

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ARK OCAĞI İLE ÜRETİM YAPAN BİR
DEMİR ÇELİK TESİSİNİN MEVCUT EN İYİ
TEKNİKLER KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Gülizar GÖKCECİK**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2020
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU'na,

Tezime yapmış oldukları değerli katkılar için jüri üyesi değerli hocalarım Prof. Dr. Neslihan DOĞAN-SAĞLAMTİMUR ve Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA'ya,

Çalışmalarım boyunca yoluma ışık tutan değerli hocam Karabük Üniversitesi Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Mustafa YAŞAR'a, Kastamonu Pınarbaşı Devlet Hastanesi Başhekimisi Dr. Yusuf ALDAŞRAN'a, Kardemir Karabük Demir Çelik Çevre Yönetim Başmühendisi Müge Cebeci'ye, Baştuğ Metalürji Teknik Müdür Yardımcısı Serkan DOLAPÇIOĞLU'na,

Eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen canım annem ve babama, kıymetli arkadaşım Yıldızeli Cumhuriyet Savcısı Sinem KUŞOĞLU'na, bu akademik çalışmayı tamamlamam için her türlü konuda yanımda olan zamanından feragat edip benimle birlikte bu yolda yürüten sevgili eşim Kaymakam Ahmet GÖKCECİK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

**ELEKTRİK ARK OCAĞI İLE ÜRETİM YAPAN BİR DEMİR ÇELİK
TESİSİNİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER KAPSAMINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Gülizar GÖKCECİK

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2020

ÖZET

Ülkemizin gelişen ve üreten sektörü olan demir çelik sanayi, meydana getirdiği atık miktarı ile de büyük bir öneme sahiptir. Cevher ve hurda metalden üretim gerçekleştiren demir çelik sektörü, hammadde türüne göre entegre ve elektrik ark ocaklı demir çelik tesisi olarak ikiye ayrılmaktadır. Türkiye’de bulunan demir çelik tesislerinin ise çoğunluğu entegre demir çelik tesisleridir. Bu tesislerden meydana gelen katı atıklar cüruf, baca tozları, çamurları ve tozlaştırma tozları ile birlikte tufallerden oluşmaktadır. Demir çelik tesislerinden kaynaklanan katı atıkların birçok alanda geri dönüşümü sağlanabilmekte ve ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, demir çelik sektöründen kaynaklanan atıkların belirlenmesi, oluşan atıkların geri dönüşümü ve tekrar kullanımı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemizdeki elektrik ark ocaklı tesislerden biri olan Baştuğ Metalürji San. A.Ş. demir-çelik tesisinin çelikhane ünitesi Mevcut En İyi Teknikler (MET) kapsamında incelenmiştir. İşletmenin çelikhane bölümünde yapılan incelemelerde mevcut durumun, MET Referans Dokümanı (BREF) ile büyük oranda uyumlu olduğu ve EKÖK (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol) direktifinin gereklerini karşıladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demir-çelik, mevcut en iyi teknikler, geri dönüşüm, yeniden kullanım, endüstriyel atık

Tez Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Sayfa Adedi: 84

EVALUATION OF AN IRON AND STEEL MILL PRODUCING BY ELECTRIC ARC FURNACE IN THE SCOPE OF BEST AVAILABLE TECHNICS

(Master Thesis)

Gülizar GÖKCECİK

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
SCIENCE INSTITUTE**

July 2020

ABSTRACT

Iron and steel industry, which is the developing and producing sector of our country, has a great importance with the amount of waste it generates. The iron and steel industry, which produces from ore and scrap metal, is divided into two type depending on the raw material as integrated and-iron and steel plant with an electric arc furnace. The majority of the iron and steel plants in Turkey are integrated iron and steel plant. Solid wastes from these facilities consist of slag, flue dusts, muds and dusting powders, as well as scaling. Solid wastes from iron and steel plants can be recycled in many areas and contribute to the economy.

Within the scope of this study, it is aimed to determine the wastes originating from the iron and steel industry, and to evaluate the wastes in terms of recycling and reuse. The steelwork unit of Baştuğ Metallurgy Co. Inc. iron and steel plant, which is one of the electric arc furnace facilities in Turkey, has been examined within the scope of the Best Available Techniques (BAT). According to the results of investigation carried out in the steel plant, it was determined that the current situation is highly compatible with BREF (Best Available Technics Reference Document) and the plant meets the requirements of IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) directive.

Keywords: Iron-steel, best available technics, recycling, reuse, industrial waste

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan DULKADİROĞLU

Number of Pages: 84

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLOLAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
Kısaltmalar ve Simgeler Listesi	x
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNÜN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU	4
2.1. Türkiye'de Demir-Çelik Sanayi Kuruluşları	5
2.2. Türkiye Demir-Çelik Sektöründe İstihdam	6
2.3. Dünya ve Türkiye Demir Cevheri Rezervleri	6
2.3.1. Dünya demir cevheri rezervleri	6
2.3.2. Türkiye demir cevheri rezervleri	8
2.4. Demir-Çelik Sektörü SWOT Analizi	9
BÖLÜM 3	12
DEMİR-ÇELİK ÜRETİMİ	12
3.1. Entegre Demir-Çelik Üretimi	13
3.2. EAO ile Demir-Çelik Üretimi	16
BÖLÜM 4	19
DEMİR-ÇELİK ÜRETİM ATIKLARI	19
4.1. Cüruf	22
4.1.1. Cüruf oluşumu	22
4.1.2. Cürufun Özellikleri	26
4.1.2.1. Cürufun kimyasal özellikleri	26
4.1.2.2. Cürufun mineralojik özellikleri	27
4.1.3. Metalürjik cüruf çeşitleri	27
4.1.3.1. Çelik üretimi	27
4.1.3.2. Yüksek fırın cürufları	29
4.1.3.3. Çelik cürufları	30
4.1.3.4. Ferrokrom cürufları	33
4.1.3.5. Ferronikel cürufları	34
4.1.3.6. Bakır cürufları	34
4.1.3.7. Alüminyum cürufları	35

4.2. Baca Tozları, Çamurlar ve Tozlaştırma Tozları	37
4.2.1. Yüksek fırın baca tozları ve çamurları	38
4.2.2. Sinter tozsuzlaştırma tozları (Esp Tozları)	43
4.2.3. Bazik oksijen konverter çamuru ve tozu	45
4.3. Tufal	45
4.3.1. Sürekli döküm makinaları tufalı	45
4.3.2. Haddehane tufalı	45
BÖLÜM 5	47
DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI VE MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER	47
5.2. Demir-Çelik Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler	48
5.2. MET'in tespitinde dikkate alınması gereken teknikler	49
BÖLÜM 6	59
MATERYAL VE METOD	59
BÖLÜM 7	63
MET KAPSAMINDA İNCELENEN TESİSİN UYGUNLUK DURUMUNUN TESPİTİ	63
BÖLÜM 8	73
SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKÇA	76
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	84

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Dünya ham çelik üretiminde (milyon ton) ilk 10 ülke	4
Tablo 2.2 Türkiye demir-çelik sektöründeki istihdam (kişi)	6
Tablo 2.3. Karabük ili demir-çelik sektörü işletmelerinin görüşlerine göre SWOT matrisi	10
Tablo 4.1. Cüruf içinde bulunan bileşikler	27
Tablo 4.2. Cürufun içerdiği bileşikler	28
Tablo 4.3. BOF ile EAO cürufunun kimyasal bileşiminin karşılaştırılması	30
Tablo 4.4. Farklı kaynaklardan alınmış BF ve BOF tozlarının ortalama kimyasal içerikleri	38
Tablo 4.5. Yüksek fırın tozu ve çamurunun tane boyutu dağılımı [26].....	41
Tablo 4.6. Farklı ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri	42
Tablo 4.7. Kardemir A.Ş. yüksek fırınları baca tozları-çamurları kimyasal analizi ve ortalama çıkış miktarları	42
Tablo 6.1. Tesisteki mevcut prosesler ve enerji tüketimleri	62
Tablo 7.1. BREF'te belirtilen prosese bağlı MET ile Baştuğ Metalürji'deki uygulamaların karşılaştırılması	70
Tablo 7.2. BREF'te belirtilen boru sonu MET ile Baştuğ Metalürji' deki uygulamaların karşılaştırılması	71
Tablo 7.3. Çelikhane tesisi maliyet analizi	71
Tablo 7.4. Kütük üretim maliyeti (USD/ton).....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye demir-çelik haritası	5
Şekil 2.2. Dünya demir cevheri rezervleri	7
Şekil 2.3. Türkiye demir cevheri yatakları	9
Şekil 3.1. Dünya ham çelik üretim ve tüketim miktarları (milyar ton)	13
Şekil 3.2. Entegre demir-çelik üretim tesisi akım şeması	16
Şekil 3.3. EAO/doğrudan indirgenme ile çelik üretimi akım şeması	17
Şekil 4.1. Entegre demir-çelik tesislerinden ortaya çıkan atık türleri	19
Şekil 4.2. İçinde demir içeren demir-çelik atıklarının kullanılabilir demir potansiyeli	20
Şekil 4.3. Metalürjik katı atıkların tasfiyesi	21
Şekil 4.4. Cüruf ve metal resimleri	23
Şekil 4.5. Yüksek fırın toz tutucu (siklon)	39
Şekil 4.6. Torbalı filtre	40
Şekil 4.7. Sinter tesisi şematik görünümü	44
Şekil 5.1. Demir-çelik ürünlerinin geri dönüşüm döngüsü	48
Şekil 5.2. Optimizasyon tekniklerini gösteren şematik EAO	50
Şekil 6.1. Baştuğ Metalürji tesisine ait genel görünüş	60
Şekil 6.2. Baştuğ Metalürji çelikhane tesisinden görünüm	60
Şekil 6.3. Baştuğ Metalürji haddehane tesisinden görünüm	61
Şekil 6.4. Baştuğ Metalürji oksijen üretim tesisinden genel görünüm	61
Şekil 6.5. Baştuğ Metalürji şalt tesisinden genel görünüm	62
Şekil 7.1. Tesisin çelikhane proses akım şeması	63
Şekil 7.2. Tesisin hurda depolama sahasından görünüm	64
Şekil 7.3. Radyoaktivite kontrol noktaları	65
Şekil 7.4. Kapalı devre soğutma suları proses akım ve arıtma tesisi şeması	68
Şekil 7.5. Çelikhane gazlarını temizleme sistemi proses akış şeması	69

Kısaltmalar ve Simgeler Listesi

AB: Avrupa Birliği

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

BOF: Bazik Oksijen Fırını

BREF: Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı

EAO: Elektrikli Ark Ocağı

EBT: Aşğıdan Dökme Sistemi

EKÖK: Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi

İO: İndüksiyon Ocağı

MET: Mevcut En İyi Teknikler

Mt: Milyon Ton

UHP: (Ultra) Yüksek Güç Uygulaması

USD: ABD Doları

YF: Yüksek Fırın

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir-çelik üretimi sırasında ton çelik başına 400 kilogramı aşan katı atık ortaya çıkar [1]. Oluşan bu katı atıkların gelişigüzel çevreye atılması veya tesislerin boş sahalarında biriktirilmesi ile bu atıklarda bulunan toksik etkili ağır metaller ve bileşikler, yağmur ve kar suları ile teması halinde yeraltı sularına geçmektedir. Bununla birlikte toprağa karışarak hem bitki örtüsünü hem de hayvan ve insan sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir. Ayrıca oluşan katı atıklar bertaraf edilirken ağır ekonomik yük oluşturmaktadır.

Entegre yapıda olan demir-çelik sektörü birbirleri ile bağlantılı çalışan bir sanayi koludur. Birbirinden ayrı çalışabilen ve demir-çelik üretimi yapan alt sektörlerden oluşmaktadır. Demir-çelik sanayi toplamda 6 alt sektörden oluşmaktadır. Bunlar;

- 1. Uzun Hadde Ürünleri:** Demir cevheri veya hurdasından hareketle sıvı çelik üretilip, blum, kütük, demiryolu malzemesi, ağır, orta ve hafif profil, betonarme çelik çubuklar, tel ve kangal üretimi yapan haddehaneleri kapsamaktadır.
- 2. Yassı Hadde Ürünleri:** Levha, sıcak haddelenmiş ürünler, soğuk haddelenmiş ürünler ve teneke üretimi yapan haddehaneleri kapsamaktadır.
- 3. Vasıflı Çelik Ürünleri:** Alaşımsız çelikler, az alaşımlı çelikler ve yüksek alaşımlı çelikler üretimi yapan haddehaneleri kapsamaktadır.
- 4. Demir-Çelik Döküm Sanayi:** Tüm sanayi sektörlerinin ihtiyacı olan pik döküm, çelik döküm, sfero döküm ve temper döküm türündeki ürünlerin ham döküm, işlenmiş döküm ve mamul olarak üretilmesini kapsamaktadır.
- 5. Çelik Borular:** Su ve gaz boruları, petrol ve doğalgaz boruları, yüksek basınç ve ısıya dayanıklı borular, petrol sondaj ve koruyucu borular, mekanik borular, profiller ve özel hassas borular üretimi yapan haddehaneleri kapsamaktadır.
- 6. Ferro Alaşımlar:** Ferro alaşımlar, haddeden geçirilmeye veya dökülmeye müsait olmayan, demir sanayinde kullanılmaya elverişli bileşikler meydana getiren ve ağırlık itibarıyla tek başına veya birlikte %8'den fazla silisyum,

%8'den fazla mangan, %8'den fazla krom, %8'den fazla tungsten ve toplam olarak %10'dan fazla alüminyum, titan, vanadyum, molibden ve niyobyum gibi başka alaşım elementi içeren demirli alaşım ürünleridir [2].

Sezgin ve Kuyumcu (2007) yaptıkları çalışmada 2006 yılı ile birlikte Türkiye'de birey başına düşen demir-çelik tüketiminin 300 kg düzeyine ulaştığını ifade etmişlerdir. Gelişmiş ülkelerde bu miktarın 400-500 kg civarında olduğu belirtilmiştir. Kişi başına ham çelik tüketiminin sektörün yeniden oluşumu ile beraber üretim-tüketim dengesindeki değişimler neticesinde artış yaşayacağı öngörülmektedir [3].

Demir-çelik sektörünün Türkiye ekonomisinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Sektörle birlikte sanayileşme artmış, istihdam ve halkın refah seviyesi yükselmiştir.

Demir-çelik sektörünün ekonomideki yeri kadar, bu sektörde çevresel etkilerin en aza indirgenerek üretim yapılabilmesi de önem arz etmektedir. Bu nedenle AB Komisyonu tarafından Mevcut En İyi Teknikler (MET) referans belgeleri hazırlanarak yayımlanmıştır. Bahsedilen belgelerin çok uzun ve geniş kapsamlı olması ve Türkiye'deki elektrik ark ocaklı (EAO) tesislerin birçok faktörden dolayı özel öneme sahip olmasından dolayı Elektrik Ark Ocaklı Demir-Çelik Endüstrisi için Ulusal MET Kılavuzu çalışması yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda bahsedilen tesisler özelinde, Türkiye'deki sektörün kendine özgü niteliklerinin daha anlaşılabilir ve daha uygun bir biçimde üzerinde durulmuş ve diğer yandan sektörle ilgili prosesler incelenmiş ve hem bu sektör, hem de akademik bakımdan katkı sağlamak için Ulusal MET Kılavuzu hazırlanmıştır [4].

MET'in belirlenmesinde üstünde durulan konular boru sonu teknikler ve prosese bağlı teknikler olmak üzere iki ana hat üzerinde ele alınarak tespit ve değerlendirmeler yapılmaktadır.

EAO tesislerde, çelik hurdası grafit elektrotlar aracılığı ile ergitilerek, sıvı çelik elde edilir. Rafinasyon işleminden sonra sıvı çelik potadan alınarak sürekli döküm

makinasına aktarılır ve katılaştırılarak istenen ebat ve şekillerde yarı ürün haline getirilir.

Yarı ürünler (kütük, blum, slab) istenen haddeleme sıcaklığını elde etmek için yeniden ısıtma fırınına yüklenir. Yeniden ısıtma sonrasında yarı ürün hadde standından geçirilerek istenen boyutta bitmiş ürün elde edilir [4].



BÖLÜM 2

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNÜN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Ülkemizde sürekli gelişim gösteren demir-çelik sektörü üretim kapasitesini gün geçtikçe yükseltmektedir. 2013 sonu itibariyle ülkemizde demir-çelik tüketimi kişi başına 415 kg civarında iken, gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen demir-çelik tüketimi 400-500 kg aralığındadır. Türkiye'de demir-çelik üretim miktarı 2011 yılında 2010'a göre %17 artarak 34,1 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye bu üretim miktarıyla dünyada çelik üreten ülkeler arasında ilk 10 arasına girmeyi başarmıştır. 2013 yılında ise ham çelik üretimini 34,7 milyon tona yükselterek dünya piyasasında ortalama %2,1'lik bölümü karşılamıştır. Türkiye, günümüzde dünyada çelik üretimi gerçekleştiren 64 ülke arasında 8. sırada bulunmaktadır. Türkiye Avrupa'da ise çelik üreten ülkeler arasında 2. sırada yer almaktadır (Tablo 2.1) [5,6].

Tablo 2.1 Dünya ham çelik üretiminde (milyon ton) ilk 10 ülke[7]

Sıra	Ülke	2010	2011	2012	2013	2014
1	Çin	626,7	683,3	731	779,0	822,7
2	Japonya	109,6	107,6	107,2	110,6	110,7
3	ABD	80,6	86,2	88,7	86,9	88,2
4	Hindistan	68,3	72,2	77,3	81,2	88,5
5	Rusya	66,9	68,7	70,4	68,7	71,5
6	Güney Kore	58,5	68,5	69,1	66,1	71,5
7	Almanya	43,8	44,3	42,7	42,6	42,9
8	Türkiye	29,0	34,1	35,9	34,7	34,0
9	Brezilya	32,8	35,2	34,5	34,2	33,9
10	Ukrayna	33,6	35,3	33,0	32,8	27,2
11	AB	172,8	171,1	162,9	160,4	163,6
	Dünya Geneli	1413,6	1490,1	1559,2	1606	1665

Ülkemizde EAO tesislerde hammadde olarak kullanılan hurdanın büyük bir bölümü ithal edilmektedir. Bu durum demir-çelik sektörü için önemli bir sorun oluşturmaktadır. İthal edilen ülkeler arasında ABD, Rusya ve AB ülkeleri yer alırken, 2009 yılında 15.638.653 ton hurda ithal edilerek ülkemize getirilmiştir. Bu durum benzer şekilde entegre demir-çelik üretimi yapan tesislerde de görülmektedir. Entegre demir-çelik tesisleri kullandıkları hammadde olan demir cevherinin %60'lık kısmını, kullanılan

kömürün ise %90 oranındaki miktarını ithal etmektedirler [8]. Demir-çelik sektörü Türkiye’de dışa bağımlı bir hale gelirken ithal edilen hammaddeler sektör için büyük bir kayıp haline gelmektedir.

2.1. Türkiye’de Demir-Çelik Sanayi Kuruluşları

Türkiye’de kurulu tesislerin büyük bir bölümü Akdeniz, Karadeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde bulunmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, 2019 yılı verileri ülkemizde toplam 34 demir-çelik tesisinin bulunduğunu göstermektedir. 9 demir-çelik tesisiyle Akdeniz ve Marmara bölgesi en fazla tesis bulunduran bölgeler arasında yer alırken, onu 8 demir-çelik tesisiyle Ege bölgesi takip etmektedir. 5 demir-çelik tesisi Karadeniz bölgesinde yer alırken, 3 tesis ise İç Anadolu bölgesinde yerleşik durumdadır. 2019 yılı itibariyle toplam demir-çelik üretim kapasitesi yaklaşık 50 milyon ton (Mt) olup, kapasite kullanım oranı %68,2 olarak gerçekleşmiştir. Toplam kapasitenin dağılımı ise 2 Mt’un üzerinde 11 tesis, 1-2 Mt aralığında 6 tesis, 500 bin-1 Mt aralığında 7 tesis ve 50 bin-500 bin ton aralığında 10 tesis olarak belirtilmektedir [5].



Şekil 2.1 Türkiye demir-çelik haritası [6]

2.2. Türkiye Demir-Çelik Sektöründe İstihdam

Tablo 2.2’de Türkiye demir-çelik sektöründeki istihdam miktarları (kişi olarak) verilmiştir. Tablo 2.2’ye göre 2016 yılı toplam istihdam miktarı 39.029 kişi’dir. Bu istihdam miktarı dolaylı olarak çalışan kişi sayısını göstermemektedir. Sektörde dolaylı olarak istihdam gerçekleşebildiği için bu rakamın daha yüksek olacağı varsayılmaktadır. EAO ve indüksiyon ocaklı (İO) tesislerde 2010 yılındaki çalışan işçi sayısı 17.216 kişi iken BOF’lu tesislerde çalışan işçi sayısı 16.528 kişi olarak belirlenmiştir. Bu miktarlar yıllar geçtikçe değişmiş EAO ve İO tesislerde istihdam artarken, BOF tesislerde 2016 yılına gelinceye kadar düşüş yaşanmıştır. Düşüşün sebebi ise yenileme yatırımları ve özelleştirme hareketleri olmuştur. EAO ve İO tesislerde kapasite artışı gözlenirken istihdam miktarında da artma görülmektedir [9].

Tablo 1.2 Türkiye demir-çelik sektöründeki istihdam (kişi) [10].

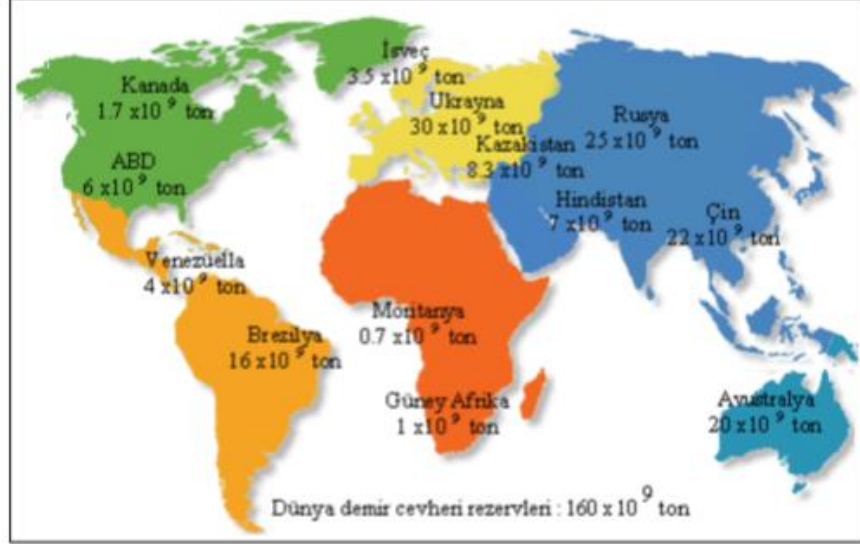
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2016 %Pay
EAO+İO	17.216	18.218	20.875	21.550	23.195	21.844	23.926	61.3
BOF	16.528	17.119	17.483	15.579	15.595	14.468	15.103	38.7
Toplam	33.744	35.337	38.358	37.129	38.790	36.312	39.029	100.0

2.3. Dünya ve Türkiye Demir Cevheri Rezervleri

2.3.1. Dünya demir cevheri rezervleri

Demir 1950’lere dek çoğunlukla cevher madenlerinden elde edilirdi. Cevher ve konsantre uzun olmayan aralıklar vasıtasıyla nakledilirdi. Yalnız o tarihlerden beri çelik üretimindeki yükselişle birlikte verimliliği yükseltmek amacı ile büyük tonajlı gemiler üretilmiş, enerji ve çalışan işçi maliyetlerinde artış meydana getirmiştir. Dünya genelindeki büyük üretimler yapan çelik üreticileri hammadde ihtiyaçlarını birkaç ülkeden sağlamaktadırlar. Dünyadaki toplam demir cevherinin 160×10^9 ton civarında olduğu varsayılmaktadır. Demir cevheri rezervleri daha çok Avustralya, Brezilya, Kanada, Hindistan, ABD, Güney Afrika, Liberya, İsveç, Peru, Çin ve Rusya’da

bulunmaktadır [11]. Şekil 2.2’de demir cevheri rezervlerinin dünya üzerindeki dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Dünya demir cevheri rezervleri[12]

Geçmiş yıllarda doğrudan maden ocaklarından elde edilen demir cevheri ihtiyacı karşılarken, teknolojinin gelişmesiyle birlikte demire olan ihtiyaç artmış ve maden ocaklarından elde edilen demir cevheri yeterli gelmemeye başlamıştır. Bunun sonucunda yüksek fırınlara doğrudan verilebilir nitelikteki demir cevheri azalmaya başlamıştır. Oluşan sorun düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesini ve yeni demir cevher rezervlerinin meydana çıkarılmasını gerekli kılmıştır [11].

