ANA DEMİR VE ÇELİK ÜRÜNLERİ İLE FERRO ALAŞIMLARIN İMALATI

KAYNAK VERİMLİLİĞİ REHBERİ

ANKARA, 2019

Türkiye Cumhuriyeti
SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

TÜBİTAK
MAM

YAYIN NO: e-15

ANA DEMİR VE ÇELİK ÜRÜNLERİ İLE FERRO ALAŞIMLARIN İMALATI
KAYNAK VERİMLİLİĞİ REHBERİ

Yayın No: e-15

Sanayide Kaynak Verimliliği Rehberi-8

Ağustos 2019

Bu yayına ait her türlü çıktının fikri ve sınai mülkiyet hakları T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na aittir.

YAYINA HAZIRLAYANLAR

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Ekibi

Adı Soyadı	Çalıştığı Kurum	E-Posta Adresi	Projedeki Sorumluluğu
Ayşegül AVİNAL	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü	Aysegul.Avinal@tubitak.gov.tr	Sektör Sorumlusu
Ceren TOSUN	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü	Ceren.Tosun@tubitak.gov.tr	Sektör Sorumlusu Yrd.
Dr. Sönmez DAĞLI	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü	Sonmez.Dagli@tubitak.gov.tr	Proje Yöneticisi
Tuba BUDAK DUHBACI	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü	Tuba.Budak@tubitak.gov.tr	Proje Yönetici Yrd.
Dr. Emrah ŞIK	Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü	Emrah.S@tubitak.gov.tr	Proje Yönetici Yrd.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü Ekibi

Belçim Aytekin KESKİN — Deniz KOÇ — Murat EVREN — Dr. Mustafa Kemal AKGÜL

Bu rehber, Verimlilik Stratejisi Eylem Planı (2015-2018) kapsamında T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü sorumluluğunda, imalat sanayiinde sürdürülebilir üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılması için sektörler bazında rehber dokümanlar hazırlanması gereksinimlerinin kısmen yerine getirilmesi için sunulmuştur.

ISBN

978-605-7887-03-0

Mavi Kare Reklamcılık ve Tan. Hiz. Ltd. Şti.

Naci Kasım Sk. Hüseyin Özer İş Merkezi No:3/1 Mecidiyeköy Şişli-İSTANBUL

Hatırlatma

Bu rehberin içeriği, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, resmi görüşünü yansıtmamaktadır. Rapordaki bilgi ve görüşlerin sorumluluğu TÜBİTAK-MAM'a aittir. Bu raporlardaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM sorumlu değildir. Bu rapor kurumdan izin alınmadan reklam amaçlı kullanılamaz.

ANA DEMİR VE ÇELİK ÜRÜNLERİ İLE FERRO ALAŞIMLARIN İMALATI
KAYNAK VERİMLİLİĞİ REHBERİ

2019

Türkiye Cumhuriyeti
SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

TÜBİTAK
MAM

ÖNSÖZ

ÖNSÖZ

İşletme kârlılığı ve çevre üzerindeki olumlu etkilerinin daha bilinir hale gelmesi ile sanayide sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği konularındaki çalışmaların önemi daha da belirginleşmiştir. Bu gelişmenin doğal bir sonucu olarak, işletmelerin kâr ve büyüme odaklı geleneksel bakış açısı yerini tüm iş süreçlerinde sürdürülebilirliğin göz önünde bulundurulduğu bir yaklaşıma bırakmaktadır. Söz konusu dönüşümde, yasal düzenlemeler, çevresel sorunlarla ilgili farkındalığın toplum düzeyinde artması, müşteri tercihlerindeki değişiklikler ve dış ticaret engelleri gibi etmenler de şüphesiz büyük rol oynamaktadır. Kaynak verimliliği bazlı çalışmalar, kurumsal firmalar başta olmak üzere tüm sanayi sektörlerinde yaygınlaşmaktadır. Sektördeki gelişmelere paralel olarak, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından "sanayinin verimlilik temelli yapısal dönüşümünü hızlandırmak" temel amacı ile hazırlanan Verimlilik Stratejisi ve Eylem Planı 2015-2018 (VSEP) kapsamında, konu ile ilgili genel strateji çerçevesi oluşturulmuş, öncelikler ve dönüşüm alanları belirlenmiş ve başvurulacak başlıca politika araçları tanımlanmıştır. "Sanayide sürdürülebilir üretim altyapısına dönüşüm sürecinde uygulama ve teknolojilerin yaygınlaştırılması VSEP'te belirlenmiş olan altı temel hedeften birisi olarak yerini almıştır. İmalat sanayiinde sürdürülebilir üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılması için sektörel rehberler hazırlanması, söz konusu hedefe ulaşılmasını sağlamak üzere kullanılabilecek araçlardan birisi olarak öngörülmüştür.

Bu amaçla hazırlanan rehberlerden birisi olan bu çalışmada, ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı alt sektörüne yönelik başlıca kaynak verimliliği önlemleri ve örnek çalışmalar sunulmaktadır. Rehberin içeriği, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü'nün yürütücülüğünde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından hazırlanmış olup; içeriğin oluşturulmasında, ulusal ve uluslararası yayınlardan, iyi uygulama örneklerinden, saha ziyaretlerinden ve Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanlarından yararlanılmıştır. Rehberin hazırlık sürecinde emeği geçen TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü çalışanlarına, sektör danışmanlarına ve işletme temsilcilerine teşekkürlerimizi sunuyor ve rehberin ilgili tüm paydaşlar için yararlı olacağını umuyoruz.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, 2019

ÖNSÖZ

ÖNSÖZ

Gelişmekte olan ülkelerin çevresel göstergeleri endüstriyel kirlenme kontrolünde zaman zaman yaşanılan zorluklar sebebi ile genellikle iyileştirilmeye açıktır. Sanayi kuruluşları bir yandan üretim yapmak ve kâr etmek, diğer yandan mevcut çevre müktesebatına uyum sağlamak için yenilikçiliğe sürekli açık olmak durumundadırlar. Bu sebeple özellikle 1990'lardan sonra tüm dünya ölçeğinde sanayide sürdürülebilir üretim, eko-verimlilik, temiz üretim uygulamaları türü kavramlar sıkça bahsedilmeye başlanmıştır. Sanayide kirlenme kontrolü AB'de 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirlilik Kontrolü Direktifi (IPPC) ile bütüncül bir yaklaşımla ele alınmış ve gelinen noktada Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EID) halini almıştır. AB Aday Ülkesi olan ülkemizde de sanayiye bu endüstriyel kirlenmenin azaltılması için önemli görevler düşmektedir. Bunu yapmanın en önemli yollarından biri de her türlü üretim girdisinde (hammadde, su, enerji vb.) tasarruf sağlayıcı işlemler ile hem çevresel etkileri azaltmak hem de üretim kârlılığı yakalamak olarak tarif edilebilecek kaynak verimliliğidir. Mevcut En İyi Teknikler (MET) olarak tanımlanan ve sağladıkları faydalar ispatlanmış olan teknikleri kullanmak çoğu zaman küçük yatırımlar ve işgücü ile mümkün olabilmekte ve işletmelere önemli tasarruf sağlayabilmektedir.

2000'li yıllardan itibaren daha sık duyulan kaynak verimliliği, ülkemizde 2011 yılında kurulan Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından doğrudan takip edilmekte ve sanayi kuruluşlarında farkındalık arttırıcı çeşitli etkinlikler (Sempozyum, Çalıştay, Anahtar Dergisi, Uygulamalı Projeler vb.) ile yönetilmektedir. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi de, uygulamalı projelerle sanayi kuruluşları ve kamuya önderlik etmeye çalışan bir kamu kurumudur. Bu amaca uygun olarak Çevre Enstitüsü, adını 2013 yılında Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü olarak yenileyerek Temiz Üretim Stratejik İş Birimi kurmuştur. Hazırlanan bu rehber ile daha önce üretilen sanayide kaynak verimliliği alanındaki projelere ilaveten yeni bir çalışmanın içinde olmaktan kıvanç duyuyor, rehberin sanayi kuruluşlarında yapılmakta olan temiz üretim ve kaynak verimliliği çalışmalarına ayrı bir ivme kazandırmasını diliyoruz. Rehber, özellikle KOBİ'lerin ihtiyaç duyabilecekleri temel konular, sektörün mevcut durumu, üretimde ortaya çıkan çevresel etkiler ve bu etkileri azaltmanın yolları, mevcut en iyi teknikleri ve bu tekniklere ait ülkemizde ve dünyadaki uygulamalı örnekleri içerecek şekilde profesyonel tasarım ve görsel malzemeler kullanılarak hazırlanmıştır.

Bu rehberin hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü personeline şükranlarımızı sunar ve teşekkür ederiz.

TÜBİTAK MAM
Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, 2019

İÇİNDEKİLER

Tablo Listesi iii

Şekil Listesi iv

Kısaltmalar Listesi v

1. Rehberin Amacı & Kapsamı 1

2. Kaynak Verimliliği Ve Temiz Üretim Nedir? 5

3. Sektör Profili 9

4. Üretim Süreçleri 17
   - 4.1. Demir Cevherinden Çelik Üretim Süreci 19
   - 4.2. Hurda Demirden Çelik Üretim Süreci 23
   - 4.3. Haddeleme Süreci 24
   - 4.4. Ferrokrom Üretim Süreci 25

5. Çevresel Etki Yaratan Alanlar 27
   - 5.1. Su Tüketimi 29
   - 5.2. Atıksu Oluşumu 31
   - 5.3. Enerji Tüketimi 33
   - 5.4. Emisyonlar 35
   - 5.5. Ham Madde Kullanımı 40
   - 5.6. Atık Oluşumu 42
   - 5.7. Gürültü 44

6. Kaynak Verimliliği Önlemleri 45
   - 6.1. Demir Ve Çelik Üretimi İçin Mevcut En İyi Teknikler Hakkında Referans Belgesi 47
   - 6.2. İlgili Çevre Ve Enerji Mevzuatı 48
   - 6.3. Demir Ve Çelik Üretimine Yönelik Temiz Üretim Olanakları 49
   - 6.4. Türkiye'den Ve Dünyadan İyi Uygulama Örnekleri 68

7. Kaynakça 83

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Ana metal sanayii sektörü ilgili NACE Rev.2 kodları	11
Tablo 3.2	Yıllara göre dünya ham çelik üretim verileri (milyon ton)	12
Tablo 3.3	Yıllara göre dünya ham çelik tüketim verileri (milyon ton)	12
Tablo 3.4	Kişi başı görünür çelik kullanımı (kg ham çelik/kişi)	15
Tablo 5.1	Demir ve çelik üretim süreçlerinin doğrudan çevresel etkileri	29
Tablo 5.2	Çelik üretim proseslerinde ortalama su tüketim miktarları (m^3/ton ham çelik)	30
Tablo 5.3	Yaş oksidasyonlu desülfürizasyon prosesine ait atıksu kompozisyonları	31
Tablo 5.4	Çelik üretim proseslerinde ortalama atıksu oluşum miktarları (m^3/ton ham çelik)	32
Tablo 5.5	Bir ferrokrom tesisinden suya verilen emisyonlar	33
Tablo 5.6	Çelik üretim proseslerinde ortalama enerji tüketim miktarları (MJ/ton ham çelik)	34
Tablo 5.7	Ferrokrom üretiminde, üretilen bir ton alaşım başına brüt ham madde tüketim verisi	35
Tablo 5.8	Kok söndürme kulelerinde oluşan doğrudan emisyonlara ilişkin faktörler (g/ton kok)	36
Tablo 5.9	Yanmanın baskılandığı bazik oksijen fırınında emisyon azaltımı sonrası elde edilen spesifik emisyon değerleri	37
Tablo 5.10	EAO prosesinden kaynaklı hava emisyonlarının torbalı filtre ve elektrostatik filtrelerde arıtılması sonrası mevcut konsantrasyonları	38
Tablo 5.11	Bir FeCr tesisinde ham maddenin kırılması ve öğütülmesi sırasında oluşan toz emisyonları	39
Tablo 5.12	Bir ferrokrom üretim tesisinde kırma ve eleme istasyonlarında oluşan çok ince ürünlerin geri kazanımı	39
Tablo 5.13	Bir FeCr tesisinde izabe işleminden sonra ürünün boyutunun küçültülmesi sırasında oluşan toz emisyonları	39
Tablo 5.14	Bir ton alaşım üretimi bazında ferrokrom üretiminden kaynaklanan toz emisyonları	40
Tablo 5.15	Ham çelik üretiminde kullanılan temel ham maddelerin üretim süreçlerinde ortalama kullanım miktarları (ton/ton ham çelik)	41
Tablo 5.16	Ferrokrom üretiminde, üretilen bir ton alaşım başına brüt ham madde tüketim verisi	41
Tablo 5.17	Genel baca gazı tozu kimyasal bileşimi	43
Tablo 5.18	Bir ton ferro alaşım için oluşan cüruf, toz ve çamur miktarları ve bunların kullanım olasılıkları	44
Tablo 5.19	Hava emisyonlarını azaltma sisteminde oluşan toz ve çamurun miktarı, geri dönüşümü yeniden kullanımı ve tahliyesi	44
Tablo 6.1	Demir ve çelik üretimi için referans belgesi temel bölümleri	47
Tablo 6.2	Demirli metallerin işlenmesi için referans belgesi temel bölümleri	48
Tablo 6.3	Demir ve çelik üretimine dair ilgili kanun ve yönetmelikler	48
Tablo 6.4	Kok üretiminden kaynaklanan temel katı atıklar	54
Tablo 6.5	Genel kontrol listesi	59
Tablo 6.6	Demir ve çelik üretimi ile ilgili kontrol listesi	62

