğrudan soğutmadan kaynaklanan atıksuyun spesifik emisyon değerleri

Parametre	Birim	Corus IJmuiden Hollanda (1)	Stelco LEW, Ontario, Kanada	ArcelorMittal, Indiana Harbour Works, US
Deşarj akımı	m^3/ton çelik	0,04	1,7	0,076
Resirkülasyon oranı	%	98	78	99
Askıda katı madde	g/ton çelik	0,08-0,2 (2)	26	1,4
Zn	mg/ton çelik	<1	-	8,0
Pb	mg/ton çelik	<1	-	8,7
Yağ	mg/ton çelik	20	2000	160

(1) 2004 verileri.
(2) 2007 verileri için düşüş eğilimi.
Kaynak: (EC, 2012)

Kehl, Almanya'da faaliyet gösteren BSW firması için sürekli dökümde doğrudan soğutmadan çıkan atıksu ile sıcak haddehaneden çıkan atıksuyun kompozisyonları Tablo 5.12'de verilmektedir.

Tablo 5.12 Kehl, Almanya'daki BSW tesisinde atıksu arıtmasından geçen ve doğrudan soğutma için kullanılan atıksuyun kompozisyonu (2008)

	Birim	Kum filtreleme sonrası Sürekli döküm (1)	Kum filtreleme sonrası sıcak haddeleme (1)
Debi	m^3/saat	421	802
Sıcaklık	°C	39	30
Askıda katı maddeler	mg/L	30,8	4,8
TOK	mg/L	1,33	1,85
AOX	mg/L	< 0,01	< 0,01
Fe	mg/L	0,053	< 0,1
Çinko	mg/L	< 0,05	< 0,05
Ni	mg/L	< 0,02	< 0,02
Bakır	mg/L	< 0,02	< 0,02
Mineral yağı hidrokarbonları (mg/L)	mg/L	< 0,1	< 0,1

(1) 24 saatlik rastgele örnekler.
Kaynak: (EC, 2012)

Kok fırın tesisinde açığa çıkan yüksek konsantrasyonlarda hidrokarbon, siyanür ve azot bileşikleri içeren atıksuların arıtılması

Kok fırın tesisinde açığa çıkan atıksu yüksek konsantrasyonlarda hidrokarbon, siyanür ve azot bileşikleri içermektedir. Bu atıksuyun arıtılması amacıyla kullanılan farklı yöntemler bulunmakla birlikte, tüm sistemlerde atıksu öncelikle amonyak sıyırıcı sistemlerden geçirilmektedir. Sonrasında atıksu biyolojik veya kimyasal olarak arıtılmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemlerinin kullanılması durumunda atıksu içeriğinde bulunan katran arıtma esnasında mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaratabileceğinden fiziko-kimyasal prosesler vasıtasıyla giderilmelidir.

Biyolojik arıtma amacıyla kullanılan yöntemler, aktif çamurlu aerobik sistem, nitrifikasyon ve nitrifikasyon-denitrifikasyon olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Aktif çamurlu aerobik sistem; kullanılarak bakterilerle ayrışabilen fenol, siyanür ve aromatik hidrokarbon bileşikleri gibi kirleticilerin biyolojik olarak CO_2, H_2O ve çeşitli mineraller olarak parçalanması, parçalanamayan bileşiklerinse (PAH'ların büyük bölümü ve ağır metaller) ise kısmi adsorbsiyon yöntemi ile giderilmesi sağlanmaktadır.

Nitrifikasyon; yöntemi bazı atıksu arıtım tesislerinde amonyağın (NH_4^+) verimli bir şekilde ayrıştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu tip tesislerde nitrifikasyon bakterisi amonyağı nitrata (NO_3^-) çevirmek suretiyle giderimi sağlanmaktadır.

Nitrifikasyon-Denitrifikasyon; yöntemi yerel otoriteler tarafından atıksulardaki nitrat da dahil olmak üzere bütün azot bileşiklerinin düşük seviyede deşarj edilmesinin istenildiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılabilecek birçok tesis tasarımı mevcut olmasına karşın yüksek verimin elde edildiği proses ön denitrifikasyon-nitrifikasyon (ön-DN/N) sistemidir. Bu sistemde aerobik aktif çamur sistemi başlangıç noktası olarak kullanılmakta, ancak bununla birlikte havalandırılma işlemi öncesinde nitrifikasyon adımından temin edilen zengin nitrat suyu da atıksuya eklenmektedir. Aşağıda belirtilen reaksiyon mekanizmasında da görüleceği üzere, anoksik şartlar altında bakteri nitratı moleküler oksijen (O_2) yerine terminal elektron alıcısı olarak kullanmakta ve azot, moleküler azot (N_2) olarak yayılmaktadır.

$$5\ C_{organik} + 2\ H_2O + 4\ NO_3^- \rightarrow 2\ N_2 + 4\ OH^- + 5\ CO_2$$

Ön-DN/N sisteminin başarılı bir örneği 2000 yılından beri Hollanda'da yürütülmektedir (Tablo 5.13). Bu tesiste kok fırını, yüksek fırın ve sinter tesislerinden toplanan atıksu KOİ ve azotlu bileşik içeriğinin düşürülmesi amacıyla birleşik bir şekilde aktif çamur sisteminde ön nitrifikasyon ve nitrifikasyon sistemi ile muamele edilmektedir. Sistemin aerobik bölümünde nitrifikasyon ve KOİ giderimi ile kirleticiler CO_2, H_2O ve NO_3^- gibi bileşenlere parçalanırken, denitrifikasyon aşamasında NO_3^-'ın bakteriler yardımı ile N_2'e dönüşmesi sağlanmaktadır. Ancak denitrifikasyon için gerekli olan bir miktar KOİ nitrifikasyon atıksuyunun belirli oranlarda sisteme geri beslenmesi ile temin edilmektedir.

Tablo 5.13 Farklı su akımlarının kompozisyonları

Parametre	Birim	Yüksek Fırın	Sinter Tesisi	Kok Tesisi	Yeraltı suyu(*)	Toplam
Akış	m^3/s	140-150	50-55	80-90	35-40	320
Sıcaklık	ºC	40-44	35-40	30-35	10-12	33
Askıda katı madde	mg/L	25-35	10-25	20-50	<10	25
KOI	mg/L	65-120	250-450	3000-3500	150-350	1100
Kjeldahl zotu	mg/L	130-150	200-300	20-60	100-200	180
Toplam CN^-	mg/L	5-20	-	-	20-50	15
Çinko	mg/L	2-4	-	-	-	-
Metal	mg/L	1-3	1-3	500-700	-	-
Fenol	mg/L	-	-	200-500	-	-
SCN^-	mg/L	-	-		-	-

(*) kok fabrikasından kaynaklı yeraltı suyu kirliliği
Kaynak: (EC, 2012)

Aktif çamurlu aerobik sistem; için çevresel performans göstergeleri Tablo 5.14'te belirtilmiştir.

Tablo 5.14 Avrupa'da kurulu bulunan kok fırını tesislerinde kullanılan aktif çamurlu aerobik atıksu arıtma sistemleri için çıkış konsantrasyonları ve spesifik emisyon faktörleri

Parametre	Konsantrasyon	Birim	Spesifik emisyon değeri	Birim
KOI	140 – 700	mg/L	0,2 - 1	kg/ton kok
TOK	37	mg/L	-	
Kjeldahl Azotu	20 – 120	mg/L	0,01 – 0,1	kg/ton kok
NH_3	<1 – 100	mg/L	0 – 0,1	kg/ton kok
SCN^-	<0,1 – 35	mg/L	0 – 0,05	kg/ton kok
Toplam CN^-	<0,1	mg/L	-	
Fenol	<0,1 – 10	mg/L	0 – 0,005	kg/ton kok
PAH	0,003 – 0,2	mg/L	0 – 0,001	kg/ton kok

Kaynak: (EC, 2012)

Nitrifikasyon; yönteminde genellikle düşük spesifik yükte işletilen sistemler için daha iyi performans elde edilmektedir. Genel olarak nitrifikasyon sonucunda elde edilen atığın nitrat konsantrasyonu (200 mg/L) nispeten yüksek olmaktadır.

Nitrifikasyon-Denitrifikasyon; sistemlerinde ulaşılan düşük F/M oranları ile kok fırın atıksu temizliğinde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu temelde çalışmakta olan 4 farklı tesis için atıksu arıtma tesisine giren atıksu ve arıtma tesisinden deşarj edilen atıksu konsantrasyon değerleri Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15 Arıtma tesisine giren/çıkan atıksu konsantrasyonu ve ön-DN/N sistemine sahip tesislerin durumları

Parametre		Birim	A tesisi	B tesisi (1)	C tesisi	D tesisi (2)
Kok üretimi		Mton/yıl	1,25	0,60	1,03	1,08
		m^3/s	42	22	65	80
Seyreltik akım (diğer atıksular tarafından seyrelen)		m^3/s	40	5 – 10	20	-
Toplam akış		m^3/s	86	30,1 ±3,5	85	80
Spesifik atıksu miktarı		m^3/ton kok	0,59	44	0,69	0,65
Gıda/mikroorganizma (F/M oranı)		kg KOI/kg MLSS.gün	≤0,15	NA	0.5 (3)	NA
İç akım	pH	-	NA	9,2 ±0,33	9,0 – 9,5	8,5
	Askıda katı madde	mg/L	30 – 40	NA	NA	NA
	KOI	mg/L	3650 ±310	3161 ±1269	3220 ±590	200 - 2000
	TOK	mg/L	NA	NA	1025 ±190	NA
	BOİ	mg/L	2100	NA	NA	800 - 3000
	Fenol	mg/L	964	705 ±276	650	500 – 1500
	SCN^-	mg/L	355	NA	350	150 - 200
	Kjeldahl Azotu	mg/L	NA	NA	300	NA
	NH_3-N	mg/L	125 ±25	NA	50 ±15	150 ±20
	NO_2-N	mg/L	NA	NA	NA	NA

Parametre		Birim	A tesisi	B tesisi (1)	C tesisi	D tesisi (2)
	NO_3-N	mg/L	NA	NA	NA	NA
	Yağ-gres	mg/L	40	NA	NA	NA
	PAH	µg/L	200	NA	NA	NA
Çıkış akım	pH	-	7,7	8	7,6	8,1 ±0,3
	Askıda katı madde	mg/L	42	33 ±21	75	NA
	KOI	mg/L	189 ±30	137±43	213 ±70	74 ±10
	TOK	mg/L	NA	NA	45 ±16	NA
	BOİ	mg/L	8,1 ±2,3	NA	15 ±5	4,8 ±1,7
	Fenol	mg/L	0,06	0,002 ±0,03	<0.1	0,02 ±0,01
	SCN^-	mg/L	3	NA	1,3	0,87 ±0,46
	Toplam CN^-	mg/L	NA	0,01	NA	0,02 ±0,01
	SO_2	mg/L	NA	NA	NA	0,03 ±0,02
	Kjeldahl Azotu	mg/L	8,8 ±4	NA	NA	4,96 ±1,33
	TNb-N	mg/L	NA	NA	13	10,67 ±7,04
	NH_3-N	mg/L	3 ±3 (4)	0,28 ±0,56	<1	<1
	NO_2-N	mg/L	0,9 ±1,5 (4)	0	1,3	0,1 ±0,07
	NO_3-N	mg/L	22 ±6,6 (4)	8,2 ±6,92	11	6,11 ±6,68
	Yağ-gres	mg/L	5	NA	NA	<5 (5)
	PAH	µg/L	<50	NA	<20	1,06 ±1,12
	Fosfor	mg/L	NA	0,4 ±0,29	NA	1,3 ±0,4

(1) 2009 yılındaki yıllık atık ortalama değerleri yansıtır.
(2) 2004 yılındaki SCN değerleri hariç 2005 yılına ait günlük ortalama değerleri yansıtır.
(3) üç aşamanın ilki
(4) 2006, 2008 ve 2009'daki yıllık atık ortalama değerleri yansıtır.
(5) BTEX
NB – TNb = Toplam azot bağı
_ Tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. (± Standart sapma)
_ NB: Tespit edilemedi.
Kaynak: (EC, 2012)

Kok fırını, yüksek fırın ve sinter tesislerinden toplanan atıksuyun biyolojik atıksu arıtma sisteminden geçirilmesi ile ulaşılan deşarj konsantrasyonları Tablo 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.16 Biyolojik atıksu arıtma tesisine ilişkin deşarj konsantrasyonları

Parametre	Birim	Ortalama	Maksimum
Akış	m^3/s	340	400
Askıda Katı Madde	mg/L	60	80
KOI	mg/L	135	150
Kjeldahl Azotu	mg/L	15	30
Fosfat	mg/L	5	10
Toplam CN^-	mg/L	11	13
CN^-	mg/L	0,35	0,45
SCN^-	mg/L	2,0	4,0
Fenol	mg/L	<0,5	1,0
Metal (Cr, Cu, Pb, Ni ve Zn)	mg/L	-	0,011–0,013
Cd	µg/L	-	10
Hg	µg/L	-	5
As	µg/L	-	2,5

Ortalama: kompozit 10 numunenin ortalama değeri.
Maksimum: rasgele numunelerdeki maksimum değer.
Kaynak: (EC, 2012)

Aktif çamurlu aerobik sistemde elde edilen aktif çamur atığı kok fırını beslemesine ilave edilebilmektedir. Aktif çamurlu aerobik sistemde fosfat, kostik, demir klorür ve polimer ilavesi ile sonuçların iyileştirilebildiği belirtilmektedir. Ön-DN/N sisteminin kullanıldığı durumlarda optimum sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

1994 yılı rakamları ile bir nitrifikasyon sisteminin ön-DN/N sistemine çevrilmesine ilişkin yatırım maliyetinin 0,6 milyon Avro olduğu belirtilirken, bu sistemin toplam yatırım maliyetinin 4,6 milyon Avro olduğu belirtilmiştir. 1996 yılı rakamları ile bu sisteme ilişkin işletme maliyetlerinin 345.000 Avro/yıl olduğu belirtilmiştir (0,57 Avro/ton kok). Düşük azot seviyelerine sahip atıksu deşarj gereklilikleri atıksu arıtma sistemlerinin kullanılması yönündeki en önemli itici güçtür (EC, 2012).

Yüksek fırın gazı yıkama suyunun arıtılması ve tekrar kullanılması

Yüksek fırın gazının yıkanması sonucunda oluşan yıkama suyu askıda katı madde (1-10 kg/ ton sıvı maden), ağır metaller, siyanürler ve fenoller bulunur. Suya deşarjın ve su tüketiminin minimize edilmesi için önlemler alınmalıdır. YFG içerisindeki kirleticileri yıkamak için yaklaşık 0,3-4 litre su/Nm^3 YFG olmaktadır. Bu durumda brüt olarak 0,4-8 litre su/ton sıcak metal tüketimi gerçekleşmektedir. Bu suyun büyük bir bölümü temizlenmekte ve yeniden kullanılmaktadır.

Su arıtımı genellikle dairesel çöktürme tanklarında yapılmaktadır. Çamurun çöktürme özellikleri genellikle flokülantların dozlanması ile ayarlanır. Su sertliğine ve pH değerine dikkat edilmelidir. Yıkama suyunun yüksek verimle tekrar kullanılmasıyla su kullanımı 0,1 m^3/ton sıcak metale kadar düşebilmektedir. Bu su sistemden yüksek fırın çamuru ile alınır ve arıtma tesisine gönderilir. Yüksek miktarda su sirküle edildiğinde verimli bir su artım sistemi kullanılmalıdır. Yoksa tıkanma gibi, yıkayıcıları etkileyen bazı işletimsel sorunlara neden olabilir ve yıkama verimi düşebilir. Su arıtımı ve yeniden kullanımı çinkoca zengin çamur oluşumuna neden olur. Çevrim içerisinden küçük bir akımın, minerallerin ve tuzların birikimini engellemek amacıyla çıkması gerekmektedir. Ayrıca yeniden kullanılan suyun yıkanması da belirli bir miktarda enerji kullanılmasına neden olmaktadır. Ayrıca bununla birlikte flokülantların dozlanması da maliyet açısından düşünülmelidir (EC, 2012).

Islak toz tutma sisteminden çıkan atıksuyun arıtılması

Çelik üretimi yapan çoğu işletme BOF gazındaki (birincil gaz akımı) emisyonları azaltmaya yönelik olarak yıkayıcı kullanmaktadır. Yıkayıcılar, gazın su ile teması sonucunda yapısındaki kirleticilerin suya geçmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu sistem bir taraftan gazın temizlenmesine neden olurken, diğer taraftan da atıksu oluşumuna sebebiyet vermektedir. Yıkayıcıdan çıkan su askıda katı partiküller, ağır metaller olarak da çinko ve kurşun içermektedir. Atıksudaki askıdaki katı partiküllerin büyük bir kısmı hidrosiklon ya da çöktürme ile giderilmektedir. Katı partiküllerin uzaklaştırılmasından ve suyun pH'ının düzenlenmesinden sonra suyun büyük bir kısmı geri kazanılmış olur.

Bazik oksijen fırın prosesi ile çelik üreten tesislerde ıslak toz toplama sisteminden çıkan atıksuyun spesifik emisyon değerleri Tablo 5.17'de verilmiştir.

Yıkama suyunun resirkülasyon hızını artırmak atıksu deşarjının azaltılmasında etkili parametrelerden biridir. Yıkama suyu akışında, ikinci aşamadan önce CO_2 enjeksiyonu yapılan iki aşamalı çöktürme prosesi ile yüksek resirkülasyon seviyelerine ulaşmak mümkündür. Böylelikle karbonatların çökelmesi sağlanır. Bu yöntem yanmanın baskılanmasını sağlayıcı sistemlerde mümkündür. Bir diğer parametre ise blöf suyunun arıtılmasıdır. Resirkülasyon verimi yeterli olsa da blöf, belirli mineral ve tuzların birikmesini önlemek amacıyla gereklidir. Blöf en önemli kirletici olarak askıda katı madde (çinko, kurşun vb. dahil) içerir ve çöktürme ve filtrasyon ile arıtılır.

Tablo 5.17 Islak toz toplama sisteminde çıkan atıksuyun spesifik emisyon değerlerine örnekler

Parametre	Birim	Corus IJmuiden NL [1]	Stelco LEW, Ontario, Kanada	LTV Steel Cleveland Works, US
Deşarj akımı	m^3/ton SÇ	0,52	1,1	0,002
Askıda katı madde	g/ton SÇ	20	5,5	0,0083
Zn	mg/ton SÇ	73	210	0,36
Pb	mg/ton SÇ	31	110	0,057

([1]) Hollanda-Corus IJmuiden'deki emisyonlar ile ilgili 1994 değerleri.
Kaynak: (EC, 2012)

Askıda katı partiküllerin sudan uzaklaştırılması için uygulanan hidrosiklon ve/veya sedimantasyon işlemleri sonucunda ise çamur oluşmaktadır. Eğer sisteme beslenen hurdanın yapısında sınırlı miktarda çinko var ise, bu çamur %100 olarak sinter tesisine geri beslenebilir. Dünyanın diğer yerlerindeki demir-çelik tesisleri bu çamuru kullanmaz, bu çamur ya bertaraf edilir ya da çimento tesisinde kullanılır (EC, 2012).