Maden ocaklarından elde edilen cevherler istenilen kimyasal özellikte olduğu zaman yalnızca tane boyu nitelikleri düzenlenerek ocaktan üretildiği haliyle yüksek fırınlarda doğrudan işleme alınır. Demir oranı düşük olan ve safsızlık içeren cevherler uygun kimyasallarla zenginleştirilerek istenilen seviyeye getirilir. Bu işlemle birlikte sinter veya pelet uygulandıktan sonra kullanılmaktadır [11].

2.3.2. Türkiye demir cevheri rezervleri

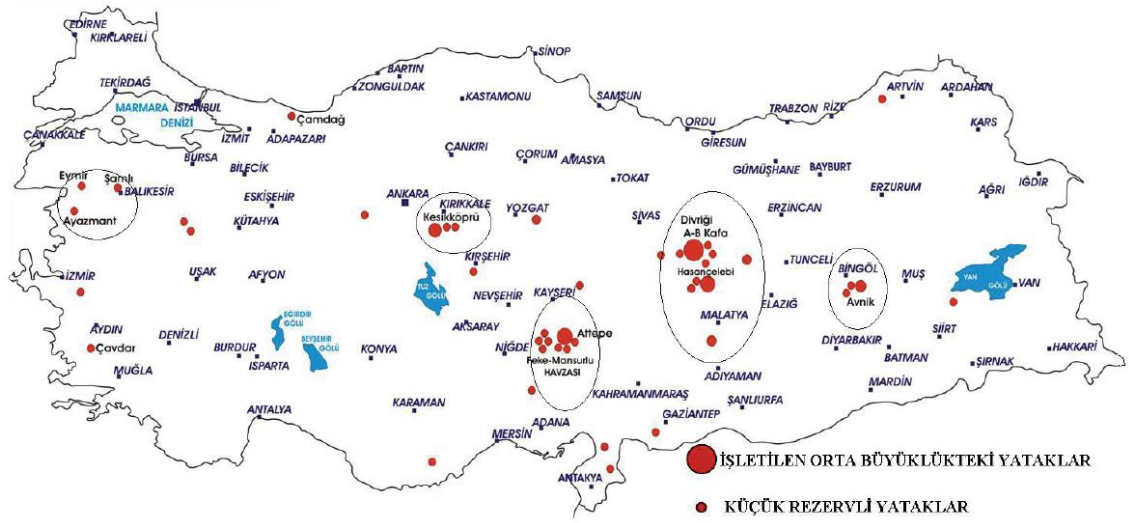
Ülkemizde bulunan işlenebilir demir cevheri rezervi ortalama 137 milyon ton dolaylarındadır. Düşük demir içerikli demir cevheri rezerv potansiyeli ortalama 1 milyar ton civarındadır. Bunlar tenörleri %19-54 Fe aralığında olan sorunlu demir cevheridir. Oldukça fazla rezervi olan bu madenler entegre demir-çelik tesislerinde kullanılmayacak bazı safsızlıkları olduğundan bu yataklar şu an için boşta bekletilmektedir. Demir cevheri üretimindeki azalış, 1985 yılından sonra bir daha sektörün yatırım yapmayı ve çoğunlukla ithalata yönelmesi tetiklemiştir [11].

Türkiye'deki demir cevherlerini 3 ana gruba ayrılabilir:

- İşletilebilir: "Görünür" 115 Mt, "Muhtemel" 25 Mt
- Potansiyel: 435 Mt
- Sorunlu: 950 Mt [12].

Entegre demir-çelik tesisleri hammadde olarak demir cevherini kullanmaktadır. Karabük, İskenderun ve Ereğli'de bulunan entegre demir-çelik tesisleri hammadde olarak ülkemizde üretilen demir cevherini kullanmaktadır. Türkiye'de işletmeye uygun boyutlarda olmayan birçok demir cevheri yatakları mevcuttur. Hammadde olarak kullanılabilir özellikteki demir cevheri rezervleri Sivas, Erzincan, Kayseri, Ankara, Adana, Malatya, Kırşehir ve Balıkesir şehirleri ve etrafında bulunmaktadır [11]. Şekil 2.3'te Türkiye'deki demir cevheri yataklarının dağılımı görülmektedir.

Boyrazlı (2008) yapmış olduğu çalışmada, Türkiye'deki işletilebilir demir cevherinin yaklaşık 20 yıl gibi bir süre içerisinde sektörün tüketim hızı doğrultusunda tükeneceğini ifade etmektedir. Potansiyel demir cevheri ve sorunlu cevher yataklarının verimliliğinin artırılması, kalite standardının yükseltilmesi ve maliyet açısından iyileştirme yapılması gerektiğini, aksi takdirde sektörün dışa bağımlılığının artacağını öngörmektedir. Ülkemiz menfaati kapsamında demir cevheri ile ilgili yerli kaynakların kullanılabilmesi için zorunlu önemler alınması gerektiğini vurgulamıştır [11].



Şekil 2.3. Türkiye demir cevheri yatakları [12]

2.4. Demir-Çelik Sektörü SWOT Analizi

Kökten ve Karakaya'nın 2017'de yapmış oldukları çalışmada, Karabük bölgesinde üretim yapan demir-çelik tesislerini SWOT analizi tekniği ile değerlendirmeye almışlardır. Yaptıkları çalışmada mevcut tesislerin güçlü yönlerini, zayıf yönlerini, sektörde oluşabilecek fırsat durumlarını ve tehditleri irdelemişlerdir. Çalışma kapsamında Karabük bölgesinde bulunan 12 tesisle görüşerek toplamda 32 tesis çalışanıyla SWOT analizi kapsamında bir anket gerçekleştirmişlerdir. Anket içerisindeki sorularda birden fazla şık işaretlenebilmektedir. Tesislerin yönetim kadrosu ile bire bir görüşülerek anket gerçekleştirilmiştir. Bu kişiler işletme müdürü, fabrika müdürü, üretim sorumlusu/mühendisi, müdür yardımcısı gibi birimlerden oluşmaktadır [13].

Sürdürülebilir bir demir-çelik sektörü için sektörde oluşan güçlü yönler ve zayıf yönler incelenerek, sektör dışı oluşan fırsat ve tehditler irdelenip analiz yapılmalıdır. Ankete katılım sağlayan kişiler aracılığıyla Karabük ilinde bulunan tesisler güçlü yönler, zayıf yönler, tehdit ve fırsatlar değerlendirilmiş öncelik sırasına göre Tablo 3'te gösterilmiştir [13].

Tablo 2.2. Karabük ili demir-çelik sektörü işletmelerinin görüşlerine göre SWOT matrisi [13]

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<ul style="list-style-type: none"> Karabük ilinin coğrafi ve lojistik konumu ele alındığında haddehaneler doğru mevkide konumlanmıştır. İşletme konumunun getirdiği lojistik ve stratejik avantajlar verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Karabük ilinde istihdam edilebilecek yeterli donanım ve beceriye sahip işgücü oranı yüksektir. Üretilen ürünler talep ihtiyacını karşılamaktadır. Üretilen ürünler talep ihtiyacını karşılayabilecek nitelikleri taşımaktadır. Üretilen ürünler kalite standartlarına uygundur. Kalite sertifikasyonuna sahip tesis sayısı oldukça fazladır. Piyasa ihtiyacını karşılama amaçlı başarılı bir imalat sanayi sektörü mevcuttur. Teknolojik donanım ve tecrübe itibarıyla diğer firmalar arasında rekabet gücü vardır. Değişim ve dönüşüm programları çerçevesinde kapasite iyileştirmeleri yapılmaktadır. Yüksek çevre bilinci ve çevre koruma amaçlı üretim yapılmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> Karabük'teki demiryolu altyapısı taşıma ve lojistik faaliyetleri açısından yetersizdir. Bölgedeki haddehane işletme sayısı gerektiğinden azdır. Haddehanelerde elektrik enerjisi kullanımı ve bunun getirdiği maliyetler oldukça fazladır. Firmalar arasında üniversite-devlet-sanayi üçgeninde kuruluşlarla olan ticari, bilimsel ve teknolojik ilişkiler yetersizdir. Kalitesiz ve ucuz ürün üretimini engelleyici mekanizmalar yetersizdir. Sermaye yetersizliği ve finansman maliyetleri yüksektir. Rekabetçi şartlar altında yatırım ve işletme kredisinin temin edilmesi zordur.
Fırsatlar	Tehditler
<ul style="list-style-type: none"> Sektör ürünlerine karşı talep ve tüketim güçlüdür. Teknik bilginin yüksek seviyede bulunması ve teknolojik gelişmelerin yakından takip edilmesi işi kaliteli ve verimli kılmaktadır. Talebi oluşturan sektörlerin (otomotiv, dayanıklı tüketim ve inşaat sanayi) gibi metal tüketiminin fazla olduğu sektörlerin büyüme potansiyeli yüksektir. Bulunulan konum itibarıyla mevcut tesisler müşteri kitlesine yakındır. Karabük ilinde devam eden altyapı yatırımları sebebiyle çelik tüketimi fazladır. Altyapı ve kentsel dönüşüm çalışmaları sebebiyle, inşaat sektöründe büyüme potansiyeli yüksektir. Bölge çelik tüketimi, gelişme potansiyeli göstermektedir. 	<ul style="list-style-type: none"> Çevre mevzuatı kapsamında, çevre yatırımları yüksek maliyetler içermektedir. Piyasaya standart dışı, sertifikasız ve kalitesiz ürün girişi engellenmemektedir. Hammadde fiyatlarında, yüksek oranda dalgalanmalar ve belirsizlikler yaşanmaktadır. Çelik ve diğer metallere ikame malzeme üretimi artmıştır. Karabük ilinin liman şehri olmamasından dolayı lojistik maliyetleri yüksektir. Katı çalışma ve çevre mevzuatı, yüksek tutarlarda ilave maliyetlere yol açmaktadır. Hammadde, yarı mamul ve mamul ürünlerde iç pazarlarını koruyan ve ihracata destek veren ülkelerin olması. Çelik sektörü yatırımlarında devlet desteği tam olarak hissedilememektedir.

Kökten ve Karakaya 2017'de yapmış oldukları çalışma sonucunda, Karabük bölgesinde aktif çalışan demir-çelik tesislerinin güçlü yönü olarak ilin bulunduğu coğrafi konum ve lojistik konumu belirtmiştir. Bu konumun lojistik ve stratejik bir yarara çevirerek

verimli bir biçimde kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Diğer bir sonuç olarak, ilin sektör için istihdamda bulanabilecek iş gücü seviyesi fazla olduğu ve üretilen ürünlerin kalite açısından iyi durumda olduğu belirtilmiştir. Karabük ilinde bulunan demir-çelik tesislerinin demiryolu altyapısının nakliye ve lojistik çalışmalar bakımından yetersiz olduğu, işletilen haddehane sayısının oldukça az olduğu, elektrik enerjisi tüketim bedelinin oldukça fazla olması sektörün zayıf yönleri olarak belirtilmiştir [13].

Karabük ilinde bulunan demir-çelik tesislerinin dış çevresel faktörlerin etkisi ile ortaya çıkan fırsat ve tehditleri değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda tesislerde üretilen ürünlere olan rağbetin ve tüketimin fazla olması, çalışanların teknik bilgi ve tecrübelerinin iyi seviyede olması, ürünlerin kullanıldığı sektörlerin gelişmekte olması sektörde oluşan fırsatlar olarak belirlenmiştir. Sektörde oluşan tehditler ise yapılan çevre yatırımlarından kaynaklanan yüksek maliyet oranları, sektöre kalite standartlarına uymayan ürün verilmesi, hammadde ücretlerinin stabil olmayışı ve coğrafi konumdan dolayı liman şehri olmayan Karabük ili lojistik maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Kökten ve Karakaya tespit edilen güçlü yönler ile fırsatların iyi değerlendirilip, zayıf yönlerin geliştirilmesine ve tehditlerin ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşımlardır [13].

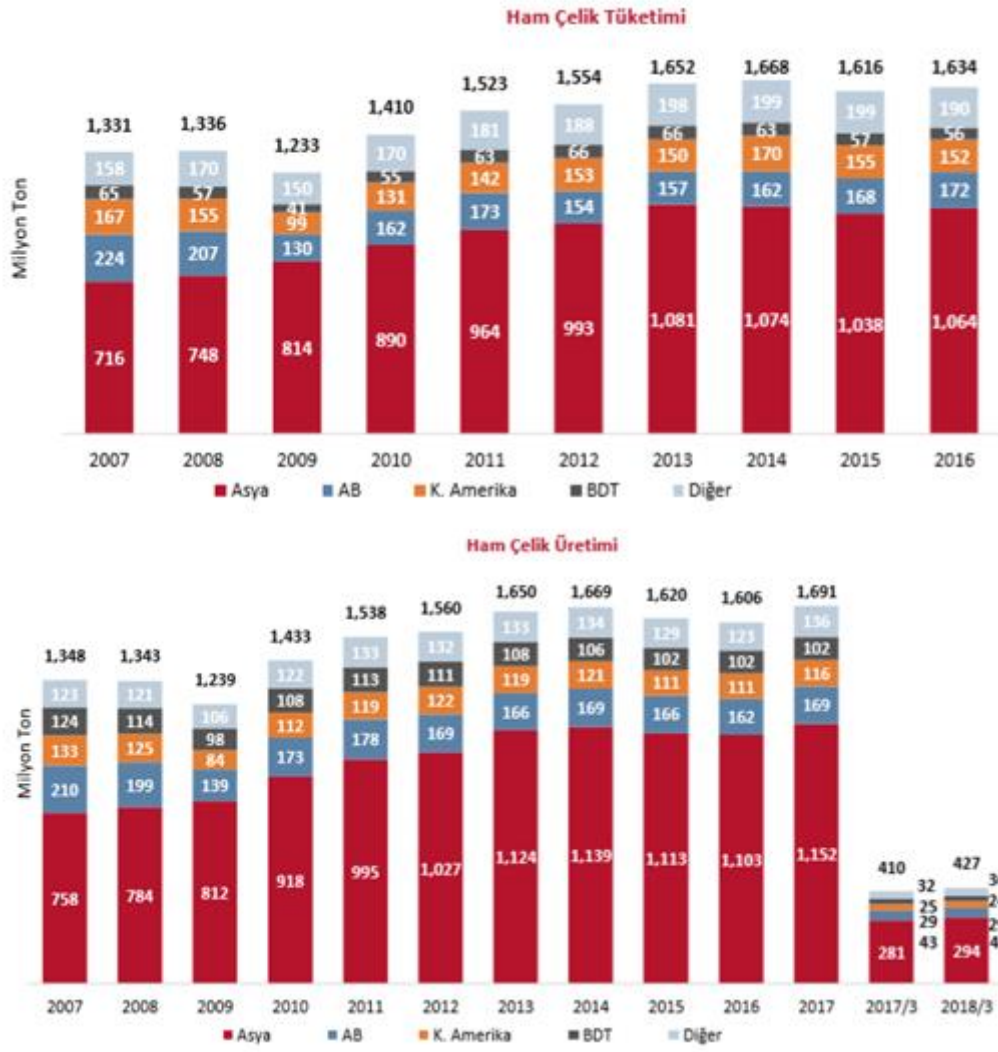
BÖLÜM 3

DEMİR-ÇELİK ÜRETİMİ

Sanayinin pek çok dalıyla ilişkili olan demir-çelik sektörü; en başta inşaat sektörü olmak üzere her türlü makine-ekipman imalatı, otomotiv sanayi, motorlu taşıtlar sanayi vb. girdi sağlamaktadır. Sektörün ana hammaddesi cevher ve hurda olup, temel çıktısı ise ham çeliktir. Uzun (kütük) ve yassı (slab) yarı mamuller ham çelikten üretilen son ürünlerdir. Haddelme işleminden sonra yassı yarı mamullerden rulo sac ile birlikte sac levha üretimi gerçekleştirilmektedir. Yine haddelme süreci sonunda uzun yarı mamuller inşaat demiri, filmaşın, kangal, dikişsiz boru, profil, ray, lama gibi ürünler elde edilmektedir. Galvanizleme ve boya işlemleri tüketici isteğine göre gerçekleştirilmektedir.

Dünya çelik tüketimi, 2008 yılında finans krizi nedeniyle çok hızlı bir düşüş dönemine girmiştir. 2010-2011 senelerinde çelik tüketiminde bir miktar artış yaşansa da, 2012 yılında başta Avrupa Birliği (AB) ve Çin olmakla birlikte tüm dünyada görülen ekonomik durgunluk nedeni ile tekrar gerilemeye devam etmiştir [14,15]. Yaşanan bu olaylar neticesinde Türkiye demir-çelik sektörü de etkilenmeye başlamış ve sektörde ciddi anlamda gerileme yaşanmıştır. Gerileme ile birlikte sektörde ekonomik sıkıntılar ortaya çıkmış ve işgücü ihtiyacı azalmaya başlamıştır. Kriz hem dünya hem de Türkiye demir-çelik sektörünü önemli oranda etkilemiştir.

2007-2016 yılları arasında dünya genelinde ham çelik üretim ve 2007-2018 tüketim miktarları Şekil 3.1'de verilmiştir. Dünya genelinde ham çelik üretimi 2017 yılında en yüksek seviyeye (1,691 milyar ton) çıkmıştır. 2014 yılında da tüketim en yüksek (1,668 milyar ton) seviyesindedir.



Şekil 3.1. Dünya ham çelik üretim ve tüketim miktarları (milyar ton) [15]

3.1. Entegre Demir-Çelik Üretimi

Entegre bir demir-çelik tesisinde üretim prosesleri;

- Sinterleme Tesisi
- Peletleme Tesisi
- Koklaştırma Tesisi
- Yüksek Fırın
- Bazık Oksijen Fırını (Çelikhane)
- Döküm

olarak sıralanır.

Sinterleme tesisi: Sinter tesisinin amacı, fiziksel ve metalürjik hazırlama teknikleri ile birlikte yüksek fırına eklenen malzemenin geçirgenliğinin ve indirgenabilirliğinin yükseltilebilmesi ve yüksek fırının çalışma gücünün artırılmasıdır. Öncelikli olarak demir cevheri ve kireç taşı ile birlikte sintere eklenecek malzemeler harmanlanır. Daha sonra sinter tesisinde 1350°C aşağısında yanma işlemi gerçekleştirilir. Yanma işleminden sonra malzemeye soğutma işlemi uygulanır. Sinterleme esnasında ortamdan nem uzaklaştırılır ve hidratların ayrışma, kalsiyum oksitlerin hermatitlerle reaksiyona girmesi gibi birtakım tepkimeler meydana gelmektedir [16].

Peletleme tesisi: Peletleme tesisi, sinterleme tesisi ile aynı amaçta çalışır. Buradaki amaç yüksek fırın ünitelerinin performanslarının yükseltilebilmesi yönündedir. Bu işlem esnasında ham maddeler yüksek ısı ile birlikte 9-16 mm kürelere dönüştürülür. Küresel bir form ince taneli cevherlerin topaklanarak tambur, tabla ve kesik konilerle işleme tabi tutulması ile sağlanır [16,17].

Koklaştırma tesisi: Koklaştırma ünitesi, kömürün oksijen olmayan ortamda ortalama 12-24 saat süre içinde 1000-1100°C'ye kadar ısı aktarımıyla gerçekleştirilir. Koklaştırma ünitesi kömürün pirolizi anlamına gelmektedir. Piroliz gerçekleştirilirken kok, değişik türde gazlar, sıvı halde maddeler ve katı durumda kalıntı gibi maddeler ortaya çıkar. Kok metal eriyikte bulunan oksijeni, karbondioksit ortaya çıkararak giderirken, karbon içeriğini direk giderir. Kok metal için önemli indirgenlerden bir tanesidir. İndirgenme için gereken sıcaklığı kokun gazifikasyonu gerçekleştirir [18].

Yüksek fırın (YF): Entegre bir demir-çelik tesisinde yüksek fırınlar, hammaddeler, katkı malzemeleri ve indirgen maddelerin kapalı bir ortamda bulunan fırınlara sürekli beslenmesi prensibi ile çalışır. Bu ünite sonunda pik demir üretimi sağlanır. Yüksek fırınlarda, fırın baca gazının sızmasını önleyen bir mekanizma mevcuttur. Yüksek fırınlarda sıcak hava ile birlikte kok kömürü yakılarak karbon dioksit (CO₂) haline gelir. CO₂ ısı ile birlikte kokla tekrar tepkimeye girerek parçalanır ve karbon monoksit (CO) halini alır. CO, hammaddeler içerisindeki demir oksitleri metal demir haline getirir. Yüksek fırın ünitesi sonucunda yüksek fırın gazı, ergimiş demir ve cüruf ortaya çıkar. Yüksek fırın gazı demir-çelik tesisi içerisinde farklı yerlerde yakıt olarak kullanılır [16].

Yüksek fırın gazının tesisin başka bir bölümünde tekrar yakıt olarak kullanımı hem ekonomik hem de çevre açısından yararlıdır.

Bazık oksijen fırını (BOF): Tesisin en önemli kısımlarından biridir. Proseste çelik üretimi sağlanır. Bu ünitenin başlıca amaçları şu şekildedir;

- Karbon içeriğinin istenilen düzeye indirilmesi (yaklaşık olarak %4-5 karbon seviyesinden, %0,01-0,40 seviyesine düşürmek),
- Yüksek fırından çıkan sıvı sıcak demirin içerisindeki safsızlıkların (karbon, silisyum, mangan, fosfor ve kükürt) yakılması ya da oksitlenmesi,
- İstenilen farklı özellikler için diğer elementlerin eklenmesi.

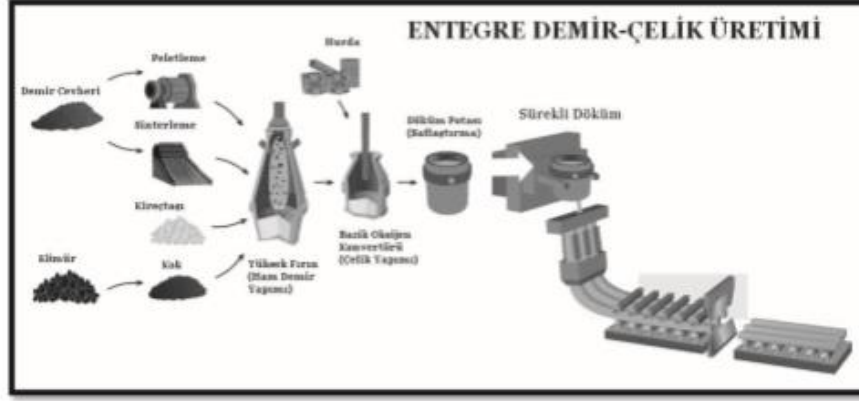
Sıcak metalin prosese verilmesinden önce ön arıtım ile kükürt, fosfor ve silisyumun uzaklaştırılması sağlanır. İkincil arıtım ise BOF'ta yanmanın meydana gelmesi ile birlikte olur [18].

Döküm: İngot ve sürekli olmak üzere iki türde çelik dökümü yapılır. Bunlar şu şekilde gerçekleştirilir;

- **İngot döküm:** İngot döküm işlemi sıvı formdaki çeliğin belirli ölçülerdeki kaplara dökülmesi ve soğutulmasıyla sağlanır. İngot döküm işlemiyle birlikte külçeler halindeki çelik, haddeleme işlemiyle yassı, kaba ve çubuk kütük formlarına dönüştürülür. İngot döküm tercih edilen döküm sistemi olmaktan çıkarak, sürekli döküm sistemine yönelme yaşanmaktadır [16].
- **Sürekli döküm:** Sürekli döküm, ingot dökümün tersine kalıplar kullanılmadan sürekli olarak döküm sağlayan bir sistemdir. Yassı, kaba ve çubuk kütüklerin seri halde dökümü gerçekleştirilir. Bu sayede tesiste enerji kullanımı düşürülerek, emisyon oranlarında azalma sağlanır.

Sürekli döküm sistemi, çalışanların çalışma standartlarını yükselterek önemli miktarda üretim artışını sağlar [16]. Birçok demir-çelik tesisinde kullanılan döküm sistemidir.