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	2017 yılı dünya ham çelik üretim (a) ve tüketiminin (b) ülkelere göre dağılımı	13
Şekil 3.2	Türkiye'nin yıllara göre ham çelik üretimi ve tüketimi	13
Şekil 3.3	Ülkelerin 2017 yılı dünya çelik ihracatı (a) ve ithalatındaki (b) payları	14
Şekil 3.4	Türkiye'nin yıllara göre çelik ihracat ve ithalat miktarı (milyon ton)	14
Şekil 4.1	Demir cevherinden çelik üretim süreci	19
Şekil 4.2	Hurda demirden çelik üretim süreci	20
Şekil 4.3	Haddeleme süreci	23
Şekil 5.1	Entegre demir ve çelik üretiminde ana proseslerin su tüketimi oranları	30
Şekil 5.2	Entegre demir ve çelik üretiminde proseslerin enerji tüketimi oranları	34

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKM	: Askıda Katı Madde
AOD	: Argon Oksijen Dekarbürasyonu
BAE	: Birleşik Arap Emirlikleri
BOF	: Bazik Oksijen Fırını
BREF	: Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı (Best Available Techniques Reference Document)
BTEX	: Benzen, Toluen, Ksilen
DK FeCr	: Düşük Karbonlu Ferrokrom
DRI	: Sünger Demir/Doğrudan İndirgenmiş Demir
EAO	: Elektrik Ark Ocağı
ESF	: Elektrostatik Filtre
IED	: Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (Industrial Emissions Directive)
IPPC	: Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi (Integrated Pollution Prevention and Control)
IO	: İndüksiyon Ocağı
KFG	: Kok Fırın Gazı
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MET	: Mevcut En İyi Teknikler
NACE	: Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması
PAH	: Poliaromatik Hidrokarbonlar
PCB	: Poliklorlanmış Bifeniller
PCDD/F	: Poliklorlanmış Dibenzo-p-dioksin ve Dibenzofuran
SÇ	: Sıvı Çelik
SNCR	: Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme
TO	: Ters Ozmos
TOK	: Toplam Organik Karbon
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
VOD	: Vakum Oksijen Dekarbürasyonu
YF	: Yüksek Fırın
YFG	: Yüksek Fırın Gazı
YK FeCr	: Yüksek Karbonlu Ferrokrom

1. REHBERİN AMACI & KAPSAMI

1 REHBERİN AMACI & KAPSAMI

Verimlilik Stratejisi Eylem Planı (2015-2018) kapsamında T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü sorumluluğunda, imalat sanayisinde sürdürülebilir üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılması için sektörel rehberler hazırlanması öngörülmüştür. Bu amaçla 2016 yılında hazırlanan ilk iki rehber, "Et ve Et Ürünleri İmalatı" ve "Süt ve Süt Ürünleri İmalatı" alt sektörü rehberleridir. İlgili rehberler kaynak verimliliği uygulamalarını teşvik edici ve yol gösterici bilgiler ve örnek çalışmalar sunmaktadır Ana metal sanayii ana sektörü altında **"Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı - NACE kod 24.10"** alt sektörüne yönelik olarak hazırlanan bu rehberin hedef kitlesi sektördeki işletmelerin yönetim, üretim-planlama, kurumsal iletişim ve halkla ilişkiler bölümlerinde görev yapan tüm çalışanlardır. Rehber, ülkemizin en önemli sektörlerinden biri olan demir ve çelik üretimi sektöründe sürdürülebilir kaynak verimliliği konusunda farkındalığı artırmak amacıyla hazırlanmıştır.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından ülkemizde imalat sanayi için kaynak verimliliği potansiyelinin belirlenmesi amacıyla TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü ile 2014-2017 yılları arasında "Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi" isimli bir kamu yatırım projesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye imalat sanayinde seçilmiş beş sektörden (Gıda ürünlerinin imalatı, Tekstil ürünlerinin imalatı, Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, Ana metal sanayii) yola çıkarak, ham madde, enerji ve su girdilerinin etkin ve sürdürülebilir kullanımı ile elde edilebilecek potansiyel tasarruf, sektör, bölge ve Türkiye imalat sanayi düzeyinde analiz edilmiş ve bu potansiyel miktarsal ve parasal olarak tahmin edilmiştir. Seçilen sektörlerden biri olan "Ana Metal Sanayii" sektöründe "Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi" projesinde kurgulanan Gerçekçi Senaryo'ya göre toplam parasal tasarruf potansiyelinin (enerji, su ve ham madde) %77,2'si "24.10 Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı" alt sektöründe bulunmaktadır. Yapılan analizlerde, "24.10 Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı" alt sektöründe ana sektör içerisinde ham madde alanında %63,9, enerjide %75,6 ve suda %98,6 oranında bir tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir. Bu oranlar, sektörde yapılacak çeşitli verimlilik uygulamaları ile tasarruflar sağlanabileceğine işaret etmektedir [1]. Bu sebeple, hazırlanan bu rehber ile, potansiyel tasarrufların hayata geçirilme fırsatının yanı sıra, tedarikçilerin de hedef paydaş olarak hedef kitleye dahil olmasıyla sürdürülebilir kaynak verimliliği elde edilmesine katkıda bulunması hedeflenmektedir.

Rehber, esas olarak 4 bölümü kapsamaktadır;

- (Alt) Sektör Profili
- Üretim Süreci ve Prosesler
- Çevresel Etki Oluşturan Süreçler-İşlemler
- Kaynak Verimliliği Önlemleri

'Sektör Profili' bölümünde sektörün ülkemiz ekonomisindeki yeri ve önemi, üretim ve ihracat miktarları, üretimin coğrafi dağılımı, işyeri sayısı, istihdam, iş hacmi, katma değer ve temel paydaşlara ilişkin

verilere yer verilmektedir.

'Üretim Süreçleri' bölümünde demir ve çelik üretim aşamalarına ilişkin özet bilgiler aktarılmaktadır. Tüm üretimi temsil edecek şekilde işlem ve süreçler açıklanmaya çalışılmış, üretim aşamaları ayrı ayrı ele alınmıştır. 'Çevresel Etki Yaratan Alanlar' ve 'Kaynak Verimliliği Önlemleri' bölümlerinde ise Avrupa Birliği (AB) tarafından oluşturulan 2001 ve 2013 yıllarına ait Mevcut En İyi Teknikler (MET)'in anlatıldığı BREF'ler (MET Referans Dokümanları) esas alınarak süreç temelli çevresel etki oluşturan alanlar tespit edilmiş ve buna yönelik kaynak verimliliği önlemleri irdelenmiştir [2, 3, 4].

2. KAYNAK VERİMLİLİĞİ VE TEMİZ ÜRETİM NEDİR?

2 KAYNAK VERİMLİLİĞİ VE TEMİZ ÜRETİM NEDİR?

Doğal kaynakların sınırlı olması sebebiyle doğal kaynak kullanan sanayide üretim verimliliğinin artırılması, rekabetçilikte öne çıkma ve çevresel etkilerin azaltılması gibi çıktılarla gündeme gelen kaynak verimliliği; artık kaynak tüketilen hemen her alanda uygulanmaktadır. Bu sebeple, sadece endüstriyel üretim aşamasında değil, kaynak tüketiminin fazla olduğu tüm faaliyetlerde de sürdürülebilirliğin sağlanması açısından uygulanmalıdır. Artan nüfus, endüstriyel üretimi de artırmakta ve girdi fiyatları (ham madde, su, enerji, işçilik vb.) da sürekli artmaktadır. Ülkemizde de dünyadaki uygulamalara ve üyelik sürecinde olduğumuz Avrupa Birliği (AB) Müktesebatına uygun olarak, boru sonu (end of pipe) yerine alıcı ortam bazlı kontrole geçiş yönünde adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu durum sanayide çevre yönetimi maliyetlerine ilave baskılar oluşturacaktır. Bütün bu gelişmeler, üretimde kaynak verimliliğinin çok daha fazla dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

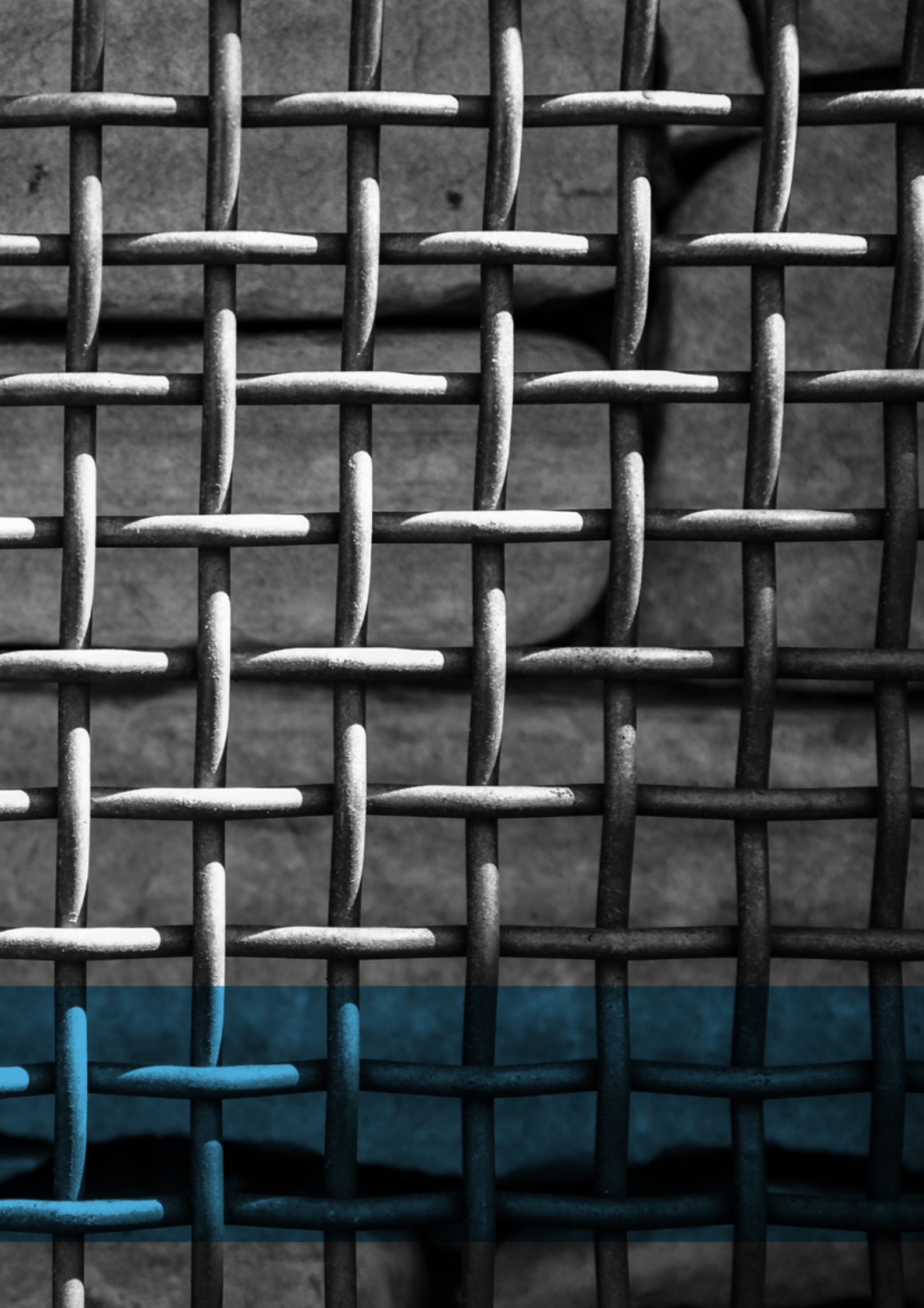
Atık, herhangi bir kullanım sonucu ya da raf-kullanım ömrü dolan ürünlerin kullanılamaz hale gelmesi sonucu oluşan ve mühendislik prensipleri kullanılarak azaltılması, geri kazanımı, yeniden kullanılması ve bertaraf edilmesi gereken her türlü malzemedir. Atığın oluşumu (ürün üretimi) sırasında kaynak tüketildiği gibi, atığın oluşumu sonrası yukarıda sayılan işlemlerin de yapılabilmesi için de (toplama, taşıma, geri kazanım, bertaraf vb.) kaynak tüketimi söz konusudur. Bu sebeple, başta imalat sanayiinin her sektöründe kaynak verimliliği çalışmalarının yapılması, ilave önem verilmesi gereken bir durum ihtiva etmektedir.