Galvanizleme sonucu suya geçen krom iyonlarının uzaklaştırılması için suyun arıtılması

Kromik su hattının fonksiyonu, suda bulunan Cr iyonlarının özellikle de daha yüksek toksisite özelliği nedeniyle Cr (VI) iyonlarının ve de Cr(III) iyonlarının sudan uzaklaştırılmasıdır. Arıtma tesisinde Cr(VI), sodyum bisülfit ya da demir klorür ile Cr(III)'e indirgenir. Bisülfit reaksiyonu daha düşük pH ortamına ihtiyaç duyduğundan bu reaksiyonda asit tüketimi daha fazladır. pH'a bağlı elde edilen daha düzgün reaksiyon koşullarından dolayı demir klorür tercih edilmektedir. Takip eden reaksiyon gerçekleşmektedir:

$$Cr^{6} + 3\ Fe^{2+} \rightarrow Cr^{3} + 3\ Fe^{3+}$$

Bir sonraki adımda, sulu kirecin eklenmesiyle pH artar ve bu etkiyle Cr^{3+} çöker.

$$Cr^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow 3Cr(OH)_3$$

Demir hidroksit, krom hidroksit ile eş zamanlı olarak çöker. Dekanterden çıkan çamur pres filtreden geçirilir. Flokülasyonu gerçekleştirmek için bir polimer ile muamele edilebilir (EC, 2001a).

Yağ giderme banyosunun kullanılması ve alkali atıksuyun arıtılması

Yağ giderme banyosundan alınan atıksu akımının çöktürücüler ile muamele edilmeden önce içeriğindeki yağların giderilmesi amacıyla ultrafiltrasyon vb. bir işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Sonrasında kireç ya da HCl kullanılarak nötralize edilen atıksu filtrelerden geçirilerek deşarj edilmektedir. Bu aşamada elde edilen çamur filtre preslerden geçirilerek düzenli depolama alanlarına iletilirken, ultrafiltrasyon işleminde oluşan yağlı çamurun yüksek fırında bertarafı mümkündür (EC, 2001a).

Yağ ve tufal içeren atıksuların; tufal çukurları, çökeltme tankları, siklonlar, filtrasyon vb. kullanılarak arıtılması

Sıcak haddehanelerden gelen, yağ ve tufal içeren atıksular; tufal çukurları, çökeltme tankları, siklonlar, filtrasyon vb. adımlardan geçerek oldukça karmaşık bir atıksu arıtma sisteminde arıtılmaktadır. İlk adımda tufal çukurunda sedimantasyon ile kaba tufaller giderilmektedir. Sonrasında içinde kalan tufal ve yağın ayrılması için ikincil ve üçüncül arıtımdan geçirilir. Yağ ve daha ince tufal içeriğinin arıtılması devam eden süreçte ikincil arıtma ile olmaktadır.

Yağ ve tufal içeren atıksuların arıtımı için bireysel arıtma tekniklerinin birleştirildiği çok farklı arıtma seçenekleri mevcut olup, bu seçenekler sıcak haddehanelerden gelen suları arıtmak ve belli deşarj kriterlerine ulaşmak için kullanılmaktadır. Özellikle askıda katı madde, yağ ve gres gibi kirleticiler atıksu içerisinde azaltılmaktadır. Atıksu arıtımı sonucu atık olarak yağ ve çamur oluşmaktadır (EC, 2001a).

Yağ giderme işleminden çıkan atıksuyun arıtılması

Kaplama prosesine beslenmeden önce şeridin yağının giderildiği işlemlerden çıkan atıksu nötralizasyon tanklarına gönderilir. Nötralizasyon işlemi hidroklorik asit ilavesi yapılarak gerçekleştirilir. Diğer işlem adımlarından (asidik yıkama suyu) çıkan asidik atıksu resirküle edilmez. Bu atıksular nötralizasyon için kullanılır. Bu adımdan sonra, atıksular homojenleştirme tankına ve sonrasında koagülasyon ve flokülasyon bölüme geçer.

Koagülasyon, demir klorür ve hidroklorik asit eklenmesiyle ve alüminyum poliklorür ve diğer polielektrolit türleri gibi polimerlerle muamele edilerek flokülasyon ile gerçekleştirilir. Flokülasyon tankından atıksu bir flotasyon/yüzdürme tankına beslenir. Burada geri kazanım için ayrılan üç faz aşağıdaki gibidir:

- Topaklanmış yağlı çamur
- Çökmüş çamur
- Su

Topaklanmış yağlı çamuru su yüzeyinde köpük gibi yüzdürmek için basınçlı havayla flotasyon uygulanır. Suya basılan hava çözünerek, küçük baloncuklar oluşturur ve yağları yüzeyde toplar. Yüzeyden sıyırma ile yağlar toplanır (EC, 2001a).

Kullanılmış yağ giderme çözeltilerinin işlenmesi/ diğer opsiyon

Temel emülsiyon bir merkezi tesiste işlenebilir. İlk olarak, yerçekimi etkisiyle üç fazda ayırma işlemi yapılır. En üstteki faz bir yağ merkezinde işlenir. Ortadaki faz emülsiyon merkezinde, çamur içeren alttaki faz ise ayrı olarak işlenir. Ultrafiltrasyon yoluyla emülsiyonlar su ve yağ içinde ayrılır. Su kısmı KOI azaltımı için klasik biyolojik arıtma tesisinde arıtılır (EC, 2001a).

Sürekli kaplama hatlarında oluşan atıksuyun arıtılması

Atıksu arıtma prosesinde önce bir flokülasyon yapılır ardında da filtreleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilir. Yağ ve katı partiküllerin giderilmesi işleminin daha da iyi sonuçlanması amacıyla, mikroflokülasyon oluşumu için az miktarda koagülasyon maddesi ve polielektrolit eklenir. Su ve topaklar, oluşan parçacıkları tutan iki tabakalı (kum ve antrasit) filtrelere gönderilir. Filtre edilen su soğutma kulesine beslenir. Filtrede kalan çamur ise geri dönüşüm için filtre presten geçirilir (EC, 2001a).

Asitli atıksuların arıtılmadan önce diğer tesislerde oluşan bazik özellikteki atıksularla karıştırılarak nötralize edilmesi

Yıkama/durulama ve baca gazı yıkama işlemlerinde oluşan asitli atıksuyun asitleme tanklarında tekrar kullanımının mümkün olmadığı durumlarda ve tesis temizliği sırasında ortaya çıkan suyun deşarj edilmesinden önce arıtma işleminin uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla atıksu genellikle diğer tesislerde oluşan bazik özellikteki atıksu vasıtasıyla nötralize edilir ve içeriğindeki çözünmüş metallerin hidroksitlere veya çözünmüş tuzlara dönüştürülmesi sağlanır. Sonrasında, genellikle floklaştırıcı ilavesi ile çöktürülen metal çamuru, filtre pres ünitesinde susuzlaştırılarak bertaraf edilir. Su ekosistemi üzerindeki kirlilik yükünün azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Sistemin diğer etkileri; büyük miktarda atık çamur oluşumu (çinko vb. metallerle kirletilmediği sürece bu atığın demir üretimi sürecinde kullanılması mümkündür) ve nötralizasyon sonucu önemli miktarda nötral tuz ($NaCl$, $CaCl_2$, Na_2SO_4, $CaSO_4$) oluşumudur (EC, 2001a).

Çekme yağlayıcısı atıklarının (yağ ve yağlı emülsiyonlar) arıtılması ve bertaraf edilmesi

Kullanılmış emülsiyonun arıtılması sürecinde termal, kimyasal, yüzdürme, adsorpsiyon, elektrolitik ve membran filtrasyonu gibi çeşitli tekniklerin kullanılması mümkündür. Bertaraf edilecek atık hacminin azaltılması ve atık yakma işleminin tercih edilmesi durumumda atığın ısıl değerinden faydalanılması sistemin en önemli çevresel etkileri arasında yer almaktadır. Sistemin hayata geçirilmesi ile atık maliyetleri azaltılacaktır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Çekme yağlayıcısından kaynaklanan sabun emülsiyonlarının, miktarın az olduğu durumlarda tesisteki diğer atıksu akımları ile karıştırılarak arıtılması

Atıksu miktarının az olduğu durumlarda kullanılmış yağlayıcı tesisteki diğer atıksu akımları ile karıştırılarak arıtılmaktadır. Sabun emülsiyonlarında bulunan yağ asidinin filtreleme sonrasında kekte tutulması sağlanır. Eğer biyolojik arıtma kullanılıyorsa sabun içerisindeki yağ asitleri biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Su ekosistemi üzerindeki kirlilik yükünün azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Atıksuyun arıtılması ile çamur ve filtre keki oluşmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

Çekme yağlayıcısından kaynaklanan sabun emülsiyonlarının, miktarın fazla olduğu durumlarda koagülasyon ve çöktürme, koagülasyon ve yüzdürme, membran filtrasyon veya buharlaştırma yöntemlerinin kullanılması ile arıtılması

Atıksu miktarının yüksek olduğu durumlarda arıtma, koagülasyon-çökelme, koagülasyon-yüzdürme, membran filtrasyon, buharlaştırma vb. yöntemlerden biri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Su ekosistemi üzerindeki kirlilik yükünün azaltılması sistemin en önemli çevresel etkisidir. Atıksuyun arıtılması ile çamur ve filtre keki oluşmaktadır. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilmektedir (EC, 2001a).

5.1.10 Emisyon ve Atık Yönetimi MET Uygulamaları

5.1.10.1 Atık Gaz Emisyonları için MET

Kontrol odalarında bilgisayar tabanlı sistemler ile emisyon kaynaklarının sürekli izlenmesi

Modern demir-çelik tesislerinde birçok proses izlenmekte ve kontrol odalarında bilgisayar tabanlı sistemler ile kontrol edilmektedir. Bu prosesleri optimize edebilmek ve enerji ve ürün verimliliğini artırmak için çeşitli parametrelerin tespit edilmesi ve sürekli izlenmesi gerekmektedir. Emisyonların kaynağında sürekli sistemlerle izlenmesi, emisyonların sürekli ve doğru olarak ölçülmesine, buna bağlı olarak alınan önlemler ile limit değerlerin altında kalınmasına ve çeşitli teknik arızların önceden tespit edilmesi ile çevresel anlamda yüksek düzeyde koruma sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte demir-çelik sanayinden kaynaklı mevcut dioksin emisyonlarındaki belirsizliğin giderilmesi, farkındalık oluşturulması ve dioksin emisyonlarının ulusal bölgesel ve yerel düzeyde yetkili makamlar tarafından izlenmesi sürekli izleme sistemlerinin sağladığı faydalar arasındadır.

Basınç, sıcaklık, O_2 içeriği, CO, girdi akışı ve çıktı akışı demir-çelik üretimiyle ilgili izlenmesi gereken en önemli parametreler arasındadır. TOC, NH_3, HCl ve HF sürekli izlemek mümkündür. Aşağıda belirtilen kirleticiler için ise kaynağında, düzenli, periyodik, süreksiz ölçümler yapılmaktadır:

- Toz
- SO_2
- NO_x
- CO
- TOC
- CN
- PCDD/F
- Ağır metaller (Hg, Tl, Cd, As, Co, Ni, Se, Te, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn vb.)
- VOC
- NMVOC
- BTEX
- H_2S
- HCl
- HF
- NH_3
- PAH, PCB

Proses gazlarının izlenmesi, proses gazlarının bileşimi ile toz emisyonları, ağır metaller ve SO_2 gibi yanma gazları içerisindeki dolaylı emisyonların bileşimi hakkında bilgi sağlamaktadır. Farklı proses gazlarının kalitesi (kalorifik değer ve temizlik) ve hacmi önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu parametreler, yakıt gazlarının nerelerde kullanılabileceğinin belirlenmesi konusundaki etkileri bakımından büyük önem taşımaktadır. Enerji verimliliğini optimize etmek için her bir yakıt gazı en uygun yerde tüketilmelidir. Bu nedenle proses gazları sürekli şekilde analiz edilmelidir.

Baca gazı emisyonu içerisindeki dioksin ve PCB yükünün tespit edilmesi için farklı metotlar bulunmaktadır. Örnekleme koşulları ve analiz metotları var olan proses ve baca gazı parametrelerine göre değişmektedir. Bu parametrelerden önemli olan bazıları aşağıda ifade edilmiştir:

- Dioksin konsantrasyon aralığı
- Baca gazının toz yükü
- Sıcaklık aralığı
- Baca gazındaki karbon partikülü miktarı
- Proses koşulları (sürekli proses, kesikli proses vb.)

Sürekli toz ölçüm sistemleri, ikincil toz toplama sistemlerinden sonra baca gazı arıtım sistemlerinin içerisine kurulur ve gravimetrik ölçüm (mg/Nm^3) yapılır. Torbalı filtrelerin fonksiyonları operatörler tarafından kontrol edilir. Sızıntıları tespit etmek için floresan yöntemi kullanılabilmektedir. Torbalı filtrelerde, ark ocağından gelebilecek kıvılcımların önlenmesi için kıvılcım tutucular ve 5µm'nin üzerindeki tozların toplanması için siklonlar bulunur. Siklonlarda toplanan toz ark ocağına hurda ile birlikte beslenebilir. Torbalarda tutulan tozun sürekli ölçümü tribometrik ve optik ölçüm sistemleri ile sürekli olarak ölçülebilir. Torbalar, üzerlerinde oluşan kıvılcım delikleri ve yoğunluk bakımından görsel olarak kontrol edilir (EC, 2012).

Difüz emisyonlar, entegre veya hurdadan çelik üreten tesislerde yükleme, tahliye, depolama, elleçleme, nakliye sırasında, dikey bacalarda, kömür harmanlama, kok itme, kok söndürme gibi işlemler sırasında gerçekleşir ve önlem alınmadığı durumlarda çatıdan, pencereden veya depolanan malzeme yüzeyinden atmosfere salınabilir. Difüz emisyonların en aza indirilmesi ancak, emisyon oluşmadan önce önleme çalışmalarının yapılmasıyla ve/veya bu emisyonların tutularak baca gazına aktarılması ile mümkündür. Baca gazı daha sonra uygun yöntem/yöntemler kullanılarak arıtılır (ÇŞB, 2012; EC, 2012). Difüz emisyonlar, emisyon kaynağında uygulanan doğrudan ölçüm metotlarıyla veya emisyon kaynağından belli bir mesafede yer alan kaynakta yapılan dolaylı ölçüm metotlarıyla izlenebilir veya emisyon faktörleri kullanarak hesaplanabilir

- Davlumbaz vb. emisyon kaynaklarında yapılan doğrudan ölçümler veya sanayi tesislerinin çatılarında yapılan yarı-doğrudan ölçümler ile emisyon kaynaklarının izlenmesi
- İzleme gazları, ters dispersiyon modelleme veya kütle dengesi yöntemleri kullanılarak yapılan dolaylı ölçümler ile emisyon kaynaklarının izlenmesi
- Çeşitli uluslararası kılavuzlarda yer alan emisyon faktörleri kullanılarak emisyonların hesaplanması

Sürekli ölçümlerin yapılması, üretim prosesinin optimize edilmesine, enerji ihtiyacının azaltılmasına ve verimin artırılmasına olanak tanımaktadır. Emisyonların arttığı ve sınır değerlerini aştığı durumlarda, sebeplerin araştırılması ve emisyon seviyelerinin azaltılması için acil önlemler alınabilmektedir. Bu sayede demir-çelik tesislerinin iç ve dışında temiz bir ortam sağlanabilmektedir (EC, 2012).

Doğrudan veya yarı-doğrudan ölçümler ile emisyon kaynaklarının izlenmesi

Davlumbazlı rüzgar tünellerinde yapılan doğrudan ölçümler veya sanayi tesislerinin çatılarında yapılan yarı-doğrudan ölçümler bu teknik için örnek olarak verilebilir. Farklı örnekleme probu çapları kullanılarak, örnek akış hızı, hakim atık gaz akış hızına göre uyarlanabilir. Gaz akımlarındaki toz, bir filtre ortamında

toplanır ve gravimetrik yöntemlerle ölçülür. Gazın ölçülmesi ile birlikte toz konsantrasyonu ve toz kütle akışı belirlenebilir.

Oluşan kaçak emisyonların ölçülmesi amacıyla kademeli ayrıştırıcı, spektrometre, lazer difraktometre ve elektrikli düşük basınç ayrıştırıcı kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerden herhangi biri ile boyut dağılımı, konsantrasyon ve bunların hava kalitesi ile ilişkisi belirlenebilir. Kademeli ayrıştırıcı kullanıldığı durumlarda, farklı boyutların oranlarının belirlenmesi mümkündür. Bu yöntemlerden birinin dolaylı uygulanması kaçak emisyonların daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Bu tekniğin uygulanması ile kaçak toz emisyonları %50 oranında azaltılabilmektedir. Cr ve Ni miktarı ve ortamdaki metal dumanı azalır (EC, 2012).

Dolaylı ölçümler ile emisyon kaynaklarının izlenmesi

Dolaylı ölçümlerin yapılmasında izleme gazları, ters dispersiyon modelleme veya kütle dengesi yöntemleri kullanılabilmektedir.

İzleme gazları yönteminde, ölçüm yapılan kaynak tarafından yayılmayan bir gaz bilinen miktarda ortama verilir ve rüzgar yönünde ölçüm yapılır. Bu yöntemde kaynak geometrisinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (EC, 2012).

Ters dispersiyon modelinde, tesisin ana emisyon alanları belirlenir. Bu nedenle yöntem, önceliklerin ve stratejinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Diğer yandan bu yöntemde her emisyon kaynağını değerlendirmek ve salınan emisyon miktarlarının hassas olarak belirlenmesi mümkün değildir (Harion, ve diğerleri, 2006). Yöntemde hayali bir kaynak şiddeti ile dağılım hesaplamaları gerçekleştirilir. Hesaplamada ölçümün yapıldığı zamandaki meteorolojik parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır (EC, 2012).

Kütle denkliği yönteminde ise ölçüm yapılacak tesiste rüzgar yönünde ve tersi yönde referans alanlar ve ölçüm alanları belirlenir. Bu alanlar içerisinde farklı katmanlarda konsantrasyon ölçümleri yapılır. Burada LİDAR gibi optik uzaktan algılama teknolojileri kullanılabilir. Ölçüm yerinde rüzgar hızı ve rüzgar yönü hesaplanır ve/veya ölçülür. Bölgesel kütle akışları, konsantrasyon değerleri ile hız değerinin ölçüm düzlemine dik olan katkısının çarpımı ile hesaplanır. Kütle akışları, daha sonra, ölçülen alana ve referans alana entegre edilir ve bu değerlerin farkı hesaplanarak emisyon hızları bulunur (EC, 2012).