Şekil 3.2’de entegre demir-çelik tesisinde üretimdeki tüm aşamalar; sinterleme, peletleme ve koklaştırma tesisleri ile yüksek fırın ve bazık oksijen fırınları da gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Entegre demir-çelik üretim tesisi akım şeması [12]

3.2. EAO ile Demir-Çelik Üretimi

Demir içerikli hurdaların geri kazanımını sağlayan EAO, hurdaları doğrudan eriyik haline dönüştürerek çelik üretimini gerçekleştiren yenilikçi bir sistemdir. AB’de bulunan 25 üye ülkenin çelik üretiminin ortalama %38’i demir içerikli hurdaların EAO ile eritilmesiyle ortaya çıkan çelik üretimini kapsar [18].

Entegre demir-çelik üretim tesislerinde kullanılan bazık oksijen konvertörü ile sıcak metal yerine EAO’da soğuk metal yani hurda çelik kullanılır. Soğuk metal prosese verilirken, indirilen elektrotlardan geçiş sağlayan elektrik ark oluşturarak meydana çıkan ısı ile hurdayı eritir. Eritme ünitesine kimyasal ortam sağlamak amacı ile prosese gerekli görülen başka metal alaşımlar dahil edilir. Ortama oksijen eklenerek çelik saflaştırılır. Entegre demir-çelik üretimindeki yüksek fırınlarda sıvı formda bulunan çelik içinde mevcut olmaması gereken bileşenleri tutmak üzere kireç ilave edilir ve cüruf oluşumu sağlanır. EAO’larda da aynı durum gerçekleştirilir ve cüruf oluşturulur. Eritme ünitesinden çıkan eriyik formdaki çeliğin üzerinden cüruf katmanı alınarak

eriyik bir potaya gönderilir. Son aşama olarak ise eriyik çelik sürekli döküm ünitesine gönderilir [19]. Bu aşamalar Şekil 3.3'te şematik olarak ayrıntılı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. EAO/doğrudan indirgenme ile çelik üretimi akım şeması [12]

EAO iki hareketli elektrot arasında bir elektrik arkının oluşması ile meydana gelmektedir. Bu yöntem, elektrot ile eriyen malzeme arasında oluşan bir ark sayesinde ertitme fırınlarında kullanılmaktadır.

Eğer bir elektrik kaynağına bağlanan iki elektrot birbirleri ile temas içinde bulunup ve daha sonra ayrı ayrı hareket ederlerse, aralarında bir elektrik arki oluşmaktadır. Elektrotların daha fazla hareket etmesi temas noktalarındaki direnci artırır, bu nedenle artan güç temas serbestliğini başlatır ve sıcaklık yüksek bir değere çıkar.

EAO'larda alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) arklar kullanılabilir ve ark voltajının ani düşüşü düşük oranlarda olduğundan gerekli sıcaklığı meydana getirmek için çok yüksek akımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Elektrotlar, ark fırınlarında ertitilen malzemelerin ertitme aralıklarında elektrik akımının iletilmesini sağlar. Genellikle düşük elektrik kayıplarına ve yüksek akım yoğunluklarına sahip olduklarından, EAO'larda karbon ve grafit elektrotlar kullanılmaktadır.

Genel olarak modern EAO'lar her ertitme işleminde 150 ton malzeme ertitebilirler ve bu işlem de 90 dakika alır.

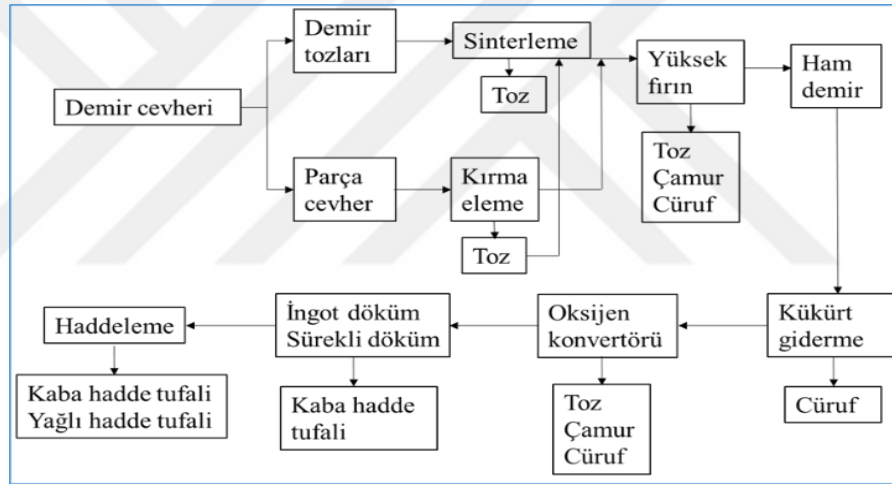
Diğer ısıtma tekniklerine kıyasla EAO'ların önemli avantajları bulunmaktadır. Elektrik fırınlarının diğerlerine nazaran daha verimli çalışmasının sebeplerinden bazıları; kontrollerinin daha düzenli ve basit olması ve ergitilen malzemenin kirlilik oranının düşük oluşmasıdır. Isı doğrudan istenilen konuma verilebilir. Fırın ısısının güvenlik denetimi, elektrik ısısının dereceli ve sürekli kontrolü ile sağlanabilir. Elektrik fırınları, ısı oluşumunda malzeme içindeki safsızlıkların, yani istenmeyen kirletici bileşenlerin üretim alaşımına karışmasına sebep olmaz. Sonuç olarak ısının, vakum ya da koruyucu gaz ortamında oluşması kolaylıkla sağlanabilir. Bütün bu avantajlar, uygun bir gücün ayarlanması ve doğru bir kontrolün sağlanması ile elektrik fırınlarının kullanımındaki artışın nedenlerini açıkça ortaya koymaktadır [20].



BÖLÜM 4

DEMİR-ÇELİK ÜRETİM ATIKLARI

Dünya genelinde demir-çelik üretimi gerçekleştiren tesisler üretim aşamasında ton çelik başına 400 kg'ı geçen çeşitli katı atıklar meydana getirmektedirler. Oluşan katı atıkların içerisinde %70-80'lik bir oranla en fazla ortaya çıkan ise cüruftur [1]. Diğer oluşan katı atık türleri ise yüksek fırın toz ve çamurları, sinter fabrikalarının tozları, çelikhane toz ve çamurları, pota metalürji tesisleri tozları, yağlı tufaller, haddehane tufalleri ve ark ocağı tozlarıdır. Genel anlamda bu atıklar tozlar, çamurlar ve tufaller biçiminde 3 ana başlık altında toplanır (Şekil 4.1) [8].



Şekil 4.1. Entegre demir-çelik tesislerinden ortaya çıkan atık türleri [21]

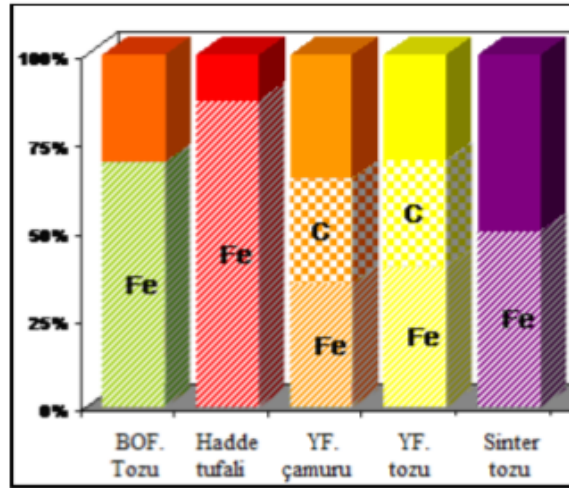
Demir-çelik tesislerinde oluşan katı atıkların büyük bir kısmını oluşturan cürufların dışında kalan, içerisinde demir ve karbon bulunduran ve değerli atık olarak nitelendirilen atıkların en önemlileri şunlardır [22]:

- Yüksek fırın toz ve çamurları
- Sinter fabrikaları tozları
- Çelikhane toz ve çamurları
- Pota metalürji tesisleri tozları
- Yağlı tufaller

- Haddehane tufalleri
- Ark ocağı tozları

Yan ürün atık oksitler; toz, cüruf, çamur ve yağlı/yağsız tufaller olarak gruplara ayrılır. Bu toz, çamur ve tufaller ekonomik getirisi olan atıklardır. İçeriklerinde demir oksit ve karbon gibi önemli bileşikler mevcuttur. Çoğunlukla bu atıkların geri dönüşümü elek analizi ve kimyasal analizi yapıldıktan sonra sinter ünitesinden geçerek yüksek fırınlarda sağlanır. Yan ürün oksitlerin geri dönüşümünün birtakım dezavantajları vardır [23,24].

Şekil 4.2’de çelik üretiminde ortaya çıkan atıklardaki potansiyel kullanılabilir demir ve karbon miktarları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



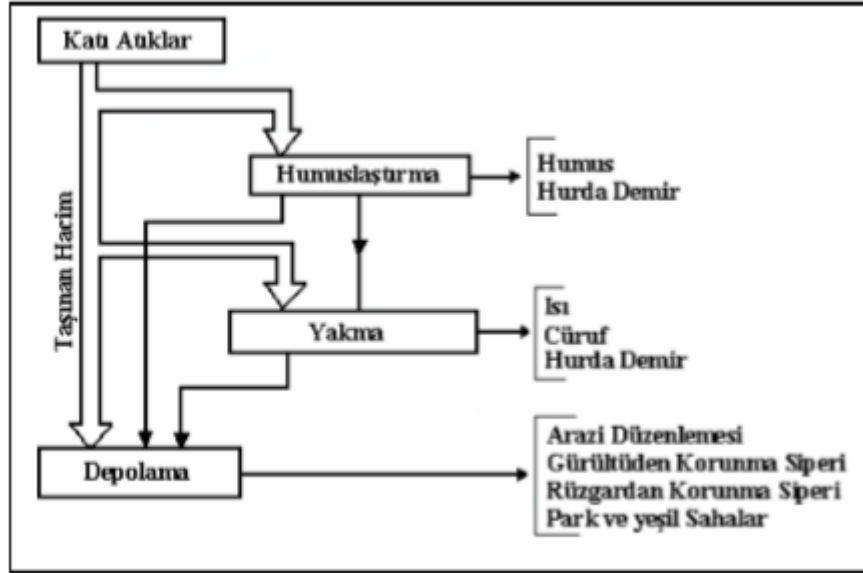
Şekil 4.2. İçinde demir içeren demir-çelik atıklarının kullanılabilir demir potansiyeli[25]

Demir-çelik sektöründe katı atıkların uygun şekilde geri dönüşümü ve bertarafı sağlanmadığında büyük sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Katı atıkların sinter ünitesinde geri dönüştürülmesine engel olan birkaç etken vardır. Bunlar atıkların kimyasal içeriklerindeki safsızlıkların yüksek olması ve çok ince yapıda olmalarıdır. Demir-çelik tesislerinden kaynaklanan atıkların doğaya gelişigüzel bırakılması ve belirli bir bölgede atıl durumda bekletilmesi çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Tesislerden çıkan katı atıklarda toksik özelliği yüksek ağır metal ve bileşenleri bulunduğu için, biriktirilen

sahalarda yağmur ve kar etkisiyle hem yeraltı sularına karışmakta, hem de etrafında bulunan içme suyu olarak kullanılabilir kaynakları kirletmektedir. Ayrıca bu durum bitki örtüsüne zarar vererek, tabiatı bozarak hayvan ve insan sağlığını da kötü yönde etkilemektedir [26,24]. Oluşan atıkların geri dönüşümü sağlanmadığında tesislerin içerisinde büyük atık tepeleri oluşmaktadır. Belirli bir zaman sonra tesis içine sığmayan katı atıklar, tesislere büyük bir ekonomik zarar vererek taşıma ve nakliye giderleri çıkarmaktadır. Asıl çözüm, katı atıkları başka bir alana taşımak olmamalı, oluşan atıkları yerinde geri dönüşüme almak ve sektör açısından maddi bir yükü ortadan kaldırmak olmalıdır [23].

Ağır sanayi olan demir-çelik sektörü üretim esnasında atık oluşumu kaçınılmaz olan bir sektördür. Bu tarz sektörlerde atıkların geri kazanılması, tekrar kullanımı ve ikincil hammadde olarak değerlendirilmesi gereklidir. Oluşan atıkları enerji kaynağı olarak kullanmak da mümkün olabilir [27].

Şekil 4.3'te demir-çelik tesislerinden kaynaklanan metalürjik nitelikteki katı atıkların tasfiyesi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Metalürjik katı atıkların tasfiyesi [26]

4.1. Cüruf

4.1.1. Cüruf oluşumu

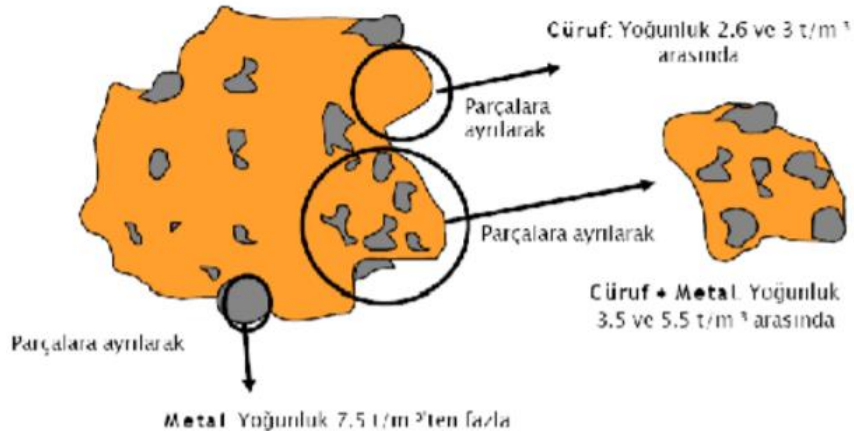
İçerisinde yüksek seviyede C, Si, P ve S bulunduran pik demir, sert ve kırılğan bir yapıdadır. Bu pik demir, çelikhane sıcak metal (sıcak metal) içindeki istenmeyen bileşiklerin oksitlenmesi sonucu daha kolay işlenebilen çelik formuna dönüşür ve sert ve kırılğan yapısı kaybolur. Bu işlem için öncelikle çelikhane konvertörüne sıcak metal ve hurda eklenirken, bunlara ilave olarak sönmüş kireç (CaO), kireçtaşı (CaCO₃), dolomit [CaMg(CO₃)₂] gibi maddeler de ilave edilir. Karışıma oksijen üflenerek çelik içerisindeki istenmeyen maddeler uzaklaştırılır. CaO, CaCO₃ ve CaMg(CO₃)₂ gibi maddeler cüruf yapıcı flaks malzemeler olarak bilinir. Oksitlenme sonucu, oksitler flaks malzemelerle bir araya gelerek eriyik durumdaki cürufu meydana getirirler. Oksitler konvertör içerisinde yoğunluk farkı nedeniyle sıvı çeliğin üst kısmında bulunurlar. Bu işlem sırasında pik demir içerisinde bulunan demir de oksitlenerek demir oksit formuna dönüşür ve cürufu birleşerek cürufa akıcılık özelliği kazandırır. Demir-çelik üretimindeki üretilen çeliğin kalite seviyesi oluşan cürufun kalite seviyesiyle aynı orandadır [28].

BOF'ta çeliğin türüne, işletme şekline ve konvertöre eklenen hammaddeye göre cürufun kimyasal özelliği ve miktarı ayarlanır. BOF'larda sıcak metalin yüksek fosforlu olması durumunda %8-12 oranında SiO₂ mevcutken, düşük fosforlu sıcak metal bulunduğunda SiO₂ oranı %15-20 civarında bulunur. Düşük fosforlu sıcak metallerde silisyum oranı yüksek olduğundan işlem esnasında daha fazla yanmış kireç kullanılır. Cüruf içerisinde bulunan MnO miktarının artışı ise akışkan kıvamlı bir cüruf ortaya çıkarır. Akışkan kıvam cüruf hacmini artırır ve bunun sonucu olarak fırının verimliliğini etkilerken fırında taşmalar meydana getirir. Mangan miktarının artışı bu tarz sorunlar meydana getirirken, az olması durumu ise metal banyosundan sıçrayan partiküllerin oksijen lansına yapışmasına neden olur. BOF'larda bulunan fosfor miktarının %90'ı, mangan miktarının ise %80'i oksitlenir ve cürufa geçer [28].

Çelik üretiminde ve tepkimelerde, cürufta bulunan iki özelliğe dikkat edilmelidir:

- **Baziklik:** BOF'ta öncelikli olarak düşük fosforlu sıcak metal kullanıldığı için baziklik oranını en az %3,5 seviyesinde tutarak, fosfor ve kükürt giderimi sağlanmalıdır.
- **Cüruf oksitlenme düzeyi:** Cürufta bulunan FeO miktarı çelik üretimi için önemli bir faktördür. FeO miktarındaki artış fazla olduğunda konvertör astarında aşınma meydana getirebilir. Artış konvertöre yüksekten oksijen üflenmesi durumunda ortaya çıkar [28].

Demir-çelik üretiminde 1 ton ürün başına oluşan cürufların ortalama 250-300 kg'ını yüksek fırın cürufu, 100-150 kg'ını ise çelikhane cürufu meydana getirir. Tesislerde toplamda ton başına ortalama 400 kg'ı bulan bir cüruf oluşur. Pik demirdeki safsızlığın oksitlenmesi sırasında çelikhane cürufları meydana gelir. Oluşan çelikhane cürufları aynı karakteristik yapıda olup tesislerin işletme şekillerine göre değişiklik gösterirler. Demir-çelik üretimi esnasında meydana gelen bu cüruflar sektörde yan ürün olarak değerlendirilir [29].



Şekil 4.4. Cüruf ve metal resimleri [30]

Pirometalürjik süreçlerde fazla miktarlarda cüruf oluşur. Geri kazanımı sağlanmadığı ve kullanılmadıkları zaman tesiste birikerek düzenli depolama sahaları ihtiyacı doğurur ve bertaraf için mali yük oluşturur. Oluşan atık yığınları hava kirliliği, su kirliliği ve toprak kirliliği yaratarak insan, doğa ve hayvan sağlığını ciddi anlamda tehlikeye sokar [31].

Metal endüstrisinden kaynaklanan farklı türde cürufların birleşimi ile güçlü yapıda dayanıklı ve sağlam bir malzeme oluşur. Bu malzemeleri cürufların karakteristik özelliklerine göre sektörün farklı bölümlerinde yeniden kullanmak mümkündür. Özellikle asfalt yüzey malzemesi ve yol yüzey malzemesi olarak uygun bir agrega oluşturan cüruflar, ikincil hammadde görevi görerek atık olarak değerlendirilmekten çıkmaktadır. İkincil hammadde olarak endüstri uygulamalarında ve metalürjik proseslerde sıkça görmek mümkündür. Cürufların kullanımında özellikle bileşimleri, soğutma hızları ve bileşenleri önemli kriter olarak görülmektedir. Sektör bu kadar fazla miktarda çıkan atığı farklı tesislere ikincil hammadde olarak verilmesiyle bertaraf ve depolama yükünü azaltmıştır [31].

Değişik mikro yapıda ve minerolojik karışımda olan cürufların birçok farklı özellikleri bulunmaktadır. Bu farklı özelliklerinden dolayı farklı üretim alanlarında da kendini göstermektedir. Cüruf, kristal cam malzeme ve duvar/yer karolarının üretiminde kullanılan bir ikincil hammadDEDİR. Kimyasal özelliklerinin uygun ve düşük maliyetli olması, seramik sektöründe bakır cürufu, silisyumlu mangan cürufu ve demir-çelik cürufunun kullanımını artırarak, atık azaltılması yönünde etkili olmaktadır [32].

Demir-çelik tesislerinde oluşan yan ürünlerin geri kazanımı ve yeniden kullanımı Dünya Çelik Örgütü tarafından sıfır atığa ulaşmanın en iyi yolu olarak değerlendirilmiştir. Çevresel ve ekonomik getiri sağlayan cürufun geri dönüşümü tesise enerji tasarrufu sağlarken, bertaraf maliyetini ve atığı azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca tesislerdeki fırınların ömrünü uzatarak sektöre büyük kazançlar sağlamaktadır [33].

Geri dönüştürülen cüruf kullanılmadan önce içerik bileşimi iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Çünkü cüruf kendi içerisinde çevreye zararlı maddeleri

barındırabilmektedir. Tesisler ortaya çıkan cürufları orman alanları, maden sahaları gibi ortamlara yığarak biriktirmiş, bazı zamanlarda ise doğrudan nehir ve göllerin yakınlıklarına bırakarak olumsuz çevresel etkilere neden olmuşlardır. Oluşan yığınların büyüklük ve özellikleri değişkenlik gösterirken, dünyada yılda 50-66 Mt arası demir olmayan cüruf olduğu varsayılmaktadır. Demir olmayan cüruflar toksisite ve çevresel tehlikelerden dolayı ikincil yapı malzemesi olarak daha az tercih edilmektedir [34].

Depolama alanlarında bekletilen cüruf yığınları yağmur ve kar sularıyla birlikte reaksiyona girerek çevre kirliliğine yol açmaktadır. İncelemeler sonucunda cürufun yapısı gereği zamanla aşınma gösterdiği belirtilmiş ve bu aşınmayla birlikte metal ve sülfür fazlarının çözünmesi gözlenmiştir. Aşınma daha çok cüruf yığınları içerisinde meydana gelmektedir [34].

Biyojeokimyasal prosesler metallerin yüzey sularına aktarılmasıyla oluşur. Bu prosesler çevresel etki oluşturabilecek niteliktedir. Sedimanlarda metali tutabilmek amacıyla yıllardır çöktürme ve flokülasyon reaksiyonları kullanılmıştır. Floklara, koloidal maddelere ve partiküllere suda bulanık askıdaki metaller yapışabilmektedir [35].

Atık cüruflar yol yapımında kullanılırken, malzeme içerisinde var olan organik ve inorganik tehlikeli maddelerin yağmur ve kar sularıyla içme suyu ve yeraltı sularına sızması durumu dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Yeraltı sularına karışması durumunda kirleticiler çevre için büyük sorunlara neden olabilmektedir [36].

Demir-çelik sektörü için atıkların büyük bir bölümünü oluşturan cürufların kaynak verimliliğini sağlamak amacıyla geri dönüşümü gerekmektedir. Dünyada son yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte entegre demir-çelik tesisleri yüksek fırınlarda oluşan cüruflar, 2007 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan “Atık ve Yan Ürünlerin Tanımlanmasına Yönelik Tebliğ” ile birlikte atık olmaktan çıkarılmış ve yan ürün olarak sınıflandırılmıştır [37].

Yan ürün olarak değerlendirmeye alınan yüksek fırın cüruflarının ekonomiye kazandırılması için gelişmiş ülkelerde yasal prosedürler hafifletilerek izin süreçleri kolaylaştırılmıştır [37].

Bakanlık lisanslı bir cüruf depolama tesisi Kocaeli’de bulunmaktadır. Cürufların büz boru üretimi, parke taşı, agrega için geri dönüşümünü sağlayan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan lisanslı bir tesis ise İzmir’de faaliyet göstermektedir [38].

İnşaat faaliyetleri için ülkemizde ortalama sayısı bini bulan taş ocağının agrega üretmek için çalıştırıldığı belirtilmektedir. Cürufların yan ürün olarak sınıflandırılmasıyla birlikte doğal agregaların yerini cüruf yan ürünleri olarak hammaddeler korunmuş ve atık maddelerin azaltılması sağlanmıştır. Atık malzemelerin azalmasıyla birlikte ekonomik ve çevresel bir kazanım sağlanmıştır [39].

Cürufun geçmiş yıllardaki araştırmalar neticesinde 1880 yılında fosfat gübresi olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Önemli bir kısmı çelikhane ve yüksek fırınlardan sağlanan cürufun verimli bir şekilde kullanımının incelemeleri uzun süredir devam etmektedir [40].

4.1.2. Cürufun Özellikleri

4.1.2.1. Cürufun kimyasal özellikleri

Çelikhanelerden elde edilen cürufların içinde yüksek miktarda CaO bulunurken, çok az miktarda da P₂O₅ içermektedir. Ortalamaları eşit seviyelerde bulunan SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, FeO gibi bileşenleri de içerisinde bulundurmaktadır. Tablo 4.1’de cüruf içerisinde bulunan bileşiklerin yaklaşık oranları gösterilmektedir.