Sanayide kaynak verimliliğinin uygulanmasına yönelik en erken düzenleme AB'nin 24 Eylül 1996 tarihli 96/61/EC Konsey Yönergesi ile oluşturduğu "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi"dir [5]. Bu Direktif ile sanayi için "havaya, suya veya toprağa verilen emisyonları, atık yönetimini de dikkate alarak, mümkün olduğu yerlerde önlemek; mümkün değilse, çevreyi bir bütün olarak yüksek bir düzeyde korumayı başarmak için kirliliği en aza indirmek" olarak tanımlanan entegre kirlilik önleme yaklaşımı getirilmiştir. Bir başka ifade ile sanayide kirliliğin kapsayıcı bir yaklaşımla ele alınması ve atık üretiminin temiz üretim ve kaynak verimliliği çalışmaları yapılarak azaltılması için koşullar oluşturulmuştur. MET'ler, sektöre maliyet ve faydaları göz önünde bulundurulduğunda, uygulanması halinde çevrenin yüksek düzeyde korunmasına yönelik en etkili tekniklerdir. MET'ler, sadece proseste kullanılan teknolojiyi ifade etmemekte, işletmenin tasarlanma, kurulma, işletme ve bakım şekline de atıfta bulunmaktadır. İlaveten bazı MET'ler, sağduyudan kaynaklanan basit sonuçlar olup herhangi bir yatırım gerektirmemektedir [6].

En genel ifade ile aynı miktardaki ürünü daha az girdi (ya da ham madde) kullanarak ya da aynı girdi ile daha fazla ürün üretmek olarak tanımlanabilecek kaynak verimliliği; Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından "daha az kaynak tüketerek daha fazla refah sağlamak" olarak tanımlanmıştır [7]. Avrupa Birliği ise Kaynak Verimliliği'ni "Sahip olduğumuz tüm kaynakların (toprak, hava, su, biyoçeşitlilik, ekosistemler, vd.) daha verimli kullanılması ya da "daha az kaynak ile daha çok iş yapmak" ve "kaynak kullanımı ile ortaya çıkan olumsuz etkilerin azaltılması" olarak tanımlamaktadır [8]. Nasıl tanımlanırsa tanımlansın, 2000'li yıllara kadar çizgisel halde tanımlanan ekonominin, döngüsel ekonomiye doğru yol almasıyla kaynak verimliliği ve temiz üretim kavramları sanayinin üretim maliyetle-

rinin azalması, rekabetçi hale gelmesi, çevresel saygınlığının artması, atık maliyetlerinin düşmesi gibi alanlarda sayısız faydaları olacak bir süreci tanımlamaktadır. Bu süreç sürekli güncellenen, sürdürülebilir bir düşünme, hesaplama, önlem alma ve uygulama sürecini içermektedir.

3. SEKTÖR PROFİLİ



3 SEKTÖR PROFİLİ

Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı sektörü, NACE Rev.2 "24 Ana metal sanayii" sektörünün bir alt sektörüdür. "Ana metal sanayii" sektörünün diğer alt sektörleri "24.2 Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı", "24.3 Çeliğin ilk işlenmesinde elde edilen diğer ürünlerin imalatı", "24.4 Değerli ana metaller ve diğer demir dışı metallerin imalatı" ve "24.5 Metal döküm sanayii"dir. "24.10 Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı" alt sektörü, bu sektöre dahil olan üretimleri temsil eden 6 haneli 10 farklı kod içermektedir. Bu kodlar ile kapsadıkları üretim alanları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Ana metal sanayii sektörü ilgili NACE Rev.2 kodları

24	Ana Metal Sanayii
24.10	**Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı**
24.10.01	Ham çelik üretilmesi (kütük veya diğer birincil formlarda ya da yarı mamul çelik ürünler halinde)
24.10.02	Çelikten açık profil imalatı (sıcak haddeleme, sıcak çekme veya kalıptan çekme işlemlerinden daha ileri işlem görmemiş)
24.10.03	Demir ve çelikten sıcak veya soğuk çekilmiş yassı hadde ürünleri imalatı (demir veya çelik alaşımlı levha, şerit, sac, teneke sac, vb. dahil)
24.10.05	Sıcak haddelenmiş demir veya çelikten bar ve çubukların üretilmesi (inşaat demiri dahil)
24.10.06	Demir veya çelik granül ve demir tozu üretilmesi
24.10.07	Demir ya da çelik hurdaların yeniden eritilmesi
24.10.08	Demir cevherinin doğrudan indirgenmesiyle elde edilen demirli ürünler ve diğer sünger demir ürünlerinin imalatı ile elektroliz veya diğer kimyasal yöntemlerle istisnai saflıkta demir üretilmesi
24.10.09	Çelikten demir yolu ve tramvay yolu yapım malzemesi (birleştirilmemiş raylar ile ray donanımı, aksamı, vb.) ile levha kazıkları (palplanş) ve kaynaklı açık profil imalatı
24.10.10	Pik demir ve manganezli dökme demir (aynalı demir/spiegeleisen) üretimi (külçe, blok, veya diğer birincil formlarda)
24.10.12	Ferro alaşımların imalatı (ferro manganez, ferro silisyum, ferro siliko manganez, ferro krom ve diğerleri)

Demir ve çelik üretimi, başta inşaat olmak üzere otomotiv sektörü, motorlu taşıtlar ve her türlü makine/ekipman imalatı gibi sanayinin birçok alanına girdi sağlayarak sanayileşmede diğer sektörlere yön vermektedir. Sektör hem dünya hem de ülke ekonomisinde önemli bir yere sahiptir.

Dünya ham çelik üretimi 2017 yılında 1,69 milyar ton seviyesine ulaşmıştır (Tablo 3.2). Aynı yıl dünya genelinde 1,72 milyar ton ham çelik tüketimi gerçekleşmiştir (Tablo 3.3). Ham çelik üretim verileri incelendiğinde son 10 yılda dünya ham çelik üretiminin yaklaşık %26 oranında arttığı görülmektedir. Son 10 yıl içerisindeki üretim artışı Türkiye için %40 olarak gerçekleşmiş ve yılda 26,8 milyon tondan 37,5 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye'nin 2017 yılı ham çelik üretimi bir önceki yıla göre yaklaşık %13 oranında artış göstermiştir. Türkiye, 2017 yılında ham çelik üretiminde Avrupa'da ikinci sırada, dünyada ise 8. sırada yer almıştır (Tablo 3.2) [9].

Tablo 3.2 Yıllara göre dünya ham çelik üretim verileri (milyon ton)

Sıra	Ülke	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Çin	512,3	573,6	626,7	683,3	731,0	779,0	882,7	803,8	807,6	831,7
2	Japonya	118,7	87,5	109,6	107,6	107,2	110,6	110,7	105,1	104,8	104,7
3	Hindistan	57,8	62,8	68,3	72,2	77,3	81,2	87,3	89,0	95,5	101,5
4	ABD	91,9	58,2	80,6	86,2	88,7	86,9	88,2	78,8	78,5	81,6
5	Rusya	68,5	60,0	66,9	68,7	70,4	68,7	71,5	70,9	70,4	71,5
6	G. Kore	53,6	48,6	58,5	68,5	69,1	66,1	71,0	69,7	68,6	71,0
7	Almanya	45,8	32,7	43,8	44,3	42,7	42,6	42,9	42,7	42,1	43,3
8	Türkiye	26,8	25,3	29	34,1	35,9	34,7	34	31,5	33,2	37,5
9	Brezilya	33,7	26,5	32,8	35,2	34,5	34,2	33,9	33,3	31,3	34,4
10	İtalya	30,6	19,8	25,8	28,7	27,2	24,1	23,7	22,0	23,4	24,1
AB		198,7	139,4	172,9	177,8	168,6	166,4	169,3	166,1	162,0	168,3
Dünya		1.343	1.239	1.433	1.538	1.560	1.650	1.669	1.620	1.627	1.690

Kaynak: [9]

Ham çelik tüketim verileri incelendiğinde (Tablo 3.3) son 10 yılda dünya ham çelik üretiminin yaklaşık %28 oranında arttığı görülmektedir. Son 10 yıl içerisindeki tüketim artışı Türkiye için %68 olarak gerçekleşmiş ve yılda 22,9 milyon tondan 38,4 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye'nin 2017 yılı ham çelik tüketimi bir önceki yıla göre yaklaşık %6,1 oranında artış göstermiştir. Türkiye, 2017 yılında ham çelik tüketiminde Avrupa'da ikinci sırada, dünyada ise 8. sırada yer almıştır [9].

Tablo 3.3 Yıllara göre dünya ham çelik tüketim verileri (milyon ton)

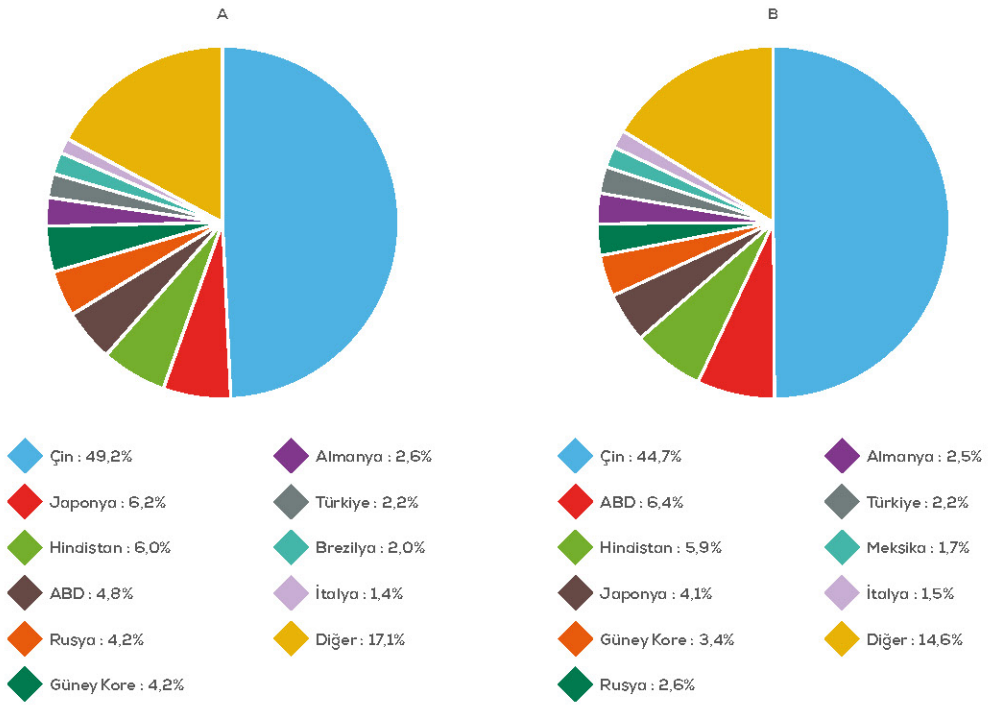
Sıra	Ülke	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Çin	465,5	574,4	612,1	667,9	687,6	772,3	740,4	700,4	709,4	767,5
2	ABD	110,5	69,4	92,4	101	108,3	106,3	121,6	108,3	102,6	109,7
3	Hindistan	56,2	64,4	69,1	73,2	77,4	80,7	87,1	89,3	94,5	100,9
4	Japonya	83,2	56	67,4	69,6	68,8	70,8	72,9	67,8	67,5	70,1
5	G. Kore	61	47,3	54,6	58,7	56,3	53,9	57,8	58,1	59,5	58,8
6	Rusya	40,9	2,5	41,4	48	49,5	49,6	49,4	44,7	43,4	44,4
7	Almanya	44,9	29,1	40,5	45,1	10,8	41,7	43,1	42,6	42,8	43,3
8	Türkiye	22,9	19,2	25,1	28,7	30,3	33,3	32,8	36,6	36,2	38,4
9	Meksika	24,5	17,6	20,6	23,1	23,7	22,9	26,2	27,9	28,5	29,5
10	İtalya	35,3	21,3	27,2	28,1	22,8	23,2	23,2	26	25,1	26,1
AB		207,2	130	162,4	172,6	154,1	157	162,6	168,1	171,8	178,1
Dünya		1.340	1.237	1.416	1.528	1.556	1.662	1.673	1.620	1.636	1.718

Kaynak: [9]

Dünya ham çelik üretiminin ülkelere göre dağılımı incelendiğinde Çin'in yaklaşık olarak %49 pay ile üretimde söz sahibi olduğu görülmektedir. Şekil 3.1'deki tüketim yüzdeleri incelendiğinde yine Çin'in yaklaşık %45 pay ile tüketimde önemli bir paya sahip olduğu, Türkiye'nin ise üretimde ve tüketimde %2,2 pay ile 8. sırada yer aldığı görülmektedir. Ülkelerin ham çelik üretim payları kıyaslandığında Japonya, Çin'den sonra %6,2 pay ile ikinci sırada, Hindistan ise %6 pay ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Tüketimde ise Çin'den sonra ikinci sırada %6,4 pay ile Amerika Birleşik Devletleri ve üçüncü sırada ise %5,9 pay ile Hindistan yer almaktadır [9].