Emisyon faktörleri kullanılarak emisyonların hesaplanması

Tesiste oluşan emisyonların belirlenmesi amacıyla çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Hesaplamalarda, ulusal veya uluslar arası kaynaklarda yayınlanan emisyon faktörleri kullanılır. İhtiyaç duyulan diğer veriler hesaplanacak emisyon türüne göre değişiklik gösterir. Örneğin depolama, elleçleme ve sevkiyat aşamasında oluşan emisyonlar için, emisyon faktörlerinin yanı sıra, emisyon kaynağının karakterizasyonuna, kuvvetine, rüzgar hızına, depolanan malzemenin sürüklenme hassasiyetine vb. ihtiyaç duyulmaktadır. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgiye Emisyonların Depolanması Hakkında MET Referans Dokümanından ulaşılabilir (EC, 2012).

Kok fırınlarından kaynaklanan kaçak emisyonların belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin ortak özelliği ise deneyimli veya sertifikalı gözlemciler tarafından emisyonların görsel olarak belirlenmesidir (EC, 2012). Sera gazı emisyonlarının belirlenmesi amacıyla, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz

Dokümanlarında tanımlanan yöntemler kullanılarak hesaplama yapılır. Bu yöntemlerde emisyon faktörlerinin yanı sıra girdi ve çıktı miktarları da kullanılmaktadır.

Toz emisyonlarının ve PCDD/F emisyonlarının azaltılması

Toz emisyonlarının azaltılması amacıyla yoğunlukla torbalı filtre ve elektrostatik filte (ESF) sistemleri kullanılmaktadır. Hangi sistemin kullanılacağı, temizlenecek gazın ve içerisindeki tozun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Eletrostatik filtre prosesinde kirlenmiş hava, elektrotlar arasında iyonize edilerek içerisindeki kirleticiler (partikül) negatif yüklenir. Negatif yüklenen bu partiküller zıt yüklü plakalara doğru çekilirler ve bu plakalarda tutulurlar. Tutulan partiküller daha sonra plakalar üzerinden temizlenerek ESF'nin altında toplanır. Kuru elektrostatik filtreler içerisinde toplanan toz, elektrotlara periyodik olarak vurulması veya elektrotların titreştirmesi ile toplanma hunilerinin içine düşürülerek uzaklaştırılır. Yaş elektrostatik filtrelerde toplanan toz, sabit bir debiye sahip su ile uzaklaştırılır. Bu işlem için kullanılan su daha sonra toplanarak arıtılır. İyi bir ayrışma işlemi gerçekleştirebilmek için, partiküllerin spesifik direnci 104-109 Ωm arasında olmalıdır (Cooper, ve diğerleri, 2011; EC, 2012).

Bazik oksijen fırınlarında (BOF), prosese oksijen gazı üflenmesiyle, BOF gazı üretilir. Bu gazın yapısında fazla miktarda toz bulunmaktadır. BOF gazının yanmanın baskılanması ile geri kazanılması için, gazın oldukça yüksek verimlilikte saflaştırılması gerekmektedir ya da yasal standartlara ulaşılması amacıyla BOF gazının temizlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. BOF gazı pek çok tesiste yakıt olarak kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır. Bu tip tesislerde birincil toz toplama genellikle venturi tipi yıkayıcılar ya da kuru ve ıslak ESF'ler ile yapılır. Venturi ya da ESF uygulamasından önce, kaba partiküller bir deflaktör vasıtasıyla akımdan uzaklaştırılır (EC, 2012).

Oksijen lans deliğinden yayılan toz emisyonlarına özellikle dikkat edilmelidir. Bu delikten yayılan emisyonlar 50 g/ton sıvı çelik seviyesine ulaşabilir. Bu emisyonlar oksijen üflemesi ve/veya inert gaz enjeksiyonu (N_2/CO_2) sırasında deliği kapatan hareketli bir değirmen taşı ile ya da lans deliğine toz emisyonunu dağıtmak için buhar uygulanması yöntemi ile azaltılabilir (EC, 2012).

Kuru toz toplama ve yanmanın baskılanması işlemlerinde ESF uygulanarak, BOF gazında kalan toz konsantrasyonu 10 mg/Nm^3 kadar (0,5-1 g/ton SÇ) azaltılabilir. Gaza ESF uygulanmadan önce, kaba partiküller bir deflaktörde tutulur ve gaz bir evaporasyon soğutucuda koşullandırılır. Kuru toz toplama ve açık yanma işlemlerinde ise BOF gazının toz emisyonu 20–50 mg/Nm^3'e kadar azaltılabilir.

Yıkama işleminin uygulanması ve yanmanın baskılanması durumunda ilk olarak bir ıslak sistem uygulanır, kaba partiküller ıslak ayırıcıda tutulur, sonra ince partiküller venturi yıkayıcı ile sistemden uzaklaştırılır. Yıkamadan sonra gazın toz konsantrasyonu genellikle 15-50 mg/Nm^3 arasındadır. BOF gazı baca gazı kanalında yakıldığında ve venturi yıkayıcılar ile temizlendiğinde, toz konsantrasyonu 10 ve 50 mg/Nm^3'e kadar düşebilmektedir.

Sadece yıkayıcı ya da yıkayıcı ve ıslak ESF sistemi ile temizlenen gazın emisyon konsantrasyonları Tablo 5.18'de verilmiştir.

Tablo 5.18 Sadece yıkayıcı ya da yıkayıcı ve ıslak ESF kullanılarak elde edilen emisyon konsantrasyonları

Bileşenler	Yıkayıcı ve Islak ESF	Yıkayıcı
PM_{10}	32,5	<42
CO	15	2
NO_x	25	-
Hg	-	0,002
Cd, Tl	0,003	-
As, Co, Ni, Se, Te	0,02	-
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,4	-
Pb	-	0,3
PCDD/F	0,04	-
HF	<0,5	-

NB: değerler mg/Nm^3 biriminde PCDD/F hariç yıllık ortalama değerlerdir.
Kaynak: (EC, 2012)

Islak toz toplama sistemlerinin kullanılması kontamine suların açığa çıkmasına neden olur. Yanmanın baskılandığı sistemlerde, venturi yıkayıcı için 0,001 – 0,005 GJ/ton çelik ve kuru ESF için <0,001 GJ/ton çelik enerji tüketilmektedir. Açık yakma sisteminde ise, venturi yıkayıcı için 0,04-0,15 GJ/ton SÇ ve kuru ESF için <0,005 GJ/ton çelik enerji tüketilmektedir. Sisteminin yatırım maliyeti yıllık 1 milyon ton kapasiteye sahip bir çelik tesisi için 24 milyon Avro ve 40 milyon Avro arasında değişmektedir. İşletme maliyeti ise 1 ton sıvı çelik başına 2-4 Avro'dur.

Sistemde açığa çıkan tozlar ve çamurlar yüksek miktarda çinko içerdiğinden, geri kazanılmamaktadır. Çinko içeriği düşük hurdaların kullanılması, BOF toz/çamurunun sinter tesisinde geri kazanılmasına olanak sağlamaktadır.

Torbalı filtreler kuru partikülleri gaz akımından (genellikle hava veya yanma gazı) ayırmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu sistem, tozlu gazın paralel yerleştirilmiş bir dizi torba filtre içerisiden geçerken içerisindeki tozun kumaş tarafından tutulması prensibi le çalışmaktadır. Sistemde kumaş, filtre işlevinin yanında daha önemli bir rol üstlenerek, üzerinde hızlı bir şekilde biriken toz tabakası için destek görevi görür. Oluşan toz tabakası ince partiküllerin tutulmasını sağlayarak filtre verimini önemli ölçüde artırır (Cooper, ve diğerleri, 2011). Torba filtrelerde, periyodik olarak filtrenin temizliğinin yapılması ve filtre yüzeyinde biriken tozun ya mekanik olarak sallayarak ya da sürekli tam otomatik online atımlı jetlerle (basınçlandırılmış hava ile) temizlenmesi gerekir. Temizleme esnasında oluşan filtre keki, konveyör bantlarla depolama alanına iletilir (EC, 2012).

Elektrik ark ocaklı (EAO) ve indüksiyon ocaklı (İO) tesislerde kullanılan en yaygın toz azaltma sistemi torbalı filtrelerdir. Bazı EAO proseslerinde ESF'ler kullanılır. Fakat ESF sistemlerinin toz azaltma verimi EAO'lar için nispeten biraz daha düşüktür.

Torbalı filtreler çelikhaneden çıkan tozun türüne oldukça uygundur. EAO prosesinde genelde büyük torbalı filtreler tercih edilir. Bu filtreler için en önemli tasarım parametresi hava/kumaş oranıdır ve EAO prosesinde bu oran 1 ila 1,3 m^3/dk.m^2'dir. Torbalı filtrelerin elektrik tüketimi, binanın tamamen tahliye edilmesi de dahil edildiğinde, ortalama 20-28 kWh/ton sıvı çelik değerindedir.

Torbalı filtrelerin üretiminde kullanılan farklı türde kumaşlar vardır. Bazı tür kumaşlar maksimum 125-130ºC sıcaklıklarda, bazıları ise 250ºC sıcaklığa kadar deforme olmadan kullanılabilir. EAO'larda

kullanılacak filtreler kıvılcıma dayanıklı polyester ya da PTFE ile kaplanmış iğneleme türü keçe malzemelerdir. Fakat sağlıklı bir torbalı filtre çalışması için önemli olan, akkor parçacıkların filtreleme ortamına ulaşmasının ve torbayı yakarak delmesinin önüne geçmektir. Bu nedenle çoğu zaman kıvılcım yakalayıcı siklon gibi cihazlar ham gaz kanalları içine yerleştirilir.

Düşük sıcaklıklarda çalışan filtrelerin emisyon azaltma verimi daha yüksektir. Baca gazının filtrasyon sıcaklığına soğutulması gerekir. Soğutma işlemi genellikle birincil ve ikincil akımların karıştırılması ile sağlanır. Eğer istenilen sıcaklığa soğutulamadıysa ve birincil ve ikincil akımlar ayrı filtre edilecekse, ek soğutma ekipmanı birincil baca gazı akımında kurulur. İyi tasarlanan ve işletilen torbalı filtrelerin yıllık toz emisyon değeri 1 mg/Nm^3 civarındadır. Hollanda, Avusturya ve Almanya'da bulunan dokuz EAO tesisinde yapılmış olan toz ve ağır metal ölçümleri sonucunda, torbalı filtre ve ESF elde edilmiş olan ortalama değerler Tablo 5.19'da detaylı olarak verilmektedir.

Tablo 5.19 Dokuz adet EAO tesisinde uygulanan azaltma sonrası ölçülen kalıntı toz ve ağır metal yoğunlukları

Parametre		Torbalı filtre	Elektrostatik Filtre (1)	Birim
Toz		0,35 – 3,4	1,8	mg/Nm^3
Metaller:	Hg	0,001 – 0,019		mg/Nm^3
	Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co ve Sn'nin toplamı	0,006 – 0,022	<0,0003	mg/Nm^3
	Cr (Cr (VI) hariç)	0,013	0,01 – 0,07	mg/Nm^3
	Mn	0,036		mg/Nm^3
	Ni	0,003		mg/Nm^3

(1) Paslanmaz çelik üretiminde kullanılan elektrostatik filtre.
Not: Değerler yıllık ortalamalardır ve merkezi toz giderme sistemi için verilmiştir.
PAH benzo(a)pyrene ve dibenzo(a,h)anthracene içerir.
Kaynak: (EC, 2012)

Torbalı filtreler, filtreleme sıcaklığı düzeyinde iri parçacıklar olarak mevcut olan ağır metaller de dahil olmak üzere tüm tozu yakalarlar. Buna toz tarafından özümsenen PCDD/F gibi organik maddeler de dahildir. Torbalı filtreler PCDD/F'nin azaltılmasında temel bir görev görürler. Yanma odasında gerçekleştirilen sonradan yakma işlemi, baca gazında kalmış CO ve H_2'in tam yanmasını ve böylece, gaz temizleme donanımında oluşabilecek denetlenemeyen yanma tepkimelerinin önüne geçmeyi hedeflemektedir. Ayrıca sonradan yakma prosesi iyi optimize edilirse (sıcaklık ve bekleme süresinin iyi ayarlanması gibi), PAH, PCB, PCDD/F gibi organik bileşenlerin emisyonunun azalması yönünde etki eder. Sonradan yakma işleminin devamında, PCDD/F bileşenlerinin tekrar oluşumunu engellemek amacıyla, yakma sonrası açığa çıkan baca gazının sıcaklığının hızlı bir şekilde 250°C'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla baca gazı, söndürme kulesinde su enjekte edilerek soğutulur.

Sonradan yakma işlemi gerçekleşse dahi ergitme prosesinin ilk birkaç dakikasında sistemde yeterli sıcaklık seviyesine ulaşılamaması ve yanma odası ile söndürme sistemi arasındaki mesafenin fazla olması PCDD/F oluşumuna neden olur. En ideali iki sistemin birbirine olabildiğince yakın kurulmuş olmasıdır.

Tablo 5.20'de Almanya ve Avusturya'da azaltma sonrası gerçekleştirilmiş olan yedi adet toz, PAH ve PCDD/F ölçümlerinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.20 Azaltma sonrası toz, PAH ve PCDD/F emisyon yoğunlukları

Parametre	Torbalı filtre	Birim
Toz	0,35 – 3,4	mg/Nm^3
PAH	<0,00001	mg/Nm^3
PCDD/F	0,0015 – 0,1 (1)	ng I-TEQ/ Nm^3

(1) Aralığın üst ucu 1997 yılında gerçekleştirilmiş olan ölçümleri ifade etmektedir.
Not: Değerler yıllık ortalamalardır ve merkezi toz giderme sistemi için verilmiştir.
PAH benzo(a)piren ve dibenzo(a,h)antrasen içerir.
Kaynak: (EC, 2012)

Genellikle, doğru şartlarda uygulanan sonradan yakma işlemi ve takiben hızlı soğutma ile (hava ile seyreltme ya da söndürme yoluyla) 0,1 ng I-TEQ/ Nm^3 değerinin altında bir PCDD/F emisyon yoğunluğu elde edilebilir. Bazı durumlarda, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı yüksek PCDD/F yoğunlukları oluşabilir.

Bu teknik hem yeni kurulacak sistemlere hem de mevcut sistemlere uygulanabilir. Mevcut sistemlerde uygulamaya geçilmeden önce yerel şartların ve imkanların (uygun boş alan, atık gaz hattı) uygunluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Ek brulörler kullanarak uygulanan sonradan yakma işlemi önemli miktarda enerji tüketmektedir (30 kWh/ton). Birincil yakma sonrası PCDD/F oluşumunun engellenmesi için söndürme işlemi yapıldığından baca gazının enerjisi geri kazanılamamaktadır. Söndürme işleminde su tüketimi saatte 40 tona kadar ulaşabilmektedir (EC, 2012).

Geliştirilmiş Elektrostatik Filtre (ESF) ve aktif karbon gibi adsorbanların kullanılmasıyla spesifik direnci daha yüksek olan bileşenlerin azaltılması

Avrupa genelinde sinter tesislerinde, yüksek hacimli atık gazların temizlenmesinde birbirine seri olarak bağlı üç veya dört adet kuru elektrostatik filtre yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrostatik filtrelerde verimi etkileyen en önemli faktör partiküllerin spesifik direncidir. Sinter proseslerinden kaynaklanan atık gaz içerisindeki partiküllerin çoğunluğu bu direnç aralığı içerisindedir. Fakat, alkali klorürler, ve kalsiyum oksit gibi spesifik direnci daha yüksek olan bileşiklerin yüksek verimle arıtılması oldukça zordur. Verimi etkileyen faktörler; partiküllerin spesifik direnci, atık gaz akış hızı, elektrik alan mukavemeti, partikül yüklenme oranı, SO_3 konsantrasyonu; nem içeriği ve elektrotların şekil ve alanıdır. Bu faktörler göz önünde bulundurularak geliştirilmiş iyi bir performansa sahip üç tip ESF aşağıda açıklanmıştır:

1. Üst üste bindirilen enerji pulslarının kullanılması: Puls sistemi, negatif polaritenin filtrelenmiş voltajı üzerine bindirilmiş negatif dar pulslardan oluşan bir voltaj sağlar. Bu yüksek voltaj pulsları, 140 µs genişliğe sahiptir ve saniyede 200 puls frekansla tekrar edebilir. Bu sistemin en önemli avantajlarından biri, yüksek dirençli olan toz partiküllerin de giderilebilmesidir.
2. Hareketli Elektrot Elektrostatik Filtre (Moving Electrode Electrostatic Precipitator, MEEP): Bu filtre içerisinde birçok elektrot plakası belirli yollar üzerinde hareket etmektedir. Bu plakalar dönen fırçalar tarafından sürekli olarak temizlenmektedir. Bu şekilde yapışkan tozlar da plakalardan alınarak toz tabakasının yalıtım etkisi kaldırılmış olmaktadır.
3. Elektrostatik Ortam Temizleyicisi (Electrostatic Space Cleaner Super, ESCS): ESCS yüksek voltajda (70-200 kV) uygulanır. Yüksek voltajın sağlanabilmesi için elektrot plaka aralıklarının genişletilmesi gerekmektedir.

ESF'ler toz emisyonlarını %95'in üzerinde bir verim ile azaltabilmektedir. Bazı durumlarda bu oran %99'a varabilmektedir. Hareketli elektrot ESF'ler, başlama ve kapanma süreleri hariç tutulmak kaydıyla toz konsantrasyonlarında 20-50 mg/Nm^3 gibi oranlara ulaşabilmektedir. ESF'ler özellikle sinter tesisleri için atık gazın temizlenmesinde kullanılan en yaygın toz tutma ekipmanlarıdır ve genellikle sorunsuz şekilde çalıştırılır. Fakat yangın riskini minimize etmek için atık gazın içindeki hidrokarbon miktarına dikkat edilmelidir.

Sistemde katı atık oluşmaktadır. Bazı durumlarda bu katı atık sinterleme prosesinde tekrar kullanılmak üzere geri gönderilebilmektedir. Fakat atığın alkali içeriğinin ya da ağır metal konsantrasyonunun yüksek olması durumunda tekrar kullanımı mümkün olmamaktadır.

ESF'lerin kullanılması için belirleyici maliyet faktörü atık gaz debisidir. 1,4 milyon Nm^3/saat'lik gaz debisine sahip bir tesiste modernize edilen iki ESF için yatırım maliyeti 2002 yılında 10-15 milyon Avro'dur. Bir sinter tesisi için atık gaz debisi 1 milyon Nm^3/saat, enerji tüketimi ise 300-400 kW'tır. Yılda 4 milyon ton sinter üreten bir tesis için bu enerji miktarı sinterleme prosesinin toplam enerji tüketiminin yaklaşık %0,15'i civarındadır.