BOF’larda çelikhane cürufu yan ürün olarak meydana gelmektedir. Konvertöre şarj edilen hurda, sıcak maden ve cüruf yapıcılara bir lans yardımıyla yüksek basınçta oksijen üflenir. Yüksek basınçta üflenen oksijen empüterlere yapışarak birleşmektedir. Empüter olarak nitelendirilen maddeler karbon (CO gazı olarak), Si, Mn, P ve Fe gibi

bileşenlerden oluşmaktadır. Meydana gelen oksitlerden sıvı formda olanlar kireç ve dolomitik kireç ile karışarak cürufu ortaya çıkarmaktadır. Süreç sonunda ise sıvı formdaki çelik potalara dökülür ve meydana gelen cüruf sıvı halde ortalama 1100–1500°C’de olan özel cüruf potalarına aktarılarak stok sahalarında soğuması sağlanır. Demir-çelik üretiminde 1 ton çelik üretilirken ortalama 100–150 kg (%10–15) cüruf meydana gelmektedir [32].

Tablo 3.1. Cüruf içinde bulunan bileşikler [31]

Bileşen	Oran (%)
CaO	45-60
SiO ₂	10-15
Al ₂ O ₃	1-5
MgO	3-13
Fe ₂ O ₃	3-9
FeO	7-20
P ₂ O ₅	1-4

4.1.2.2. Cürufun mineralojik özellikleri

Çelikhane cürufunun mineralojik bileşenleri; hammadde içeriğine, proseste kullanılan ısı miktarına ve cürufun kimyasal değişimine göre farklılık gösterebilmektedir. Çelikhane cürufları öncelikle; olivin, mervinit, 3CaO·SiO₂ (C₃S), 2CaO·SiO₂ (C₂S), 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ (C₄AF), 2CaO·Fe₂O₃ (C₂F) mineralleri ile RO fazı (CaO-FeO-MnO-MgO katı çözültisi) ve serbest CaO-MgO gibi bileşenleri kapsamaktadır. Tablo 4.2’de farklı çelikhane cüruflarının çoğunlukla oluşumu incelenen fazları gösterilmektedir [33].

4.1.3. Metalürjik cüruf çeşitleri

4.1.3.1. Çelik üretimi

Dünya genelinde çelik üretimi iki farklı biçimde gerçekleştirilmektedir [41]:

1. **Entegre demir-çelik tesisleri:** Demir cevherini kullanılarak yüksek ısılı kömür ile yüksek fırınlarda sıvı çelik elde edilir.
2. **EAO demir-çelik tesisleri:** Çelik hurdaları ark ocaklarında eriterek sıvı çelik elde edilir.

Tablo 4.2. Cürufun içerdiği bileşikler [33]

Bileşik	Kimyasal Formülü	Kısaltma
Mervinit	3CaO-MgO-2SiO ₂	C ₃ MS ₂
Alit	3CaO-SiO ₂	C ₃ S
Belit	2CaO-SiO ₂	C ₂ S
Rankinit	3CaO-2SiO ₂	C ₃ S ₂
Vollastonit	CaO-SiO ₂	CS
Diopsit	CaO-MgO-2SiO ₂	CMS ₂
Montiselit	CaO-MgO-SiO ₂	CMS
Tetrakalsiyum alüminoferrit	4CaO- Al ₂ O ₃ - Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
Kalsiyum alüminat	CaO-Al ₂ O ₃	CA
Kalsiyum ferrit	CaO-Fe ₂ O ₃	CF
Forsterit	2MgO-SiO ₂	M ₂ S
Sülfürlü mineraller	CaS, MnS, FeS	-
RO fazı	FeO-MnO-CaO-MgO	RO
Kireç	CaO	-
Periklaz	MgO	-
Diğer	FeO, Fe ₂ O ₃	-

Dünyada genellikle entegre tesisler kullanılarak demir-çelik üretimi yapılırken, ülkemizde daha çok EAO tesisler bulunmaktadır.

Hurda malzemelerin çelik üretiminde kullanılması, dünyada demir mineralleri içerisinde değerli metal miktarının nitelik ve nicelik bakımından azalması ile birlikte artmaya başlamıştır [41].

Hurdadan çelik üretimi gerçekleştiren EAO tesislerde yaklaşık %90 ile oldukça yüksek verim elde edilmektedir. Entegre demir-çelik tesislerindeki verim ise ortalama %50 olarak belirtilmektedir. Bu durumdan dolayı EAO demir-çelik tesislerinin sayısında artış olacağı öngörülmektedir [41].

Yıllık çelik üretimi AB’de yaklaşık 170 Mt iken, ülkemizde tam kapasitede 50 Mt olarak hesaplanmıştır. Çelik üretimi sırasında toplam çeliğin %15-20’si oranında cüruf açığa çıkmaktadır. Bu durumda AB’de yılda 30 Mt, Türkiye’de ise 9 Mt cüruf açığa çıktığı hesaplanabilir. Dünyada çelik üretiminin ve bununla bağlantılı olarak cüruf miktarının artış göstereceği öngörülmekte olup, cüruf için farklı uygulamalar gerektiği belirtilmektedir [39].

4.1.3.2. Yüksek fırın cürufları

Demir-çelik sektöründe meydana gelen yüksek fırın cürufları yan ürün niteliğindedir. Demir cevheri, kok, kireç vb. maddelerin 1450–1550°C arasındaki sıcaklıkta indirgenmesi sonucu yüksek fırın cürufu oluşmaktadır. Hammadde yükleme ve ergitme uygulamalarına bağlı olarak cürufun kimyasal bileşenleri değişiklik gösterebilmektedir. Cüruf miktarı kullanılan malzemeyle, örneğin demir cevherinin kalitesi ile son derece bağlantılı olup, üretilen sıcak metalin tonu başına 200–600 kg kadar olabilir. Oluşan cüruf, ağırlık bakımından ortalama %35-42 CaO, %8-9 MgO, %0.3-1.0 MnO, %35-40 SiO₂, %8-15 Al₂O₃ ve %0.7-1.5 S içerir [31].

Yüksek fırın cürufları düşük demir içeriğinden dolayı geri dönüştürülmemektedir. Bu cüruflardan genellikle metal geri kazanımı sağlanmaktadır [40].

Yol temel ve alt hammaddesi, kaymayı azaltıcı agrega olarak karlanma ve buz tutma durumlarını kontrol etme, beton yol agregası, demiryolu balastı olarak, zemin rehabilitasyon malzemesi, asfalt betonu agregası ve yapısal dolgu malzemesi olarak kullanım, soğumuş haldeki yüksek fırın cüruflarının kullanım alanlarıdır. Yüksek fırın cüruflarının bağlayıcılık özelliği kazanabilmesi için Portland çimentosu ile beraber kullanılması gerekmektedir. Betonun mekanik ve fiziksel özelliğini güçlendiren yüksek fırın cürufu inşaat sektörüne olumlu katkı sağlamaktadır [31].

Ülkemizde oluşan atık malzemelerin birçoğu yan ürün olarak oluşmaktadır. Bu yan ürünlerin başında yüksek fırın cürufu gelmektedir. Yüksek fırın cürufu miktar olarak

üretimi fazla olan atıklardandır. Tekrar kullanım kolaylığı ve direnç artırıcı özelliğinden dolayı beton üretiminde sıkça kullanılan bir yan üründür [42].

Saldığı CO₂ emisyonu ve devamlı olarak taş ocaklarından kil ve kireçtaşı çıkaran çimento endüstrisi çevre kirliliğine neden olan bir sektördür. Bu kirliliği önleme amaçlı geniş çaplı araştırma ve inceleme yapan araştırmacılar bir çözüm olarak inorganik yapıdaki alümina-silikat polimerinin büyümesiyle polimerik çimentoların sektörde kullanılabilirliğini bulmuşlardır. Yan ürünlerle reaksiyona giren alkali sıvı bu tür çimentoları oluşturmaktadır. Hammaddeler kimyasal içerikleri korunarak alkali sıvı ile aktive edilerek, değişik mikro boyutlarda reaksiyon ürünleri elde edilmektedir [43].

Aktivasyon sonrasında oluşan temel ürünün hidratize kalsiyum olduğu belirtilmektedir. Yan ürün olan uçucu külün reaksiyonunda ise amorf yapıdaki inorganik polimer ürün olarak ortaya çıkar. Amorf yapıdaki inorganik polimer ürün alüminosilikat zincirleriyle oluşturulur [44].

4.1.3.3. Çelik cürüfları

Çelik cürufu olarak adlandırılan cüruf, BOF cürufu ve EAO cüruflarını kapsamaktadır [49]. Demirden çelik elde edilirken yan ürün olarak meydana çıkan çelik cürufunun, besleme malzemeleri ve ergitme koşulları farklıdır. Kimyasal ve mineral bileşimleri değişkenlik gösterir. Yükseltgenme (oksidasyon) prosesleri ile oluşan çelikhane ve EAO fırın cürufları önemli bileşenleri içerisinde barındırır [30]. BOF ve EAO fırınlardan oluşan çelik cürufları temel olarak MgO, FeO, SiO₂, Fe₂O₃, CaO, MnO ve P₂O₅ gibi oksitlerden oluşmaktadır. Kullanılan fırın tipi ve ön uygulama aşamalarına göre çelik cürufunun kimyasal içeriği değişkenlik gösterir. Tablo 4.3'te BOF ve EAO cüruflarının kimyasal içeriği gösterilmektedir [45].

Tablo 4.3. BOF ile EAO cürufunun kimyasal bileşiminin karşılaştırılması [45]

Oksitler (%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅
BOF Cürufu	45-60	10-15	1-5	3-9	7-20	3-13	2-6	1-4
EAO Cürufu	30-50	11-20	10-18	5-6	8-22	8-13	5-10	2-5

Hammadde ikinci kaynağı olan çelik cürufu doğrudan sinterleştirmede, çelik üretiminde ve akı olarak kullanılır. Bu sayede yararlı bileşenleri geri kazanmak mümkün olur. Çelik cürufunun kullanım alanları arasında kaldırım malzemesi, mühendislik malzemesi ve yapı malzemesi olarak kullanımı görülmektedir [31].

Katılaştırılıp soğutulması sağlanan EAO fırın cürufunun çok basamaklı parçalama ünitesinde kaba ve ince partiküllerinin parçalanması sağlanır. Parçalama basamaklarından sonra partiküllerin metal kısmı elektromanyetik ile uzaklaştırılır. Bu işlemden sonra meydana çıkan cüruf yapay taş olarak nitelendirilmektedir [46]. Çelik üretim proseslerinde elektrik ark fırın cürufları her basamakta farklı türde oluşmaktadır. Farklı türde oluşan cürufların metalik demir kapasitelerinin demir içerikleri de farklılık gösterir [47].

pH aralığı 8-10 olan çelik cürufu orta seviyede alkalidir. Çelik cürufunun korozif etki göstermesi pH'nın 11 seviyelerini geçmesiyle oluşur. Bu durum çelik cürufunun sızıntı suyunda görülür. Doğrudan cürufla temas eden alüminyum ve galvaniz borulara etki eder [48].

Su ve atmosferle karşılaşan çelik cürufu agregaları tufa biçiminde çökelekler meydana getirir. Toz halinde bulanana tufa beyaz, CaCO_3 içeren bir yapıdadır. Bu çökelekler tabiatta oluşur ve özellikle su yapılarında görülmektedir. Ca(OH)_2 oluşturmak üzere çelik cüruflarındaki kireç ve su birleşir. Oluşan tufa çökeleklerinin kaldırım sistemlerinde tıkanmalar meydana getirdiği belirtilmiştir [48].

Genleşmeye meyilli olan çelik cürufu agregaları reaksiyona katılmayan serbest haldeki kireç ve magnezyum oksitlerin bulunmasından dolayı ve hidratize olarak nemli ortamlarda genleşme gösterebilmektedirler. Meydana gelen bu genleşme çelik cürufu bulunduran ürünlerde bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Genleşme ihtimalinden dolayı çelik cürufu agregalarının Portland çimentosu üretiminde kullanılmaması önerilmektedir [48].

Çelik cürufu agrega olarak kullanım için depolandığı alanda aylarca neme veya suya nüfuz edecek şekilde biriktirilmelidir. Bu şekilde biriktirmenin amacı ortamda hidratasyon sağlayarak agrega kullanımı için malzemenin genişmesine katkı sağlamaktadır. Bu genişleme süresi oksitlerin hidratize olmaları için bazı durumlarda 18 ayı bulabilmektedir [48].

Cüruflar atıksu arıtma tesisleri ve katı atık bertaraf tesisleri gibi alanlarda kullanılabilir. Çevre yatırımlarına büyük katkı sağlayan cüruflar bu neticede atık olmaktan çıkarak doğal kaynak kullanımını azaltmaktadır. Demir-çelik tesislerinden kaynaklanan çelik cüruflarının arıtma uygulamalarında kullanılabilirliği araştırılmaktadır [49].

Gözenekli yapı ve büyük yüzey alanı oluşturan çelik cürufu, yoğunluğu yüksek olduğundan sudan ayrımı kolaydır. Cıva bulduran deniz suyunun çelik cürufu ile arıtma uygulamalarında yüksek adsorpsiyon kapasitesi bulunduğu belirtilmiştir. Sulu ortamlarda arsenik giderim veriminin çelik cürufu kullanılmasıyla %95-100 olduğu vurgulanmıştır [45].

Atıksudan fosfat adsorpsiyonunu sağlayan çelik cürufunun bu uygulamada önemli bir eleman olduğu yapılan çalışmalarla gözlemlenmiştir. Birçok cüruf içerdiği yüksek pH değerinden dolayı atıksu arıtımında kısıtlı bir kullanım alanına sahiptir. Yapay sulak alanlarda fosfat gideriminde aniden soğutulmuş BOF cürufunun filtre malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir [50].

İklim değişikliğine önemli derecede etkisi olan sera gazlarından biri olan CO₂ azaltma teknikleri, depolanması ve tutulması için bazı araştırmalar yapılmıştır. Fazla miktarda CaO bulduran çelik cürufu çamuru kullanılarak orta derece sıcaklık şartlarında CO₂'i karbonatlar halinde depolamanın mümkün olduğu tespit edilmiştir [45].

Islak proses, yarı kuru proses ve kuru prosten oluşan baca gazı desülfürizasyonu metodunda fazla miktarda CaO içerdiğinden dolayı çelik cürufu kullanılmaktadır. En fazla tercih edilen metotların başında ise ıslak kireç taşı/kireç metodu gelmektedir. Islak

desülfürizasyonda çelik cürufu kullanılmasıyla birlikte giderim oranı %60'ı geçmektedir [45].

Heterojen katalizör olarak kullanılan demir oksitlerin yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri yüksektir. Bunun yanında aktif radikaller oluşturmaktadırlar. Maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), magnetit (Fe_3O_4), goethit ($\alpha\text{-FeOOH}$) ve hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) bileşenleri elektrik ark fırınlarında oluşan farklı metal oksitlerdir. Demir oksit ve farklı geçiş metalleri birleşimi sonucunda potansiyel Fenton foto katalizörü meydana gelmektedir [51].

Dünya genelinde yapılan çalışmalara göre çelikhane cürufunun demir ve kara yollarında balast malzemesi veya temel ve temel altı malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Bunun yanında buzlanma sırasında yaşanan kaymayı engelleyici kum ve deniz dolgularında kullanılabileceği de belirtilmiştir [41].

Tersanelerdeki gemi üretiminde de kullanılan cüruf, 0.4-1.8 mm parça iriliğinde aşındırıcı raspa malzemesi olarak kullanılmaktadır. Üretim esnasında boyadan önce yüzey hazırlama aşamasında cüruf tanecikleri grit olarak kullanılmaktadır. Cüruf griti kum yerine tercih edilmektedir. Bunun nedeni kum kullanıldığında işçilerde sağlık problemlerine yol açmasıdır [41].

4.1.3.4. Ferrokrom cürufları

Ferrokrom üretimi sağlayan tesislerin, elektrik ark fırınlarındaki fiziko-kimyasal proseslerden meydana gelen ferrokrom cürufları kristal yapıda olup kendiliğinden havada soğuması beklendiğinden dolayı aktif durumda değildir. Ferrokrom cürufu bu sebeple “Havada Soğutulmuş Elektrik Ark Fırını Cürufu” olarak isimlendirilmektedir. Mekanik özelliği yüksek olan ferrokrom cürufları genellikle agrega olarak kullanılmaktadır [36].

Ferrokrom cüruf miktarı son zamanlarda ferrokrom üretiminin artmasından dolayı artış göstermiştir. Bu cürufun dünya genelinde ortalama 12-16 milyon ton/yıl miktarında

oluştugu bilinmektedir. Ferrokrom üretimi yapan tesisler, oluşan fazla miktardaki ferrokrom cüruflarının geri kazanımı ve verimli kullanımı konusunda sorun yaşamaktadırlar. Tesisler genelde ferrokrom cüruflarının büyük bir kısmını düzenli depolama sahalarında depolamakta veya uygunsuz bir şekilde atmaktadırlar [52].

Yüksek karbon bulunduran ferrokrom üretimi esnasında oluşan ferrokrom cürufu atık olarak nitelendirilmektedir. Isı izolasyonu sağlayan yapı malzemesi meydana getiren iki bileşen olan ferrokrom cüruf ve zeolitin sektörde kullanımı uygun görülmektedir [53].

4.1.3.5. Ferronikel cürufları

Endüstriyel bir atık olan ferronikel cürufları paslanmaz çelik ve nikel alaşımları oluşumunda meydana gelmektedir. Ferronikel cürufu kendi içerisinde elektrik ark fırın cürufu ve yüksek fırın cürufu olmak üzere ikiye ayrılır. Bu kategori oluşumu hammadde ve üretim tekniklerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. En yüksek üretimlerden birine sahip olan Çin'de yaklaşık 30 milyon ton ferronikel cürufu meydana gelmektedir. Ferronikel cürufun kullanım alanlarına yönelik çalışmalar beton, inorganik polimer ve cam endüstrisinde devam etmektedir [54].

4.1.3.6. Bakır cürufları

Sülfürlü bakır cevherlerinden pirometalürjik teknikle bakır üretimi sırasında katı yan ürün olarak bakır cürufu meydana gelir. Bakır üretimi sırasında her bir ton bakır için 2.5 ton bakır cürufu ortaya çıkarmaktadır. Bakır cürufunun dünya çapında oluşum miktarlarına bakıldığında; yılda ABD'de 4 Mt, Japonya'da 2 Mt, Brezilya'da 360 bin ton ve İran'da 244 bin ton olduğu belirtilmektedir [55]. Siyah renkli ve cam görünümünde olan bakır cüruflarının kimyasal bileşenleri bazı etkenlere göre değişiklik göstermektedir. Bu etkenler işletme şartları, fırın türü, üretim süreçleri ve cevher özelliğidir [56,57].

Portland çimentosu, çimento klinkerinin alçıtaşı ile öğütülerek, 1500°C'de kalsinasyon ve hammaddelerin öğütülmesiyle meydana gelmektedir. Çimento üretimi sırasında

belirli bir enerji girişi sağlanmaktadır. Bu enerji bir ton imento için 5.06 milyon Kj'dur. Yoğun bir enerji girişi gerektiğinden bu işlem oldukça maliyetlidir ve yüksek miktarda CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır [57].

4.1.3.7. Alüminyum cürufları

Metalik alüminyum üretimi iki şekilde gerçekleşmektedir [58].

1. Boksit cevherlerinden "birincil alüminyum retimi",
2. Hurdalardan "ikincil alüminyum retimi".

Alüminyum cürufları beyaz ve siyah cüruf olarak isimlendirilmektedir. Bu cüruf çeşidi birincil ve ikincil alüminyum üretimi sonucunda meydana gelen atıklardan oluşmaktadır. İçerdiği alüminyum miktarına göre sınıflandırılan alüminyum cüruflarından beyaz cüruf daha çok miktarda alüminyum içermektedir. Beyaz cüruflar %15-70 aralığında, siyah cüruflar ise %12-18 aralığında alüminyum metali ve alüminyum oksit içermektedir. Alüminyum cürufu yapısında yüksek oranda (%40'tan fazla) tuz da bulundurmaktadır [59].

Birincil alüminyum üretimi esnasında meydana gelen birincil üretim ve ocak cürufları bulundurdukları yüksek alüminyum içeriğinden dolayı bir atık türü olmaktan çıkmıştır. Bu cüruflar ekonomik getirisi olan yarı ürün olarak değerlendirilmektedir. Birincil alüminyum ve ocak cürufları işlenmeden doğaya verildiğinde evre açısından büyük problemlere neden olmaktadır [60]. Öncelikle bu cürufların değerlendirme çalışmalarının ana hedefi, içerisinde bulunan alüminyumu geri kazanmak ve çevresel tehlikesini ortadan kaldırıp ekonomik getiri elde etmektir [61].

Oluşan cürufları değerlendirme işlemi 4 şekilde gerçekleştirilmektedir [60]:

1. Demir-elik sektörü için sentetik cüruf yapıcı (alüminyum esaslı flaks) olarak kullanılması,
2. Alüminyum endüstrisi için tuz flaksları olarak kullanılması,

3. İkincil alümina üretiminde kullanılması,
4. Çimento endüstrisi için katkı malzemesi olarak kullanılması

Daha az miktarda alüminyum içeren siyah cüruflardaki alüminyumun geri kazanımı esnasında tuzlu alüminyum cürufu meydana gelmektedir. Bu cüruf türü, yapı olarak %10-20 metalik alüminyum, %5-10 tuz (NaCl, KCl, CaF₂), %30-60 Al₂O₃ ve %5-10 oranında diğer metal oksit ve bileşiklerden oluşmaktadır. Alüminyum tuzlu cürufu çevre açısından çok tehlikeli olması durumundan dolayı geri kazanımı sağlanmadan veya bertaraf işlemi gerçekleştirilmeden gömülmesi dünyadaki çoğu ülkelerde yasaklanmıştır. Bu konu ile ilgili devlet kurumları ve sivil toplum örgütlerinin çalışmaları sonucunda yasalar çıkarılmıştır. Bu türde bir atık türünün sektörlerin çoğunda hammadde olarak kullanılmasından dolayı teknolojisi yüksek ülkeler atığı işlemeyi daha karlı bir yol olarak görmüşlerdir [58].

Tuz kekleri ve alüminyum siyah cürufun kullanılabilir hale gelmesi gereksinimini ortaya çıkaran 3 ana faktör bulunmaktadır [61]:

1. Tehlikeli atık olarak tarif edilen cürufun temizliğinin yapılması, tehlikesi olmayan duruma gelmesi,
2. Çevre problemlerinin baş sebebi olan ve cürufun içinde barındırdığı tuz ve tuz atıklarının ayrıştırma işlemi yapılarak cüruftan ayrıştırılarak tekrar değerlendirilmesi,
3. Cüruf temizleme ve işlemenin ardından ortaya çıkan alüminyum oksit oranı oldukça yüksek ve ekonomik olarak kıymetli olan yapının değerlendirilebilmesi.

İkincil alümina üretimi olarak belirtilen; tuz kekleri ve cürufun oluşturduğu çevresel problemlerin üstesinden gelmek ve ikincil cürufların olduğu atıkların iktisadi açıdan değer oluşturabilmesinin teknik çözüm yollarından birisi olduğu açıklanmaktadır [61].

Çalışmalar göstermektedir ki; zenginleştirilmiş cürufun devrilme özelliği olan döner fırın sistemlerinde tuz içinde eğriltmesi ile metalik alüminyum oluşurken, ortaya çıkan

tuz kekinin yüksek oranlarda oksit barındırdığı ve bunun ikincil alümina üretmek için yeterli olduğunu ortaya çıkarmıştır [61].

4.2. Baca Tozları, Çamurlar ve Tozlaştırma Tozları

Demir-çelik üretiminde oluşan tozlar ile diğer atıkların geri kazanımı, yani dönüşüm iki ana gerekçeden ötürü zorunlu bir hal almıştır. Oluşan bu tozların çelik üretimi açısından kıymetli bir hammadde olmasının sebebi zengin miktarda demir oksit içermelerinden kaynaklıdır. Katı çevre kanunları bu tozların atık sahalarında imha edilmesini oldukça maliyetli bir duruma getirmektedir. Bu tozların özel bir işlem yapılmadan proseste geri kazanımları ve sahalarında imha işlemi uygulanmasının zor olmasının bir diğer sebebi ise çeliğin üretim basamaklarının belirli safhalarında oluşan toz boyutundaki atıkların karbon, demir ve ağır metalleri içermesidir [62].