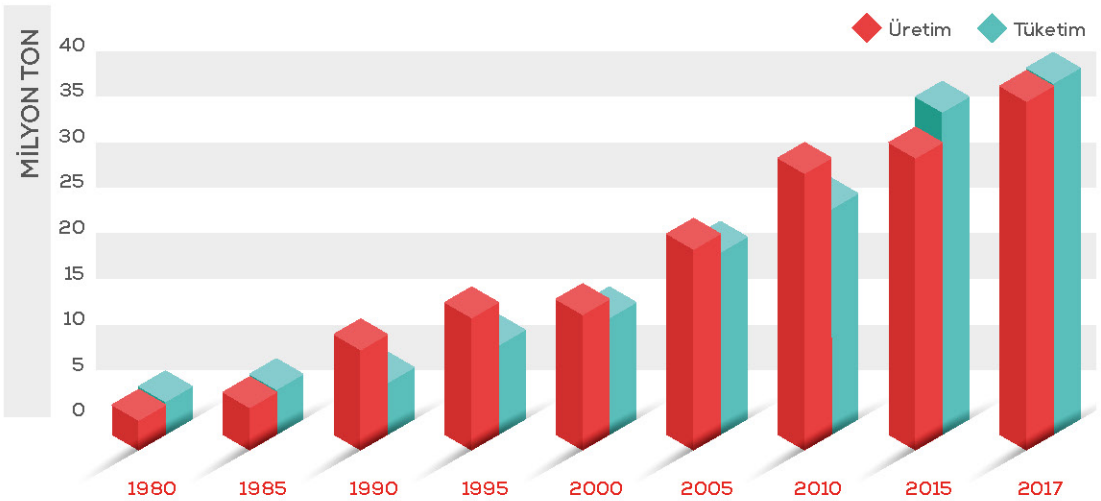
Şekil 3.1 2017 yılı dünya ham çelik üretim (a) ve tüketiminin (b) ülkelere göre dağılımı



Kaynak: [9]

Türkiye'de demir-çelik sektöründe mevcut durumda toplamda 32 firma faaliyet göstermekte olup, bu firmaların 3'ü entegre, 24'ü elektrik ark ocaklı ve 5'i indüksiyon ocaklı tesislerdir. Türkiye'de üretilen çeliğin ortalama %75'i elektrik ark ocaklarında, %25'i ise entegre tesislerde üretilmektedir. Türkiye'nin 1980 yılından itibaren yıllara göre ham çelik üretim ve tüketim miktarı Şekil 3.2'de verilmiştir [9, 10, 11, 12].

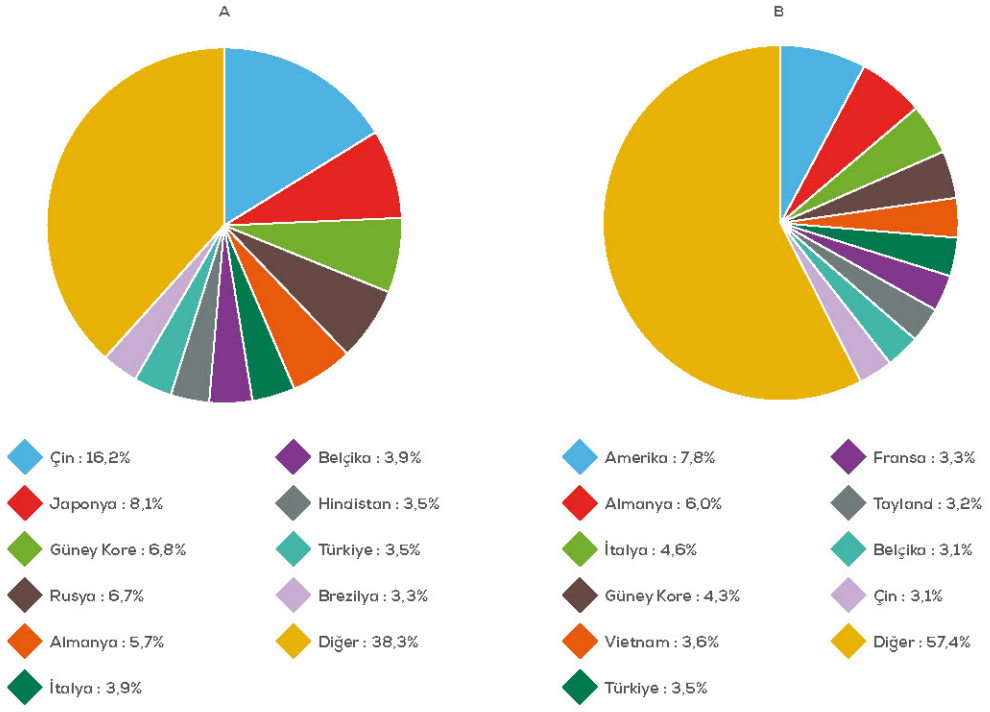
Şekil 3.2 Türkiye'nin yıllara göre ham çelik üretimi ve tüketimi



Kaynak: [9, 10, 11, 12]

2017 dış ticaret verileri incelendiğinde (Şekil 3.3) dünya genelinde toplam 463 milyon ton ham çeliğin ihraç edildiği ve ihracatta Çin'in %16,2'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. İhracatta Çin'i %8,1 ile Japonya, %6,8 ile Güney Kore ve %6,7 ile Rusya takip etmektedir. İthalat verileri incelendiğinde dünya genelinde toplam 452 milyon ton ham çeliğin ithal edildiği ve ithalatta ABD'nin %7,8'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. İthalatta ABD'yi %6 ile Almanya, %4,6 ile İtalya ve %4,3 ile Güney Kore takip etmektedir. Türkiye 16,4 milyon tonluk ihracat miktarı ve 15,8 milyon tonluk ithalat miktarı ile ihracatta 9. ve ithalatta 6. sırada yer almaktadır [9].

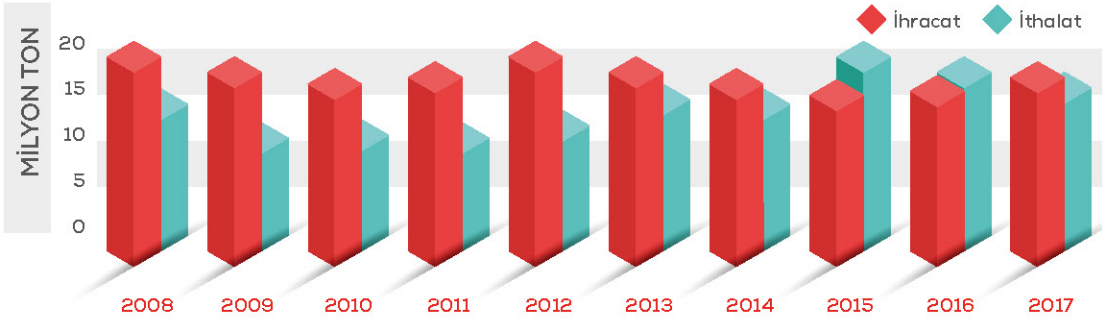
Şekil 3.3 Ülkelerin 2017 yılı dünya çelik ihracatı (a) ve ithalatındaki (b) payları



Kaynak: [9]

Türkiye'nin 2008 yılından itibaren çelik ihracat ve ithalat miktarları Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekilde son üç yılın verileri incelendiğinde çelik ihracatının artarken ithalatın azaldığı görülmektedir [9].

Şekil 3.4 Türkiye'nin yıllara göre çelik ihracat ve ithalat miktarı (milyon ton)



Kaynak: [9]

Kişi başı görünür çelik kullanımı üretim ve net ithalat toplamından net ihracatın çıkarılması ile elde edilen değerin nüfüsa bölünmesi ile elde edilmekte ve çelik talebini ölçmek için kullanılmaktadır.

Kişi başı görünür çelik kullanımı verileri incelendiğinde, Türiye'de 2008 yılındaki kişi başı tüketim miktarının 10 yıl içerisinde yaklaşık 1,5 kat artış gösterdiği görülmektedir. Kişi başı görünür çelik kullanımı ülkemizde artış gösterirken, Avrupa Birliği'nde son 10 yılda 413,7 kg/kişi'den 168,3 kg/kişi'ye düşmüştür. Dünya genelinde ise değer %15'lik bir artış ile 2017 yılında 228,4 kg/kişi'ye ulaşmıştır [9].

Tablo 3.4 Kişi başı görünür çelik kullanımı (kg ham çelik/kişi)

Ülke	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
G. Kore	1239,6	958	1101,3	1180,8	1127,5	1074,7	1147,8	1148,9	1171,8	1152,4
BAE	1948,7	904,5	890,4	875,4	860,2	823,1	856,7	847,3	918,5	917,0
Tayvan	884,9	587,8	924,1	936,6	917,0	954,8	1002,4	895,5	931,0	896,6
Çekya	724,8	496,5	605,4	660,9	637,3	638,5	674,2	719,6	727,6	765,1
Katar	1253,2	1068,7	725,5	565,2	569,9	610,2	666,4	669,4	637,7	621,4
Singapur	871,1	712,9	660,2	946,7	907,2	997	879,4	906,8	629,6	610,2
Cibuti	173,5	173,3	172,1	181,1	242,9	142,7	186,3	675,3	767,5	575,7
Slovenya	672,9	469,9	529,7	545,7	476,3	468,4	483,9	510,4	544,8	548,8
Çin	346,2	424,8	450,1	488,4	500,0	558,5	532,6	501,3	505,5	544,5
Avusturya	531,2	422,9	475,9	524,8	489,7	474,0	476,2	513,9	502,1	535,1
Türkiye	324,6	269,1	347,5	390,5	406,1	439,5	452,2	467,2	455,9	475,0
AB	413,7	139,4	172,9	177,8	168,6	166,4	169,3	166,1	162,0	168,3
Dünya	198,1	180,6	204,3	217,7	219,2	231,3	230,0	220,2	220,0	228,4

Kaynak: [9]

Türkiye'de ferro alaşım olarak yalnızca ferrokrom üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ferrokrom üretimi yapan ve kapasiteleri toplamı 186 bin ton/yıl olan iki tesis bulunmaktadır. Bu kapasitenin 36 bin ton/yıl'lık bölümü düşük karbonlu ferrokrom ve ferrosilikokrom üretimi için kullanılmaktadır.

4. ÜRETİM SÜREÇLERİ

4 ÜRETİM SÜREÇLERİ

Günümüzde çelik üretimi, ana girdi olarak demir cevheri kullanan, yüksek fırın (YF) ve bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan entegre tesisler ve ana girdi olarak hurda metal kullanan elektrik ark ocaklı (EAO) veya indüksiyon ocaklı (İO) tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. AB ülkelerinde ise çelik üretiminde yalnızca BOF ve EAO kullanılmaktadır [2].