PCDD/F emisyonlarının adsorpsiyonu amacıyla ESF'lere aktif karbon enjeksiyonu yapılabilmektedir. Karbon kaynağı olarak aktif kömür ve inert materyal olarak kireç kullanılmaktadır. Aktif karbon enjeksiyonu ile kontrollü koşullar altında yıllık ortalama 0,5 ng I-TEQ/Nm^3 PCDD/F konsantrasyonuna ulaşılmaktadır.

Toplanan toz sinter tesislerinde kullanıldığından ilave atık oluşmamaktadır. İlave toz, ancak sistemde, sinter yatağında kullanılamayan çok küçük boyutlu toz partikülleri varsa oluşabilmektedir. Enerji tüketiminde ise belirgin seviyede artış olmamaktadır.

Karbon enjeksiyonunun uygulanabilmesi için, yangın riskini azaltmak amacıyla baca gazı sıcaklığı 180°C'nin altında olmak zorundadır. Enjeksiyon noktası ve gaz temizleme ünitesi arasında kalma zamanı çok hassas bir parametredir. 1.600.000 Nm^3/saat'lik debiye sahip iki sinter tesisi için yatırım maliyeti 2000 yılında yaklaşık 2,5 milyon Avro'dur (EC, 2012).

Trietanolamin (TEA), monoetanolamin (MEA) ve üre gibi azotlu bileşiklerin ilavesi ile PCDD/F emisyonlarının baskılanması

PCDD/F emisyonları, emisyon oluşumunda inhibitör olarak kullanılan bazı maddelerin sisteme eklenmesiyle bastırılabilir. Bu durumda, PCDD/F emisyonlarının azaltılması için en etkili yol katı hammadde karışımına azot bileşikleri ilave ederek yüzeyde gerçekleşen katalitik reaksiyonları inhibe etmektir. Bu nedenle, trietanolamin (TEA), monoetanolamin (MEA) ve üre kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Üre kullanımının endüstriyel ölçekte gerçekleştirildiği tesisler de mevcuttur.

ESF'lerin toz azaltma performansı üzerinde olumsuz etki yaratması, üre ilavesi sonucu amonyak oluşumu, toz ve mikrokirleticierin artması ve baca gazının çok görünür olması nedeniyle çevredeki yerleşim alanlarından şikayetler gelmesi, hammadde beslemesine üre ilave edilmesinin en belirgin dezavantajları arasındadır.

Üre içeren maden cevherinin elleçlenmesi ve dağıtımı sırasında malzemeye özgü (nem çekici özelliğe sahiptir) bazı sorunlar oluşabilmektedir. Bu teknik özellikle sinter tesislerinde tercih edilmekte ve ton sinter üretimi başına 0,12 kg üre kullanılabilmektedir. Bu tekniğin yatırım ve işletme maliyetleri oldukça

düşüktür. 4 milyon ton sinter üreten bir sinter tesisi için yatırım maliyeti yaklaşık 700.000 Avro'dur. İşletme maliyetleri ise 0,08-0,14 Avro/ton sinter arasında değişmektedir (EC, 2012).

Torbalı filtrelerde toz emisyonlarının yanı sıra sönmüş kireç, sodyum bikarbonat çözeltileri ve aktif karbon veya zeolit gibi adsorbanların kullanılması ile katı ve gaz kirleticilerin birlikte arıtılması

Adsorpsiyon malzemelerinin kullanıldığı durumlarda torbalı filtreler, PCDD/F vb. klorlu organik bileşikler ve ağır metaller gibi kirleticileri tutmada oldukça etkilidir. Torbalı filtreler, mevcut olan ESF'lerden veya siklonlardan sonra yerleştirilerek kullanılabildiği gibi tek başlarına da kullanılabilmektedir. Tozun giderilmesi, genellikle, sönmüş kireç veya sodyum bikarbonat çözeltilerinin enjekte edilmesiyle HCl, HF ve SO_x gibi asidik atık gaz bileşiklerinin ve aktif karbon (aktif karbon, pulverize aktif linyit kok vb.) veya zeolit gibi bazı adsorbanların enjekte edilmesiyle PCDD/F, PCB, HCB veya PAH gibi kalıcı organik kirleticilerin uzaklaştırılması ile birlikte gerçekleştirilmektedir. Uygulama için gerekli adsorban miktarı, adsorbanın türüne ve büyüklüğüne göre değişir. Genellikle bu miktar 20 ila 150 mg/Nm^3 baca gazı arasında değişir. Aktif linyit kok tozunun büyüklüğü 0,4 mm'ye kadar değişiklik gösterir. Karbon yapılı adsorbanların boyutları ortalama 25 µm'dir. Farklı adsorbanların ve absorpsiyon malzemelerinin özellikleri Tablo 5.21'de verilmektedir.

Tablo 5.21 Farklı adsorbanların ve absorpsiyon malzemelerinin özellikleri

Adsorbanlar ve absorpsiyon malzemeleri		Tanecik boyutu (mm)	Yüzey alanı BET (1) (m^2/g)	Çöktürücü kirleticiler
Standart toz aktifleşmiş linyit koku	Karbon	0,063	300 – 400	Organik maddeler, ağır metaller
Yüksek kalite toz aktifleşmiş linyit koku	Karbon	0,024	1200	
Pulverize toz (odun kömürü) karbon	Karbon		500 – 1600	
Zeolit	Z		4 – 90	

(1) BET: Gaz moleküllerinin katı yüzeyde fiziki adsorpsiyonu kuralı olarak bu kuramı geliştiren kişilerin baş harfleri kullanılarak yaratılmış kısaltma.
Kaynak: (EC, 2012)

Adsorbsiyon işlemi üç adımda gerçekleşmektedir. Birinci olarak adsorban akımı ham gaz akımına çarpar, ikinci olarak adsorbanca zengin ham gaz filtrasyon ekipmanına geçer, son olarak da adsorbanca zengin toz filtre üzerinde kalır. Tozun tamamı, karbon/kok, reaksiyona girmeyen desülfürizasyon kimyasalları ve sodyum sülfat gibi reaksiyon sonucu oluşan maddelerin tamamı torbalı filtre ile tutulmaktadır. Kireç gibi alkali bileşiklerin enjeksiyonu, aynı zamanda küçük partiküller ve organik bileşenlerin filtreyi tıkamasını ve korozyonu önlemektedir.

Torbalı filtrelerde tutulan tozun içeriğindeki karbon oranına dikkat edilmesi gerekmektedir. Tutuşma riskinden dolayı, baca tozunun içindeki karbon oranının %4'ün altında olması gerekmektedir. Aktif karbon ile linyit kok tozunun uygulama miktarı adsorban tane boyutu ve etkili adsorpsiyon yüzey alanı nedeniyle farklılık göstermektedir. Aktif karbonun spesifik serbest yüzeyi daha fazla olduğu için çok iyi bir adsorpsiyon etkisi gösterir. Aktif linyit kok ise daha ekonomik bir alternatiftir. 0,024 mm çapında öğütülmüş linyit kok çok iyi adsorpsiyon etkisi gösterir ve standart linyit koka göre dozlama miktarı yarı yarıya düşer. Bazı durumlarda tutuşmayı engellemek için adsorpsiyon malzemesine inert maddeler eklenebilir.

PCDD/F bileşiklerinin aktif linyit koka adsorplanması için çok kısa bir temas süresi yeterlidir. Buna rağmen, ayırma verimi emici madde ile kirletici bileşen arasında temas süresine bağlıdır. Bu durumda

adsorbanın atık gaz içindeki dağılımı önem kazanmaktadır. Optimum ayırma verimini sağlamak için ön koşul, enjeksiyon noktasında homojen ve aynı zamanda türbülanslı bir karışım oluşturmaktır. Kirletici molekül adsorpsiyonu için optimum gözenek çapı dağılımı, adsorban seçiminde önemli bir faktördür. Yangın ve patlamaya karşı filtre tozundaki adsorban miktarının sınırlandırılması, kıvılcımın sisteme girişinin engellenmesi ve adsorbanın etkisizleştirilmesi gibi birtakım önlemler alınabilir. Bu amaçla kıvılcım dedektörleri, azot ile boğma sistemleri, toz birikintilerinin tespiti ve sıcaklık gözetimi gibi teknikler kullanılabilmektedir.

Torbalı filtrelerde oluşan katı proses atığı (0,5-1 kg/ton sinter) sinterleme prosesinde kullanılarak geri kazanılabilmektedir. Aktif linyit kok tozu dozajı için önemli miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Filtre tozunun linyit kok tozu içermesi, tutulan PCDD/F miktarını artırmakta fakat bu durum demir dışı metallerin geri kazanılması için uygulanan toz temizleme işlemine engel olmamaktadır. Bazı durumlarda, filtrede toplanan tozun geri kazanılması, içerdiği istenmeyen bileşenler (çinko, kurşun, alkaliler vb.) nedeniyle mümkün olmamaktadır. Bu durumda toz, ileri artıma işlemlerine tabi tutulmakta veya düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir.

Emisyon azaltım uygulamasında geriye kalan PCDD/F emisyon konsantrasyonu 0,01-0,1 ng I-TEQ/Nm^3 aralığında kalmaktadır. Ayrıca PCDD/F adsorpsiyonunda, aktif karbon ve aktif linyit kok tozunun kullanımı ağır metallerin ayrılmasında yüksek verim göstermiştir. Aktif linyit kok tozu enjeksiyonu sonucu PCDD/F emisyonundaki azalma Tablo 5.22'de verilmektedir.

Tablo 5.22 Aktif linyit kok tozu püskürtmesi kullanılarak PCDD/F'in azaltılması

EAO tesisi	Gaz akışı (1000 Nm^3/saat)	Linyit koku adsorbanın eklenmesi (kg/saat)	PCDD/F emisyon yoğunluğu, adsorban püskürtmesi kullanılmadan (ng ITEQ/Nm^3)	PCDD/F emisyon yoğunluğu, adsorban püskürtmesi kullanılarak (ng ITEQ/Nm^3)
A	750	100 (1) 35 (2) 25 (2)	0,178 – 1,44	0,085 – 0,226 0,003 – 0,008 0,023 – 0,092
B	850	40 (2)	0,072 – 0,722	0,007 – 0,032
C	770	50 (2)	0,040 – 0,714	0,005 – 0,075
D	690	15 (2)	<2,0	<0,05
E	840	20 (2)		0,002 – 0,007
F	1250			0,015 – 0,04

(1) Standart kalitede linyit koku; parçacık boyutu 63 µm (300 m^2/g).
(2) Yüksek kalitede öğütülmüş aktif linyit koku; parçacık boyutu 24 µm (1200 m^2/g); yüksek piroforik indekse sahip olarak nitelendirilir.
Not: Veriler 1999 - 2004 yılları arasındandır.
Kaynak: (EC, 2012)

Tablo 5.23'te, bir EAO tesisindeki azaltma sisteminin aşamalı olarak tadilatı ve optimizasyonunu sonucu yapılan dioksin ölçümlerindeki gelişme gösterilmektedir. Tadilatta torbalı filtre öncesi toplama kanallarına ek aktif karbon püskürtme sistemi kurulmuştur. Atık baca gazı hacmi yaklaşık olarak 1.250.000 Nm^3/saat'tir.

Tablo 5.23 İkinci bir karbon püskürtme sistemi kurulumundan sonra PCDD/F azaltımındaki gelişme

	PCDD/F Emisyon yoğunluğu
Aktif kömür kullanan birinci püskürtme sisteminin çalıştırılmasından sonra	0,04 ng I-TEQ/Nm³
Aktif kömür kullanan ikinci püskürtme sisteminin çalıştırılmasından sonra	0,015 ng ITEQ/Nm³

Kaynak: (EC, 2012)

Yapılan araştırmalarda, aktif linyit koka adsorbe olan kalıcı organik kirleticilerin özellikle de PCDD/F'lerin yüksek bağlanma kuvvetinden dolayı geri dönüşümsüz bağlandıkları ve tozun ısıl işlemi esnasında katalitik bozunmaya uğradığını belirtilmektedir.

Partiküllerin sistem içerisinde resirküle edilmesi, filtrelerde bir ön katman oluşturarak, toz tutma verimliliğini artırmakta ve filtrelerin ömrünü uzatmaktadır. Dayanıklı torbalı filtre malzemelerinin kullanılması, bu teknikte önemli bir faktördür. Çeşitli kalitelerdeki farklı tür kumaş filtre malzemeleri kullanılarak verim, kullanım ömrü ve maliyetler arasında bir denge sağlanabilir.

Akış enjeksiyon ünitesi olan torbalı filtre maliyetleri hesaplanırken, bu yatırımların yalnızca toz tutma için değil aynı zamanda PCDD/F, ağır metal, HF, HCl ve SO_2 gibi asit gazlarını da tutmak için yapıldığını göz ardı etmemek gerekmektedir. Torbalı filtreler, hem mevcut tesislerde hem de yeni kurulacak tesislerde kullanılabilir. Yatırım maliyeti mevcut ve yeni kurulacak tesisler için yaklaşık olarak 16-35 Avro/(Nm^3/saat)'tir. 1 Mton çelik/yıl kapasiteli bir EAO tesisinde birincil ve ikincil olmak üzere toplam baca gazı akışı için yatırım maliyeti yaklaşık olarak 500.000 Avro'dur. Mevcut tesisler için, alan gereksinimi olacağından ESF'lerin kullanılması daha uygun olabilir. Fakat mevcut ESF'lerin yaşına ve performansına dikkat edilmelidir (EC, 2012).

Siklonların, fan ve diğer ekipmanlarının korunması amacıyla ön arıtma ekipmanları olarak kullanılması ve çoklu siklon uygulaması ile toz tutma veriminin artırılması

Siklonlar, yalnızca bir ön arıtma ekipmanı olmayıp aynı zamanda zayıf aşağı akışa sahip ekipmanlar için kıvılcım siperi olarak kullanılmaktadır. Siklonlar merkez kaç kuvveti ile tozu ayırmaktadır ve yalnızca büyük partiküllü toz emisyonlarının arıtımında verimli arıtma cihazlarıdır. Bazı durumlarda verimliliği artırmak için siklonlar birbirine paralel bağlanabilmektedir. Bazı durumlarda siklonlar, tesislerde fan vb. diğer ekipmanların korunması amacıyla ara gaz temizleme üniteleri olarak da kullanılabilmektedir.

Çoklu siklon kullanımı ile 10 µm'den büyük partiküller için %90-95 oranında giderim elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, sinter tesisinden çıkan atık gazın içerisinde nispeten daha küçük boyutlu partiküller için %60-80 giderim verimi elde edildiği bilinmektedir. Bu nedenle sinter tesislerinde siklonlar ile birlikte farklı arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Yılda 4 milyon ton üretim yapan 1 milyon Nm^3/saat atık gaz debisine sahip bir sinter tesisinde hafif bir basınç düşüşü (0,5 kPa) pompaların enerji tüketimini artırmaktadır. Bu durumda yaklaşık ton sinter başına 1 MJ enerji tüketimi artışı gerçekleşmektedir. 1 milyon Nm^3/saat atık gaz debisine sahip bir tesiste sistemin yatırım maliyeti yaklaşık 0,5-0,75 milyon Avro'dur. İşletme maliyetleri ise basınç düşüşleri ve dolayısıyla enerji maliyetlerine bağlıdır (EC, 2012).

Atık gaz içerisindeki toz halindeki maddelerin ince partikül ıslak yıkayıcılarla uzaklaştırılması

Geleneksel yıkayıcıların (venturi yıkayıcılar vb.) verimi, yüksek konsantrasyonlardaki hidrokarbon ve nispeten küçük boyuttaki toz boyutuna sahip baca gazının arıtılması amacıyla uygulandığında yetersiz kalmaktadır. Günümüzde bu sorunun giderilmesi amacıyla geliştirilen yüksek performanslı yıkayıcı sisteminin temel bileşenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Sinter yatağına geri döndürülebilecek büyüklükteki toz partiküllerinin tutulabilmesi için bir siklon veya ESF
- Büyük boyutlu toz partiküllerinin ve asit bileşenlerinin NaOH ilavesi ile yıkanabilmesi için bir soğutma ve söndürme sistemi
- Küçük boyutlu ince toz partiküllerinin giderilmesi için bir ince toz ıslak yıkayıcı
- Proses artık veya atıklarının işlenmesi için bir su arıtım sistemi

Bu teknik, hem mevcut hem de yeni kurulacak tesisler için uygulanabilir olsa da tekniğin uygulanabilirliği tesise özel şartlara bağlıdır. Gerçek arıtma verimi; enerji girdisi ve söndürme ünitesinin işletme verimi ile ilgilidir. Avrupa faaliyet gösteren ve ıslak yıkayıcı kullanan sinter tesisleri için emisyonlar yıllık ortalama olarak 40-80 mg/Nm^3 aralığındadır. Ünitenin durumuna bağlı olarak bu ortalamaların altındaki değerlere anlık olarak ulaşılabilmektedir. Atıksu, arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmelidir (EC, 2012).

Besleme içerisindeki uçucu hidrokarbon içeriğinin azaltılması ile VOC emisyonlarının azaltılması

Özellikle yağ girdisinin azaltılmasıyla hidrokarbon girdisi minimize edilebilmektedir. Yağ, sinter beslemesine genellikle tufal ile girmektedir. Tufallerin yağ içeriği geldiği prosese göre önemli oranda değişiklik göstermektedir. Bazı durumlarda yağ oranı %10'lara kadar çıkmaktadır. Bu oranda yağ içeren tufal, bir ön işlemden geçmeden sinter tesisinde kullanılamamaktadır.

Sinter karışımı içerisindeki birçok hidrokarbon, 100-800°C sıcaklıkları arasında uçucu hale geçip, atık gaz içerisine karışabilmektedir.

Toz ve tufal ile birlikte sinter beslemesine karışan yağ girdisinin minimize edilmesi için aşağıdaki teknikler uygulanabilir:

1. Düşük yağ içerikli tufal ve tozun seçilerek kullanılması ile yağ girdisinin sınırlandırılması
2. Haddehanelerde iyi işletme uygulamalarının gerçekleştirilmesi ile tufalin yağ kontaminasyonunun minimize edilmesi
3. Tufalin yağsızlaştırılması
    a. Tufalin yaklaşık 800°C'ye ısıtılıp hidrokarbonların uçucu hale getirilmesiyle temiz tufal elde edilmesi sağlanabilir. Uçuculaştırılan hidrokarbonlar daha sonra yakılarak giderilmelidir.
    b. Bir solvent yardımıyla yağ ekstraksiyonu yapılabilir.

Hidrokarbon içeriğinin azaltılması ile metan dışı uçucu organik bileşiklerin (NMVOC) emisyonunda yıllık ortalama 20 mg/Nm^3 değerine ulaşılabilir. Sinter beslemesindeki yağ içeriğinin düşürülmesine yönelik önlemlerin alınmadığı durumlarda, kullanılan yakıta da bağlı olarak bu emisyon değeri artabilmektedir. Yüksek seviyelerdeki emisyonlar için elektrostatik filtreler kullanılmaktadır.