Tozun içinde barındırdığı tehlikeli materyallerden arındırılması ve prosese yeniden dönüşünün sağlanması ile ilgili hem uygulama hem de teorik açıdan görüşler bulunmaktadır. Diğer yandan bu atık tozların içinde bulundurduğu tehlikeli veya tehlikesiz içeriklerin yanı sıra boyutsal fraksiyonların da toz ölçülerinde olması diğer bir sorun olarak görünmektedir [63].

Avrupa'da yüksek fırınlarda toz tutucularda hapsedilen, nispi olarak daha kaba ölçülerdeki tozlar ve daha ince ölçülerde olan elektrostatik çökeltmede hapsedilen toz ile çamur bileşenlerin çıkış miktarları, sıcak metal oranına göre 6-17 kg ve 3-5 kg oranları arasında değişmektedir. Avrupa'da çelikhaneden kaynaklanan BOF tozları 3-12 ile 9-15 kg gibi farklı miktarlarda olabilmektedir [63].

Yüksek fırın ile BOF gazlarından tozların ayrımı iki aşamada sağlanır: Kaba tozların toz tutucu siklonlarda, ince tozların ise elektrostatik filtrelerde veya sulu gaz temizleme sistemlerinde ayrımı sağlanmaktadır. Çinko, klor, kurşun, flor benzeri yüksek uçucu bileşikler, yüksek hidrokarbonlar ile siyanürler genellikle siklondan geçerler ve sulu gaz temizleme proseslerinde veya elektrostatik filtrelerde gazdan ayrışırlar. Tehlikeli bileşimlerin az bulunduğu, ince ölçülerde olmayan tozlar ise hiçbir özel muamele

yapılmadan, ortaya çıktığı yerden herhangi bir alana istiflenmeye gönderilmeden, doğrudan sinterde geri dönüşümü sağlanabilmektedir.

Yüksek fırın tozları bazı bileşenleri yüksek oranda içerdiği gibi, Tablo 4.4'te verilen zengin demir oksit ile karbon da içermektedirler. Bahsedilen tehlikeli bileşenlerin tozlardan ayrıştırılmasını sağlayan özel bir uygulama yapılmadan, tozların ne bir arazi üzerinde dolgu malzemesi, ne de bir diğer proseste geri dönüşümü kabul edilebilir olmaktadır. Tozların içerisinde bütün bu tehlikeli veya tehlikesiz bileşenlerin miktarları, demir-çelik üretim aşamalarında kullanılan hammadde veya hurda kompozisyonlarına göre farklılık göstermektedir [63].

Tablo 4.4. Farklı kaynaklardan alınmış BF ve BOF tozlarının ortalama kimyasal içerikleri [63]

Bileşen	BF Kuru	BF Çamuru	BOF Kuru	BOF Çamuru
Fe	15-40	7--35	30-85	54--70
SiO ₂	4--8	3--9	-	-
MnO	0,1-0,5	<0,2	-	-
P ₂ O ₅	0,04-0,26	0,1-0,44	-	-
Al ₂ O ₃	0,2-3,7	0,8-4,6	-	-
CaO	2--8	3,5-18	8--21	3--11
MgO	0,3-2	3,7-17	-	-
TiO ₂	<0,2	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-
K ₂ O	0,2-1,0	0,1-0,36	-	-
Na ₂ O	0,03-0,6	0,15-0,24	-	-
C	25-40	15-47	1,4	0,7
S	0,2-1,3	2,4-2,5	<0,06	<0,12
Zn	0,1-0,5	1--10	<0,2	1,4-3,2
Pb	<0,07	0,8-2,0	<0,04	0,2-1,0

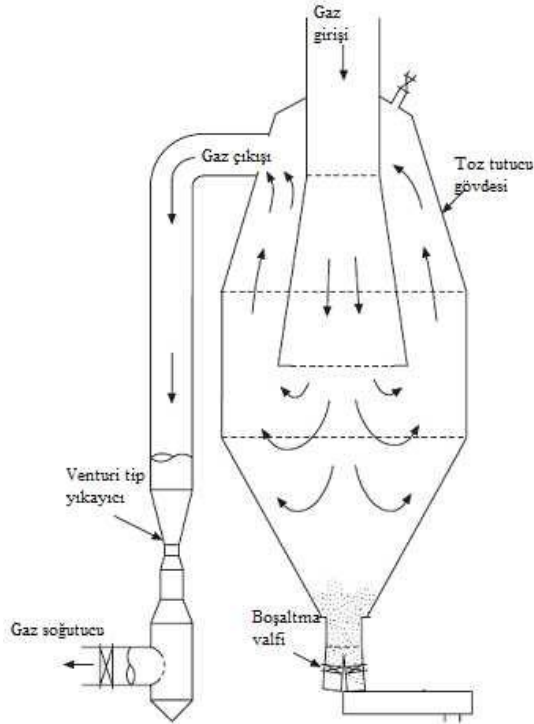
4.2.1. Yüksek fırın baca tozları ve çamurları

Son zamanlarda kitle çelik üretimde büyük bir yüzdeye sahip olan geleneksel çelik üretiminin ilk basamağı sıvı ham demir üretimidir ve yüksek fırın olarak isimlendirilen düşey fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Yüksek fırınlarda sıcak maden oluşturmak

amacıyla cevher, sinter ile pelet gibi demir içerikli hammaddeler tek olarak veya bu üçünün karışımı şeklinde kullanılmaktadır. Isı enerjisini oluşturmak için yalnızca kok veya kok ile enjeksiyon yakıtı olarak tabir edilen fuel oil, kömür veya katran kullanılmaktadır [64].

Yüksek fırının üst bölümlerinde ters akım kanunu ile katı-gaz, orta bölmesine doğru sıvı-gaz ve sıvı-katı, hazne bölmesinde ise sıvı-sıvı reaksiyonları gerçekleşmekte, bu reaksiyonlarda sonuç olarak demir oksitler demire indirgenip, gang ise cürufleştirici katkıları verilerek cüruf halinde giderilmektedir. Oluşan ürün, hammaddenin bileşimine ve işletme şartlarına göre Mn, Si, S ve P barındıran, karbon olarak doymuş, sıvı haldeki ham demirdir [11].

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi; tozlu yüksek fırın gazı, toz tutucu siklon içerisine konik bir boru vasıtasıyla girer ve bu konik borunun etrafından yukarıda bulunan çıkışa yönelirken, gazın ihtiva ettiği toz partikülleri yerçekiminin etkisiyle siklon tabanına iner. Bu sayede yüksek fırın gazının tamamen olmasa da temizlenmesi sağlanmış olur [64].

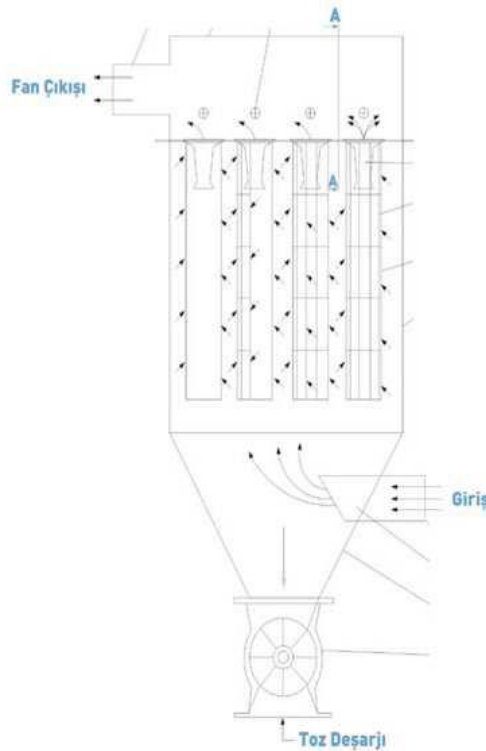


Şekil 4.5. Yüksek fırın toz tutucu (siklon) [64]

Elektrostatik filtrelerde, gaz içerisindeki toz zerrecikleri bir elektrik alanının etkisi ile çöktürülürler. İçinde toz zerrecikleri barındıran yüksek fırın gazı, elektrik gerilimleri sıfır olan topraklanmış levhalar arasından geçirilir. Levhaların bu gerilimle yüklenmesi ve levhaların topraklanması, gaz içindeki tozların yüklenmesine sebep olur ve bunların levhalara doğru bir kuvvet ile çekilmelerini sağlar. Gaz, arındırılmış olarak levhalar arasından çıkarken, tozlar levha üzerinde toplanarak, bir kek oluşur.

Zaman zaman elektrik akımı kesilerek bu kekin levhadan uzaklaştırılması sağlanır. Siklonda, toza etki eden dış kuvvetin daha fazla arttırılamaması nedeniyle tutulamayan tanecikler bu filtrede tutulabilmektedir [65].

Şekil 4.6'da görülen torbalı filtrelerde ise, içerisinde filtre torbaları bulunan silolardan oluşan bir sistemde, silo girişinden giren yüksek fırın gazı, içerisinde kafes bulunan elyaf filtre torbaları içerisinde geçerek gazın barındırdığı siklon tarafından yakalanamayan tozu bu filtre torbaları üzerinde bırakır. Zamanla filtre torbası üzerinde biriken toz, torba içerisine azot üflenerek silonun alt tarafında toplanır [65].



Şekil 4.6. Torbalı filtre [65]

Normal şartlarda yüksek fırın gazı, fırının bacasından ayrılırken 27,5 g/m³ toz taşır. İyi bir birincil toz toplayıcısı gazı 6,88 g/m³ olacak şekilde temizler [26].

Toplayıcının verimi; kullanılan cevherin tipine, patlama hacmine ve fırın işletme basıncına bağlı olarak %50-80'e kadar çıkabilir. Modern bir tasarımla, birincil gaz toplayıcıları gazı 0,11-0,33 g/m³ olacak şekilde tozdan temizler. Bazı hallerde elektrostatik çöktürücülerle temizleme yapılır ve toz muhtevası 0,22 g/m³ olur. Bütün bu kalan toz, gazın yandığı sobalarda bazıları tutulduktan sonra zaruri olarak havaya salınır [26].

Atmosfere atılan toz boyutu şarj malzemesinin cinsine, hava hacmine ve yüksek fırının tepe basıncına bağlı olarak değişebilir [26]. Tablo 4.5'te yüksek fırın tozu ve çamurunun tane boyutu dağılımı, Tablo 4.6'da farklı ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri ve Tablo 4.7'de Tablo 4.7'de Kardemir A.Ş. yüksek fırınları baca tozları-çamurları kimyasal analizi ve ortalama çıkış miktarları verilmiştir.

Tablo 4.5. Yüksek fırın tozu ve çamurunun tane boyutu dağılımı [26]

Boyut (µm)	500	250	125	62	44	34	24	16	13	9	6,4	4,5
Toz	2	18	35	32	13	-	-	-	-	-	-	-
Çamur	-	-	-	24	17	6	7	5	11	5	4	21

Yüksek fırında gazın kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından m³ gaz başına ortalama 30-40 g veya bir ton ham demir başına ortalama 20-30 kg toz ortaya çıkmaktadır. Geçmiş yıllarda genellikle sinter tesisinde kullanılan toz, son yıllarda çevre kanunlarıyla emisyon değerlerinin çok düşük seviyelerde tutulmasından ve içerdiği alkali ve ağır metallerin (Zn ve Pb) yüksek fırında yarattığı problemlerden dolayı, sinter tesislerinde kullanımını dönem dönem kısıtlanmaktadır [26].

Tablo 4.6. Farklı ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri [26]

Ülke	Atıklar	%Fe _{top}	%SiO ₂	%CaO	%Al ₂ O ₃	%Pb	%Zn	%C
Almanya	Toz	34,4	6,3	6,3	2,0	0,07	0,2	28,9
	Çamur	25,7	9,2	5,4	4,6	0,2	4,2	23,1
ABD	Toz	17-54	5,2-13	1,8-11	0,8-7,6	0,01-2	0,01-2	4-54
	Çamur	22-43	6,2-9,3	2,8-8,2	0,3-4,7	0,04-1	0,04-2,6	18-41
Avustralya	Toz	27,9	7,1	4,2	2,8	-	0,1	49,9
	Çamur	22,0	6,7	1,5	2,2	-	10,5	19,1
Brezilya	Toz	19-31	5,8-9,6	0,5-5,0	1,5-6,2	0,02-0,04	0,01-4,1	30-56,9
	Çamur	25-35,7	5,3-23,3	1,0-8,2	1,0-8,2	0,3-0,7	0,1-0,8	18-45,0
Fransa	Toz	20-35	5-10	4-6	-	0,05	0,1-0,2	30-45
	Çamur	25-35,7	5-10	3-5	-	1-2	-	20-45
G. Afrika	Toz	-	-	-	-	-	-	-
	Çamur	23,6	8,4	5,3	2,7	-	-	43,2
Japonya	Toz	28,2	6,2	3,2	2,8	-	0,3	44,8
	Çamur	36,6	6,1	3,9	2,8	-	2,1	27,0
İngiltere	Toz	27,5	7,4	4,1	2,5	0,02	0,2	33,1
	Çamur	26,3	6,8	4,0	2,9	0,4	1,9	38,0
İtalya	Toz	31,4	6,7	4,9	2,3	0,003	0,1	36,6
	Çamur	43,5	7,2	4,2	2,7	0,6	1,3	29,8

Tablo 4.7. Kardemir A.Ş. yüksek fırınları baca tozları-çamurları kimyasal analizi ve ortalama çıkış miktarları [66]

Toz Tipi	Miktar (t/gün)	Fe ₂ O	C	S	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	MnO
YF1 baca tozu	12-15	46,79	22,03	0,82	2,97	11,67	6,61	1,01	1,12	0,51	0,67	0,81
YF2 baca tozu	6	49,77	20,35	0,71	2,07	11,15	5,69	1,22	0,01	0,95	0,25	1,35
YF3 baca tozu	10	51,37	21,01	0,76	2,22	9,07	4,49	0,81	0,28	0,69	0,28	1,11
YF4 baca tozu	14	47,79	22,10	0,85	2,34	9,38	0,95	6,65	0,45	0,47	1,57	1,04
YF çamuru	38	48,38	18,01	1,33	3,19	10,77	4,27	1,19	0,43	0,77	3,95	1,04
YF4 torbalı tip filtre tozu	11	37,72	20,71	1,02	2,73	8,50	1,19	5,92	1,82	1,10	8,01	0,89
YF1 torbalı tip filtre tozu	12	39,10	19,91	1,00	2,8	8,97	1,29	7,52	5,38	0,81	6,53	0,98

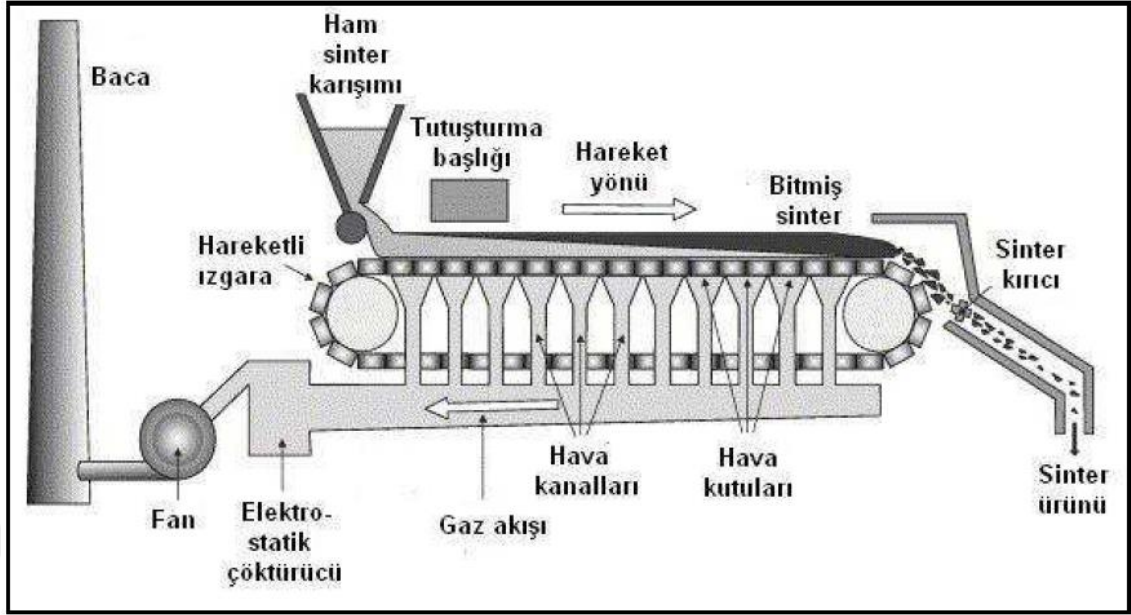
Yüksek fırında gazın kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından sonra ikincil toz ayrıştırma yaş yöntemlerle gerçekleştirilmekte ve ayrıştırma sonunda yüksek fırın çamuru ortaya çıkmaktadır. Izgara tipi yıkayıcılardan bir ton ham demir başına ortalama 8-12 kg yüksek fırın çamuru ortaya çıkarken, bu miktar venturi tipi ince toz ayrıştırıcıda 3 kg daha artmaktadır. Boyutu 50 µm'den büyüktür. Yüksek fırın çamuru bünyesindeki %15-18 nemden dolayı sinter yatağının gaz geçirgenliğini azaltmasına, nemin uzaklaştırılması için yakıt tüketimini arttırmasına neden olmaktadır [26,67].

4.2.2.Sinter tozsuzlaştırma tozları (Esp Tozları)

Çelik endüstrisinde yüksek fırın üretken oluşu ve verimli çalışmasından dolayı esas fırın olma özelliğini korumaktadır. Demir-çelik sanayinin gelişimine paralel olarak, demir aglomerasyon teknolojisi de hızla gelişmiş ve özellikle sinterleme ve peletleme bu sanayi kolunda önemli bir yer bulmuştur. 19. yüzyılda metal endüstrisinde kesikli bir işlem olarak ortaya çıkan sinterleme, demir cevherlerinin yanı sıra bakır ve kurşun cevherleri içinde kullanılmıştır. Sinterleme toz cevherlerin aglomerasyon yolu ile yüksek fırın için istenen parça iriliğine, mukavemete ve gaz geçirgenliğine sahip duruma getirilmesi işlemidir. Bu şekilde yapılan toplama işlemi sonucunda büyük, sert ve gözenekli parçalar elde edilir. Sinterleme, pudra kütlesi içindeki partiküllerin atomlarının, ısının etkisi sonucu oluşan kısmi ergime ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları, yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların birbirlerine yapışmalarını sağlayan hematit ve manyetit kristallerinin büyümesi işlemi olarak da tanımlanabilir. Bu işlemler toz cevherlerle karıştırılmış olan kok tozunun yanması sırasında meydana gelmekte ve bu işlem sabit veya hareketli sinter makineleriyle yapılmaktadır [11].

Sinterleşme genellikle sinter harmanındaki pudraların erime noktalarının altında meydana gelir. Sıcaklığın artması ile pudra kütlesinin sertliği artarken elektriksel direnci ve gözenekliliği azalır. Tane yapısında bazı değişiklikler olur ve yeniden kristallenme ile tane büyümesi meydana gelir [11].

Parça demir cevheri, yüksek fırına belirli bir tane iriliğinde verilir. Bu nedenle iri parçalar kırılır ve bu kırma işlemi esnasında belirli oranlarda tozlanma olur. Bunun yanı sıra taşıma doldurma, boşaltma esnasında da sinterlenmesi gerekli ince cevher tozu meydana gelir. Bu bakımdan hemen hemen her entegre demir-çelik tesisinde bir de sinterleme tesisi bulunmaktadır [11]. Şekil 4.7’de bir sinterleme tesisi şematik olarak gösterilmiştir.



şekil 4.7. Sinter tesisi şematik görünümü [68]

Sinterin tonu başına ortalama 20 pound (9060 g) toz oluşur. Bir sinter tesisinin bacasındaki toz konsantrasyonu, sinter yatağına doğru çekilen hava miktarı ile değişir. Tozun kimyasal kompozisyonu tesiste prosese sokulan malzeme tipleri ile değişmektedir. Tozun demir oksitler bakımından zengin olması beklenir. Bu toz atıkların boyutları genellikle şu şekildedir [26]:

- %3,7 → 420 μm 'den büyük
- %26,3 → 178 μm 'den büyük
- %63,1 → 76 μm 'den büyük
- %36,9 → 76 μm 'den küçük

Sinter yatağından gelen hava gazları bacaya göndermeden toz kontrol ekipmanının içinden geçirilir. Siklonlar, minyatür siklon birleştiricileri, elektrostatik oktürücüler, torbalı toz tutucuları ve difüzyon tutucular kullanılır [26].

4.2.3. Bazik oksijen konverter çamuru ve tozu

BOF'ta bir ton ham çelik başına kuru bazda yaklaşık 10-18 kg toz ve çamur ortaya çıkmaktadır. Gaz temizleme sistemine bağlı olarak tozun %15-40'ı kaba toz veya çamur, %5-10'u ikincil gaz temizleme sisteminde ve geri kalan %50-80'lik kısım ise ince toz veya çamur olarak ayrıştırılmaktadır [18].

4.3.Tufal

Demir-çelik tesislerinde üretim sonucunda meydana gelen yarı ürün niteliğindeki çelik, kütük halini alması için sıcak halde haddelenerek şekil alması sağlanır. Bu süreç sonucunda yüksek sıcaklık nedeniyle çelik yüzeyinde oksitlenme meydana gelerek ince bir şekilde demir oksit tabakası oluşur. Bu tabakaya tufal adı verilmektedir [8].

Tufal, demir-çelik üretimi sırasında çelikhane tufali ve haddehane tufali olarak iki şekilde açığa çıkmaktadır [8].

4.3.1. Sürekli döküm makinaları tufali

Çelikhanelerde oluşan tufal, elde edilen sıvı formdaki çeliğin sürekli döküm makinelerinde katı hal almasıyla ortaya çıkan ve yarı mamul olan kütüklerin yüzeylerinde sıcaklık sonucunda oluşan ince demir oksit tabakaları şeklinde meydana gelmektedir. Sürekli döküm ünitelerinde üretilen sıcak slab ve kütük yüzeyini soğutma işlemi esnasında ve sıcak haddehanelerde slab, ingot, kütüğün yüksek sıcaklık ve oksitleyici ortamın etkisiyle yüzeyinde meydana gelen hadde tufali yüksek basınçlı su ile yüzeyden tasfiye edilmektedir [26].

4.3.2. Haddehane tufali

Haddehane tufali, kütüklerin hadde tesislerindeki haddeleme işleminde dağılmakta ve küçük yassı pulcuklar halinde toplanarak elde edilmektedir [27].

Tufal tabakası, haddeleme esnasında kırılarak küçük pulcuklar şeklinde kütük yüzeyinden ayrılır. Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde Wüstit (FeO), Manyetit (Fe_3O_4) ve Hematit (Fe_2O_3) olmak üzere üç tip demir içeren tufal tabakası bulunmaktadır [8].

Tufal %73-73,5 oranında Fe ihtiva eder [69]. Bu yüksek demir içeriğinden ve aynı zamanda zararlı bileşenler içermediklerinden dolayı tufaller entegre demir-çelik tesislerinde sinter fabrikasında çok rahat kullanılmakta, hatta dışarıdan satın alınmaktadır [28,29]. Tehlikeli atıklar içerisinde en büyük hacme sahip olan, sürekli dökümler ve sıcak haddehaneler su resirkülasyon tesislerinden açığa çıkan yağlı tufal ise sinter tesisinde kullanılamamaktadır [26].