Demir-çelik sektörünün ana ham maddeleri cevher ve hurda, temel çıktısı ise ham çeliktir. Haddeleme prosesi sonrasında uzun yarı mamuller (kütük) inşaat demiri, filmaşin, kangal, dikişsiz boru, profil, ray, lama vb. ürünlere dönüşürken, yassı yarı mamullerden (slab) rulo sac ve sac levha üretilmektedir. Üretilen saca talebe göre galvanizleme ve boyama işlemleri uygulanmaktadır [3]. Demir-çelik sektörü değer zinciri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Şekil 4.1 Demir-çelik sektörü değer zinciri

Düşük ve yüksek karbonlu ferrokrom ve ferrosilikokrom üretimi EAO'da gerçekleştirilmektedir. Ferrokrom üretiminde ise ana hammadde demir ve krom oksitleri içeren kromit cevheridir. İstenen karbon içeriğine göre indirgeyici olarak karbon (metalurjik kok, kömür, odun kömürü) veya silikon kullanılmaktadır [4].

4.1. DEMİR CEVHERİNDEN ÇELİK ÜRETİM SÜRECİ

Demir cevherinden çelik üretimi, entegre demir ve çelik üretim tesislerinde gerçekleşmektedir. Bu tesislerde kömürün koklaşması, toz halindeki cevherin sinterlenmesi, demir cevherinin demire indirgenmesi, demirin çeliğe dönüştürülmesi, sürekli döküm ve sıcak/soğuk haddeleme işlemleri ile inşaat demirinden profile, galvanizli sacdan demir yollarında kullanılan raya kadar birçok ürün üretilebilmektedir. Demir cevherinden çelik üretimi süreci Şekil 4.2'de şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.2 Demir cevherinden çelik üretim süreci

4.1.1 KOK ÜRETİM SÜRECİ

Kok, yüksek fırınlarda demir cevherini indirgeyici madde olarak kullanılmaktadır. Kok üretim aşamalarını; kömür taşıma ve hazırlama, şarj, ısıtma/ateşleme, koklaştırma, kok itme, kok söndürme, kok taşıma ve hazırlama, kok fırın gazının temizlenmesi ve kullanımı ile ısı geri kazanımı işlemleri oluşturmaktadır.

Kömür şarjı, yanma odalarının ısıtılması/ateşlenmesi, koklaştırma ve kok itme genel olarak kok bataryalarında gerçekleştirilen işlemlerdir. Kamaralara beslenen kömür harmanları içindeki uçucunun alınması amacıyla yüksek sıcaklıkta ve havasız ortamda, refrakterle örülmüş kok kamaralarında işleme tabi tutulur. Koklaştırma sürecinde oluşan kok fırın gazı (KFG), kömürün nem oranına bağlı olarak bir miktar nem ve yaklaşık olarak %25 oranında uçucu madde içermektedir. İçeriğindeki hidrojen, metan, karbonmonoksit ve hidrokarbonlar sebebiyle yüksek kalorifik değere sahip ham KFG dikey baca ile ana kolektörde toplanır. Kamaralarda yakıt olarak genellikle temizlenmiş kok fırın gazı kullanılmakta olup, bazı uygulamalarda zenginleştirilmiş yüksek fırın gazı (YFG) gibi diğer gazlar da kullanılabilmektedir [2]. Bu aşamadan sonra söndürme arabalarına alınan kor halindeki kok söndürme kulelerine gönderilir.

Söndürme işlemi kulelerde kuru veya sulu olarak gerçekleştirilebilmektedir. Sulu söndürme işleminde söndürme arabaları vasıtasıyla kuleye taşınan kok, üzerine büyük miktarda su spreylenerek 1100˚C'den 80˚C'ye soğutulmaktadır. Kuru söndürme işleminde ise spreyleme arabası sıcak koku, etrafında inert gaz sirkülasyonu olan dikey spreyleme haznesine taşımaktadır. Bu şekilde atmosfer havasından izole edilmiş ortamda kokun yanmadan soğuması sağlanmaktadır. Isınan gaz, daha sonra enerji verimliliği sağlanması amacıyla bir ısı değiştirici vasıtasıyla soğutulmaktadır [2].

4.1.2 SİNTER ÜRETİM SÜRECİ

Sinter; demir cevheri, kok ve kireç ile birlikte yüksek fırına beslenen girdiler arasındadır. Sinterleme prosesinin amacı; belirli bir tane boyutunun altındaki cevher veya kireç taşı, MgO içerikli dolomit, dünit, manyezit, olivin gibi yardımcı ham maddeler ile geri kazanılmış sinter tozu, tufal gibi toz halindeki taneciklerin, tutuşmayı sağlayan kok tozu ve antrasit ile birlikte yüksek sıcaklıkta dış yüzeylerinin ergitilerek birbirine yapışmasının sağlanması ile yüksek fırına beslenebilecek büyüklüğe getirilmesidir [2].

Sinterleme işlemi sinter yatağında gerçekleşir. Yataktan dökülen sinter, kırılıp sıcak olarak elendikten sonra döner soğutucuda soğutma işlemine tabi tutulur. Sinter soğutma atık gazı, sıcak gazların resirkülasyonu ile sinter yatağındaki yakma havasının ve sinter ham madde karışımlarının ön ısıtılması için kullanılabilir. Soğutulan sinter, eleklerden geçirildikten sonra boyutlarına göre tasnif edilerek yüksek fırına iletilmekte veya sinterleme prosesine geri gönderilmektedir. 25 µm altı girdiler yüksek fırında tıkanıklıklara ve hava akışının engellenmesine neden olmaktadır [2].

Yanma nedeniyle açığa çıkan gaz, sinter yatağı boyunca yatağın alt kısmında bulunan güçlü fanlar ile toplanır. Bu işlem aynı zamanda yüzeyde başlayan tutuşmanın derinlere inmesini sağlar. Bu şekilde toz halindeki malzemenin sinterlenmesi ve gözenekli yapıda klinker oluşumu için gerekli sıcaklıklara (1300-1480˚C) ulaşılmaktadır. Toplanan sinter gazı sinterleme prosesi sırasında tekrar kullanılabilmektedir [2].

4.1.3 DEMİR ÜRETİM SÜRECİ

Demir üretim süreci; harman hazırlama, ham maddelerin beslenmesi ve taşınması, yüksek fırınlarda demirin indirgenmesi, yüksek hızlı sıcak hava üretimi, indirgeyicilerin doğrudan enjeksiyonu, döküm, cüruf soğutma ve işleme aşamalarından oluşturmaktadır [2].

Demir içeren malzemelerin (demir cevheri molozu, sinter ve/veya peletler) ve katkı maddelerinin (eritken malzemeler) karışımı harman olarak adlandırılmaktadır. Harman hazırlama genel olarak, cevher hazırlama işlemini, sinter tesisinden önce harmanlama işlemini ve yüksek fırın tepe beslemesine kadar bütün harmanlama işlemlerini kapsamaktadır. Harman ve bununla birlikte kok, fırına tepeden, fırın gazlarının atmosfere karışmasını önleyen kapalı bir sistem ile beslenirler [2].

Demir cevherinde bulunan, çoğunlukla hematit (Fe_2O_3) ve az miktarda manyetit (Fe_3O_4) bileşenleri yüksek fırınlarda indirgenerek demir oksidi (FeO), sonrasında da kısmi olarak katı demirin indirgenmiş ve karbonlanmış halini oluştururlar. Yüksek fırında kullanılan yüksek hızlı sıcak hava, sıcak sobalar tarafından sağlanmaktadır. Yüksek fırında indirgeyici olarak kok, kömür, yağ gazı ve diğer hidrokarbon kaynakları kullanılır. Kok yerine kullanılan indirgeyiciler yüksek fırınlara tüyer seviyesinden doğrudan enjekte edilir [2, 13].

Eriyik haldeki pik demir ve indirgenmeyen diğer oksitler, kok külü ve silikatların kompleks karışımından oluşan cüruf damla damla yüksek fırın haznesine iner. Cürufun yoğunluğu pik demirinkinden düşük olduğu için cüruf üstte kalarak pik demirden ayrılmaktadır. Bu yoğunluk farkı sayesinde, haznеye açılan delikten, önce altta kalan pik demir, daha sonra da üst kısımdaki cüruf farklı torpidolara alınarak işlenmesi için sırasıyla çelikhane ve cüruf stok alanına gönderilir. Cürufun işlenmesi için, su ile granülleştirme, cüruf peletleme ve cüruf havuzu olmak üzere üç ana teknik mevcuttur [2, 14].

4.1.4 ÇELİK ÜRETİM SÜRECİ (BAZİK OKSİJEN FIRINI)

Sıcak metal beslemesindeki istenmeyen safsızlıkların oksitlenerek atık gaz ve cüruf vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılması amacıyla, entegre tesislerde bazik oksijen fırınları (BOF) kullanılmaktadır. BOF prosesi sırasıyla sıcak metalden kükürt ve cüruf giderme, hurda ve eriyik haldeki sıcak metalin şarjı, oksijen besleme, ikincil metalurji ve döküm adımlarından oluşmaktadır.

Proses esnasında çeliğin kalitesine bağlı olarak pek çok yardımcı malzeme ilavesi yapılmaktadır. Bu aşama birincil metalurji olarak adlandırılmaktadır. BOF içerisindeki oksidasyon işlemi genellikle çeşitli metalurji proseslerinin olduğu ikincil uygulamalarla devam eder. İkincil metalurji olarak adlandırılan bu uygulama artan kalite gereksinimlerini karşılamak ve verimliliği artırmak amacıyla uygulanır. İkincil metalurji, pota ya da pota ocaklarında vakum sisteminde ya da özel tasarlanmış fırınlarda gerçekleşir. Birincil metalurji sırasında fosfor, kükürt, silika ve alümina gibi safsızlıkların giderilmesi, ikincil metalurji sırasında ise kükürt ve benzeri safsızlıkların giderilmesi ve cüruf kalitesinin yükseltilmesi amacıyla kireç kullanılmaktadır. Bununla birlikte kullanım oranları daha düşük olmakla birlikte, ikincil metalurji sırasında çeliğin kalitesinin ve özelliklerinin ayarlanmasında görev alan alaşım malzemeleri (ferro alaşımlar) kullanılmaktadır [2].

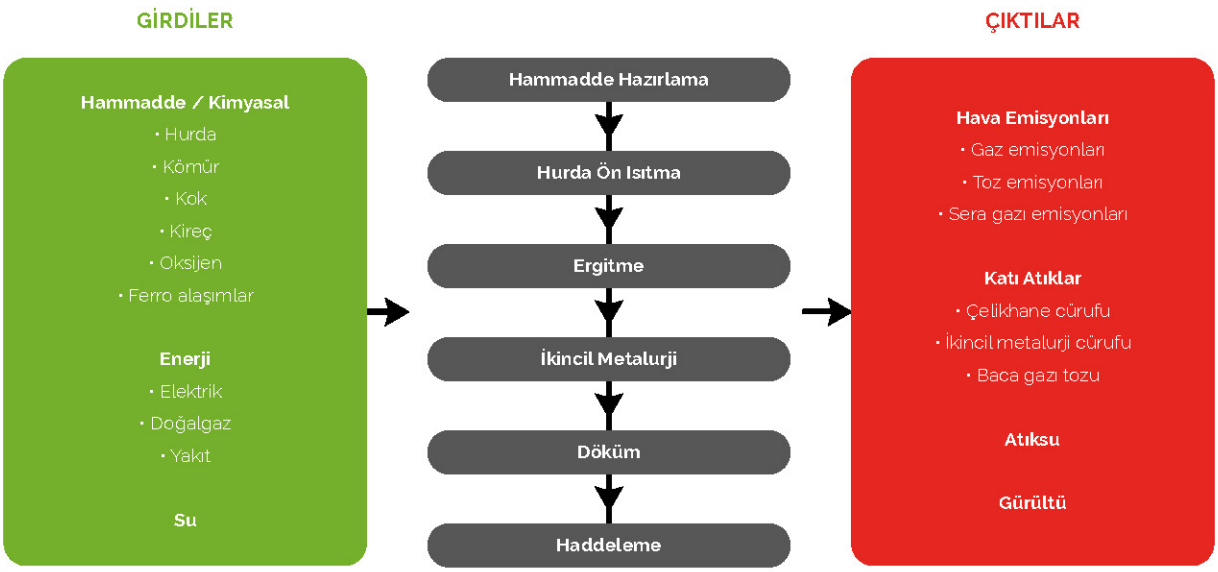
Nihai olarak istenen kaliteye ulaşıldıktan sonra çelik, döküm potalarında döküm makinelerine taşınır. Döküm işlemi sürekli ve kesikli olmak üzere ikiye ayrılır. Geçmişte yaygın olarak kullanılan kesikli dökümler (örneğin ingot), günümüzde yerini çeşitli boyutlarda ve incelikte plakaların üretilmesine olanak veren sürekli döküm teknolojisine bırakmıştır. Bu teknoloji ile birlikte geleneksel teknolojide yer alan, çeliğe kütük ve slab şekillerini vermekte kullanılan ara süreçlere de gerek kalmamıştır [2].