Tufal ısıl yöntemlerle yağsızlaştırıldığında enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Bu durumda uçucu hidrokarbonlar, en az 2 saniye boyunca ve en az %6 O_2 içeriğiyle yine en az 850°C'de yakılmalıdır.

Sinter tesislerinde toz ve tufalin yağ içeriğinin düşük olmasının istenmesinin; ESF'lerde yangınların önlenmesi, torbalı filtrelerin temizleme performansının olumsuz etkilenmesi, boru hatlarının temizliğinin sağlanamaması gibi birçok nedeni bulunmaktadır. Ayrıca yüksek yağ içeriği, PCDD/F emisyonu oluşma potansiyelini artırmaktadır (EC, 2012).

Şerit yüzeyinin korunması amacıyla kullanılan yağ buharına ilişkin emisyonların; davlumbaz sistemleri, buhar ayırıcı ve elektrostatik filtre sistemleri kullanılarak tutulması ve arıtılması

Şerit yüzeyinin korunması amacıyla kullanılan yağ buharına ilişkin emisyonların; davlumbaz sistemleri, buhar ayırıcı ve elektrostatik filtre sistemleri kullanılarak tutulması ve arıtılması mümkündür. Bu süreçte toplanan yağlar tekrar kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile kaçak yağ buharı emisyonlarının oluşumunun ve yağ tüketiminin azaltılması sağlanmaktadır. Tekniğin uygulanması ile yağ buharı emisyonlarında %72'lere varan (ortalama 104 mg/m^3 seviyesinden ortalama 3 mg/m^3 seviyesine) azaltım elde edilmesi mümkündür (EC, 2001a).

NO_x emisyonlarının azaltılması

Düşük NO_x emisyonuna sebep olan brulörlerin kullanılması, atık gaz resirkülasyonu, üst hava enjeksiyonu, indirgenmiş yakıt enjeksiyonu, aşamalı hava besleme ve aşamalı yakıt besleme gibi birincil önlemler, NO_x emisyonlarının azaltılmasında ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilmektedir. Birincil önlemler ile sadece termal NO_x emisyonları azaltılabilmektedir. Bu önlemlerin tamamı yanma sıcaklığını ve oksijenin kısmi basıncını azaltarak NO_x emisyonlarının önemli ölçüde düşmesine sebep olmaktadır. Yanma sıcaklığı gaz yakıtın kalorifik değerine bağlıdır. Proses gazına daha fazla atık gazın karıştırılması sıcaklığı düşürür. Bunların dışında kokla karşılaştırıldığında daha düşük azot içeriğine sahip olan antrasit kömürü kullanımı da NO_x emisyonlarını azaltabilmektedir.

Birincil önlemler demir-çelik sektöründeki yeni veya modernize edilen büyük yakma tesislerinde uygulanabilmektedir. Bu önlemler ile elde edilebilecek NO_x azaltım verimleri Tablo 5.24'te verilmiştir.

Tablo 5.24 Birincil önlemlere ait NOx azaltım verimleri

Uygulanan birincil önlem	NO_x azaltım verimi (%)
Düşük-NO_x brulörü	28
Atık gaz resirkülasyonu	13
Yarı stokiyometrik brulörlerde üst hava enjeksiyonu	23
İndirgenmiş yakıt enjeksiyonu	13
Düşük-NO_x brulörü + Atık gaz resirkülasyonu	38

Kaynak: (EC, 2012)

Birincil veya düşük-NO_x brulör sistemlerinin kurulması gibi prosese entegre önlemler demir-çelik sanayindeki yeni ve tamamıyla yenilenmiş büyük yakma tesislerinde uygulanabilmektedir (EC, 2012).

Düşük NO_x brulörleri ve atık gaz resirkülasyonun ayrı ayrı veya birlikte kullanılması ile NO_x giderim veriminin artırılması

Düşük-NOx brulörleri, yanma teknolojileri ile birlikte kullanılması gereken en etkili azaltım önlemlerinden biridir. Düşük-NO_x brulörlerinin kullanılmasının yanı sıra atık gaz resirkülasyonu ile günlük ortalama 80-90 mg/Nm^3 termal NO_x elde edilebilir. KFG'nin doğalgaz ile birlikte yakılması durumunda (YFG olmadan) günlük ortalama değerler 90 mg/Nm^3'e ulaşabilmektedir.

Düşük-NO_x brulörleri ile atık gaz resirkülasyonunun bir arada kullanılması durumunda %40 azaltım sağlanabilirken, düşük-NO_x brulörleri ve atık gaz resirkülasyonunun ayrı ayrı uygulanması durumunda elde edilebilen NO_x azaltımı sırasıyla %30 ve %15'tir. Bu önlem ile tipik KFG kompozisyonunun kullanılması durumunda, termal NO_x ve yakıt kaynaklı NO_x eklenmesi sebebiyle günlük ortalama NO_x emisyonu 210 mg/Nm^3'e ulaşabilmektedir (EC, 2012).

Düşük NO_x brulörleri ile atık gaz resirkülasyonundan kalan yakıtın yakılması için üst hava enjeksiyonu yapılması

Fırının alansal yükü, yanma esnasında aynı zamanda ilave YFG yanması ve üst hava enjeksiyonu gibi diğer proses parametrelerinin de NO_x emisyonları üzerinde karmaşık etkileri vardır. Üst hava enjeksiyonu artık yakıtın yakılmasında, atık gaz resirkülasyonu ile birlikte kullanılan düşük-NO_x brulörlerine ilave olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra üst hava enjeksiyonu alternatif önlem olarak da kullanılabilmektedir. Bu amaçla uygulanan seçeneklerden biri düşük-NO_x brulörleri ile atık gaz resirkülasyonunun bir arada kullanılmasıdır. Diğer bir seçenek ise atık gazı yakmak için bir brulörün yarı stokiyometrik olarak kullanılması ve tam yanma için gerekli havanın sağlanmasıdır. İlk seçeneğe göre NO_x azaltımı sadece üçte birdir. Aynı zamanda tamamen yanmanın sağlanması için fırına sürekli hava enjekte edilmesinin duvarlara yakın bölgelerde karbonmonoksit miktarını artırarak korozyona yol açması, teknik problemlere sebep olabilmektedir (EC, 2012).

Son brulör seviyesi ile üst hava arasına indirgenmiş yakıt (örneğin geri dönüştürülmüş atık gaz ve doğalgaz karışımı) enjeksiyonu ile NO_x emisyonlarının azaltılması

Son brulör seviyesi ile üst hava arasına indirgenmiş yakıt (örneğin; geri dönüştürülmüş atık gaz ile doğalgaz karışımı) enjeksiyonu ile NO_x azaltımı yapılabilmektedir. Ancak, bu yöntem düşük-NO_x brulörleri ile aynı anda kullanıldığında verimli değildir (EC, 2012).

Alev etrafında farklı oksijen miktarına sahip yanma bölgeleri olduğundan aşamalı hava beslemesi yapılarak NO_x giderim veriminin artırılması

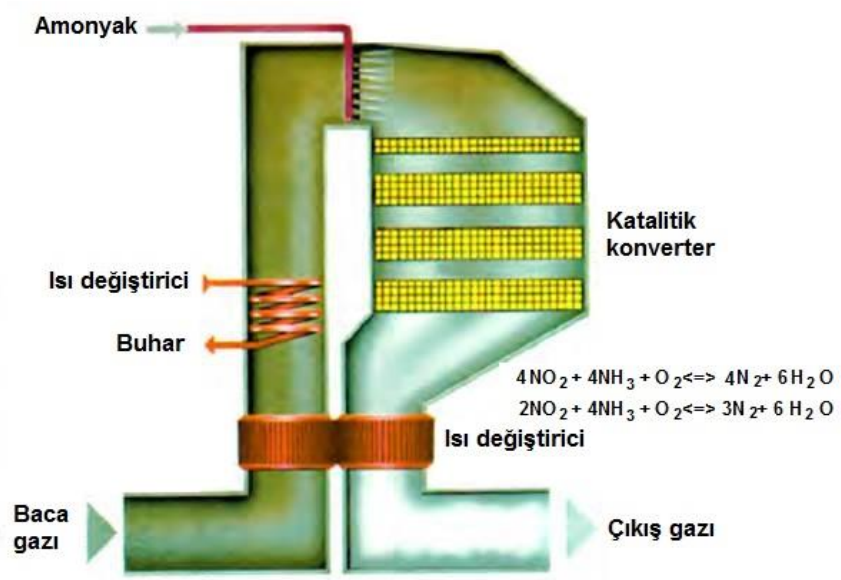
Alev etrafında farklı oksijen miktarına sahip yanma bölgeleri oluşmaktadır. Bu sebeple, yanma bölgesi daha büyüktür ve alev içerisinde kalma süresi daha uzun sürmektedir. Aşamalı besleme doğrudan brulör veya ocak içerisine yapılabilmektedir (EC, 2012).

İki aşamada yakıt beslenmesi ile NO_x emisyonlarının azaltılması

Aşamalı hava beslemeye benzer olarak, yakıt genellikle iki aşamada ocak içerisine beslenmektedir. NO_x emisyonları için benzer azaltım sonuçlarına sahiptir (EC, 2012).

Atık gaza amonyak enjeksiyonu yapılmak ve titanyum dioksit benzeri katalizörler kullanılmak suretiyle uygulanan Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) yöntemi ile NO_x emisyonlarının azaltılması

Atık gaza amonyak enjekte edilmesi, NO_x'u moleküler azot (N_2) ve suya (H_2O) dönüştürür. Bu süreçte titanyum oksit (TiO_2) taşıyıcı üzerinde vanadyum pentaoksit (V_2O_5) veya tungsten oksit (WO_3) katalizör olarak sıklıkla kullanılmakta iken demir oksit ve platinin de kullanımı mümkündür. Katalitik konverteri bloklayan amonyak tuzlarını engellemek için sıcaklığın 320°C'den fazla olması gereklidir. Tipik bir NO_x katalitik konverterine ilişkin konfigürasyon Şekil 5.20'de verilmektedir.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.20 NOx katalitik konverteri

Katalitik konverterler için konumlarına bağlı olarak tesis içerisinde yüksek toz tekniği, düşük toz tekniği ve kuyruk ucu tekniği olmak üzere üç seçenek vardır.

Yüksek toz tekniğinde katalitik reaksiyon sıcaklığı 300-400°C arasında değişmekte olup çıkış gazının tamamının 350°C'de arıtılması gerektiğinden çok fazla alana ihtiyaç duyulmaktadır. NO_x konsantrasyonu düşük olduğundan (yaklaşık 100 mg/Nm^3) sabit bir karıştırıcı olmadan NH_3'ü çıkış gazı ile karıştırmak zordur. Ayrıca, ön hava ısıtıcısının soğuk bölgelerinde kükürt, sülfite (SO_3) dönüşerek ön ısıtıcının çıkışını engelleyebilir. Diğer bir dezavantajı ise yüksek toz içeriğidir.

Düşük toz tekniği ve kuyruk ucu tekniğinde çıkış gazı filtreden geçtikten sonra sadece 50-130°C sıcaklık ile sistemi terk eder. Atık gaz toz açısından temizdir ancak, katalitik konvertere girmeden önce ısıtılması gerekir. Isıtma işlemi ek brulörler veya buhar ile yapılabilmekle birlikte, verimlilik kaybına sebep olmaktadır.

SCR tekniği ile egzoz gazındaki NO_x emisyonları yıllık ortalama olarak 80 mg/Nm^3 altındaki konsantrasyonlara düşürülebilmektedir. Sinter tesislerinde katalizör tipi, işletme sıcaklığı ve NH_3 ilavesine bağlı olarak yaklaşık %80 oranında verim elde edilebilmektedir. SCR kuru bir teknik olduğundan su emisyonu oluşmamaktadır. Bu teknik amonyak kullanımı ve depolanmasını gerektirmektedir. Sıvı amonyak yerine üre ya da amonyak çözeltileri de kullanılabilmektedir.

Bu teknikte, atık gazların katalizörle temasa geçmeden önce tekrar ısıtılmaları zorunlu olduğundan enerji tüketimi yüksektir. Ayrıca SCR ünitesi elektrik enerjisi tüketmektedir. Bu teknik hem yeni kurulan hem de mevcut olan tesislerde uygulanabilir olup ek yatırım maliyeti, enerji ve kimyasal tüketimi gibi olumsuz etkilerini önlemek için birincil önlemler ile kombine edilmelidir. NO_x azaltımında ikincil önlemlerin mevcut tesislere uyarlanması zor olabilir. Özellikle, SCR tekniğinin uygulanması için alan ihtiyacı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu sistem ile %90 seviyesinde verimliliğe ulaşılması mümkündür. Ancak sistemde oluşan amonyum sülfat ve tozun katalizörler üzerinde birikimi, katalizörlerin günde bir kere 260°C'nin üzerine ısıtılmak suretiyle rejenere edilmesini gerektirmektedir. Bu teknik, sinter tesislerinde ise toz tutma ve desülfürizasyon ünitelerinden sonra yalnızca temizlenmiş gaz sistemlerinde kullanılır. Gazın çok temiz olması, toz içeriğinin <40mg/Nm^3 olması, ağır metal içeriğinin düşük olması ve sıcaklığın minimum 300°C olması zorunludur. Bu durum enerji ihtiyacı doğurmaktadır.

Bu teknik sadece yeni tesislerde uygulanabilmektedir. Genel olarak 300.000 Nm^3.saat kapasite ile çalışan bir tesis için yatırım maliyetinin 15 milyon Avro ± 5 milyon Avro (50 Avro/Nm^3.saat), işletme maliyetinin 0,17-0,51 Avro/ton kok olarak gerçekleştiği belirtilmiştir (1996 yılı verilerine göre) (EC, 2012).

Katalizör kullanımı olmaksızın daha yüksek sıcaklıkta uygulanan bir yöntem olan Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SNCR) yöntemi ile NO_x emisyonlarının azaltılması

SNCR tekniğinde katalizöre gereksinim duyulmaz, ancak 900-1000°C gibi daha yüksek bir sıcaklık aralığına ihtiyaç vardır. Özellikle atık gaz sıcaklığının yeterince yüksek olduğu durumlarda SNCR'nin yatırım talebi SCR'ye göre daha düşüktür, fakat belirtilen sıcaklık aralığındaki termal NO_x üretimi sebebiyle indirgeyici madde tüketimi daha fazladır. İndirgeyici madde enjeksiyonu optimum sıcaklığın olduğu farklı aşamalarda yapılmalıdır ancak bu sürecin kontrolü zor olabilir (EC, 2012).

SO_2 emisyonlarının azaltılması

SO_2 emisyonlarının, düşük kükürt içeriğine sahip hammadde kullanılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve sinterin kükürt alımının artırılması yöntemleri ile azaltılması

Kullanılan hammadde ve yakıt içerisinde bulunan kükürt, baca gazında SO_2 emisyonlarına sebep olmaktadır.

SO_2 emisyonları dört yolla azaltılabilmektedir:

1. Düşürt kükürt içeriğine sahip hammaddelerin kullanılması
2. Yakıt tüketiminin azaltılması
3. Sinterin tuttuğu kükürt miktarının artırılması
4. Kaba kok tozu kullanımı

Düşük kükürt içerikli hammadde kullanımıyla kükürt emisyonları azaltılabilmektedir. Kok tozu için %0,8 kükürt içeriği, demir cevheri için ise %0,08 kükürt içeriği düşük olarak kabul edilmektedir.

Avrupa'daki sinter tesislerindeki spesifik kok tozu tüketimi, son 30 yılda yaklaşık %50 oranında azalmakla birlikte 39-64 kg/ton sinter aralığında değişmektedir. Bir diğer faktör ise sinterin kükürt tutma derecesidir. Sinter ürünü içerisindeki kükürt, sinterin bazikliğine bağlı olarak %13-25 oranında değişmektedir. Yukarıda azaltım tekniklerinin uygulanması ile günlük bazda ortalama <500 mg SO_2/Nm^3

emisyon konsantrasyonuna ulaşılabilmektedir. Sinterde ilave kükürt tutulması, düşük kükürt içerikli çelik üretildiği durumlarda yüksek fırının işletilmesi üzerine olumsuz bir etki gösterebilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasında düşük kükürtlü yakıt ve cevher temini bir kısıt olabilmektedir (EC, 2012).

SO_2 emisyonlarının Ca ve Mg içeren bir çözelti ile absorbsiyonun gerçekleştirildiği yaş desülfürizasyon tekniğinin uygulanması

Yaş ve kuru tipte desülfürizasyon prosesleri mevcut olmakla birlikte bu kısımda sadece yaş desülfürizasyon ele alınmıştır. SO_2, atık gazın soğutulmasından sonra Ca ve Mg içeren bir çözelti ile absorbe edilmektedir. Oluşan $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ çöktürülerek sistemden uzaklaştırılmaktadır. Reaksiyonlar için farklı kimyasallar kullanılmaktadır:

- Çelikhane cürufu (çelikhane desülfürizasyon cürufu) (%30-40 oranında CaO içeren çelikhane cürufu pulverize edildikten sonra su ile karıştırılarak $Ca(OH)_2$ oluşturulur.)
- Sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$)
- $CaCl_2$ ve sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$)
- Sönmüş kireç ve $CaCO_3$
- Magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$)

Desülfürizasyon üniteleri yerel yönetimler tarafından belirlenen yasal çevre yönetmeliklerine uyum sağlamak için kullanılmaktadır. %85-90 civarında desülfürizasyon verimi elde edilmektedir, bu verimin %95- 99'lara çıktığı da görülmüştür. Bununla birlikte, HCl, HF ve toz atık gazdan ayrılır. Sistem NO_x emisyonlarını gidermemektedir.

Oluşan $CaSO_4$ susuzlaştırılır. Kalsiyum sülfat kalitesi kurulan toz tutma sisteminin verimliliğine göre değişir. Bazı ülkelerde kalsiyum sülfat çimento fabrikalarına da satılmaktadır. Kalsiyum sülfat çamurundan ayrılan suyun büyük bir kısmı resirküle edilir. Klorür birikiminden dolayı resirküle eden suyun bir kısmı ise blöf suyu olarak atılır. Dolayısıyla bu proses sonucunda kalsiyum sülfat çamuru ve atıksu oluşmaktadır. Amonyum hidroksit (NH_4OH) kullanıldığı durumlarda ise NH_4HSO_3 çözeltisi oluşur. Bu çözelti kok fabrikalarında geri kazanılarak amonyum sülfat $(NH_4)_2SO_4$ elde edilir. Islak tip desülfürizasyon sistemi ıslak tip yıkama sistemiyle birlikte de kullanılabilmektedir.

Oluşan kalsiyum sülfat çamurunun bertarafı problem oluşturabilmektedir. Bu atığa yönelik bir pazarın olmadığı ülkelerde atığın depolanabilmesi için öncelikle stabilize edilmesi gerekmektedir. Bu durum ek maliyetler gerektirmektedir. Bu atık çamur, tozla kontamine olduğunda düzenli depolama sahalarına bertaraf edilebilir. Kalsiyum sülfat atığının satılamadığı ülkelerde bertaraf problemi yaşanmaktadır.