BÖLÜM 5

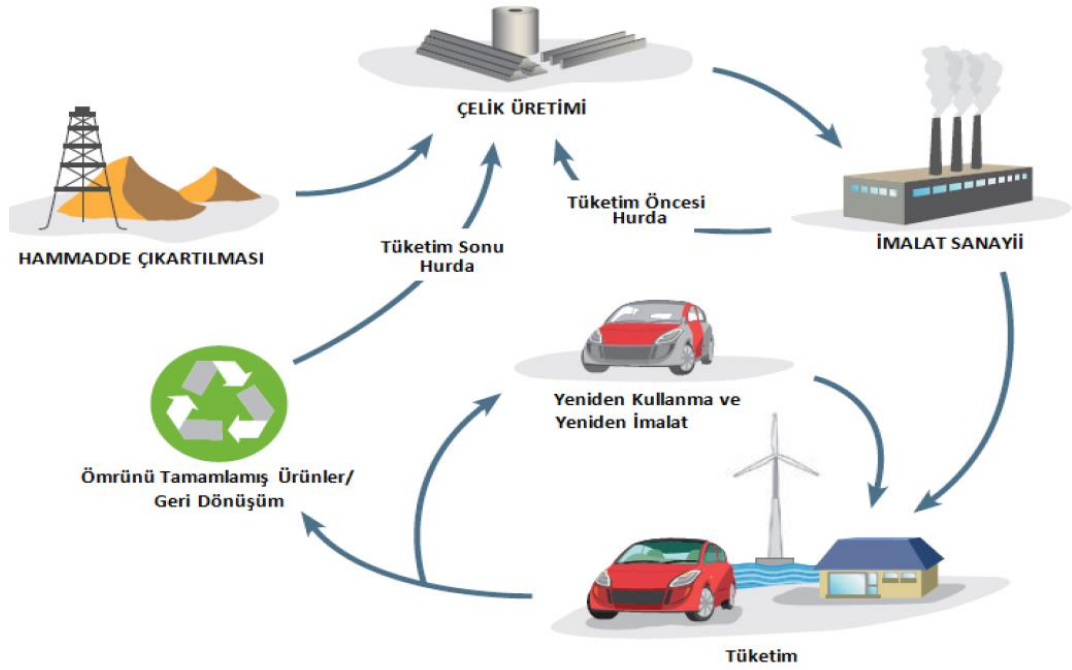
DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI VE MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER

5.1. Demir-Çelik Sektöründe Geri Dönüşüm Uygulamaları

Gelişmekte olan ekonomilerde genel olarak, kendi çelik tüketiminin büyüklüğüne göre sınırlı bir hurda kaynağı bulunmaktadır. Kısa vadede hurda havuzu gelişmiş ülkelerde bulunmaya devam edecek ve bu kaynak çelik için olan olağanüstü talebi karşılamaya yetmeyecektir. Gelecekte karşılaşılabilecek zorluklar gelişmekte olan ekonomilerde geri dönüşüm zincirinin verimliliğini arttırmayı ve karlı hurda tedarik endüstrisinin gelişimini engelleyebilecek ticareti kısıtlayıcı politikalardan kaçınmayı gerektirmektedir [70].

Çeliğin sürdürülebilirlik kavramı açısından en önemli özelliği mukavemet, süneklik ve şekillendirilebilirlik gibi temel özelliklerinden hemen hemen hiçbir şey kaybetmeden, neredeyse sınırsız defa geri dönüştürülebilir olmasıdır. Bu çelik geri dönüşümünü kapalı devre haline getiren doğal bir özelliktir (Şekil 5.1). Sürdürülebilirlik yaklaşımı demir-çelik sektöründe çevresel baskıların ve kaynak kullanımında verimliliğin artmasına, atık ve emisyon oluşumunun azaltılmasına neden olmuştur [71].

Atıkların geri kazanımı açısından geri dönüşüm, çelik için en yaygın uygulamadır. Çelik hurda yeniden eritilir ve yeni çelik yapımında kullanılır. 2008 yılında, 475 milyon tondan fazla çelik hurda atık olarak geri dönüşüm sistemine taşınmıştır. Bu miktar kağıt, plastik, cam, bakır, kurşun, alüminyum da dahil olmak üzere tüm geri dönüşümlü maddelerin toplamlarından fazladır [72].



Şekil 5.1. Demir-çelik ürünlerinin geri dönüşüm döngüsü [73]

5.2. Demir-Çelik Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler

Avrupa Konseyi tarafından ilk olarak 24 Eylül 1996 tarihinde kabul edilen 96/61/EC kodlu “Integrated Pollution Prevention and Control” (IPPC), yani Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (EKÖK) direktifi “çevrenin bir bütün olarak üst seviyede korunmasını sağlamak amacıyla, atıkları da içeren tedbirler dahil olmak üzere, yüksek kirlenmeye sahip sanayi ve tarım faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların önlenmesi için, bunun mümkün olmadığı durumlarda da havadaki, sudaki ve topraktaki emisyonların azaltımı için tasarlanmış tedbirleri ortaya koyar”. Direktif 15 Ocak 2008 yılında 2008/1/EC koduyla revize edilmiş ve son olarak da 24 Kasım 2010 tarihinde 2010/75/EU kodlu ve “Industrial Emissions” (Endüstriyel Emisyonlar) başlıklı son hali kabul edilmiştir. Demir-çelik sektörü, Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (EKÖK) Yönetmeliği Ek-1’de “Madde 1.3: Kok fırınları” ve “Madde 2: Metallerin üretilmesi ve işlenmesi” ile atıfta bulunulan endüstriyel faaliyet kategorileri arasına dahil edilmiştir [74,75].

Demir-çelik sektörü, ilgili referans dokümanı kapsamında genel anlamda iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar entegre demir-çelik tesisleri ve EAO tesislerdir [76].

Demir-çelik sektöründe yararlanılabilecek en iyi tekniklerin belirtildiği Demir-Çelik Referans Belgesi, entegre demir-çelik tesislerinde (sinterleme tesisleri, peletleme tesisleri, kok fırınlı tesisler, yüksek fırınlar ve sürekli döküm ve blok (ingot) dökümü amacı ile kullanılanlar da dahil olmak üzere temel oksijen fırınları) ve EAO demir-çelik tesislerinde üretimin çevre konusunda ilgili kısımlarını kapsamaktadır. Demir Çelik Referans belgesinde demir metallerinin döküm işlemleri kapsam dışı tutulmaktadır. Mevcut En İyi Teknikler Referans (BREF) belgesi ise demir-çelik sektörünün çelik üretimi hakkında bilgi içermektedir [76].

Bu çalışma kapsamında demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren bir EAO tesis incelenmiştir. Çalışma daha çok belli bir proses kapsamında yoğunlaştırılmıştır. Çünkü EKÖK direktifine göre tesis uyum analizi ünite çapında olduğu zaman daha etkin sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu kapsamda incelenen EAO demir-çelik tesisi çelikhane ünitesinin Mevcut En İyi Teknikler (MET)'e uygunluk durumu analiz edilmiştir.

5.2. MET'in tespitinde dikkate alınması gereken teknikler

MET'in tespitinde dikkate alınması gereken teknikler; prosese bağlı teknikler ve boru sonu teknikler olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmektedir [75];

Prosesle Bağlı Teknikler;

- EAO Proses Optimizasyonu
- Hurda Ön ısıtma
- Kapalı devre su soğutma sistemleri

Boru Sonu Teknikler;

- İleri düzey emisyon toplama sistemleri
- Etkin sonradan yakma ve ileri düzey atık gaz arıtımı
- Atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu

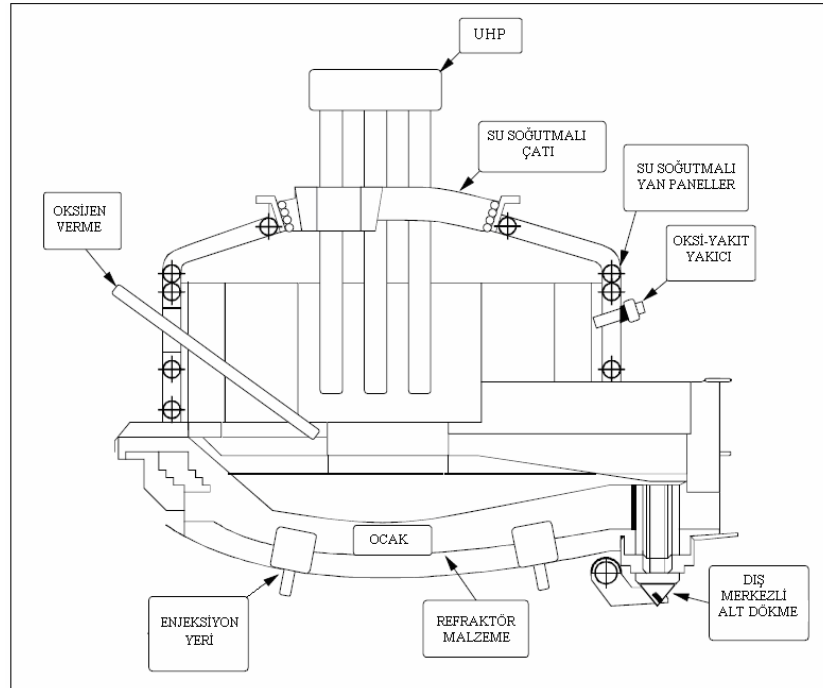
- EAO cüruflarının geri dönüşümü
- EAO tozlarının geri dönüşümü

5.2.1 Prosese bağlı teknikler

5.2.1.1 EAO proses optimizasyonu

Bu teknik enerji tüketimini azaltarak, üretimi arttırmayı hedeflemektedir. Aşağıda sıralanan teknikler Şekil 5.2’de şematik olarak gösterilmektedir [75].

- (Ultra) Yüksek güç uygulaması-(UHP)
- Su soğutmalı yan duvarlar ve çatılar
- Oksi-yakıt yakıcılar ve oksijen verme
- Aşağıdan dökme sistemi
- Köpüklü cüruf uygulaması
- Pota veya ikincil metalürji
- Otomasyon



Şekil 1.2. Optimizasyon tekniklerini gösteren şematik EAO [75]

(Ultra) Yüksek güç uygulaması (UHP)

UHP uygulaması yüksek üretkenlik, spesifik elektrot tüketiminde azalma ve spesifik atık gaz hacminde azalmayı sağlamaktadır [75]. Modern UHP fırınları su soğutmalı refrakter astarlarla donatılmıştır ve metalik şarja hızlı bir ısı transferi sağlayarak kısa bir eritme zamanı sağlamak için yüksek güçte çalıştırılmaktadır

Dökümden döküme gerçekleşen sefer sayılarını minimize etmek için daha performanslı transformerlerin kurulmasına yol açmıştır.

UHP uygulaması yüksek verimlilik, spesifik elektrot kullanımında ve spesifik atık gaz hacminde azaltımı sağlamaktadır [75]. Çağımız teknolojisine ayak uydurmuş UHP fırınları su soğutma sistemli refrakter astarlar ile giydirilmiş ve metalik şarja hızla bir ısı iletimi gerçekleştirerek kısalmış bir eritme süresi ortaya çıkarabilmek amacıyla aşırı ultra güçte çalıştırılmaktadır [77].

Su soğutmalı yan duvarlar ve çatılar

Son yıllarda refrakter malzemelerin korunması, aşırı yüksek güç uygulanması ve enerji geri kazanımı için atık ısıyı tekrar kullanmak amacıyla fırın duvarları ile çatılar su soğutmalı panel ve levhalar ile kaplanmaktadır. Ama tesis ölçeğinde enerji verimliliği bakımından bu sistemin tetkik edilmesi bir gereksinimdir. Su soğutmalı levhalar köpüklü cüruf uygulamasının mümkün olamayacağı şekillerde termal nedenlerle oluşan gerilmelerden korumak amacıyla bilgisayar denetim ve idaresinde eritme uygulamaları uygulanarak paneller üzerinde mekanik gerilimin sebep olduğu damlacık oluşumları durdurulmuş olur ve de refrakter parça korunur [75].

Oksi-yakıt yakıcılar ve oksijen lanslar

Oksi-yakıt yakıcılar hurdanın erime aşamasında dengeli bir dağılım sağlarlar. Oksi-yakıt yakıcılar ve oksijen lansları ile elde edilen ek enerji toplam enerji miktarını kısmen azaltmaktadır [76].

Aşağıdan dökme sistemi

Döküm esnasında pota ocağına taşınan oksidik cürufun miktarının azalmasını sağlamaktadır. Bu sistem refraktör maddenin tüketimini düşürmekte ve maliyet azaltmakta, daha hızlı çekme uygulaması gerçekleştirmekte ve enerji oranındaki kayıpları azaltmaktadır [75].

EAO'larda dipten döküm alma tekniği, potada deoksidasyon ve alaşım veriminin yükseltilebilmesi için ve kayda değer bir kükürt giderme amacıyla, aşırı miktarda FeO ile MnO barındıran oksitleyici EAO cürufunun potaya kaçmasının engellenmesi için kullanılmaktadır. Ocak merkezinden dış bölümüne doğru balkon biçimindeki çıkıntının orta bölümünde bulunan bir tüp yolluk ile döküm alınmakta ve cürufun potaya kaçması engellenmektedir. Bu prosesin avantajları şöyle sıralanabilir [78]:

- En elverişli cürufsuz döküm alma sistemidir.
- Her döküm sonunda fırında bir miktar sıvı çelik bırakılarak bir sonraki ergitme işlemi hızlandırılmaktadır. Elektrot tüketimi %6 kadar azalmaktadır.
- EBT balkonunu nedeniyle fırın hacmi %15 arttırılmaktadır.
- Döküm alma nozülü tamir ve temizliğinin fırın dışına kaydırılması refrakter tüketimini düşürmekte, verimlilik artışa geçmektedir.
- Genellikle bu tip fırınların yatırım maliyetleri diğer tiplere kıyasla daha düşüktür.
- Dar, düzgün ve kısa mesafeli sıvı metal akışı sonucunda ısı kayıpları, çeliğin oksitlenmesi ve azot kapma riski düşmektedir. Sonuç olarak da 10°C'ye kadar ısı tasarrufu gerçekleşmektedir.

Köpüklü cüruf uygulaması

Cüruf ve metalin birbirinden daha kolay ayrılabilmesi için elektrik ark fırınlarda ergitme ve rafinasyon süreçlerinde cüruf ile metalin arasına katılan oksijen bazlı karbonun cürufu köpürtmesi ile daha kolay bir ayırım sağlanmaktadır [78].

Köpüklü cüruf uygulaması şarj edilecek girdilere ısı transferini basitleştirir, fırının içindeki refraktör materyali muhafaza etmektedir. Daha verimli ark stabilizesi, daha az radyasyon etkisi, enerji kullanımında, elektrot kullanımında ve gürültü düzeyinde düşüş sağlamaktadır [75].

Cürufa karbon enjekte edilip kabartılması sayesinde, elektrikli ark fırınının cüruf alma ünitesine doğru yan şekilde konulması ile kabaran cürufun kendiliğinden akışa geçmesi sağlanarak cüruf çekimi basitleştirilmektedir. Karbon enjeksiyonu sırasında banyo iyi karıştığından cüruf metal etkileşimleri hız kazanır ve banyo daha da homojen hal alır [78].

Pota veya ikincil metalürji

Birtakım üretim bölümlerinde (alaşımlandırma, sıcaklık, desülfürizasyon ve kimyasal homojenizasyon), EAO'nun haricinde de uygulanması mümkündür. Bu uygulamaların çoğunluğu artık pota ve pota ocaklarında uygulanmaktadır. Bunların sayesinde 10-30 kWsa/t kadar enerji tasarrufu elde edilmektedir. Çekimden çekime oluşan zaman aralığını 5-20 dk azaltmaktadır. Üretimdeki verimliliği artırmakta, alaşım tasarrufu sağlamakta ve sürekli döküme giden çeliğin sıcaklık denetiminin daha verimli olmasını sağlamakta, elektrot tüketimini (0,1-0,74 kg/t) ve EAO'dan kaynaklanan emisyon düzeyini düşürmektedir. Pota ve diğer tekniklerin kullanımının tek olumsuz yönü, emisyon noktalarını yükselterek bundan dolayı da hava kirliliği denetimini yapan cihazlara olan yatırım miktarını artırmaktadır [75].

Otomasyon

Fazla işlem yapan EAO'larda kontrol ünitelerinin daha verimli kullanımı için gerekmektedir. Bu sayede üretimde verim artışı, enerji kullanımında ve toz emisyonlarında düşüş oluşmaktadır [76].

5.2.1.2 Hurda ön ısıtma

Hurdaların geri dönüşüm aşamalarında ön ısıtma bölümü, orada oluşan gazlardan atık ısıyı kullanmak için bilenen bir yöntemdir. Modern fırınlarda şaft takılmış hurda ön ısıtma uygulaması uygulanmaktadır. Tek şaftlı fırınlarda hurdanın yarısına ön ısıtma uygulanırken yeni parmak şaftlı fırınlarda hurdanın tamamına ön ısıtma yapılabilmektedir. Verimli ön ısıtma sistemi bulunmayan fırınlarda çekmeden çekmeye süre 45- 50 dk aralığında iken, parmak şaft sistemli fırınlarda bu süre 35 dk'dan ibarettir. Üretkenlik ve verimliliği artıran bu metot 1 yılda kendini amorti eden bir uygulamadır [76].

Parmak şaftlı fırınlarda, tek şaftlı fırınlara göre %25 daha fazla sıvı çelik elektrik gücü tasarrufu sağlanır.

Hurdanın ön ısıtılması, ileri düzey gaz çıktılarının arıtımıyla birlikte EAO'ların optimizasyonunda yalnız üretime değil, emisyonların azaltılmasında da önemli bir role sahiptir.

Hurda ön ısıtma uygulanan sistemlerde tüketilen enerjinin yaklaşık %15-20'sini, baca gazlarının sıcaklığı ile hurda ısıtılmakta olan sistemlerde 25-30 kWh/ton sıvı çelik enerji kazanımı ve dökümden döküme geçen zamanda 4 dk azalma sağlanmaktadır [78].

5.2.1.3 Kapalı devre su soğutma sistemi

EAO ile çelik üretim sürecinde, su yalnızca ortaya çıkan gazların ıslak arıtımında ve temassız soğutmada kullanılmaktadır. Islak arıtım sistemi çok tercih edilmediğinden, bu noktada asıl önemli olan fırının soğutma aşamasında kullanılan sudur. Diğer yandan, ikincil metalürjide ve atık gazın soğutusunda su kullanılması değerlendirilebilir. Son zamanlardaki gelişmiş tesislerde kapalı devre su sistemleri uygulanmakta ve böylece atıksu deşarjı oluşmamaktadır [75].

5.2.2 Boru sonu teknikler

5.2.2.1 İleri emisyon toplama sistemleri

İleri emisyon toplama sistemleri arasında 4. delik (3 elektrot olduğu zaman) ve 2. delik (1 elektrot olduğu zaman) ile doğrudan çekmenin baca (veya fırını kuşatan sistem) ile kombinasyonu veya tüm bina için boşaltım sistemi en uygun olan sistemlerdir.

4. delik ve 2. delik, eritme ve tasfiye uygulamaları esnasında ortaya çıkan birincil emisyonları toplamayı sağlamaktadır. Bu model bir doğrudan çekme teknolojisi, gelişmiş bir EAO çelik üretiminin temel anahtarlarından birisidir ve diğer yandan ikincil metalürji teknelerinde de uygulanabilir.

Baca sisteminde fırındaki şarj, eritme, cüruf oluşumu ve çekme süreçlerinde kaçan gazları doğrudan toplayan, fırının üzerinde bir veya daha fazla baca bulunur. Doğrudan çekme sistemleri ile birlikte birincil ve ikincil gazları toplama düzeyi %98'e kadar yükselmektedir. Bacalar ikincil metalürji teknelerinden, haznelere ve taşıyıcı bantlardan ortaya çıkabilecek emisyonlara karşı da uygulanmaktadır.

Fırını saran sistemler "köpek evi" olarak isimlendirilmektedir. Bu sistemlerin kötü yanları zaman kaybı, daha zor işletilmesi ve yüksek yatırım planlanması zorunluluğudur. Diğer delik ve baca kombinasyonlu emisyon toplama sistemlerine kıyasla, köpek evleri eşit ya da biraz daha yüksek performansa sahiptirler [75].

İkincil emisyonları bir diğer toplama metodu da bir binanın içerisindeki tüm tesisin birleşenlerini barındıran bir sarmalama sistemidir. Fırını saran sistemin birkaç süreç ayağını daha kapsayan şekli olarak düşünülebilir [76].

Tüm emisyonların toplanmasında %97-100 aralığında verimli olan doğrudan boşaltım ile fırını saran sistemken, tüm bina boşaltma uygulamalarında verimlilik %100 olarak görülmektedir [76].

5.2.2.2 Etkin sonradan yakma ve ileri düzey atık gaz arıtımı

EAO'ları en uygun şekilde sokma sonucu ve özellikle oksijen ve yakıt kullanımının artması sonucunda birincil çıkan gazda kimyasal enerji miktarı (CO ve H₂ içeriği) artış gösterir. Sonradan asıl amacı, fırın içerisindeki CO'nun kimyasal enerjisini mümkün olduğunca kullanmak ve enerjiyi dengelemektir. Çünkü fırın içindeki CO ve H₂ hiçbir zaman tam manasıyla oksitlenmez. Yakma odasındaki sonradan yakma, gaz arındırma aletlerindeki kontrol dışı reaksiyonları durdurmak amacıyla, ortaya çıkan gaz kütlesindeki CO ile H₂'in tam manasıyla yanmasını amaçlamaktadır. Yakma odalarının en uygun şekilde sokulması ile gereken bekleme zamanı, türbülans ve gereken ısı sağlandığında PCB veya PCDD/F gibi mikro kirleticiler düşmektedir. Ekstra olarak bir sonradan yakma sistemi kurulumu sağlanamıyorsa, oluşan gaz kütlesinin çıkış yaptığı boru sisteminde entegre edilerek sonradan yakma sağlanabilir [76].

PCDD/F'in tekrar oluşmasını engellemek için gazın torba filtredeki filtrasyonundan önce hızlıca soğutulması gerekir. Bunun için bir su soğutma kulesi kullanılabilir [75].

5.2.2.3 Atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu

Birincil ve ikincil gazlardaki organik mikrokirleticilerin miktarını düşürmek için torba sistemli filtrelerin öncesinde PCDD/F linyit kok tozları boruya dozlanmaktadır. Gereken miktar 100 mg linyit kok tozu/Nm³ çıkan gaz'dır. Torba filtrelerin içerisinde gaz halindeki linyit kok tozları ayrıştır. Geriye kalan PCDD/F miktarının <0.5 ng I-TEQ/Nm³'e ulaştığı, hatta <0.1 ng I-TEQ/Nm³ değerine kadar düştüğü kaydedilmiştir [75].

5.2.2.4 EAO cüruflarının geri dönüşümü

EAO'da 1 ton çelikten 100-150 kg aralığında cüruf oluşmaktadır. EAO cürufu bazı oksitleri içinde barındırmaktadır; bunlar kireç (CaO), demir oksit (FeO), silisyum oksit (SiO₂) ile diğer oksitlerdir (Al₂O₃, MgO, MnO). EAO cürufları üç farklı özelliğine göre sınıflandırılmaktadır. Bu özellikler iyi hava direnci, yüksek güç ve terbiye edilmeye

karşı direncidir. EAO cürufunun sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için en önemli kısıtlardan biri hacmini muhafaza etmesidir. Bu da cürufun içinde barındırdığı serbest kireç oranına göre değişiklik gösterir. Düşük karbonlu çelik üretiminde ortaya çıkan cürufun kireç oranı diğerlerine kıyasla oldukça düşüktür. Bu sebeple bu cüruflar daha çok hidrolik mühendisliği alanında ve de yol yapan firmalar tarafından alınarak dolgu malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Şayet inşaat sektöründe değerlendirilecek ise EAO cürufunun preslenmesi, elekten geçirilmesi ve uygun ölçülere sokulması, içerisinde demir barındıran cürufun manyetizma vasıtasıyla ayrıştırılması gerekmektedir. Cürufun işlenmesi enerji gerektirir. Ayrıca serbest CaO barındıran gazın durumuna bağlı olarak alkali gaz oluşumu mümkündür ve kontrol edilmelidir [75].

5.2.2.5 EAO tozlarının geri dönüşümü

Tesiste üretilen çelik türüne bağlı olarak meydana gelen gazdan 1 ton çeliğe karşılık 10 ila 20 kg toz ayrılmaktadır. Kalite olarak düşük olan hurdadan yaklaşık 25 kg toz elde edilebilmektedir. Gaz temizleme sistemlerinden kazanılan gazların içeriğinde büyük miktarda ağır metal bulunmaktadır. Toksik ve filtre edilebilir özellikteki bu tozlar özel işleme tabi tutulmalıdır [76].