Döküm prosesinden çıkan ham çelik şekillendirilmek üzere tesis içerisinde yer alan veya bağımsız olarak çalışan başka bir haddehaneye şekillendirilmek üzere gönderilir.

4.2. HURDA DEMİRDEN ÇELİK ÜRETİM SÜRECİ

Hurda demirden çelik üretimi ülkemizde elektrik ark ocaklı (EAO) tesislerde veya indüksiyon ocaklı (İO) tesislerde gerçekleştirilmektedir. Bu tesislerde hurda gibi demir içeren malzemeler doğrudan ergitilerek çeliğe dönüştürülmektedir. Ülkemizde çelik üretimi, %75 oranında hurdadan üretime dayanmaktadır. Hurda demirden çelik üretimi süreci Şekil 4.3'te şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.3 Hurda demirden çelik üretim süreci



EAO ve İO temelde aynı proses adımlarına sahip olmakla birlikte; ocağın çalışma prensibi ve ocağa beslenen hurda boyutları bakımından farklılık göstermektedirler. EAO'larda hurdayı ergitmek için grafit elektrot ile oluşturulan ark kullanılırken İO'larda fırının içerisine yerleştirilmiş ve fırının etrafını saran bir bobin tarafından yaratılan elektromanyetik alandan dolayı indüklenmiş akımlar ile üretilen ısıdan faydalanılmaktadır.

Karbon çeliği ile düşük alaşımlı çeliklerin üretimi için, aşağıdaki proses adımları uygulanmaktadır [2]:

- Ham maddelerin taşınması ve depolanması
- Hurdanın ön ısıtılması
- Ergitme
- İkincil metalurji
- Sürekli döküm

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

- Kükürdün giderilmesi
- Azot ve hidrojen gibi çözünmüş gazların giderilmesi
- Karbonun giderilmesi (AOD: Argon Oksijen Dekarbürasyonu ya da VOD: Vakum Oksijen Dekarbürasyonu) [2]

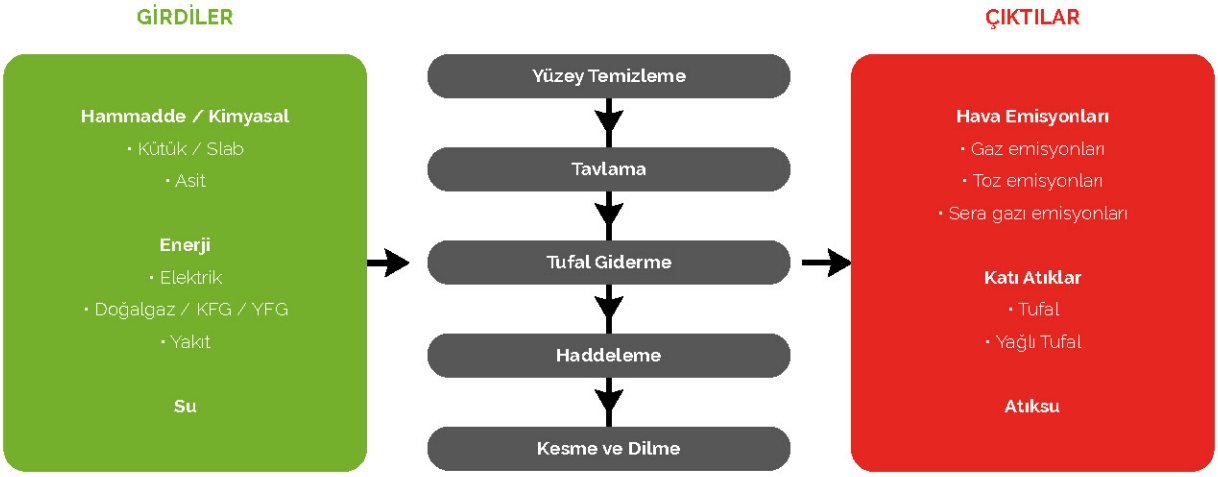
Hurda metal genellikle; geniş, üzeri kapatılmamış ve herhangi bir kaplaması olmayan zeminlerde depolanmaktadır. Enerjiden tasarruf sağlamak amacıyla hurda, EAO'ya şarj edilmeden önce atık gaz kullanılarak ön ısıtmaya tabi tutulabilmektedir. Bu ön ısıtma potalarda veya şarj şaftında (gövdesinde) olabileceği gibi erime süresinde sürekli beslemeye olanak veren hurda taşıma sisteminde de yapılabilmektedir [2].

Ergitme, ikincil metalurji ve sürekli döküm adımları entegre tesislerde uygulandığı gibi uygulanmaktadır. Sürekli döküm prosesinden çıkan ham çelik şekillendirilmek üzere tesis içerisinde yer alan veya bağımsız olarak çalışan başka bir haddehaneye şekillendirilmek üzere gönderilir.

4.3. HADDELEME SÜRECİ

Haddeleme metal malzemenin kesit alanının düşürülmesi veya metal ürünlere, dönen merdaneler kullanarak şekil verilmesi işlemidir. Merdaneler dönerek malzemeyi iterken aynı zamanda sıkıştırma uygular. Haddeleme, uygulamaya ve malzemeye bağlı olarak sıcak, ılık veya soğuk olabilmektedir [15]. Haddeleme süreci Şekil 4.4'te şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.4 Haddeleme süreci



Döküm ünitesinden gelen kütük veya slab haldeki çelik, sıcak haddehaneye gönderilmektedir. Sıcak haddeleme prosesleri; skarf işlemi (yüzey temizleme), tavlama (haddeleme sıcaklığına kadar ısıtma), tufal giderme, boyutlandırarak haddeleme, kesme ve dilme işlemlerinden oluşmaktadır. Sıcak haddelemeden elde edilen ürünler, şekillerine göre düz ve uzun olmak üzere genellikle iki şekilde sınıflandırılır [3].

Soğuk haddeleme, sıcak haddelenmiş şerit ürünlerin, mekanik ve teknik özellikleri girdi önceden ısıtılmadan, haddeleme-presleme işlemi ile değiştirilmesi işlemidir. Girdi, sıcak haddeleme tesislerinden bobin formunda gelir. Temel proses adımları sıcak bant birleştirme ve ısıtarak perçinleme; soğuk haddeleme; son birleştirme ve asitle temizleme (veya parlak birleştirme); yüzeyin temizlenerek haddelenmesi ve nihai haddeleme aşamalarıdır [3]. Soğuk haddeleme ürünün şeklini değiştirmez; fakat kalınlığı azaltır ve malzemeyi sertleştirir. Bu nedenle soğuk haddeleme sonrasında malzeme özelliklerinin tekrar kazandırılması amacıyla kesikli veya sürekli tavlama uygulanır [15]. Soğuk had-

delenmiş ürünler temelde, yüksek kaliteli yüzeye sahip ürünlerde kullanılmak üzere üretilmiş şerit ve levhalardır [3].

Filmaşin haddeleme bir diğer adı ile tel çekme, tel çubuk/tellerin boyut olarak küçültüldüğü bir işlemdir. Girdi genellikle sıcak haddeleme tesislerinden elde edilen, kangal formunda, 5,5 ile 16 mm aralığında boyutları olan tel çubuklardır. Tipik filmaşin haddeleme tesisi, tel çubuğun ön-işlenmesi (mekanik tortu giderme, asitle temizleme), kuru veya ıslak çekme, ısı muamelesi (sürekli veya kesikli birleştirme, yağ sertleştirme) ve sonlandırma proses adımlarından oluşmaktadır [3].

Sıcak daldırmalı kaplama işleminde, çelik levha veya tel, erimiş metalden sürekli olarak geçirilir. Bu işlemde düşük erime noktasına sahip alüminyum, kurşun, kalay ve çinko gibi metaller kullanılmaktadır. Genellikle, sac levha için sürekli kaplama hatları, yüzeyin temizlenmesi, ısıl işlem, erimiş metal içeren banyoya daldırılması ve sonlandırma basamaklarından oluşmaktadır [3].

Sıcak daldırmalı kesikli galvanizleme, demir ve çeliğin çinko ile kaplanarak korozyondan korunmasını sağlayan bir prosestir. Kesikli sıcak daldırmalı galvanizleme prosesinde birçok farklı girdi işlenebilmektedir. Kesikli galvanizleme genellikle yağ giderme, asitleme, temizleme, galvanizleme ve sonlandırma proses adımlarından oluşmaktadır [3].

4.4. FERROKROM ÜRETİM SÜRECİ

Yüksek karbonlu ferrokrom (YK FeCr), kromit cevherinin doğrudan karbotermik indirgenmesi ile 3 fazlı (AC) veya tek fazlı (DC); açık, yarı kapalı veya daldırılmış elektrik ark ocaklarında üretilmektedir. Harmana EAO'ya şarj edilmeden önce bir şaft veya döner fırın içinde izabe prosesinden çıkan CO gazı kullanılarak ön ısıtma uygulanabilir. Döner fırında ön indirgeme yapılması da mümkündür. Her iki durumda spesifik elektrik enerjisi tüketiminde azalma meydana gelecektir [4].

İzabe sırasında metal oksitler kok vasıtasıyla indirgenerek metal karbürlere dönüşürler. İndirgenme yüksek miktarda CO gazının oluşmasına neden olur. Açık tip ark ocaklarında CO gazı fırının yüzeyinde yanmakta ve CO bakımından zengin olan gazın kalorifik değeri boşa harcanmaktır [4].

Ferrokrom ve cüruf belirli aralıklarla ocağın tabanına yakın olan döküm deliklerinden alınır. Cüruf ve metal için, yoğunluk farkı kullanılarak, aynı döküm deliğinden döküm alınır. Yatak döküm veya tabaka döküm, yöntemlerin kolaylığı ve düşük maliyetli olmasından dolayı, ferrokrom için en sık kullanılan döküm teknikleridir. Soğutulan dökümler kırılır ve elenir [4].

Düşük karbonlu ferrokrom (DK FeCr) elde etmek amacıyla silikotermik indirgenme prosesi kullanılmaktadır. Bu proseste EAO'da ergitilen kireç-kromit cürufu birinci reaksiyon potasına alınır ve potaya SiCr, cevher ve kireç ilave edilir. Reaksiyon sonucunda DK FeCr ve ara cüruf oluşur. Proses sırasında pota bir duman bacası ile kapatılır. Ara cürufun %70'i, bir davlumbaza bağlı olan ikinci reaksiyon potasına alınır. Si, FeSi, kum ve borik asit ilave edilir. Buradaki reaksiyon sonucunda son cüruf ve metal oluşur. Metal ilk potaya geri döndürülür. Birinci ve ikinci reaksiyon potalarından toplanan gaz torbalı fitrelerden geçirilerek temizlenir. Torbalı filtrelerde toplanan toz ark ocağına geri gönderilir [4].

5. ÇEVRESEL GÖSTERGELER

5 ÇEVRESEL ETKİ YARATAN ALANLAR

Demir ve çelik üretim aşamasında görülen en büyük çevresel etkiler sırasıyla elektrik enerjisi, termal enerji ve su tüketimi ile toz ve gaz emisyonları ve katı atıklardır (Tablo 5.1) [2, 3].