Desülfürizasyon ünitesinden önce bir toz tutma sistemi mevcutsa yıkama suyunun tamamına yakını, sisteme geri döndürülür. Klorürün sistemde birikimini önlemek için zaman zaman su blöf olarak atılır. Blöf suyunun yaklaşık 5-20 m^3/saat arasında olduğu bildirilmekle birlikte hiç su atılmadan takviye su ile çalışan sistemler de mevcuttur. Elektrik tüketimi ise 6,1-7,2 MJ/ton sinter arasında değişmektedir (EC, 2012).

Aktif karbon üzerine SO_2'nin adsorbe edildiği bir yöntem olan Rejeneratif Aktif Karbon (RAK) prosesinin uygulanması

Kuru desülfürizasyon teknikleri, aktif karbon üzerine SO_2'nin adsorbe edilmesi esasına dayanmaktadır. Aktif karbon üzerine yüklenmiş SO_2'nin rejenere edildiği proses Rejeneratif Aktif Karbon (RAK) olarak

adlandırılır. Bu teknik ile yüksek kaliteli, pahalı karbon kullanıldığında yan ürün olarak sülfürik asit (H_2SO_4) üretilebilir. Yatak su ile veya termal olarak rejenere edilebilir. Bu teknik, evsel atık insineratörlerinde, enerji santrallerinde ve sinter tesislerinde kullanılabilir. Bazı durumlarda, linyit esaslı aktif karbon kullanılır. Bu durumda SO_2 yüklenmiş aktif karbon genellikle kontrol altında tutulur.

RAK prosesi; SO_2, HCl, HF, cıva (Hg), toz, PCDD/F ve NO_x gibi çeşitli komponentlerin atık gazdan arındırılmasına izin vermektedir. Sistem tek veya iki aşamalı olarak geliştirilebilir. Tek aşamalı proseste atık gazlar aktif karbon yatağına doğru yönlendirilir. Kirleticiler aktif karbon tarafından adsorplanır. NO_x, yalnızca katalizatör yatağından önce atık gaz içerisine amonyak (NH_3) enjekte edildiği durumlarda oluşur.

İki aşamalı proseste ise, atık gazlar aktif karbonla birlikte 2 yatağa iletilir. Yatağa önce amonyak enjekte edilebilmektedir. Rejeneratör içerisinde PCDD/F emisyonları da 400-450°C civarında dekompoze edilmektedir.

Yüksek desülfürizasyon verimine ulaşmak mümkündür (>%95). NOx giderim verimi ise işlem sıcaklığı ve NH_3 ilavesine bağlı olarak %80-90'lara kadar çıkabilmektedir. Bu verimlilik oranları tesisin duruş zamanları dahil edilmeksizin 24 saatlik çalışmalar için geçerlidir. Bu nedenle gerçek verimlilik oranları nispeten daha düşük olmaktadır.

RAK prosesi uygulandığında ton sinter başına toplam enerji tüketimi yükselmekte ve düşük miktarda su oluşmaktadır. Entegre demir-çelik tesisinde atıksu arıtma tesisi mevcutsa; oluşan su, arıtma tesisinde arıtılabilmektedir. Aksi durumda su arıtımı için ek maliyetler gerekmektedir. Bu proseste yan ürün olarak ise sülfürik asit oluşmaktadır.

RAK prosesinde, aktif karbon rejenere edildiğinden ve kısmen yandığından katı atık oluşmamaktadır. Enerji tüketimi 1200 kW veya 8,6 MJ/ton sinter (toplam sinter enerji tüketiminin yaklaşık %0,4'ü) civarındadır. Rejeneratif olmayan proses uygulandığında ton sinter başına gerçekleşen enerji tüketimi artmakta ve katı atık oluşmaktadır.

RAK prosesi ile NO_x giderimi**,** NH_3 enjeksiyonu ile yalnızca iki adet absorbsiyon kulesinde uygulanmaktadır. Toplam NO_x giderim verimi yaklaşık %15'tir (veya bir absorbsiyon kulesinde NH_3 enjeksiyonu ile birlikte %30) (EC, 2012).

Gaz akımlarındaki azot oksitlerin ve partiküllerin azaltılması için katalitik filtre kullanarak filtrasyon ve SCR yöntemlerinin tek bir ünitede birleştirilmesi ile tasarlanmış olan seramik filtrelerin kullanılması

Kuru atık gaz temizlemede, katalitik filtre kullanarak filtrasyon ve SCR yöntemlerinin tek bir ünitede birleştirilmesi için tasarlanmış olan seramik filtreler kullanılmaktadır. Bu filtreler hem gazın yüksek enerji içeriğini kullanmakta, hem de katalizörün tıkanmasını önlemektedir. Ayrıca, iki ünitenin tek bir ünitede birleştirilmesi işletme maliyetinin yanı sıra yatırım ve bakım maliyetlerini de azaltmaktadır.

İnce filtreleme dış zarı ve filtre elamanlarının destek yapısına entegre edilmiş bir katalizör ile sıcak gaz seramik filtre elemanları, NO_x ve partiküllerin etkili bir şekilde giderilmesinde kullanılabilmektedir. Bu filtre elemanları, filtre ve SCR'nin tek bir ünite içerisinde birleştirilmesine olanak tanır. Ek olarak, entegre katalitik tabakanın işlevi sadece katalitik NO_x giderimi için değil, aynı zamanda uçucu organik bileşiklerin katalitik oksidasyonuna izin verecek şekilde uyarlanabilmektedir.

SO_2 ve HCl kirleticileri sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) veya ($Ca(OH)_2$) gibi çözücüler kullanılarak giderilirken NO_x, NH_3 ve O_2 ile birlikte katalitik filtre elemanlarından geçerek N_2 ve H_2O'ya dönüştürülür.

Sodyum bikarbonat enjekte ederek SO_x giderimi %99'a kadar çıkarılabilir ve filtrasyon verimi %99,99'dan yüksektir. Bu sistem yaş temizlemeye göre daha basit tesis kurulumuna sahiptir ve daha küçük olma eğilimindedir. Ayrıca, 500°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Sistem özellikle küçük ve orta ölçekli tesislerde uygulanabilir olmaktadır.

Yatırım, bakım ve işletme maliyetleri konvansiyonel çok adımlı yaş temizleme sistemlerine göre daha düşüktür. Ayrıca kuru atık gaz temizleme sistemi, gaz temizleme prosesinde atıksu üretimini önlemektedir. Mevcut sistemlerde N_2O oluşumu gözlenmemiştir (EC, 2012).

Toz, PCDD/F ve ağır metal emisyonlarının minimize edilmesinde yüksek sıcaklık direncine sahip ve filtreleme ve katalitik işlemlerin bir arada yapılmasına olanak veren metallerarası (intermetallic) torbalı filtre kullanılması

Yüksek sıcaklık direncine sahip olan metallerarası (intermetallic) torbalı filtre, filtreleme ve katalitik operasyonları birleştirerek toz ve ilgili kirletici emisyonlarında ciddi bir azaltım sağlamaktadır. Fransa'da faaliyet gösteren bir tesiste yapılan pilot çalışmalarda, %99,9 oranında toz azaltım verimi, %95'in üzerinde PCDD/F emisyonlarında azaltım verimi ve %95-100 arasında ağır metal azaltım verimi elde edilmiştir (cıva gibi gaz fazda olan ağır metaller hariç tutulmuştur). Ayrıca bu teknikle enerji tasarrufu da sağlanabilmektedir. Geleneksel arıtma tekniklerinin uygulanabilmesi için gazın sıcaklığının 150-200°C civarına düşürülmesi gerekirken, bu tekniğin uygulama sıcaklığı 350-500°C civarındadır (EC, 2012).

CO_2 yoğun üretim yapan tesislerde atık gaz akımında bulunan karbondioksidin tutulması, sıvı veya süperkritik hale sıkıştırılması ve depolama sahasına taşınması ile jeolojik yapıda depolanması aşamalarını içeren CO_2 tutma ve depolama tekniğinin uygulanması

CO_2 emisyonlarının azaltılması yönünde önümüzdeki dönemde daha da çok önem kazanacağı öngörülen CO_2 tutma ve yakalama (CCS) teknolojileri, günümüzde elektrik üretim santrallerinin yanı sıra CO_2 yoğun üretim yapan tesislerde de uygulanmak üzere geliştirilmektedir. CCS genel olarak atık gaz akımında bulunan karbondioksidin tutulması, sıvı veya süperkritik hale sıkıştırılması ve depolama sahasına taşınması ile jeolojik yapıda depolanması olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır.

Tutma aşamasında; kimyasal ve fiziksel absorpsiyon temelli çeşitli prosesler geliştirilmiş olup, atık gaz içerisindeki NO_x, SO_x, O_2 gibi bileşenlerin oksidasyon sürecinde yüksek solvent tüketimine neden olması ve tasarlanan proseslerin genel olarak yüksek enerji tüketimine sahip olması nedenleriyle tutma proseslerinde araştırma ve geliştirme çalışmalarının önümüzdeki dönemde de devam ettirilmesi gerekmektedir. Tutulan karbondioksidin taşınması aşamasında; boru hatlar ve bazı özel durumlarda gemiler kullanılabilmektedir. Vagon ya da kamyon ile taşımanın yüksek enerji talebi ve güvenlik önlemleri nedeniyle önerilmemektedir. Depolama aşamasında ise; karada ve denizde bulunan petrol veya gaz sahaları, kapatılmış kömür madenleri ve tuz akiferleri gibi çeşitli jeolojik yapılar değerlendirilmektedir.

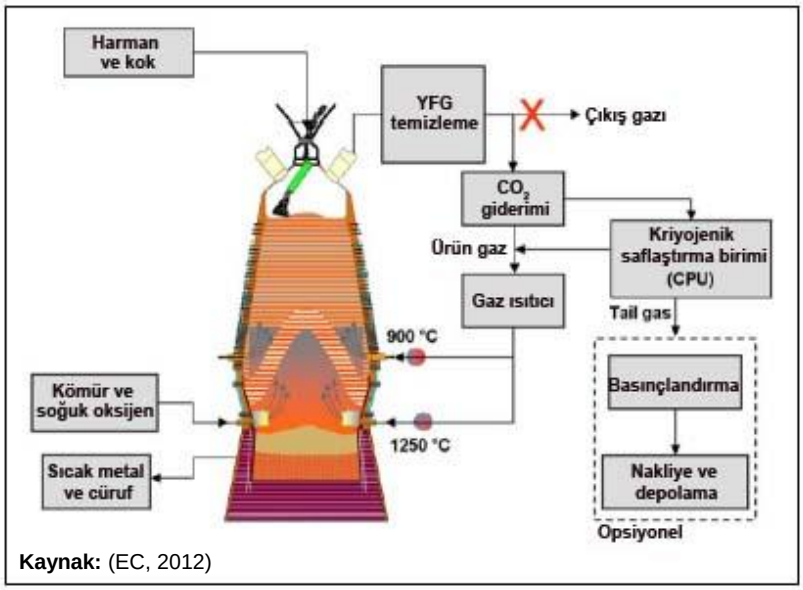
CO_2 azaltım miktarları ayrıştırılan karbondioksidin karada veya denizde depolanmasına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle tutma ve sıkıştırma aşamalarında oluşan yüksek enerji ihtiyacı nedenleriyle bu teknolojinin CO_2, NO_x vb. hava kirletici parametrelerin artımına sebep olduğu da

belirtilmektedir. Bu açıdan azaltılan ve artırılan emisyonlar arasındaki net farka dikkat edilmelidir. Öte yandan CO_2 akımı içeriğinde bulunabilecek diğer bileşenlerin, depolamanın sağlandığı ortam ile etkileşime girebilme riski göz önünde bulundurulmalıdır. Depolamanın yapıldığı sahanın CO_2 sızıntılarına karşı izlenmesi amacıyla kullanılan sistemlerin hassasiyet ve tayin limitlerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Ulusal Enerji Ajansı (IEA)'nın yüksek fırın üzerinde yapmış olduğu denemelerde CCS kullanımı ile %75'e varan azaltımın mümkün olduğu belirtilmektedir. Ancak kok fırınları, sinter tesisleri, bazik oksijen fırınları ve haddehanelerden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının azaltımı çok daha yüksek maliyetler ile gerçekleştirilebilmektedir. İlk uygulamalar ile elde edilen veriler ışığında mevcut yüksek fırınların oksijen kullanacak şekilde tasarlanması ve elde edilen CO_2'in fiziksel absorbanlar yardımı ile tutulması mümkün olmaktadır. Sanayi sektöründe hayata geçirilecek CCS uygulamalarının maliyetlerinin 25-115 ABD doları/ton CO_2 (2002 fiyatları ile) aralığında değişeceği IPCC tarafından belirlenmiştir. Aralığı bu kadar geniş olması hem kullanılabilecek teknolojilerin çeşitliliği ile hem de uygulamalar hakkında yeterli tecrübenin bulunmaması ile açıklanmaktadır. Bunlara ilavaten tutulan karbondioksidin taşınması için 1-8 ABD doları/ton CO_2 250 km üzeri (2002 fiyatları ile), depolanması içinse 0,5-29 ABD doları/ton CO_2 (2002 fiyatları ile) maliyetin oluşacağı belirtilmektedir (EC, 2012).

Yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması

Tepe gazının yeniden kullanılması için yüksek fırın baca gazının ayırma (seperasyon) işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Ayırma işlemi ile baca gazındaki faydalı bileşenler fırına geri beslenerek fırında indirgeyici olarak kullanılabilir. Bu durum yüksek fırın prosesinde ihtiyaç duyulan kok miktarının azalmasına olanak sağlar (Şekil 5.21). Ayrıca fırına ön ısıtmadan geçirilmiş hava yerine oksijen beslenmesiyle, baca gazından istenmeyen nitrojen uzaklaştırılır ve böylelikle karbondioksit tutma ve depolama işlemi kolaylaşır.



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.21 CO_2 gazının tutulması ve depolanması ile sera gazının azaltılmasına yönelik yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanımının şematik olarak gösterimi

Karbon tutma ve depolama olmadan sadece yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması yöntemi kok tüketiminin azalması (1 ton sıcak metal başına yaklaşık %25 oranında azaltım) ile bağlantılı olarak CO_2 emisyonlarının azalmasına neden olacaktır. Yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması, enerji üretimi için mevcut fazla miktardaki tepe gazının azalmasına neden olurken, diğer taraftan da enerji üretimi için başka kaynaklar kullanıldığından toplam CO_2 tasarrufu %25'in altına düşmektedir. Fakat bu oran %10-20 (kullanılan yakıt karışımına göre) arasında kalır (EC, 2012).

Karbonca fakir yakıtların ve indirgeyicilerin kullanılması

Hem hidrojen hem de elektrik, diğer yakıtlardan üretilmesi gereken enerji taşıyıcıları olduğundan hidrojen veya elektriğin karbonun yerine geçmesi büyük bir sorundur. Bu nedenle elektrik enerjisi kömür, doğalgaz ya da petrolden daha pahalıdır. Bu nedenle, demir cevherinden elektroliz yoluyla demir üretimi konusunda yapılan Ar-Ge çalışması sayısı oldukça düşüktür.

Kyoto ve Kyoto sonrasında çıkan politikalar ile getirilen karbon kısıtlamasının yakıtların fiyat yapısını değiştirmesi beklenmektedir. 1000g/kWh yakıt ile üretilen her bir MWh elektriğin maliyetinde 20 ila 80 Avro arasında bir artış gerçekleşmesi muhtemeldir. Karbon esaslı olmayan elektrik bu ekstra maliyet yükünü taşımak zorunda kalmayacaktır. Bu tür yeni ekonomik koşullar altında, özellikle doğalgazdan hidrojene geçiş mühendislik açısından basit bir işlem olduğundan, demir cevherinin hidrojen ile indirgenmesi makul bir öneri olacaktır. Benzer şekilde, demir cevherinin elektrolizi fizik bilimi açısından da farklı bir olasılıktır. Demir cevherinin elektrolizinin termodinamik açıdan alüminyum oksidin elektrolizinden daha kolay olduğu tartışılan bir konudur. Uzun vadede, düşük CO_2 yoğunluğunun garanti edilmesi ve fiyatların çelik fiyatlarıyla dengelenmesi koşuluyla, çelik sektöründe elektrik potansiyel bir güç olacaktır (EC, 2012).

5.1.10.2 Gürültü Emisyonlarının Minimizasyonunda MET Uygulamaları

Gürültü emisyonunu engellemek amacıyla bazı önlemler uygulanabilmektedir. Yerleşim bölgelerine yakın olarak konumlanmış tesisler genellikle gürültü engelleyici bu teknikleri uygulamaktadır. Bu kapsamda belirlenen bazı yapısal (inşaat ile ilgili) ve operasyonel teknikler aşağıda listelenmektedir:

- Hurda sahalarındaki gürültünün sürekli takip edilmesi
- Yük sepetlerini taşıyan vinçlerin, mekanik sarsıntı yaratmayacak şekilde inşa dilmesi ve kurulumlarının bu hususa göre yapılması
- Vinç operatörlerine gürültüyü azaltmaya yönelik özel bilgi ve eğitim verilmesi
- Fiziksel bariyerlerin inşa edilmesi
- Hurda şarjından kaynaklanan gürültü ve toz emisyonunun azaltılması için hurdanın serbest düşüş yüksekliğinin azaltılması
- Hurdanın kapalı alanlarda stoklanması
- Hurda şarj ve ergitme işlemlerinin sürekli biçimde yapılması.
- Gece yapılan bazı gürültülü faaliyetlerin kısıtlanması (örneğin hurda sahalarındaki ve hurda nakli yerlerindeki faaliyetler).

EAO binalarında yalıtım amacıyla, duvarlar için görünür ses azalma indisi (R'w) 56 dB, çatı için R'w 55 dB olan (DIN 55210 Kısım 3'te belirtilen bilgilere göre) malzemeler kullanılabilir.

Toz tutma tesislerinde gürültünün azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemler aşağıda listelenmektedir:

- Tesisin her bir ünitesi için maksimum gürültü seviyelerinin tanımlanması
- Gürültü yalıtımına sahip fanların kurulması
- Sistemin takviye edilmiş beton odalar içine alınarak gürültünün en aza indirilmesi
- Yeni filtre odalarına gürültüyü absorbe eden malzemelerin kurulumu
- Mevcut filtre odasındaki profilli levhaların gürültüyü absorbe eden malzemeler ile değiştirilmesi
- Mevcut toz filtresinde gürültü azaltıcı önlemlerin uygulanması

Yukarıda bahsi geçen teknikler kullanılarak gürültü seviyesi 37 ile 50 dB(A) Leq(1h) aralığında elde edilebilir. EAO işletme binasından 150 m uzaklıkta yapılan ölçümler 34 dB(A) Leq(1h) değerinin altındadır. CONSTEEL gibi sürekli hurda besleme ve ergitme kullanan sistemlerle gürültü seviyesi düşürülebilir (EC, 2012).