EAO tozunun işlenmesi 3 başlık altında incelenebilir:

- Kimyasal stabilizasyon
- EAO'ya geri beslenmesi ile tozların geri dönüşümü
- Çinkonun elde edilmesi ve ağır metallerin ayrılarak elde edilmesi için hidrometalürjik ve pirometalürjik prosesler

Demir-çelik sektörü için yapılan bu değerlendirmeler; teknikler, tekniklere ilişkin emisyon ve tüketim seviyeleri bütün sektörün tümü için kabul edilebilir olduğu gibi sektördeki bazı işletmelerin mevcut performanslarını yansıtmaktadır. Bahsi geçen tekniklerin haricinde de işletmelerde uygulanan ve daha iyi çevresel performans gösteren teknikler mevcut olabilmektedir. Ancak çapraz ortam etkileri veya maliyetleri nedeniyle bu tekniklere BREF dokümanında yer verilmemiştir [76].

MET kapsamında verilen teknikler mevcut işletmelerin durumunu ölçmeye ve yeni kurulacak olan tesislere bu kapsamda yardımcı olabilmeye yönelik hazırlanmıştır. BREF'teki standart değerlerin hukuki bağlayıcılığı bulunmamaktadır. Dokümanın amacı sektöre, üye devletler ve topluma konu hakkında yol gösterici olmaktır. Uygun limit değerler EKÖK direktifi ile yerel otoriteler tarafından belirlenmektedir [75].



BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOD

Bu yüksek lisans tezinde EAO ile üretim yapan Baştuğ Metalürji San. A.Ş. firmasına ait demir-çelik işletmesinin çelikhane tesisi MET kapsamında incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Baştuğ Metalürji, 2008 yılında Yolbulan ve Baştuğ işletmelerinin birleşmesi ile 2016 yılında Baştuğ Metalürji olarak sektördeki varlığına devam etmekle birlikte, 40 yıldan fazla bir süredir demir-çelik sektörü içerisinde yer almaktadır [78].

Osmaniye Organize Sanayi Bölgesi'nde, 145 bin m²'lik kapalı alanıyla birlikte toplam 700 bin m²'lik tesislerinde faaliyet gösteren Baştuğ Metalürji 1 milyar USDı aşan ciroya sahiptir. Yılda 2 milyon ton sıvı çelik üretimi gerçekleştiren Baştuğ Metalürji'de, dünyada bir ilk olarak kullanılan teleskopik tip EAO günlük 6.500 ton sıvı çelik üretim kapasitesine sahiptir. Son olarak yapılan entegre haddehane yatırımı ile Ø8-Ø65 mm arası nervürlü inşaat demiri üretim kapasitesine sahip olmakla birlikte, şu anda Ø8-Ø40 mm arası nervürlü inşaat demiri üretilmektedir [78].

MET açısından incelenen Baştuğ Metalürji işletmesinden alınan, firmaya ait inceleme ve görüntüleme verilerinin bilimsel açıdan kullanımında bir sakınca olmadığına dair izin yazısı EK A'da verilmiştir.

Baştuğ Metalürji, bölge ve Türkiye genelinde sahip olduğu üretim payı, yaptığı yatırımlar ve yarattığı istihdam ile demir-çelik sektöründe sayılı tesisler içerisinde yer almaktadır. İşletme toplamda 755 kişiyi istihdam etmektedir.

Baştuğ Metalürji, 2010 yılının Temmuz ayında çelikhane tesisini, 2014 yılının Eylül ayında ise haddehane tesisini devreye almıştır. Bu yatırımlarla birlikte tesisin toplam yatırım tutarı 800 milyon USD civarındadır. Tesis, çelikhane üretilen kütüğün %30'unu ihraç etmektedir. Diğer bir ihraç edilen ürün ise haddehanede üretilen inşaat

demiridir. Baştuğ Metalürji %70 oranında ihraç ettiği inşaat demiri ile hem ÷lke ekonomisine hem de bölge ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır.



şekil 2.1. Baştuğ Metalürji tesisine ait genel görünüş

Osmaniye Baştuğ tesisinde 1 adet çelikhane (şekil 6.2), 1 adet nervürlü inşaat demiri haddehanesi (şekil 6.3), 1 adet oksijen üretim tesisi (şekil 6.4), 1 adet su tesisi ve 1 adet şalt tesisi (şekil 6.5) bulunmaktadır.



şekil 6.2. Baştuğ Metalürji çelikhane tesisinden görünüm [78]



Şekil 6.3. Baştuğ Metalürji haddehane tesisinden görünüm [78]



Şekil 6.4. Baştuğ Metalürji oksijen üretim tesisinden genel görünüm [78]



Şekil 6.5. Baştuğ Metalürji şalt tesisinden genel görünüm [78]

Hâlihazırda bulunan prosesler ve enerji tüketimleri Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1. Tesisteki mevcut prosesler ve enerji tüketimleri

Proses	Enerji Tüketimi
1 Adet Ark Ocağı (EAF1)	165 MW
1 Adet Pota Ocağı (LF1)	26 MW
1 Adet Çubuk ve Filmasin Haddehaneleri	18 MW
1 Adet Oksijen Tesisi	10 MW
1 Adet Toz toplama sistemi	10 MW
Toplam	229 MW

Tesiste toplam 229 MW’lık bir elektrik enerjisi gereksinimi bulunmaktadır. Baştuğ Metalürji, gerekli olan elektrik enerjisini özel bir elektrik şirketinden sağlamaktadır. Tesis bünyesinde bir elektrik üretim tesisi bulunmamaktadır.

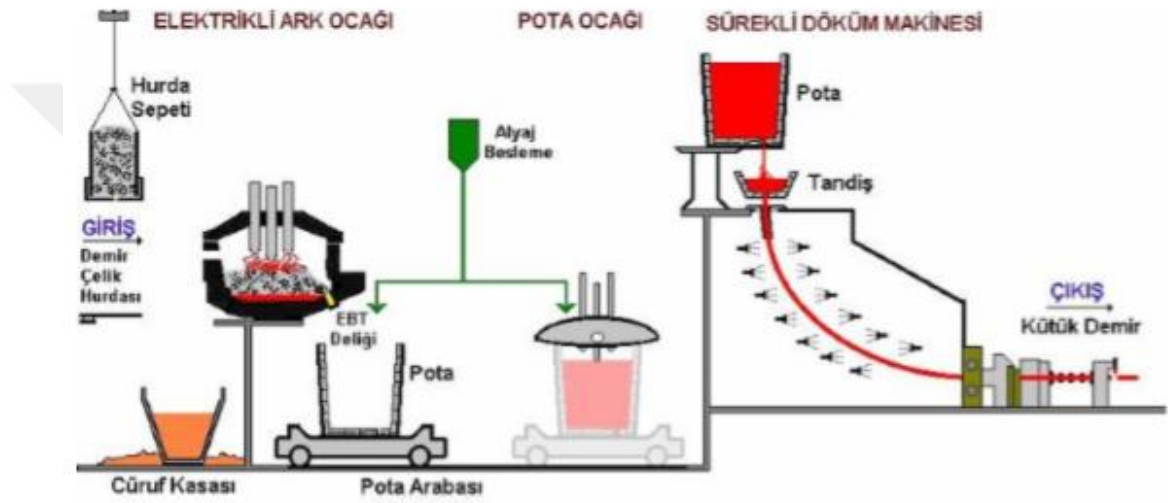
Baştuğ Metalürjinin iki ana ünite olarak üretim gerçekleştiren çelikhane ve haddehane tesislerinin 2014 yılı itibariyle toplam üretim kapasiteleri şu şekildedir:

- Çelikhane tesisi toplam üretim kapasitesi; 2.000.000 ton/yıl sıvı çelik
- Haddehane tesisi toplam üretim kapasitesi; 1.250.000 ton/yıl

BÖLÜM 7

MET KAPSAMINDA İNCELENEN TESİSİN UYGUNLUK DURUMUNUN TESPİTİ

Baştuğ Metalürji'ye ait demir-çelik işletmesinin çelikhane bölümü proses akım şeması Şekil 7.1'de görülmektedir.



Şekil 7.1. Tesisin çelikhane proses akım şeması [75]

Şekil 7.1'de gösterildiği gibi, çelikhane prosesi bir EAO, bir pota ocağı ve bir sürekli döküm makinesinden oluşmaktadır. Sistemde karbonlu çelik üretilmektedir.

7.1. Hammadde Depolama ve Kontrol

Yaklaşık 300.000 ton hurda stoklayabilen 610.000 m³ hacimli üstü kapalı 8 adet hurda holü mevcuttur. Hollerin büyük ve çok sayıda olması farklı çeşit hurdaları birbirine karıştırmadan stoklayabilme imkanı sağlamaktadır. Kullanılan hurdanın %80'i dış piyasadan (Birleşik Krallık, Belçika, ABD, Rusya), %20'si ise iç piyasadan temin edilmektedir [78].

4 adet tavan vinci ile farklı kalitedeki hurdalar istenilen kütük kalitesinde üretim yapabilmek için hurda sepetine atılmaktadır. Tüm fabrika genelinde kullanılan SAP sistemi sayesinde hurdanın gemiden tahliye olması, fabrika sahasına girişi, üretime çıkışını ve stok yerlerini çok rahat bir şekilde saptayabilmekte ve takip edebilmektedir.

Hurda sahasında bir adet saatte 40 ton eleme yapabilen hurda eleği mevcuttur. Bu hurda eleği sayesinde hol dibinden çıkan toprakla karışık hurda toprak-ametal ve metal olmak üzere ayrılmaktadır. Ferroalyajlar silolarda bekletilmektedir. Katkı maddelerinin toprakla teması yoktur.

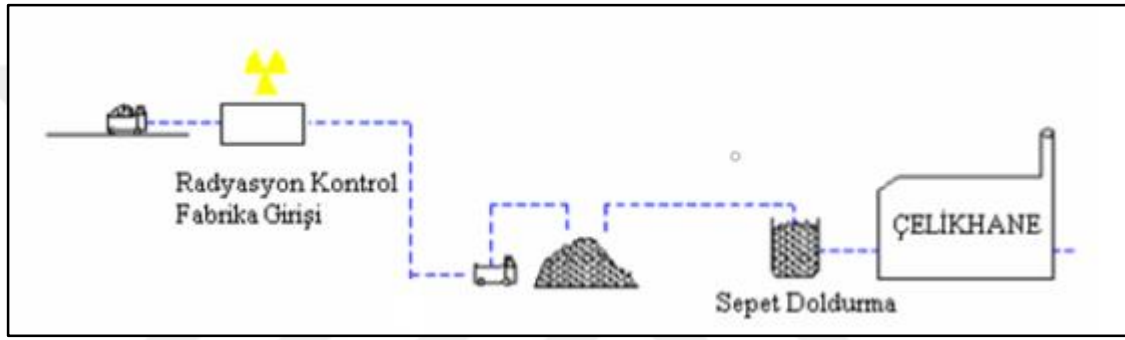


Şekil 7.2. Tesisin hurda depolama sahasından görünüm [78]

Tehlikeli maddeler hammadde olarak kullanılmadığı için tesis girişindeki gelen hammadde ana giriş kantarında radyasyon seviye ölçer cihazları ile kontrol edilmektedir (Şekil 7.3). İstenilmeyen kurşun, bakır gibi materyaller hammadde içerisinden çıkarılarak hurda bekleme sahasına kabul edilmektedir. Hurda kalitesi kontrol mühendisleri tarafından incelenmektedir.

Bu önlemlerin haricinde hurda temin edilen yer hakkında çeşitli incelemeler yapıp, buna göre gerekli tedbirler uygulanmaktadır. Depolama ve hurda ayırım çalışmaları, BREF'te belirtilen çalışmalar ile aynı niteliğe sahiptir.

Demir-çelik tesisleri ile ilgili BREF'te radyoaktivite denetiminin gün geçtikçe önemli hale geldiğinden bahsedilmiş ama MET içeriğinde bahsedilmemiştir. Fabrikada gelen hurda içeriklerinde radyoaktif materyallerin üretim aşamasına dâhil edilmemesi için önemli tedbirler uygulanmaktadır.



Şekil 7.3. Radyoaktivite kontrol noktaları [75]

Proses ile ilgili tüm çalışanlara Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda periyodik olarak eğitim verilmekte, ana giriş kantarında radyasyon seviye ölçer cihazlar ile radyasyon seviyeleri ölçülmekte ve hammadde kapıdan girerken tespit yapılmaktadır. Hurda kalitesi fabrika sahasında bulunan ve hurdayı yüklemeye giden, alanında uzman mühendisler tarafından belirlenmektedir. Hurda içerisinde radyoaktif madde belirlenmesi halinde, durum derhal analiz edilmekte ve radyoaktif materyalleri depolamak için yapılan özel kuyulara atılmaktadır. Tesis bu konuda herhangi bir bildirimde bulunmamaktadır.

7.2. Hurda Ön Isıtma

Tesiste hurda ön ısıtma sistemi kullanılmamaktadır.

7.3. EAO Optimizasyonu

Enerji tüketimini minimize, üretimi maksimize etmeyi hedefleyen EAO proses optimizasyonu kapsamında, aşağıda belirtilen sistemler tesiste uygulanmaktadır. MET içeriğinde bulunan ve aşağıda sıralanan tüm teknikler tesiste eksiksiz uygulanmaktadır:

- (Ultra) Yüksek güç uygulaması (UHP)
- Su soğutmalı yan duvarlar ve çatılar
- Oksi-yakıt yakıcılar ve oksijen verme
- Aşağıdan dökme sistemi
- Köpüklü cüruf uygulaması
- Pota veya ikincil metalürji
- Otomasyon sistemleri

170 ton kapasiteye sahip AC tipi ve teleskopik tipli EAO, 1590°C sıcaklıkta faaliyet göstermektedir. Dünya genelinde nadir kullanımı olan teleskopik tipli EAO'nun en önemli avantajı bir defa şarj edilmesidir.

Şarj sırasında fırına kömür ve kireç eklemesi yapılmaktadır ve bunun sonucunda hurdanın eriyik maddesi oluşmaktadır. Dökümden döküme gerçekleşen seferleri minimize etmek için 165 MW güce sahip fırın transformerleri ile ultra yüksek güç verilmektedir. Proseste dökümden döküme geçen zaman ortalama 45 dk'dır. Ark ocağı yatay kolon su soğutması ve kapalı devredir. Geri kalan sistemlerin soğutması açık devredir. Enerji miktarını minimize etmek, refrakter ömrünü maksimize etmek ve ısı kaybını en az seviyeye düşürmek için kapalı devre su soğutma sistemi uygulaması yapılmaktadır. Çıkan su öncelikle havuza, daha sonra soğutma kulesinden geçiş yaparak tekrar sisteme enjekte edilmektedir. Buharlaşma aşamasına gelen su, ham su ile desteklenmektedir. EAO'ya oksijen brülörleri sayesinde enjekte edilmekte, toplam enerji miktarında büyük miktarda kazanç sağlanmaktadır. Çelikteki kükürt oranını azaltmak için prosese karbon ve kireç ile katkı verilmektedir. Bu süreçlerin sonrasında çeliğin verim ve kalitesi test edilmektedir.

EAO'larda cüruf–metal arasına oksijen ile ilave edilen karbonun cürufu köpürtmesi ve cüruf ile metal birbirlerinden daha basit bir şekilde ayrılmasıyla oluşan bu sistem de tesiste mevcuttur. Ark ocağının alt bölümü EBT olarak isimlendirilen holden oluşmakta ve bu hol vasıtasıyla da sıvı çelik potaya akmaktadır. Tüm bu bahsedilen sistemler merkez kontrol denetim odasından verimli bir otomasyon sistemi ile takibi sağlanmaktadır.

7.4. İkincil Metalürji

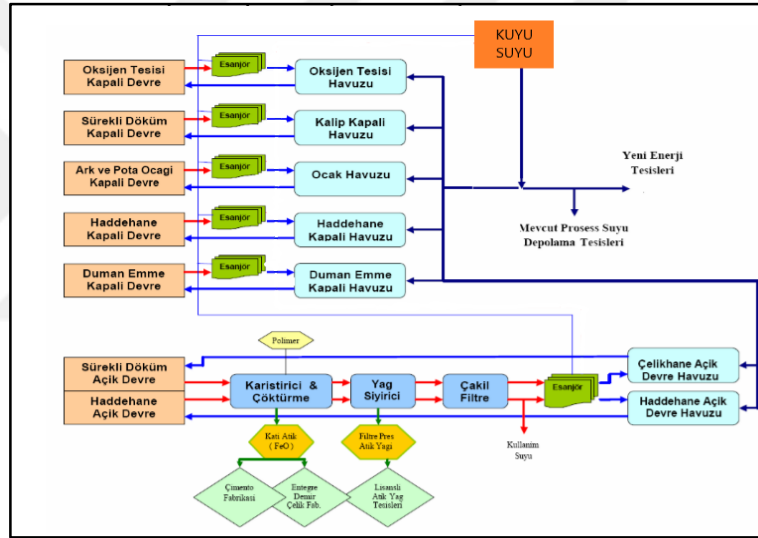
Tesiste ikincil metalürji pota ocağında yapılmaktadır. Pota ocağına gelen sıvı çelik analize alınır, analiz sonucuna göre istenilen kaliteye gelmesi için gerekli ferroalyaj ilaveleri yapılır ve belli sıcaklığa getirildikten sonra döküm pota ocağından çıkartılır. Tesiste ham çelik ark ocağından potaya akarken potaya silolardan mangan, silis ve kireç verilmektedir.

İkincil metalürji de tüketilen enerji miktarını minimize eden, EAO'daki refrakter ve elektrot ömrünü maksimize eden bir süreç olduğundan dolayı MET kapsamında kabul edilmektedir ve tesiste uygulanmaktadır.

Tesiste MET kapsamında bulunan vakum uygulamasına ikame olarak çalkantı gerçekleştirmek ve ısı dengesi sağlamak için çeliğe argon uygulanmaktadır. Döküm holü vinçleri aracılığıyla alınan potalar, pota ocağından sürekli döküm makinesine geçirilmektedir. Bu aşamada sıvı çelik tandış adı verilen ateş tuğlasından yapılmış büyük kalıplara boşaltılmakta ve soğutma bölümü diye isimlendirilen bölümde soğumaya bırakılmaktadır. Sonuç olarak katı hal almış ama akkor biçiminde çelik kütükler oluşmaktadır. Arzu edilen boyutlara ulaşması için kesim makine sistemlerinde kesilir. Soğuma sağlandıktan sonra çelik çemberler vasıtasıyla paketleme sürecine alınır ve burada paketlenip gönderilmeye hazır duruma getirilir.

7.5. Kapalı Devre Su Soğutma Sistemi ve Atıksu Arıtma Sistemleri

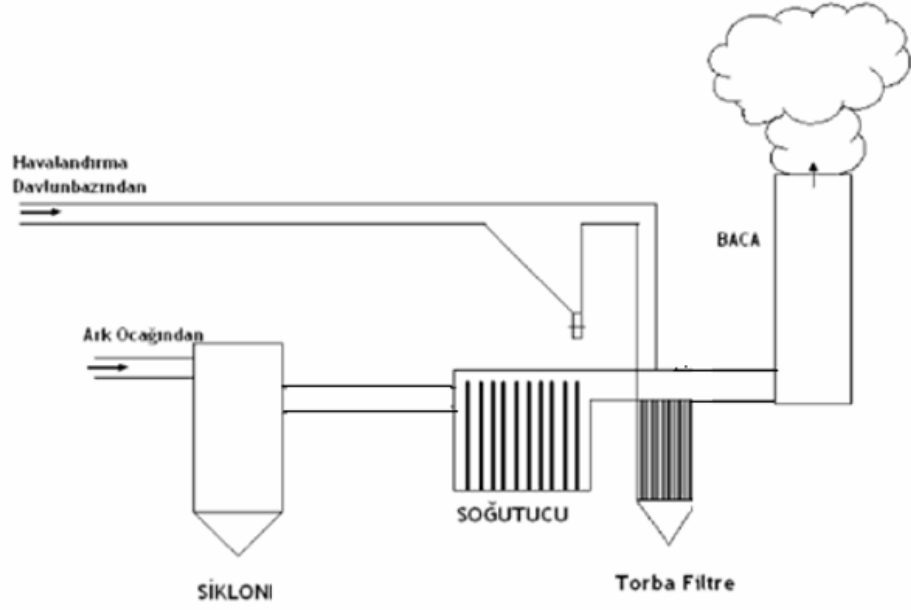
Tesisten çıkan atıksular evsel ve endüstriyel olarak iki gruptadır. Kuyu suyu, sistem sularını soğutmak için kullanılır ve endüstriyel kaynaklı atıksular bunlardır. Kapalı devre sistemde, sistem soğutma sularına eşanjörler vasıtasıyla ve kuyu suyu kullanılarak soğutma işlemi yapılmaktadır. Bu soğutma prosesinde ısı alışverişini titanyum kaplı eşanjörler yardımıyla sağlanmaktadır. Tesise alınan kuyu suyu ham su olarak geldiği için istenen özelliklere ulaşmak amacıyla suya kimyasal ilaveleri yapılır ve fabrika içinde soğutma suyu olarak kullanılır. Kapalı devre su soğutma sistemi MET açısından uygun bir biçimde uygulanmaktadır.



Şekil 7.4. Kapalı devre soğutma suları proses akım ve arıtma tesisi şeması [75]

7.6. İleri Düzey Emisyon Toplama ve Temizleme Sistemleri

İşletmede 4. delik aracılığıyla birincil emisyonlar toplanmaktadır. 4. delik sistemine ek olarak bütün firmayı kapsayacak bir baca sistemi de inşa edilmiştir. BREF' te en çok kullanılan sistemler arasında bu sisteme yer verilmiştir. Çelikhane kullanılan yakıt türlerinden ortaya çıkacak olan emisyon, duman emme sistemine geçmektedir. Sistem Şekil 7.5'te görüldüğü gibi işlemektedir.



Şekil 7.5. Çelikhane gazlarını temizleme sistemi proses akış şeması [75]

Bu geçişler 1 adet ana fan aracılığıyla emilerek sağlanmaktadır. Proseste ana fan 650.000 Nm³/h kapasiteli bir sistemle çalışmaktadır. Bu arada pota ocağı sistemi de davlumbaz borusuna basım yapmaktadır. Sistemde toz, dik siklonlarda %5, soğutucularda %2 ve filtrelemede %93 oranında çökelmektedir.

7.7. Etkin Sonradan Yakma

Tesiste etkin sonradan yakma işlemi, ayrı bir şekilde bulunan yakma odasında gerçekleşmektedir. İşlemin amacı, gaz temizleme ekipmanında kontrolsüz reaksiyonlar oluşmasını önlemek için çıkan gazda kalan CO ve H₂'nin tam olarak yakılmasını sağlamaktır.

7.8. Linyit Kok Tozu Enjeksiyonu

Mevcut En İyi Teknikler içeriğinde yer alan atık olan gazların arıtımında toplam mikro kirleticileri düşürmek için linyit kok tozu enjeksiyonu işletmede uygulanmaktadır.

7.9. EAO Cüruflarının Geri Dönüşümü

İşletmede yılda yaklaşık 250.000 ton cüruf ortaya çıkmakta ve fabrika bünyesinde depolanmaktadır. Ortaya çıkan cürufun az bir kısmı (tahmini %5) geri dönüşüm tesislerine verilmekte, geri kalanı ise hiçbir işlem görmeden açık sahalarda stokta bekletilmektedir. Tesisin katı atık bertaraf sistemi bulunmamaktadır.

7.10.EAO Tozlarının Geri Dönüşümü

Tesiste EAO tozlarının geri dönüşümünü sağlayacak bir sistem bulunmamakla beraber, bunların geri dönüşümünü yapabilecek kapasitedeki büyük veya küçük ölçekli firmalarla iletişime geçilerek baca tozu olarak satışı yapılmaktadır.

7.11. Uygulanacak Teknolojilerin ve Bu Teknolojilerin İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Belirlenmesi

BREF dokümanında yer alan prosese bağlı ve boru sonu teknikler açısından tesisin çelikhane ünitesinde adapte edilmesi gereken bir teknoloji bulunmamaktadır.

BREF dokümanında prosese bağlı teknikler bağlamında yer alan EAO proses optimizasyonu ve kapalı devre su soğutma sistemleri firmada uygulanmaktadır (Tablo 7.1).