Tablo 5.1 Demir ve çelik üretim süreçlerinin doğrudan çevresel etkileri

Süreçler	Tüketim				Oluşum			
Ham madde Harmanlama	Ham Madde	Yakıt*	Elektrik Enerjisi		Atıksu	Toz Emisyonu		
Kok Üretimi	Ham Madde	Yakıt	Elektrik Enerjisi	Su	Atıksu, Su Buharı,	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	
Sinter Üretimi	Ham Madde	Yakıt	Elektrik Enerjisi		Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü	
Demir Üretimi	Ham Madde	Yakıt	Elektrik Enerjisi	Su	Atıksu	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü
Çelik Üretimi	Ham Madde	Kimyasal Enerji	Elektrik Enerjisi	Su	Atıksu	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü
Hurda Hazırlama	Ham Madde	Yakıt*	Elektrik Enerjisi		Atıksu	Toz Emisyonu		
Hurda Ön Isıtma	Termal Enerji	Elektrik Enerjisi	Su		Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu		
Ergitme	Ham Madde	Elektrik Enerjisi			Katı Atık	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü
İkincil Metalurji	Elektrik Enerjisi	Termal Enerji	Ham Madde	Su	Katı Atık	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü
Döküm	Su	Elektrik Enerjisi			Atıksu	Toz Emisyonu	Katı Atık	
Haddeleme	Elektrik Enerjisi	Termal Enerji			Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Katı Atık	Atıksu
Ferrokrom Üretimi	Ham Madde	Yakıt	Elektrik Enerjisi	Su	Atıksu	Toz Emisyonu	Gaz Emisyonu	Gürültü

** Mazot ve benzin*

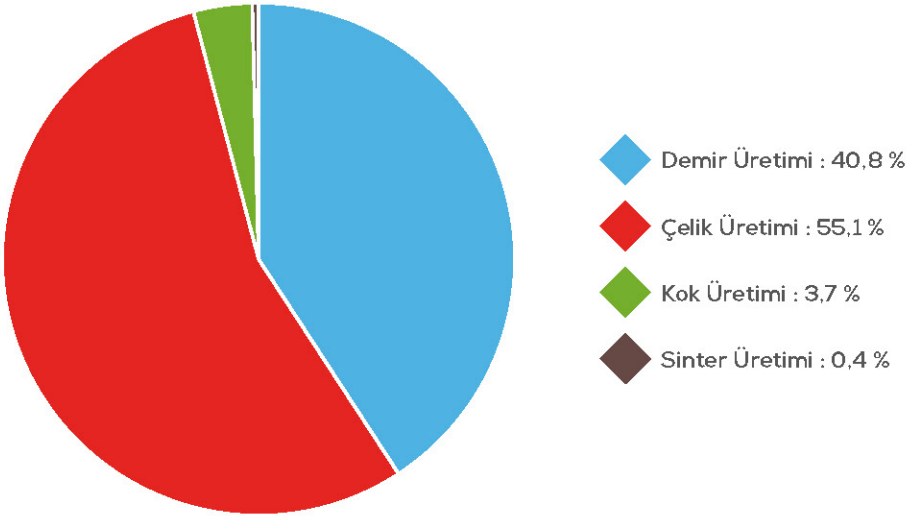
5.1. SU TÜKETİMİ

Entegre demir-çelik tesislerinde su, doğrudan ve dolaylı soğutma, gaz ve atık gaz temizleme gibi yıkama vb. süreçler sırasında kullanılmaktadır. Üretim hacmine ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlemlere bağlı olarak yoğun su tüketimi bulunan entegre tesislerde, suyun devridaim edilmesi su tasarrufunun sağlanması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla dolaylı ve doğrudan soğutma sırasında ve proses suyu için kapalı veya yarı kapalı devre su sistemleri uygulanabilmekte-

dir. Bu aşamalarda yapılan su devridaimi ile yaklaşık %98 oranında su tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca kapalı devre su sistemlerinin kullanılması ile birlikte buharlaşma kayıplarının da yaklaşık %40 oranında azaltılması mümkündür [2].

Entegre demir ve çelik üretiminde ana proseslerin su tüketim oranları incelendiğinde (Şekil 5.1), bu prosesler arasında çelik üretiminin yaklaşık %55 ile en yüksek oranda su kullandığı görülmektedir. Bununla birlikte yüksek fırınlarda demir üretiminin de yaklaşık %41 gibi önemli bir oranda su tükettiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu oranların içerisine haddehanelerdeki ve diğer yardımcı tesislerdeki su kullanımları dahil edilmemiştir.

Şekil 5.1 Entegre demir ve çelik üretiminde ana proseslerin su tüketimi oranları



Kaynak: [2]

Elektrik ark ocaklı tesislerde çelik üretimi için su, ocağın dış çeperlerinin ve üst kısmının soğutulması ve elektrotların üzerine su püskürtülmesi, sıcak baca gazlarının hızlı soğutulması, ıslak tozsuzlaştırma uygulanması, vakum oluşturma ve sürekli veya ingot dökümde doğrudan soğutma işlemlerinde kullanılmaktadır [2]. Haddeleme prosesinde ise tufalin kırılması ve çeliğin soğutulması amacıyla su tüketilmektedir.

Çelik üretim proseslerinde ton ham çelik başına tüketilen ortalama su miktarları Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2 Çelik üretim proseslerinde ortalama su tüketim miktarları (m^3/ton ham çelik)

Proses	Soğutma Suyu	Proses Suyu	Toplam Tüketim
Kok Üretimi	0,66	0,77	1,43
Sinter Üretimi	0,14	-	0,14
Demir Üretimi	10,00	5,71	15,71
Çelik Üretimi	21,25	-	21,25
EAO	21,90	-	21,90
Sıcak Haddeleme	8,25	-	8,25
Soğuk Haddeleme	21,85	0,11	21,96

Kaynak: [2]

Ferrokrom üretiminde su, hem proses suyu hem de soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Proses suyu yıkayıcılarda ve cürufun granülleştirme işleminde kullanılmaktadır. Proses suyu arıtımının kapalı sistemde olduğu durumda 3-10 m^3 / ton ferrokrom su tüketimi gerçekleşmektedir. Bununla birlikte 5-15 m^3 / ton ferrokrom su soğutma amaçlı kullanılmaktadır [4].

5.2. ATIKSU OLUŞUMU

Entegre tesislerde atıksu temel olarak kok, demir ve çelik üretimi ile haddeleme süreçlerinde oluşmaktadır.

Kok üretimi esnasında atıksu oluşumunun yoğun olarak gerçekleştiği süreçler; KFG'nin temizlenmesine yönelik işlemler ve hem kömür içeriğinde yer alan ve hem de fırında kömürün termal dekompozisyonu ile oluşan nem içeriğinin atık gazda yoğunlaşmasına yönelik işlemlerdir. Kok tesisinde süreç boyunca açığa çıkan suyun önemli bir kısmı ortalama %8-15 arası nem içeren kömürden kaynaklanmaktadır. Buna ilaveten kömürün termal dekompozisyonu kömürün kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Eğer atık gazların soğutulması ve çekilmesi amacıyla buhar enjeksiyon yöntemi kullanılıyorsa, tüketilen buharla orantılı olarak ilk soğutucularda tekrar kondense su oluşmaktadır. Kok üretimi sürecinde oluşan atıksu içerisinde askıda katı madde ve fenol, azotlu bileşikler, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi çeşitli organik kimyasal bileşenleri içermektedir. Bu kirleticilerin konsantrasyonları kullanılan atık gaz işleme sistemlerinin, şarj etme yöntemlerinin ve kömür tiplerinin farklılaşmasına bağlı olarak tesis bazında değişiklik gösterebilmektedir [2].

Yaş oksidasyon prensibi ile çalışan desülfürizasyon sistemlerine ait atıksular içeriğinde bulunan bileşenlerin (Tablo 5.3) biyolojik arıtma üzerindeki zarar verici etkileri nedeniyle diğer atıksulardan ayrılarak işlem görmelidirler [2].

Tablo 5.3 Yaş oksidasyonlu desülfürizasyon prosesine ait atıksu kompozisyonları

Komponent	Desülfürizasyon (g/L)
Serbest NH_3	0,1
$NaCO_3$	5,7 – 65
SCN–	80 – 300
$S2O_3^{-2}$	50
SO_4^{-2}	12,2
Vanadat (VO_3–)	1,2
Antrakin disülfonat	1,9

Kaynak: [2]

Bir demir-çelik fabrikasındaki proseslerin doğası gereği fabrika binalarının üzerinde toz birikimi olmaktadır. Bu tozların yüzey suyuna karışması genellikle kuru yöntemlerle önlenmeye çalışılmaktadır. Durulama suyuyla temizleme tekniği uygulanan tesisler de bulunmaktadır. Bu teknik sonucunda oluşan atıksu ağır metal ihtiva eden askıda katı madde içermektedir. Günde 11 bin ton sinter üreten bir fabrikada durulama suyu debisi yaklaşık 460 m3/gün'dür. Bu atıksu, resirkülasyon aşamasında bir miktar ön çökeltime uğramakta, deşarj edilmeden önce ise çöktürme tankında arıtılmaktadır [2].

Atık gaz arıtımından kaynaklanan atıksu, tesiste ancak ıslak arıtma uygulanıyorsa açığa çıkmaktadır. Bu atıksuda ağır metal ihtiva eden askıda katı madde, Poliklorlanmış dibenzo-p-dioksin ve dibenzofuran (PCDD/F), Poliklorlanmış bifeniller (PCB), PAH, sülfür bileşikleri ve klorürler bulunmaktadır. Bu atıksu, deşarj edilmeden önce arıtılmalıdır [2].

BOF tesislerinde vakum uygulaması aşamasında, vakum uygulanan 1 ton sıvı çelik için kullanılan spesifik proses suyu 5-8 m^3 aralığında değişmektedir. Bazen spesifik proses suyu ihtiyacı 41 m^3'e kadar çıkmaktadır. Bu su tamamen geri kazanılmakla birlikte sıvı çeliklerin hepsine vakum uygulanmadığı da bilinmelidir. Bu nedenle, vakum uygulanmasında çıkan ağırlıklı spesifik atıksu miktarı 1,3 m^3/ton sıvı çelik'tir. Genellikle bu atıksu akımları haddehaneden gelen diğer atıksu akımlarıyla birleştirilerek arıtılmaktadır [2].

BOF tesislerinde sürekli döküm makinelerinden çıkan atıksu direkt soğutma sistemlerinden (makine, kütük, slab ve blumların direkt soğutulması) dolayı oluşmaktadır. Atıksuyun yapısında 1-3 g/L hadde tufali ve yağ/gres bulunmaktadır. Bu atıksu genellikle haddehaneden gelen atıksu ile birlikte arıtılır. Atıksu miktarı tesisin koşullarına ve su yönetim sistemine göre değişkenlik göstermektedir. Sürekli döküm için ihtiyaç duyulan spesifik su miktarı 5-35 m^3/ton sıvı çelik'tir. Sürekli dökümden çıkan atıksu miktarı ise 2 m3/ton sıvı çelik'e kadar yükselebilmektedir [2].

Elektrik ark ocağı tesislerinde kapalı devre bir soğutma suyu çevrimi olduğu için bu kısımda atıksu oluşmamaktadır fakat atık gazın temizlenmesi ile sürekli ve ingot döküm aşamalarında da atıksu oluşumu mevcuttur. Bununla birlikte elektrik ark ocağı tesislerinde kullanılan hurda çeşitleri, genellikle asfaltlanmamış hurda sahalarında depolanmaktadır. Özellikle de yağ gibi maddelerle kontamine olmuş hurdalardan dolayı, drenaj suları kirlenebilmektedir. Genellikle bu su tahliye edilmeden önce bir yağ ayırıcıda arıtılmaktadır [15].

Sıcak haddeleme prosesinde suya verilen kirlilik, yağ ve konsantrasyonu 5 ila 200 mg/L arasında değişen askıda katı maddeden oluşmaktadır. Atıksuyun hidrokarbon içeriği 0,2 ila 10 mg/L arasında değişmektedir. Atıksu arıtmadan çıkan yağlı atıksu miktarı hat tipine göre 0,4 ila 36 kg/ton arasında değişmektedir. Soğuk haddeleme sırasında asitli atıklar ve yağ içeren atıksu oluşmaktadır. Galvanizleme tesislerinde ise yağ giderme solüsyonları, asitleme ve temizleme havuzlarında atıksu oluşumu gerçekleşmektedir [3].

Çelik üretim proseslerinde ton ham çelik başına oluşan ortalama atıksu miktarları Tablo 5.4'te verilmektedir [2, 3].

Tablo 5.4 Çelik üretim proseslerinde ortalama atıksu oluşum miktarları (m^3/ton ham çelik)

Proses	Atıksu oluşumu
Kok Üretimi	0,66
Sinter Üretimi	0,04
Demir Üretimi	5,94
Çelik Üretimi	3,15
Sıcak Haddeleme	8,05
Soğuk Haddeleme	8,05

Kaynak: [2, 3]

Bir ferrokrom tesisinde, filtrelerden alınan ferrokrom tozlarının depolandığı sahalarda yağmur nedeniyle yüzeysel akış suları oluşabilmektedir. Bu sular, içerisinde çözünmüş zararlı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla ayrı olarak toplanarak arıtılır. Bununla birlikte ıslak yıkayıcıların ve granülleştirme (cüruf) prosesinin kullanıldığı durumlarda da atıksu oluşmaktadır. Oluşan atıksu, çözünmüş metallerin pH 8-9 aralığında çöktürülebilmesi için flokülasyon ve koagülasyon ile fizikokimyasal olarak arıtılır. Cr(VI)'ün Cr(III)'e indirgenmesi için demir sülfat kullanılır. Bir ferrokrom tesisinden suya verilen emisyonlar Tablo 5.5'te verilmiştir [4].