5.1.10.3 Katı Atıkların Yönetiminde MET Uygulamaları

Uçucu ve tehlikeli metal ve bileşik içermeyen ve demir açısından zengin olan kuru atık tozların yakılması ve geri dönüşümü

Bu teknik ile entegre bir demir-çelik tesisindeki kuru tozların arıtılması amaçlanmaktadır. Bu şekilde, uçucu ve tehlikeli metal ve bileşikler elenebilir ve demir açısından zengin bir fraksiyon üretilebilir. Tozlar, dairesel oval reaktör içerisinde azot ile taşınır. Reaktöre girdikten sonra, 2200-2350°C'lik bir adyabatik alev sıcaklığı sağlayan oksi-yakıt brulörü için yakıt olarak toz içerisindeki karbon ve ilave propan kullanılır. Bu sıcaklıkta toz eritilir ve cüruf damlacıkları oluşur. Demir oksit cürufun yaklaşık %80'i yüksek fırın prosesine geri dönüştürülebilir. Çıkış gazı metallerin ve organiklerin oksidasyonu için son brulör (afterburner) içerisine gönderilir. Girdinin %20'si kadar toz kaset filtrede toplanır.

Tozlar için taşıma sistemi, stok istasyonu ve tartım cihazı, pnömatik taşıma sistemi, oksi-yakıt brulörü ve bir boşaltma deliği ile donatılmış reaktör, yanmış gaz için son yanma ve soğutma sistemi, kaset filtre, ilave kontrol cihazlarının yerleştirilmesi ve proses kontrolü için ek bir cihaz ekipmanın ana parçalarını oluşturmaktadır.

Finlandiya'da yer alan pilot çalışmaların yapıldığı bir tesiste, ana toz emisyonlarını yüksek fırın tozu ve bazik oksijen fırın tozu oluşturmaktadır. Yıllık toplam toz miktarı, tesisin maksimum kapasitesine karşılık gelen 20.000 tondur. Reaktörden çıkan ürün FeO/Fe_3O_4 formunda yaklaşık %50 Fe içermektedir. Çinko içeriği %0,1-0,2 ve K_2O içeriği ise %0,5-1 olan ürün, yüksek fırında geri dönüşüm için uygun özelliklere sahiptir. Kaset filtrede tutulan toz miktarı girişteki tozun %15-20'si kadardır. Çinko içeriği yaklaşık %10 ve alkali içeriği (K_2O ve Na_2O) %20-30 olan bu toz farklı bir firma tarafından kullanılabilmektedir.

Yüksek fırın tozu sorunlu toz olarak sınıflandırılmaktadır. Bazik oksijen fırın tozu da çevre açısından ciddi tehlike oluşturmakta olup ilgili stok sahasında depolanması mümkündür. Entegre bir demir-çelik tesisine ait tozların tamamı bu tesiste arıtılabilir. Depolanacak toz yaklaşık %80 azaltılır. Depolanacak tozlar pirometalurjik arıtma veya yakma sonrası daha az tehlikeli kabul edilebilir. Kaset filtre sonrasındaki emisyon 5 mg/Nm^3'ten azdır. Dış enerji ihtiyacı az olduğundan enerji verimliliği yüksektir (yüksek fırın tozundaki C içeriği %20-30 arasındadır).

Kuru tozların kullanımı için sürecin uygulanabilirliğinin iyi olması beklenmektedir. Bu tekniğin geliştirilmesinin temel amacı, yüksek fırın ve bazik oksijen fırınının tozlarının arıtılması olmakla beraber, çok çeşitli metalurjik üretim atıklarının arıtımı için de uygun olduğu düşünülmektedir. Sürecin metalurjisi prensipte iyi çalışmaktadır, ancak ekipmanların biraz daha geliştirilmesi çalışmalarına ihtiyaç

duyulmaktadır. Özellikle tesisin tam kapasite kullanımda olduğu durumlarda, farklı bir tesisten elde edilen tozların kullanımı tesis içi tozların kullanımına göre daha pahalı olmaktadır. Bununla birlikte, çevre performansında önemli derecede iyileşme sağlanması, toplam maliyetlerin düşmesi ve mühendislik faaliyetleri için potansiyel oluşturması, bu tekniğin uygulanması yönündeki itici güçleri oluşturmaktadır (EC, 2012).

Kok fırını tesisinden kaynaklanan tüm katı atıkların ve atıksu çamurunun susuzlaştırıldıktan sonra kok fırınına beslenmesi

Kok fırın tesislerinde yaklaşık olarak 1 kg/ton kok mertebesinde katı atık üretilmektedir. Tesiste oluşan ve Tablo 5.25'te belirtilen bu katı atıklar benzen ve PAH gibi oldukça tehlikeli bileşenler içermektedir. Genellikle tüm katı atıkların kok fırınına geri beslenmesi mümkündür. Katı atıklar arasında yer alan atıksu çamur, susuzlaştırıldıktan sonra kok fırınına beslenebilmekte veya düzenli depolama sahası ya da atık yakma yöntemleri ile bertaraf edilebilmektedir (EC, 2012).

Tablo 5.25 Kok fırını tesisleri kaynaklı temel katı atıklar

Atık/artık kaynağı	Miktar (kg/ton kok)
Katran geri kazanımı	0,1
Katran (dekanter)	0,2
Katran (depolama)	0,4
Hafif yağların işlenmesi	0,2
Atıksu arıtımı	0,1
Naftalinin tutulması ve geri kazanımı	0,02
Katran (distilasyon)	0,01
Toplam	**1,03**

Kaynak: (EC, 2012)

Demirce zengin atıkların geri kazanımı

Briketleme, harmanlama ve ergitme aşamalarından oluşan OxyCup şaft fırını gibi özel kazanım yöntemlerinin kullanılması

Entegre OxyCup® tesisi; briket üretimi, fırın doldurma ve OxyCup® şaft fırınından oluşan üç işletme biriminden oluşmaktadır. Proses, briket üretimi ile başlamakta ve çelik fabrikasına sıcak metal temini ile sonlanmaktadır. Briket üretimi için, arıtma tesislerinden gelen karbon, demir ve demir oksit içeren çamur, toz ile diğer topaklaşmış demir içeren malzemeler ve kömür birlikte aglomere edilmektedir. Briketleme işlemi; bir bağlayıcı, su ve kok tozunun birlikte kullanıldığı, presleme, kurutma ve sertleştirme işlemlerinden oluşan soğuk bir prosestir. Soğuk bağlanmış briketler, şaft fırınının üst kısmından doldurulur, indirgenir ve sıvı demir içerisinde ergitilir. Sıcak metal ve cüruf, nihai ürünler olarak fırından alınır.

Harici arıtma ve depolama işlemlerinin yerini, OxyCup® Şaft fırınında entegre geri dönüşüm işlemlerinin alması çevresel fayda sağlamaktadır. Çevresel koruma ve maliyet etkinliğini optimum düzeyde birleştirmekte, kaynak verimliliğini artırabilmek için sürdürülebilir kalkınmaya değerli bir katkı sağlamaktadır.

OxyCup ® Şaft fırınları özellikle entegre demir-çelik tesisleri için uygundur. Bu yeni proses; karbon ve demir içeriği açısından yeterli geri dönüştürülebilir potansiyele sahip olan topaklaşmış malzemeler veya

ince taneli toz ve çamurun işlenmesi için kullanılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile daha yüksek ekolojik ve ekonomik verimlilik; hammadde, arıtma ve bertaraf maliyetlerinde keskin artışlar sağlanmaktadır (EC, 2012).

Kurutma, ısıtma ve EAO öncesinde ergitme işleminin başladığı çok hazneli fırınların kullanıldığı izabe ergitme prosesinin (Primus) kullanılması

Genellikle metallerin indirgenmesi; ilgili oksitlerin indirgenmesi ve (normal şartlarda indirgeyici olarak karbon kullanılır) ve bunu izleyen ergitme işlemini gerektirmektedir. Bunun için Primus® tekniği ve Redsmelt® prosesi olmak üzere iki farklı proses tipi mevcuttur.

Primus® tekniği; kurutma, ısıtma ve indirgenmeyi başlatan çok hazneli fırınlar (Primus® Ön-İndirgeme Birimi) ile demirin tamamen indirgenmesini ve sıcak metal üretimini sağlayan, cüruf oluşumunu gerçekleştiren ve son olarak çinkonun da indirgendiği bir elektrik ark ocağı olan (Primus® Ergitme Birimi) olmak üzere iki aşamalı bir prosestir.

Bu teknik, tesis içerisinde geri dönüştürülemeyen EAO tozu, YF çamuru ve diğer çamurlar gibi tüm tipik demir ve çelik üretim atıklarının arıtılmasını sağlamaktadır.

Çok hazneli fırınlarda atık karışımı ve kömür üstten beslenmektedir. Döner kollar, şarjın karışmasını ve transferini sağlamaktadır. Bu şekilde kurutma, ön ısıtma ve ön indirgenme sağlanmış olur. İndirgeme için gerekli karbon ve proses için gerekli enerji, yağlı kömürden sağlanır. Sonrasında, ergitme birimine (özel olarak tasarlanmış bir EAO), elektrotların arasında yer alan bir oluk vasıtasıyla sürekli olarak sıcak şarj yapılır. Tamamen indirgenme, demir ve cüruf oluşumu ve tamamen çinkosuzlaştırma bu proseste gerçekleşmektedir. Çinko ve kurşun atık gaz içerisine geçmekte ve satılabilir çinko oksit konsantresi olarak geri kazanılmaktadır. Oluşan cüruf ise, YF cürufuna benzemekte ve yol yapımında kullanılabilmektedir.

Redsmelt® prosesinde ise artıklar karbon bir indirgeyici (antrasit veya düşük uçuculuğa sahip kömür) ile birlikte peletlenerek döner fırında ön indirgenme işlemine tabi tutulur. Peletler döner fırının üzerine ince bir tabaka halinde homojen olarak yayılır. Daha sonra elektrik ark ocağına ergitilmek üzere sıcak olarak şarj edilmektedir.

Bu tekniğin uygulanması ile demir, çinko, kurşun ve yol yapımında kullanılabilecek niteliğe sahip cüruf tamamen geri kazanılabilmektedir. Böylece, bu proses atıklarının düzenli depolanmasına ihtiyaç duyulmaz.

Çok hazneli fırınlar ve döner fırınlar farklı özelliklere sahiptir. Çok hazneli fırınlarda ıslak ve yağlı materyaller ile yüksek çinko içeriğine sahip, daha basit hazırlama işlemi gerektiren materyaller kullanılabilmektedir. Bununla birlikte enerji tüketimi düşüktür. Bu tip fırınlarda girdi malzemelerinin yoğun şekilde karıştırılması, hızlı şekilde ısıtmayı sağlar ve verimliliği maksimize eder. Bu proses için enerji gereksinimi yağlı kömür kömürden ve ön indirgenme esnasında oluşan karbonmonoksit yakılmasından sağlanmaktadır.

Döner fırında ise malzeme yapısı el verdiği sürece daha yüksek sıcaklıklarda çalışılabilir. Böylece, daha yüksek bir metalizasyon derecesine ulaşılabilir. Bununla birlikte, çok büyük çaplarda inşa edilebileceğinden, tek bir ünite için kapasite çok daha fazla olabilmektedir.

Primus® prosesi, tüm tipik demir ve çelik üretim atıklarının ve demir içermeyen diğer metal atıkların işlenmesini sağlamaktadır. Atık bertaraf masraflarını azaltmak ve atıklarını etkin bir şekilde geri

dönüştürmek isteyen entegre demir-çelik tesislerinde ve ark ocaklarında uygulanabilmektedir (EC, 2012).

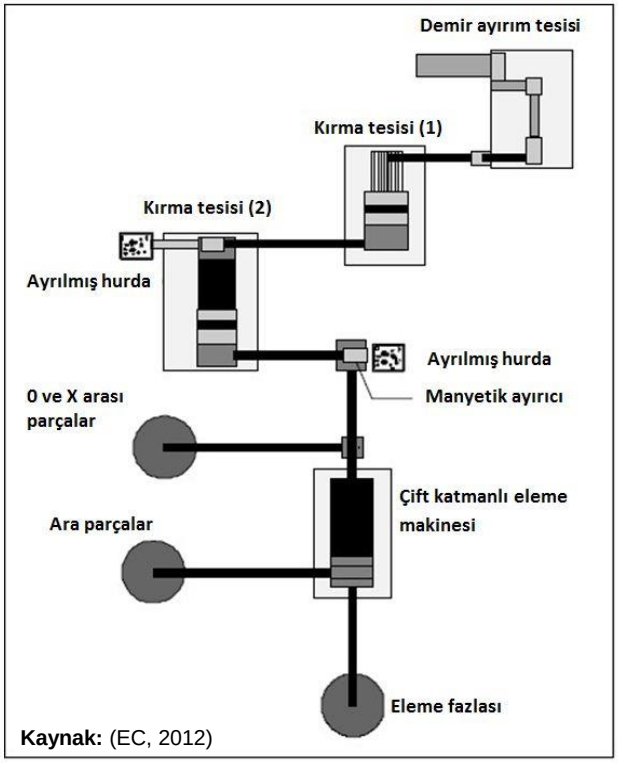
Kurşun içerikli atıkların geri dönüşümü

Kurşun banyosunda oluşan kurşun oksit atıkları veya banyo kaplama malzemesi gibi atıkların ayrı depolanması ve rüzgar ve yağmurdan korunması önemlidir. Bu atıkların demir dışı metallerin üretiminde kullanılarak geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu sayede atık bertarafı gerekliliği azaltılabilmektedir (EC, 2001a).

Çelikhane cüruflarının işlenmesi ve metal geri kazanımı

Çelikhanede üretilen çeliğin özelliklerine bağlı olarak ton çelik başına 60-270 kg cüruf oluşmaktadır. Üretim hacminin yüksek olmasından dolayı yüksek miktarda cüruf oluşmaktadır. Bu nedenle düzenli depolama alanındaki kısıtlar ve depolama maliyetleri koşununda sıkıntılar yaşanmaktadır.

Katılaşmış çelikhane cürufu, FeO, CaO, SiO_2 ve diğer oksitleri (MgO, Al_2O_3, MnO vb.) içerdiğinden yapay bir kaya olarak kabul edilebilir. Çelikhane cüruflarının mukavemetleri ve aşınmaya karşı dirençleri yüksektir. Bununla birlikte diğer bazı özelliklerinden dolayı hidrolik mühendisliği uygulamalarında kullanılabilir. İnşaat malzemesi olarak kullanımının uygunluğu için ilave araştırmalar yapılmalıdır. Cüruf işleme basamakları Şekil 5.22'de gösterilmektedir (EC, 2012).



Kaynak: (EC, 2012)

Şekil 5.22 Cüruf işleme basamakları

Düşük karbonlu çelik üretiminden çıkan cürufların büyük bir kısmının serbest kireç içeriği nispeten düşük olduğundan yol inşaat malzemesi veya toprak dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Çelikhane

cürufları genel olarak agrega özelliklerine sahip olduğundan yapı/dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Bu tarz kullanımlar için karar faktörleri çevresel kabul edilebilirlik ve yapısal uygunluktur. Yapı malzemesi olarak yasal koşullar sağlandığı takdirde Çelikhane cürufu kırılıp elendikten sonra boyutlarına ayrılıp istenilen alanlarda kullanılabilir.

Cüruftaki metalik demirin ayrılması cürufun daha etkin kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle cüruf soğutulduktan sonra kırılır ve metalik demirin geri kazanımı amacıyla manyetik ayırma işlemine tabi tutulur. Genellikle, geri kazanılan metalik demirin kalitesini ve miktarını artırmak amacıyla Şekil 5.22'de gösterilen akış (kırma ve manyetik ayırma işlemi) birkaç kez tekrarlanır (Horii, ve diğerleri, 2013). Cürufun metal içeriği, manyetik ayırıcılarla ayrıldıktan sonra tane boyutuna göre talep edilen amaçlar için kullanılabilir.

Yüksek alaşımlı çelik veya paslanmaz çelik üretiminden kaynaklı cürufların geri kazanımı için bu cürufların özelliklerine göre daha iyi değerlendirilmesi ve özel işleme yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir.

İkincil metalurji işlemlerinden kaynaklanan cürufların kullanım alanları ise sınırlıdır. Bu tür cürufların kullanımını ise genleşme katsayıları ve tane boyutları belirlemektedir. Bu cüruflar bazı durumlarda yapı alanlarında kullanılabilmekte fakat büyük çoğunluğu düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır.

Cürufun işlenmesi ilave enerji kullanımı gerektirmektedir. Cürufun serbest CaO içerdiği durumlarda oluşabilecek alkali dumanlarına dikkat edilmelidir (EC, 2012).

Yüksek alaşımlı ve paslanmaz çelik EAO cüruflarının işlenmesi

Cürufların işlenmesiyle ilgili birkaç teknik aşağıda listelenmiştir:

a) Döküm alma esnasında sıvı cürufa Al_2O_3 içeren atıklarla birlikte muamele edilmesi
b) Dökme işlemi sırasında alüminyum kullanılması ile cüruf azaltımının sağlanması
c) Oksijen üfleme işleminin optimizasyonu ve bazı indirgeyicilerin kullanımı
d) Cüruf potalarının boşaltılması esnasında toz oluşumunun önlenmesi

Paslanmaz çelik üretimi sonucu oluşan çok yüksek baziklikteki cüruf Ca_2S içermekte ve soğuma esnasında faz değişimine uğramaktadır. Bu dönüşüm hacimde artışa neden olmaktadır. Cürufun su ile söndürülmesiyle faz değişimi bastırılır ve toz emisyonları engellenmiş olur.

e) Paslanmaz çelik cürufu için teknikler
   - Pulverizasyonu önlemek için bir stabilizatör kullanarak cürufun karalı hale getirilmesi
   - Cüruf kompozisyonunun kontrolü
   - Cüruftan Cr sızıntısının minimize edilmesi
   - Cüruf soğutma kontrol
   - Kırma, eleme, çökme ve manyetik ayırma yöntemleriyle metallerin ayrıştırılması

Bu teknikler, krom miktarını sabitlediğinden ve eluat içerisindeki Cr miktarını azalttığından daha karalı bir cüruf sağlayarak EAO cüruflarının özelliklerini iyileştirmektedir.

Teknik d) için, teknik ile ilgili ilk uygulamalardaki tahminlere göre, toz emisyonları %90'dan fazla azaltılmıştır. Teknik e) için ise, söndürme istasyonları ve cüruf sahasındaki toz emisyonları azaltılmış, önemli miktarda atık azaltımı sağlanarak doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunulmuştur.

Teknik d) için resirküle edilen su miktarı artmaktadır. Teknik e) için, proses içerisinde ilave stabilizanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Üretilen cürufun %90'ı Teknik d) ile işlenebilmektedir. Teknik e), mevcut olan veya yeni kurulacak tesislerde uygulanabilmektedir. Enerji tüketimi ve toplam çevresel etki azaltılmaktadır. Etkili bir malzeme akışı ile verimlilik de artırılmaktadır (EC, 2012).