Tablo 7.1. BREF’te belirtilen prosese bağlı MET ile Baştuğ Metalürji’deki uygulamaların karşılaştırılması

	BREF	Baştuğ Metalürji Uygulamaları
	(Ultra) Yüksek güç uygulaması-(UHP)	Mevcut
	Su soğutmalı yan duvarlar ve çatılar	Mevcut
	Oksi-yakıt yakıcılar ve oksijen verme	Mevcut
EAO Proses Optimizasyonu	Aşağıdan Dökme sistemi	Mevcut
	Köpüklü cüruf uygulaması	Mevcut
	Pota veya ikincil metalürji	Mevcut
	Otomasyon	Mevcut
Hurda Ön Isıtma		Mevcut
Kapalı Devre Su Soğutma Sistemleri		Mevcut

MET kapsamında yer alan boru sonu, ileri düzey emisyon toplama işletmede kullanılmaktadır. Atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu uygulanmaktadır. EAO cüruflarının geri dönüşümü konusunda ufak bir kısmını geri dönüşüm firmalarına satılmakta kalan kısmı atıl bekletilmektedir. EAO tozlarının geri dönüşümü konusunda da baca tozu olarak firmalara satımı sağlanıp geri dönüşümüne katkı sağlanmaktadır (Tablo 7.2).

Tablo 7.2. BREF’te belirtilen boru sonu MET ile Baştuğ Metalürji’deki uygulamaların karşılaştırılması

BREF	Baştuğ Metalürji Uygulamaları
İleri düzey emisyon toplama	Yapılmakta
Etkin sonradan yakma ve ileri düzey atık gaz arıtımı	Yapılmamakta
Atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu	Yapılmakta
EAO cüruflarının geri dönüşümü	Yapılmamakta (Satılıyor)
EAO tozlarının geri dönüşümü	Yapılmamakta (Satılıyor)

İncelenen firmanın yeni yatırımlarıyla ilgili finans modeli ve uyum planlanması hesaplanması

Firmanın çelikhane bölümündeki incelemelerde mevcut durum ve BREF dokümanı doğrultusunda belirtilen Mevcut En İyi Teknikler kıyaslandığında, firmanın EKÖK direktifine uyum bağlamında hiçbir ihtiyacı olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda ilk olarak Baştuğ Metalürji firmasının yatırımları incelenmiştir. Çevre kalitesinin korunması konusunda alanında gelişmiş firmalar arasında yer bulan Baştuğ Metalürji firmasında yapılan toplam yatırım miktarı sektöründeki çoğu firmadan yüksektir. Çelikhane biriminin ilk yapım bedeli yaklaşık olarak 35 milyon USD civarındadır. Bu maliyetin dağılımı Tablo 7.3’te gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Çelikhane tesisi maliyet analizi

Operasyon Ünitesi	Maliyetler (USD)
EAO	20.000.000
Pota Ocağı	5.000.000
Sürekli Döküm Makinesi	10.000.000
Toplam Bedel	35.000.000

Çelikhane üretilen kütüğün üretim maliyeti ise 400,1 USD/ton’dur. Bu maliyeti oluşturan üretim giderleri ve miktarları Tablo 7.4’te verilmiştir.

Tablo 7.4. Kütük üretim maliyeti (USD/ton)

Hammadde	Sıvı Çelik
Hurda	300
İşçilik	10
Genel üretim giderleri	80
Katkı malzemeleri	
Ferro alliyajlar,	
Kireç	
Kömür	
Diğer katkı malzemeleri,	
İşletme malzemeleri,	
Refrakter,	
Elektrod	
Merdane	
Kimyasallar,	
Enerji,	
Doğal gaz,	
Oksijen (nm ³ /t)	
Su tesisleri,	
Nakliye giderleri,	
Bakım ve yedek parça,	
Diğer	
Geri döndü	2,1
Amortisman	8
Üretim maliyetleri	400,1

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında demir-çelik tesislerinde oluşan katı atıklar irdelenmiş ve geri dönüşüm teknikleri detaylı olarak incelenmiştir. Ağır sanayi sektörü olan demir-çelik üretimi ton başına 400 kg aşan atık meydana getirmektedir. Böylesine atık oluşumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda geri dönüşüm, tekrar kazanım ve ikincil hammadde elde etmek için atığın birtakım işlemler ile geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması gereklidir.

Demir-çelik tesislerinde oluşan katı atıklar; yüksek fırın toz ve çamurları, sinter ünitesi tozları, çelikhane toz ve çamurları, pota metalürji tesisleri tozları, yağlı tufaller, haddehane tufalleri, ark ocağı tozları ve cüruftur. Bu atıkların büyük bir çoğunluğunu cüruf oluşturmaktadır. Oluşan cürufu değerlendirerek geri dönüşümünü sağlamanın asıl amacı; cüruf içerisindeki alüminyumu yüksek metali geri kazanarak oluşan ikincil cürufu ise çevre açısından etkisiz bir forma dönüştürerek bu atığı ekonomik bir değere dönüştürmektir. Cüruf değerlendirme işlemi 4 ana yöntem ile incelenmektedir. Bu işlemler demir-çelik sanayi için sentetik cüruf yapıcı (alüminyum nitelikli flaks) olarak kullanılması, alüminyum sektörü için tuz flaksları olarak kullanılması, ikincil alümina üretiminde kullanılması, çimento sektörü için katkı malzemesi olarak kullanılmasıdır. Genellikle demir-çelik tesislerinin yakın konumuna kurulan çimento tesisleri demir-çelik sektörünün atık yükünü azaltarak ve hammaddeye yakın olarak ekonomiye büyük bir kazanç sağlamaktadır. Tüm bu değerlendirme işlemlerine rağmen günümüzde hala atıl durumda bekletilen cüruf yığınları demir-çelik tesislerinde mevcuttur. Bu sorunu çözmek için gerekli çalışmalar yapılmalı hem tesisler hem de çevre oluşan kirlilikten korunmalıdır.

Demir-çelik tesislerinde atık olarak meydana gelen baca tozları, çamurları ve tozlaştırma tozları içerdiği yüksek metal içeriğinden dolayı hammadde değeri yüksek bir atıktır. Ancak içeriğinde yüksek miktarda ağır metal, kurşun, çinko bulundurması ve tanecik boyutunun değişken olmasından dolayı tesiste geri dönüşümünü sağlamak

oldukça zor olmaktadır. Bu atıklar ile ilgili geri dönüşümü sağlamak için yapılan teorik hesaplar ve yöntemler mevcut olmakla birlikte yeterli değildir.

Demir-çelik üretimi sonucu oluşan kütüklerin şekil almak için haddelenmesi sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan ince demir oksit tabakası tufal olarak nitelendirilmektedir. Tesislerde atık olarak sınıflandırılan tufal aslında bir yan ürün olarak işlem görmektedir. İçerdiği yüksek demir miktarı ve zararlı bileşen içermediğinden dolayı entegre demir-çelik tesislerinin sinter ünitelerinde kullanılarak geri dönüşümü sağlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında incelenen Baştuğ Metalürji demir-çelik tesisinin çelikhane ünitesinin MET'e uyum durumu tespit edilerek gerekli veriler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Demir-çelik endüstrisi ile ilgili BREF dokümanında çelikhane ünitesi için MET iki ana başlık altında yer almaktadır. Bunlar prosese bağlı ve boru sonu tekniklerdir. EAO proses optimizasyonu, kapalı devre su soğutma sistemleri ile hurda ön ısıtma prosese bağlı teknikler olarak gösterilmektedir. Baştuğ Metalürjide (Ultra) Yüksek güç uygulaması-(UHP), su soğutmalı yan duvar ve çatılar, oksijen yakıcılar ve oksijen verme, aşağıdan dökme sistemi (EBT) köpüklü cüruf uygulaması, ikincil metalürji ve otomasyon sistemi başlıklarını kapsayan EAO optimizasyonu tekniklerinin tümü tesiste mevcuttur. Hurda ön ısıtma tesiste kullanılmamaktadır. Bu da tesisin emisyon oranlarının artmasına sebep olmaktadır. Tesiste ark ocağı yatay su kolonunda kapalı su soğutma sistemi kullanılırken, tesisin geri kalan bölümlerinde açık su soğutma sistemi kullanılmaktadır. BREF'de kapsam dışı bırakılan radyoaktif kontrolü tesis girişindeki ana kantarında bulunan radyasyon seviye ölçer cihazlar ile yapılmaktadır. Boru sonu teknikler kapsamında ise ileri düzey emisyon toplama, etkin sonradan yakma, ileri düzey atık gaz arıtımı, atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu, EAO tozlarının ve cüruflarının geri dönüşümü teknikleri kullanılmaktadır. Tesiste oluşan EAO cüruflarının az bir miktarı geri dönüşüm tesislerine gönderilirken büyük çoğunluğu tesiste açık sahalarda bekletilmektedir. Ortalama yıllık 250 bin ton açığa çıkan EAO cürufları katı atık tesisinin işletmede bulunması gerekliliğini göstermektedir. Atık gaz arıtımında linyit kok tozu enjeksiyonu tesiste uygulanmaktadır. EAO cüruflarının geri dönüşümü haricinde boru sonu tekniklerin

büyük çoğunluğu tesiste eksiksiz uygulanmaktadır. Türkiye’de bir ilk olarak kullanılan AC tip, teleskopik tipli, 170 ton/döküm kapasiteli EAO diğer türlerine göre enerji ve üretim avantajı sağlamaktadır. İşletme, MET kapsamında sahip olduğu alt yapısının birkaç eksiklerinin yerine getirilmesi ile EKÖK direktifine uyum sağlamak adına büyük bir zorlukla karşılaşmayacaktır.



KAYNAKÇA

1. Robinson, R., “Studies low temperature self reduction of by-products from integrated iron and steel making”, *Ph.D. Thesis, Lulea University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Process Metallurgy*, Lulea, Sweden, 1-46, 2008
2. DPT, “SBYKP Demir-Çelik Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, *DPT Yay. No: 2497, ÖİK Raporu No: 520, Ankara 2000*
3. Sezgin, T. ve Kuyumcu, O., “Demir-Çelik, Demir-Çelik Eşya”, *Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara 2007*
4. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Elektrik ark ocaklı demir çelik tesisleri için MET kılavuzu ÇŞB. Kasım 2012
5. DOĞAKA Demir Çelik Sektörü Atık Raporu, 2014 https://issuu.com/arti5medya/docs/dogaka_demir_celik_sektor_raporu_28 (Erişim tarihi: 26.02.2019)
6. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, 2019
7. World Steel Association, World Steel in Figures, 2015 <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/2015/World-Steel-in-Figures2015/document/World%20Steel%20in%20Figures%202015.pdf> (Erişim tarihi: 26.02.2019)
8. Doğanstepe, G., “Hematit karakterli demir cevherinden ve yüksek fırın baca tozundan sünger demir üretilebilirliğinin araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 34-35, 2013*
9. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi. “Türkiye demir ve demir dışı metaller meclisi sektör raporu”. *TOBB Ankara; 2013.*
10. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) “Ana Metal Sanayii Çalışma Grubu Raporu”. Ankara 2018
11. Boyrazlı, M., “Demir cevheri içerisindeki safsızlıkların olumsuz etkilerinin giderilme yollarının araştırılması”, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-34 (2008).*
12. Yıldız, N. “Türkiye’de demir madenciliğinin dünü ve bugünü” Regional Iron and Steel Investment Summit, *Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 1-32 (2012).*

13. Kokten, E.S., Karakaya, A., “SWOT (GZFT) Uygulaması ile Karabük Demir Çelik Sektörünün Analizi” , 5. *Uluslararası Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, s.84-86, Bakü-Azerbaycan, 2017.
14. T.C. Kalkınma Bakanlığı. Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 “Demir-Çelik Çalışma Grubu Raporu”. KB. Ankara. (2014).
15. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası ,“Demir Çelik Sektörü Raporu”, *TSKB*, Mayıs 2018
16. European Commission, IPPC Best AvailableTechnique Reference Document on Production of Iron and Steel , 2001.
17. İzgiz, S.. Demir Cevherinin Peletlenmesi, Erişim Tarihi: 26.02.2019 URL:<http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/575.pdf>
18. EuropeanCommission. IPPC Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel, 2009.
19. Elektrik Ark Ocağı İle Demir Çelik Üretimi. Erişim Tarihi: 26.02.2019 URL: http://www.arcfurnace.com/tr/electric_arc_furnaces.html
20. Küçük boyutlu bir elektrik ark ergitme fırınının üretimi ve optimizasyonu/Production and optimisation of small sized electric arc melting furnace Uğur AVCI - 2006 - acikerisim.firat.edu.tr
21. Jurgen, P., En Dell, R., “How German steel industry is managing waste disposal, Steel Technology” 275-279, 1996
22. Bakar, D., “Demir ve çelik tesislerinin yüksek demir ve karbon içeren atıklarını değerlendirme teknolojileri ve Erdemir için önerilen yöntemin tanıtımı”, 3. *Demir Çelik Kongresi ve Sergisi*, Erdemir A.Ş, Ereğli, Zonguldak, 165-168 (2005).
23. Robinson, R., “High temperature properties of by-product pellets containing blast furnace flue dust”, *Science Direct Thermochemica Acta*, 432: 112-123 (2005).
24. Erünsal, E. ve Perçinel, S., “Entegre demir çelik fabrikalarında oluşan katı atıkları değerlendirme teknolojilerindeki son gelişmeler”, *Demir Çelik Sempozyumu*, Erdemir A.Ş, Zonguldak, 989-994 (2005).
25. Mazzarano, A., “Recoflex™: the CSM modular and tailored solution for an economical and ecological sustainable steel production”, *Regional Iron and Steel Investment Summit.*, Centro Sviluppo Materiali SpA, Italy, 21-42 (2012).

26. Önkibar, G., “Entegre demir çelik tesisi tufalinden doğrudan redüklenme yöntemi ile ham demir üretimi”, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 20-120, 2006.
27. PRD Çevre Yatırımları Planlama ve İnşaat Ltd. Şti., “Baca tozu ve tufal geri kazanım tesisi projesi nihayi çed raporu”, Marzinc Marmara Geri Kazanım Sanayi ve Ticaret A.Ş, Ankara, 10-46 (2011).
28. ALTAN, E., “Çelikhane Curufu İçerisindeki Hurdaların Değerlendirilmesi”, *I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi*, Zonguldak 2001
29. SUK, M., JO, S., KIM S., LEE, K., PARK, J., X-Ray Observation of Phosphorus Vaporization from Steelmaking Slag and Suppression Method of phosphorus Reversion in Liquid Iron, *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 37B, No. 1, pp. 99-107 2006.
30. İSKENDERUN KATI ATIK BERTARAF TESİSİ, ÇED Başvuru Dosyası, Payas, Dört Yol , Hatay 2009.
31. REUTER M., XIAO Y., BOIN U. “Recycling and environmental issues of metalurgical slags and salt fluxes”. *VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts*, 349-356 p. 2004.
32. KAYA G., TURAN S. “Yüksek Fırın Cürufalarının Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi”, *Mühendis ve Makine*, Cilt 45, Sayı 536: 48-60. 2003.
33. DIETZ S. “Zero Waste Initiatives a Boon for the Scrap Metal Industry, Thermo Fisher Scientific”, 2014. <https://www.thermofisher.com/blog/metals/zero-waste-initiatives-a-boon-for-the-scrap-metal-industry>, (Erişim Tarihi: 04.07.2019)
34. SOUTER L., WATMOUGH S.A., “Geochemistry and Toxicity of a Large Slug Pile and its Drainage Complex in Sudbury, Ontario”, *Science of the Total Environment*, 606-606, 461-470, 2017
35. BRADL H.B. *Adsorption Of Heavy Metal Ions On Soils And Soil Constituents*, *J.Cooloid Interface Sci*, 277(1), 1-18. 2004
36. YILMAZ A., YILDIZ AH. “Cüruf Atıklarının Yol İnşaatında Kullanılması Durumunda Çevresel Etkileri”, *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, 267-279. 2015.

37. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı. “Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Raporu” *TTGV Şubat* 2012, Demir-Çelik Sektörü Atıklarının Ekonomiye Kazandırılması.
38. SİVRİ H. Recycling industry dergisinden alıntıdır.2017.<http://www.hikmetsivri.com/index.asp?id=2&hid=510&sid=h>(Erişim Tarihi:04.07.2019)
39. GÖKALP İ., UZ V.E., SALTAN M., TUTUMLUER E. *Technical and environmental evaluation of metalurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications*,*Transportation Geotechnics*,14, 61-69, 2018.
40. ÖCAL Y. “Demir çelik sektöründe atık yönetimi”, *Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı Yayın No:2911*. 2014.
41. ÜNAL S., YÜCEL O., KURT M., GÜL S. “Atık’tan Ürün’e Demir-Çelik Cürufu”, *İleri Teknolojiler Çalıştayı*,255-267,2014.
42. BAYCIK S. “Granüle Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*. 2003.
43. LEMOUGNA P.N., WANG K-T., TANG Q,CUI X-M. *Study on the Development of Inorganic Polymers from red Mud and Slag System.Application in Mortar and Lightweight Materials*,15,486-495,2017.
44. SAYED M., ZEEDAN S.R. “Green Building material using alkali activated blast furnace slag with silica fume”,*Housing and Building National Research Center HBRC Journal*, 8, 177-184, 2012
45. YI H., XU G., HUIGAO C., WANG J., NAN Y., CHEN HAN. “Overview of Utilization of Steel Slag”, *Procedia Environmental Sciences*, 16: 791-801. 20
46. MIHOK L., SEILEROVÁ K., BARICOVÁ D. “ Recycling of Steelmaking Slag from Electric Arc Furnace”, *Archives of Foundry*, 4(13), 165-169. 2004.
47. VARVARA DAI., MÂRZA MC., BRÂNDUŞAN L., ACIU C., BALOG A., COBÎRZAN N. “Assesment of Metallic Iron Content from Steelmaking Slags in order to Conserve Natural Resources”,*Procedia Technology*,12, 615-620. 2014.
48. FHWA. U.S. Department of Transportation Fedaral Highway Administration, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Steel Slag, 2017.
49. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, “Demir Çelik Cüruf Raporu”. *TCUD*. 2015.

50. PARK J.H., WANG J.J., KIM S.H., SIU C.J., SEO D.C. Phosphate Removal in Constructed Wetland with Rapid Cooled Oxygen Furnace Slag ,Chemical Engineering Journal,Volume 327,713-724. 2017.
51. NASUHA N., ISMAIL S., HAMEED BH. Activated Electric Arc Furnace Slag as an Effective and Reusable Fenton-like Catalyst for the Photodegradation of Methylene blue and Acid Blue 29, Journal of Environmental Management,196,323-329. 2017.
52. SUHU N., BİSWAS A., KAPURE G. A short review on utilization of ferrochromium slag, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2016, vol.37, No.4, 211-219. 2016.
53. GENÇEL O., SUTCU M., ERDOĞMUS E., KOC V., CAY VV. Properties of Bricks with Waste Ferrochromium Slag and Zeolite,Journal of Cleaner Production, 59, 111-119. 2013.
54. HUANG Y., WANG Q., SHI M. Characteristics and Reactivity of Ferronickel Slag, Construction and Building Materials, 156, 773-789. 2017.
55. NAJIMI M.,SOBHANI J., POURKHORSHIDI A.R. Durability of copper slag contained concrete exposed to sulfate attack”,Construction and Building Materials,1895-1905, 2011.
56. BEŞE A. “Bakır cüruflarından metallerin kazanılması”, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*,2(1):140-149. 2017.
57. SHI C., MEYER C., BEHNOOD A. Utilization of Copper Slag in Cement and Concrete., Resources, Conservation and Recycling, 52: 1115-120. 2008.
58. ÇELİK OH. “Alüminyum Siyah Cüruflarındaki Alüminyumun ve Bileşiklerinin Hidro ve Pirometalurjik Yöntemler ile Geri Kazanılması”, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*. 2015.
59. SÖZBİR N, AKÇİL M, OKUYUCU H. “Alüminyum Cürufundan Alüminyum Metali ve Flaks Eldesi”,*ISME*,1109-1113, 2014. Adıyaman,Türkiye.
60. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Sektörel Atık Kılavuzları, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretimi”, *ÇŞB*, 2016.
61. YÜCEL O., CAR E. “Alüminyum Cüruflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Cüruf Yapıcı Üretimi”, 2015. www.metalurji.org.tr (Erişim tarihi: 05.07.2019)

62. Nayak, N. P., “Characterization and utilization of solid wastes generated from Bhilai Steel Plant”, *M.Sc. Thesis, Department of Mining Engineering National Institute of Technology, Rourkela, India*, 38-51 (2008).
63. Jalkanen, H., Oghbasilasie, H. and Raipala, K., “Recycling of steelmaking dusts- The Radust concept”, *Journal of Mining and Metallurgy*, 41-B: 1-16 (2005).
64. Doğar, M. T., “İskenderun Demir Çelik Fabrikası A.Ş’de kalite kontrol uygulamaları”, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 8-10 (2008).
65. Doğantepe, G., Yıldırım, M., Taşyikan, Kahraman, M. A. ve Furtun, F., “Yüksek fırınlar ve sinter müdürlüğü tanıtım sunumu”, *Yüksek Fırınlar ve Sinter Müdürlüğü Kardemir A.Ş, Karabük*, 1-20 (2010).
66. Özkan, V., “YF. ve sinter müdürlüğü atık raporu”, *Yüksek Fırınlar ve Sinter Müdürlüğü, Kardemir A.Ş, Karabük*, 1-3 (2013).
67. Vereš, J., Jakabský, Š. and Šepelák, V., “Chemical, physical, morphological and structural characterization of blast furnace sludge”, *Bunsen Colloquium Spectroscopic Methods in Solid State Diffusion and Reactions*, Leibniz University, Hannover, Germany, 88-91 (2009).
68. Yıldız, K., “Demir Çelik Metalurjisi Bölüm 3 Hammaddeler Ve Ön İşlemler”, http://www.cs.sakarya.edu.tr/sites/kenyil/file/demircelik3_hammaddelerveonislemler.pdf (2013). Erişim tarihi : 09.07.2019
69. Doğan, Ö., Gürbüz, U. ve Akküllah, E., “Sinter fabrikasında ark ocaklı tesislere ait tufalin değerlendirilmesi”, *3. Demir Çelik Kongresi ve Sergisi*, Ereğli, 345-348 (2005).
70. OECD SC (Steel Committee), “The Future of the steel industry: selected trends and policy issues”, Paris, Kasım 2012.
71. Yellishetty, M, Mudd, G. M., Ranjith, P. G. ve Tharumarajah, A., “Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects”. *Journal of Environmental science and policy* 14, 28 Mayıs 2011, ss. 650–663.
72. WSA (World Steel Association), The tree Rs of sustainable steel, Brüksel, Mart 2010, <http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets.html>

73. WSA (World Steel Association), Steel solutions in the green economy, Future Steel Vehicle, Brüksel, 2013.
74. AB Konseyi, Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Direktifi, 96/61/EC, 1996.
75. AB Konseyi, Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Direktifi, “Demir ve Çelik Üretiminde En İyi Teknolojiler Referans Dokümanı”, Tercüme, *Demir Çelik Üreticileri Derneği*, Ankara, Şubat 2007
76. Erenğüç, A., “AB entegre kirlilik önleme ve kontrolü direktifi (IPPC) için düzenleyici etki analizi ve bir uygulama: Demir çelik endüstrisi”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 70-108, 2007.
77. Özdabak, A.,. “Demir Çelik ve Enerji, Elektrik Ark Fırını”, Rengin Basımevi, İstanbul. 2004.
78. <https://bastugmetalurji.com.tr/index.php> , Baştuğ Metalürji resmi internet sitesi, Erişim tarihi: 30.04.2020

EKLER

EK A

İNCELENEN İŞLETMENİN İZİN-ONAY YAZISI

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ'NE
(Fen Bilimleri Enstitüsü)

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Gülizar GÖKCECİK'e (17011010013) Baştuğ Metalurji Sanayi A.Ş. bilgileri, hazırlanmış olduğu "Demir Çelik Tesislerinde Kaynaklanan Atıkların Yeniden Kullanımı ve Geri Dönüşümü" tez konusunda bilimsel açıdan kullanmasında sakınca görülmemektedir.

Serkan Dolapçioğlu

Teknik Müdür Yardımcısı


Baştuğ Metalurji Sanayi A.Ş.
Mentşe Baştuğ Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. / OSMANLIYI
www.bastugmetalurji.com.tr
Ticaret Sicil No: 269498/0200
Büyükdere Y.İ. 067 007 2100

ÖZGEÇMİŞ

Gülizar Gökcecik, 1995 yılında Hatay'da doğmuştur. İlk ve Ortaöğrenimini 5 Temmuz İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2013 yılında, lise öğrenimini Kırıkhan Fevzi Çakmak Anadolu Lisesi' nde tamamladıktan sonra, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde eğitime başlamış ve 2017 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Programında öğrenim görmeye başlamıştır.