Hadde atölyesinden kaynaklanan atıkların geri kazanılması (tufal, çamur içerisindeki metaller, vb.)

Haddehane atıkları, meydana geldikleri proseslere ve özelliklerine göre haddehane tufali ve yağlı çamurlar olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Bu atıkların yapısında demir oksit ve Zn, Mn, Cr, Ni gibi oldukça önemli metaller bulunmaktadır. Haddehane tufali ve çamuru sırasıyla > %70 ve > %65 oranında Fe içerdiklerinden dolayı demir kaynağı olarak geri kazanılmalıdır. Genellikle %70-100 oranında yüksek miktarda demir içeren tufalin geri kazanımı doğrudan briketleme ya da sinterleme yoluyla yapılır. Yağlı çamurlar ise sünger demir üretim prosesi kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan fizibıl bir şekilde geri kazanılabilir (Zamiraei, ve diğerleri, 2016).

Haddehane tufali çeşitli çelik üretim proseslerinde açığa çıkan ve yağlı bir yapıya sahip yan üründür. Haddehane tufali geri kazanım proseslerinde değerlendirilmek yerine genellikle demir oksit içeren bir atık olarak düşük fiyatlara satılır. Bu malzeme demir cevheri peleti üretiminde ya da potalarda soğutucu ajan olarak yeniden kullanılır. Son zamanlarda, yüksek saflıkta haddehane tufali kullanılarak sünger demir (DRI) üretimi ilgi görmeye başlamıştır. Genellikle %70-100 oranında Fe içeren haddehane tufali briketleme ya da sinterleme yoluyla geri kazanılmaktadır. Briketleme ve sinterleme öncesinde tufalin yapısındaki yağın yüzeyden alınması gerekmektedir (Zamiraei, ve diğerleri, 2016).

Yağ alma işlemi;

1. Öncelikle yağlı tufal toplanır ve yağ içeriği analiz edilir.
2. Ağırlıkça en az %25 katı madde içeren sulu bir tufal bulamacı elde etmek amacıyla tufal su ile karıştırılır ve hızlı bir şekilde çalkalanır. Böylece yağlı bir su emülsiyonu oluşturulur.
3. Burada oluşan faz ayrımı yardımıyla yağı azaltılmış tufal, yağlı sudan ayrıştırılır.
4. (2) ve (3) nolu işlemler tufalin yapısında %0,5'ten daha az yağ kalana kadar tekrar edilir.
5. Yağı alınan tufal kurutulduktan sonra sinterleme prosesinde kullanılır.

Haddehane çamurunun geri kazanımı, çamurun yüksek oranda yağ içermesinden dolayı (%30'dan fazla yağ ve gres içerir) oldukça zordur. Haddehane çamurunda azımsanmayacak miktarda değerli metal bulunmaktadır (>%60 Fe). Yağlı haddehane çamurundan değerli metallerin ekonomik ve teknik olarak geri kazanılmasında sünger demir prosesi kullanılır. Bu proseste, demir-çelik üretiminde açığa çıkan tüm tozlar, çamurlar ve yağ içeren tufaller karbon içerikli pelet üretimi için işlenir. Sonrasında döner tabanlı fırında yaklaşık 1250°C'de yüksek oranda demir ve az miktarda iz elementi içerecek şekilde sünger demire indirgenir. Çinko, kurşun ve kadmiyum atıklardan tamamen ayrılır ve yüksek miktarda ağır metal içeren ikincil toza dönüştürülür. Bu ağır metaller ikincil toz emisyonundan geri kazanılır (Zamiraei, ve diğerleri, 2016).

Bunların dışında, merdane millerinden gelen yağlar toplanarak bertaraf (yakma vb.) edilmelidir. Taşlama çamurları çelik üretim prosesinde yeniden kullanılacak metal partiküllerin geri kazanımı için manyetik

ayırma işlemine tabi tutulmalıdır. Taşlama disklerinden gelen mineral kalıntılar depolama sahalarında depolanmalıdır. Eskimiş taşlama diskleri depolama sahasında depolanmalıdır.

Demir ve çelik atıkları ise çelik üretim prosesine geri döndürülmelidir. Tekrar kullanılmayacak durumda olan yıpranmış merdaneler çelik üretim prosesi içerisinde geri dönüştürülmeli veya üreticisine geri döndürülmelidir.

Soğutma sıvıları ve kesme emülsiyonları yağı ve suyu ayırmak için arıtılmalıdır. Yağ kalıntıları uygun şekilde bertaraf (yakma vb.) edilmelidir. Soğutma sisteminden ve yağ gidermeden gelen atıksuların, emülsiyon ayırım sisteminden gelen atıksular, sıcak haddehaneleri su arıtma tesisinde geri kazanılmalıdır (EC, 2001a).

Taşlama ve yüzey temizleme işlemleri sonucu açığa çıkan kuru veya suyu azaltılmış oksitlerin, manyetik ve mekanik ızgaralarla sudan ayrılarak tesis içinde tekrar kullanılması

Çoğunlukla taşlama ve yüzey temizleme işlemleri sonucu açığa çıkan kuru veya suyu azaltılmış oksitler, manyetik ve mekanik ızgaralarla sudan ayrılarak tesis içinde tekrar kullanılabilmektedir. Böylece oksit tabakaları doğrudan sinter, yüksek fırın ya da çelik üretim prosesinde kullanılabilmektedir. Bu tekniğin uygulanması ile atık miktarı azalmakta ve malzemenin demir içeriği kullanılmaktadır. Bazı geri dönüşüm seçenekleri ön işlem gerektirmektedir (EC, 2001a).

KAYNAKLAR

Acar, A. (2008). Yeni Bir Doğal Kaynak Olarak Yağmur Suyu. Birlik, 28-31.

Alarko. (2006). Değişken Frekanslı Sürücü Teknolojisi-İşletme ve Uygulamalar. Hava Koşullandırma Grubu Teknik Bülteni. İstanbul.

Allen, C. (2016). Large Sliced White Anyone Orgreave Coking Works-geograph.org.uk-737006. Licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 via Wikimedia Commons.

Alsat, C. (2011). Aydınlatma Otomasyonu ve Enerji Tasarrufu Sistemleri. (E. M. (TMMOB), Dü.) www.emo.org.tr: http://www.emo.org.tr/ekler/2a546c6b4e346c4_ek.pdf adresinden alındı.

Avrupa Komisyonu. (2001). Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) Endüstriyel Soğutma Sistemleri Alanında Mevcut En İyi Tekniklerin Uygulanmasına İlişkin Kaynak Belge.

Avrupa Komisyonu. (2009). Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) Enerji Verimliliğine İlişkin En Uygun Teknikler Kaynak Belgesi.

Ayan, B. (2010). Kaynaklı İmalat Yapan İşletmelerde Uluslararası Sertifikasyon Sistemleri. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.

Balch, G. (2012). Control of Coke Oven Emissions by Use of a Closed Pipeline Charging System. Journal of the Air Pollution Control Association.

Bilgin, A. (2006). Kazanlarda Enerji Verimliliği. 95, s. 13-18.

Bilgin, A. (2011). Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar. s. 59-65.

BSTB. (2014). Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi 2014-2017.

Bulut, H. (2011). Buhar Kazanları Ders Notları, Makina Mühendisliği Bölümü, Ders Notları.

Bulut, H. (2015). Soğutma ve Klima Tekniği Ders Notları. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

Buonicore, A. ve Davis, W. (1992). Air Pollution Engineering Manual. New York: Van Nostrand Reinhold.

Burkut, E. (1997). Buhar Kazan Besi Suyu Hazırlama Teknikleri İçinde Ters Osmos Cihazının Ekonomik Yeri. Makina Mühendisleri Odası.

Burkut, E. (2010). Buhar Sistemi Ekonomisinde Kazan Besi Suyu İletkenliğinin Önemi, Su Dünyası: Su ve Çevre Teknolojileri.

Campbell, F. C. (2013). Metals Fabrication - Understanding the Basics. ASM International.

Cooper, C. D. ve Alley, F. C. (2011). Air Pollution Control Fifth Edition, A Design Approach. Illinois: Waveland Press, Inc.

CSE. (2012). Centre for Science and Environment. Best Available Techniques For Indian Iron and Steel Sector. New Delhi.

Çatak, E. (2004). Pnömatik Sistemlerde Basınçlı Havanın Hazırlanması. 43-59.

ÇŞB. (2012). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Eşleştirme Projesi TR 08 IB EN 03 - Elektrik Ark Ocaklı Demir Çelik Tesisleri için MET Kılavuzu. Ankara.

Deren Kimya. (2016). Deren Kimya A.Ş. Resmi Web Sitesi. http://www.derenkimya.com.tr adresinden alındı.

Dinçer, F. (2010). Asenkron Motorlar Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Pratik Yaklaşımlar. http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/asenkron-motorlarda-enerji-verimlilidi-calymalary-ve-pratik-yaklaymlar adresinden alındı.

DOĞAKA. (2014). Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı. Demir Çelik Sektör Raporu.

Durukafa, D. (2014). Buhar Kazanları ve Sanayide İşletme Ekonomisi. İzmir: MMO İzmir Şubesi Endüstriyel Kazanlar Semineri.

EB, (2012). T.C. Ekonomi Bakanlığı. Demir-Çelik Eşya. Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü.

EC, (2001a). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Ferrous Metals Processing Industry.

EC, (2001b). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) to Industrial Cooling Systems.

EC, (2003). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Textile Industry.

EC, (2005). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Smitheries and Foundries Industry.

EC, (2006). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Food, Drink and Milk Industries.

EC, (2009). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Energy Efficiency.

EC, (2012). European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Iron and Steel Production.

Ekren, O. ve Küçüka, S. (2009). Scroll Tip Soğutma Kompresörüne Sıvı Girişinin Etkileri.

EPA. (2012). Environmental Protection Agency. Final Draft BAT Guidance Note on Best Available Techniques for Ferrous Metal Foundries.

Ersöz, M. (2009). Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu ile Geri Kazanımının Deneysel İncelenmesi. (s. 133-142). IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.

ETKB. (2016). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Doğru Seçim: Yüksek Verimli Motorlar Enerji Verimliliği Bilgi Dağarcığı: Motor Sistemleri http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/en_tasarrufu/uetm/Motor_Verimliligi_Brosuru.pdf adresinden alındı.

Fang, H., Smith, J. ve Peaslee, K. (1999). Study of spent refractory waste recycling from metal manufacturers in Missouri. Resources, Conservation and Recycling 25 , s. 111–124.

Gerengi, H. ve Kurtay, M. (2013). Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Programında “Korozyon ve Korozyona Dayanıklı Malzemeler” Dersinin Zorunlu Olarak Okutulması. Electronic Journal of Vocational Colleges-UMYOS.

Gökçen, G. ve Özcan, N. (2007). Yoğuşmayan Gazların Jeotermal Santral Performansına Etkisi: Kızıldere Jeotermal Santrali, (s. 205-215), Jeotermal Enerji Semineri.

Greer, L., Keane, S., Lin, C. ve Meinert, J. (2013). Natural Resources Defense Council's 10 Best Practices for Textile Mills to Save Money and Reduce Pollution.

Gül, Ö. ve Beltir, V. (2015). Bir Ticari İşletmede Kullanılacak Kojenerasyon veya Tijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi., (s. IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri). İzmir.

Gürel, S., Topçu, H., Şimşek, F. ve Ertürk, G. (1995). Buhar Kazanları Otomasyonu. II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi, (s. 487-499).

Hanagiri, S., Shimpo, A., Inuzuka, T., Sakaki, S., Matsui, T., Aso, S. ve Nakagawa, H. (2008). Recent Improvement of Recycling Technology for Refractories. Nippon Steel Technical Report.

Hasanbeigi, A. (2010). Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry. China Energy Group Energy Analysis Department Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL-3970E), 131.

Hızıroğlu, S. (2005). Yakma Yönetim ve Brülör Kontrol Sistemleri. (s. 63-7). Makina Mühendisleri Odası Doğal Gaz Seminerleri.

Horii, K., Kitano, Y., Tsutsumi, N. ve Kato, T. (2013). Processing and Reusing Technologies for Steelmaking Slag, NIPPON Steel Technical Report No:104.

ISO. (2011). ISO 50001:2011, Energy Management Systems – Requirements with Guidance.

ISO. (2012). İstanbul Sanayi Odası. Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Sektör Rehberleri, Demir-Çelik Sektörü. İstanbul.

Kahraman, T. ve Cesur, S. (2011). Şeker Endüstrisinde Enerjisinde Enerji Kullanımı Açısından Süreç İyileştirme Uygulamaları. (s. 1-12). 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi.

Kanoğlu, M. (2010). Enerji Verimliliği Örnek Projeleri. Makina Mühendisliği Bölümü. Gaziantep Üniversitesi.

Kara, Ç. (2003). Kompresörlerde Enerji Geri Kazanım Sistemleri. (s. 319-325). III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi.

Karakaya, N. ve Gönenç, İ. (2005). Alternatif Su Kaynakları. IGEMPortal: http://www.igemportal.org/Resim/Alternatif_Su_Kaynaklari adresinden alındı.

Karataş, M. (2013). Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basınçlı Hava Denetleme Çalışması. Tesisat Mühendisliği, 132, 19-26.

Kayabek, C., Yıldırım, A. ve İnce, F. (2005). Açık Çevrimli Soğutma Sistemlerinde (AÇSS) Bakım ve Dezenfeksiyon.

KB. (2014). T.C. Kalkınma Bakanlığı. Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 Demir-Çelik Çalışma Grubu Raporu. Ankara.

Kürkçü, E. A., Arslan Tatar, Ç. P., Babaarslan, E., İlik, Ö., Şentürk, F., Tiryaki, B. ve Yaşaroğlu, C. B. (2011). Kimyasalların Güvenli Depolanması. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

MATİL. (2016). Malzeme, Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş.: http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/turkiye-celik-haritasi-2015-yayinlandi-477.html adresinden alındı.

McCabe, W., Smith, J. ve Harriott , P. (1993). Operations of Chemical Engineering.

MEGEP. (2011). Elektrik-Elektronik Teknolojisi: Soğutma Sistemi Elemanları. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemlerinin Güçlendirilmesi Projesi.

MfE. (1997). Cleaner Production Guide for the Metal Product Industry. New Zealand The Ministry for The Environment.

Mihok, L., Demeter, P., Baricova, D. ve Seilerova, K. (2006). Utilization of Ironmaking and Steelmaking Slags. Metabk, 163-168.

Murray, A. (2016). Quenching coke-geograph.org.uk-293760. Licensed Under Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 via Wikimedia Commons, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quenching_coke_-_geograph.org.uk_-_293760.jpg#mediaviewer/File:Quenching_coke_-_geograph.org.uk_-_293760.jpg.

Oğur, R., Tekbaş, Ö. ve Hasde, M. (2004). Klorlama Rehberi: İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması.

Özdemir, K. ve Toröz, İ. (2010). İçme Suyu Kaynaklarında Klorlama Yan Ürünlerinin Diferansiyel UV Spektroskopi Yöntemi ile İzlenmesi. 59-69.

Özdeniz, D. (2015). Ofislerde Aydınlatma Otomasyonu. Elektrik Mühendisleri Odası, TMMOB: http://www.emo.org.tr/ekler/0d965fca19f20cc_ek.pdf. adresinden alındı.

Öztürk, E. (2014). Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 518. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.

Parmaksızoğlu, C. ve Çeteci, Ö. (1999). Isı Değiştiricisi Tasarımı . IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi, (s. 135-147).

Possidente, R., Roselli, C., Sasso, M. ve Sibilio, S. (2006). Experimental Analysis of Micro-Cogeneration Units Based on Reciprocating Internal Combustion Engine. Energy and Building, 1437-1422.

Pravadalıoğlu, S. (2011). Yerinde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım. İzmir.

Schifo, J. F. ve Radia, J. T. (2004). Theoretical/Best Practice Energy Use In Metalcasting Operations. KERAMIDA Environmental, Inc.

Şahin, N. ve Manioğlu, G. (2011). Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması, Tesisat Mühendisliği., (s. 21-32).

Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G. (2005). Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri El Kitabı. Türkiye Belediyeler Birliği.

Taşkın, A. (2016). SANTEM Projesi Demir-Çelik Sektörü Uzman Görüşü. Ankara.

TÇÜD. (2016). Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. 2015 Yılında Türk Çelik Sektörü. http://www.dcud.org.tr/tr/page.asp?id=6 adresinden alındı.

Terhan, M. ve Çomaklı, K. (2015). Baca Gazı Atık Isısı ile Kazan Yakma Havasının Ön Isıtılmasının Fizibilitesi. Mühendis ve Makine, 56(668), 56-63.

Topçu, S. (1999). Enerji Verimliliğinde Voltaj Optimizasyonunun Önemi ve Yüksek Hızlı Paralel Yedeklemeli Çözümler. IV. Tesisat Mühendisliği Kongresi. http://www.emo.org.tr/ekler/ef675efe0b9d36b_ek.pdf. adresinden alındı.

TTGV. (2011). Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı. Sanayide Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Kılavuzu: Yöntemler ve Uygulamalar.

TÜİK. (2016). Türkiye İstatistik Kurumu. Çevre İstatistikleri-Su İstatistikleri-İmalat Sanayi Su Göstergeleri: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019 adresinden alındı.

UNEP. (2002). United Nations Environment Programme. Changing Production Patterns: Learning From The Experience of National Cleaner Production Centres.

UNEP (2004). United Nations Environment Programme. Guidance Manual How to Establish and Operate a Cleaner Production Centre.

UNIDO. (2008). United Nations Industrial Development Organization. The CP Concept: What is Cleaner Production?

Wang, C., Karlsson, J., Hooey, L. ve Boden, A. (2011). Application of Oxygen Enrichment in Hot Stoves and Its Potential Influences on The Energy System at An Integrated Steel Plant. World Renewable Energy Congress . Sweden.

Wikipedia Foundation. (2008). Blast furnace. Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Blast_furnace_NT.PNG adresinden alındı.

WSA. (2016). Steel Statistical Year Book 2016. World Steel Association.

Yaman, C. (2009). Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.

Yener, A. (2008). Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (s. 231-241).

Yılmazer, E. (2015). Kaynak Verimliliği. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. http://www.tskb.com.tr/i/content/2553_1_TSKB_Kaynak%20Verimliligi.pdf adresinden alındı.

Zamiraei, Z., Panahandeh, M., Ravanbakhsh, M. ve Fathi-Dokht, H. (2016). Characterization and Management of Solid Wastes from Steel Mill Plant (Case Study: North of Iran). Research Journal of Chemical and Environmental Sciences.

Zheng, Y., Li , N. ve Li , S. (2013). Hot-Rolled Strip Laminar Cooling Process Plant-Wide Temperature Monitoring and Control. Control Engineering Practice, 23–30.

Ziebik, A., Lampert, K. ve Szega, M. (2008). Energy Analysis of a Blast Furnace System Operating with The COREX Process and CO_2 Removal. Energy, 199-205.