Tablo 5.5 Bir ferrokrom tesisinden suya verilen emisyonlar

Kirletici	En düşük değer (mg/Nm^3)	Ortalama değer (mg/Nm^3)	En yüksek değer (mg/Nm^3)	Ölçüm yöntemi	İzleme sıklığı (adet/yıl)
Pb	<0,02	<0,02	<0,02	Rastgele tek örnekleme	3
Zn	0,157	0,376	0,717		
Cu	0,023	0,005	0,076		
Hg	<0,0005	<0,0005	<0,0005		
Cd	<0,01	<0,01	<0,01		
As	<0,02	<0,02	<0,02		
Ni	0,05	0,07	0,09		
Cr top.	0,05	0,15	0,20		
Cr (VI)	0,01	0,02	0,04		
N_{top}	1,85	2,16	2,29		
$BOİ_5$	11	12,74	15		
KOİ	58	67,3	77		
AKM	8	9	10		
pH	7,7	7,85	7,95		
Hidrokarbonlar	0,9	0,97	1,1		
Florürler	2,5	3,6	6,5		
Toplam siyanür	<0,01	<0,01	<0,01		

Kaynak: [2]

5.3. ENERJİ TÜKETİMİ

Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ergitme, alaşımlama, tavlama ve koklaştırma işlemleri nedeniyle, demir ve çelik üretimi enerji yoğun bir süreçtir. Termal enerji kaynağı olarak; entegre tesislerde özellikle kok fırın gazı tesis genelinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek fırın gazı ve doğal gaz da kullanılan diğer enerji kaynaklarıdır. Yüksek fırınlarda gerekli sıcaklığa ulaşılabilmek amacıyla kok ve yüksek hızı sıcak havanın yanında tüyer seviyesinden kömür, yağ gazı ve diğer hidrokarbon kaynakları enjekte edilir.

Elektrik ark ocakları ve indüksiyon ocaklarında, elektrik ve doğal gaz en önemli enerji kaynaklarıdır. Ergitme sürecinde aşağıda ifade edilen bazı enerji türleri aynı anda oluşmaktadır [2]:

- Elektrik arkından kaynaklı termal enerji
- Doğal gaz veya diğer gaz ve sıvı yakıtlardan kaynaklı termal enerji
- Metalin oksitlenmesi ile ocakta oluşan ekzotermik reaksiyonlardan kaynaklı termal enerji

Çelik üretim proseslerinde ton ham çelik başına tüketilen enerji miktarları Tablo 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.6 Çelik üretim proseslerinde ortalama enerji tüketim miktarları (MJ/ton ham çelik)

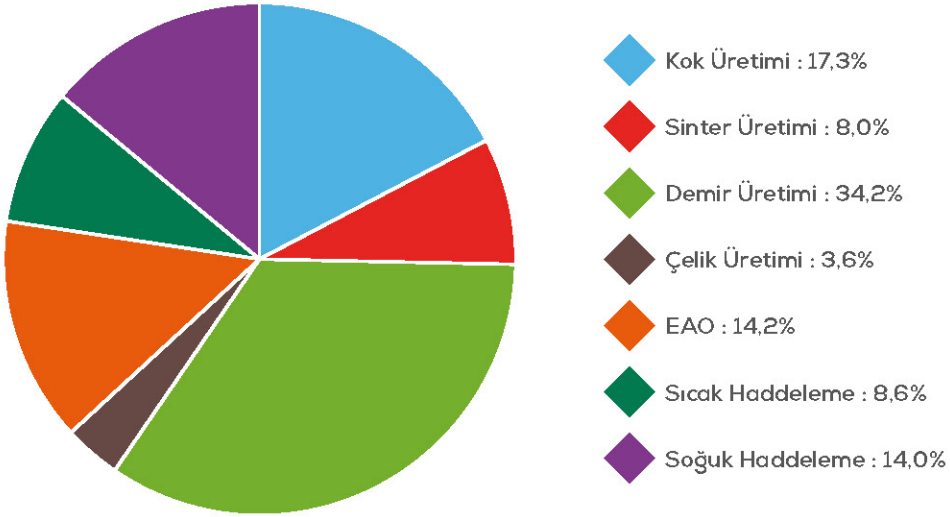
Proses	Elektrik	KFG	YFG	Kok	Diğer[4]	Toplam Tüketim
Kok Üretimi	22,1	3054,7[1]	–	–	–	3077,7
Sinter Üretimi	98,4	87,6[2]	–	1229,6	–	1416,3
Demir Üretimi	411,5	351,3	1,5	5017,7	304,9	6087,7
Çelik Üretimi	125,5	400,0	30,5	5,9	81,5	644,3
EAO	2073,5	–	–	453,9	–	2528,4
Sıcak Haddeleme	381,6	1150,0[3]	–	–	–	1532,6
Soğuk Haddeleme	1587,7	–	–	–	900,2	2489,0

[1] YFG ve KFG birlikte
[2] YFG, KFG ve doğal gaz birlikte
[3] YFG, KFG, BOF gazı ve doğal gaz birlikte
[4] Buhar, BOF gazı, yakıt vb.

Kaynak: [2, 3]

Çelik üretim proseslerinde enerji tüketiminin proseslere göre dağılımı Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Buna göre Çelik üretimi prosesleri içerisinde demir üretimi, kok üretimi ve soğuk haddeleme süreçlerinin sırası ile en yüksek enerji tüketimine sahip süreçler olduğu dikkat çekmektedir.

Şekil 5.2 Entegre demir ve çelik üretiminde proseslerin enerji tüketimi oranları



Kaynak: [2, 3]

Ferrokrom üretiminde, ana enerji kaynağı olarak elektrik kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra indirgeyici olarak ilave edilen kok da prosese enerji sağlamaktadır. Üretilen bir ton alaşım başına brüt enerji tüketim verisi Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Ferrokrom üretiminde, üretilen bir ton alaşım başına brüt ham madde tüketim verisi

Enerji	YK FeCr				DK FeCr
Elektrik (kWh/ton)	3800–4500[1]	3100–3500[2]	2600–3100[3]	4500[4]	3400[5]
Kok kullanımından kaynaklı potansiyel enerji (kWh/ton)	4235–5390[1]	3850–4235[2]	4620[3]	NA	NR
Toplam enerji girdisi (kWh/ton)	8035–9890[1]	6950–7735[2]	7220–7720[3]	NA	3400

[1] Geleneksel açık daldırılmış ark ocağı, topaklı ve topaklaşmamış toz cevher, ön ısıtma ve/veya ön indirgeme proseslerinin tüketim verileri
[2] Ham maddele olarak ön ısıtılmış peletlerin kullanıldığı ve geri dönüşümün olmadığı tüketim verileri
[3] Ham maddele olarak ön indirgenmiş peletlerin kullanıldığı tüketim verileri. Bu durumda enerji tüketimi metalleşme derecesine bağlıdır.
[4] Ön indirgeme prosesi olmayan DC ocağı
[5] Enerji tüketimi FeSiCr'nin DK FeCr'ye dönüşümüne aittir. Ara ürün - FeSiCr – dahil edildiğinde elektrik enerjisi tüketimi 8050–9500 kWh/ton, kok kullanımından kaynaklı potansiyel enerji tüketimi 5750–6400 kWh/ton ve toplam enerji girdisi 13.800–15.900 kWh/ton'dur.
Not: Bahsi geçen elektrik ve indirgeyici tüketimi bütün proses içindir. Elektrik enerjisi tüketimi toplam tüketimin yaklaşık %95'idir. Kalan %5'in büyük bölümü proses gazı arıtımı için gerekli olan elektrik enerjisidir.
NA = Ulaşılamamıştır.
NR = İlgili değildir.

Kaynak: [4]

5.4. EMİSYONLAR

Entegre demir ve çelik üretim aşamaları ele alındığında, kok üretimi toz ve gaz emisyonların ana kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Kok üretiminden kaynaklanan atık gazın bileşimde toz, toplam organik karbon (TOK), benzen, toluen, ksilen (BTEX), uçucu organik bileşikler (UOB), hidrojen sülfür (H_2S), SO_2, amonyak (NH_3), karbonmonoksit (CO), PAH ve cıva gibi ağır metaller bulunur. Bunların yanında kokun doldurulması ve boşaltılması esnasında, bataryaların ısıtılması aşamasında, bataryaların şarj noktalarından, fırın kapaklarından ve yan ürünlerin eldesi esnasında kullanılan pompa, valf sistemleri, aspiratör, basınç düşürme ve transfer ekipmanlarında bulunan sızıntılardan çok miktarda kaçak emisyon atmosfere verilmektedir. Ayrıca söndürme aşamasında oluşan atık gaz içerisindeki temel bileşenler toz, CO, NH_3 ve H_2S'tir. Bunlara ilaveten özellikle kömürün tam yanmasının gerçekleştirilemediği durumlarda çeşitli organik bileşiklere ait emisyonlar da görülebilir. Kok söndürme kaynaklı emisyonlara ilişkin bilgiler Tablo 5.8'de verilmiştir. Söndürülen kokun, kırılması ve elenmesi esnasında oluşan partikül madde emisyonları siklonların kullanılması ile 3 g/ton kok seviyesine düşürülebilmektedir [2].

Tablo 5.8 Kok söndürme kulelerinde oluşan doğrudan emisyonlara ilişkin faktörler (g/ton kok)

Lokasyon	Toz	CO	H_2S	NH_3
Kok Söndürme	10 – 50 [1]	100 – 2000	25 – 150	1 – 8

[1] Toz değerleri yükleme çeşidine oldukça bağlıdır. Yüksek emisyon değerleri izokinetik örnekleme sonucudur.

Kaynak: [2]

Sinter üretim sürecinde ham maddeler ve sinterin kırılma, elenme, taşınma ve depolanması sırasında toz emisyonları oluşmaktadır. Bu toz emisyonları, entegre bir demir-çelik üretim tesisi emisyonlarının yaklaşık %50'sine karşılık gelmektedir ve uygun toz tutma sistemleriyle kontrol altına alınmaktadır. Sinterleme prosesinden çıkan atık gaz; kurşun, cıva, çinko gibi ağır metal, demir birleşikleri, kurşun bileşikleri gibi partiküller, alkali klorürler, kükürt oksitleri, azot oksitleri, HCl, HF, hidrokarbonlar, karbonmonoksit ile PAH, PCB ve PCDD/F gibi aromatik bileşikleri de içermektedir [2].

Yüksek Fırın Sobaları, demir üretim sürecindeki NOx emisyonlarının ana kaynağıdır. NOx soba içerisindeki yüksek sıcaklık sonucu meydana gelir ve emisyon konsantrasyonları 19-115 mg/Nm^3 arasındadır. Sobalardan kaynaklanan toz emisyonları ise 1-12 mg/Nm^3 arasında yer almaktadır. Kullanılan gaza bağlı olarak SO_2 emisyonu konsantrasyonu 4-154 mg/Nm^3 aralığında değişmektedir. YFG ve kükürdü giderilmemiş KFG karışımının kullanılması durumunda 267-1000 mg SO_2/Nm^3 emisyon konsantrasyonlarına ulaşılabilmektedir. Bir yüksek fırın için sobalardan atmosfere verilen baca gazı, 100.000-500.000 Nm^3/saat aralığındadır [2].

Demir üretiminde sıcak metalin dökümü sırasında metalin ve cürufun ortamdaki oksijen ile temas etmesiyle toz emisyonları meydana gelir. Bu emisyonlarının önlenmesi amacıyla döküm deliğinde toz toplama, kevgir ve sıcak metalin torpido potasına şarjı gibi teknikler kullanılmaktadır. Suyun eriyik haldeki cüruf ile reaksiyona girmesiyle, hem buhar hem de kükürt bileşikleri (aslında CaS ve MnS) nedeniyle H_2S ve SO_2 emisyonlarının oluşmasına neden olur. Bu emisyonlar koku ve korozyon sorunlarına neden olabilir [2].

Entegre tesislerde çelik üretim sürecinde gerçekleştirilen potadan potaya aktarma, kükürt giderme ve cüruf çekme işlemleri esnasında toz emisyonları açığa çıkmaktadır. Toz emisyonların etkili bir şekilde toplanması amacıyla davlumbaz ve dog house kullanılmaktadır. Egzoz gazlarının temizlenmesinde ıslak yıkayıcı ya da herhangi bir toz toplama sistemi (torbalı filtreler ya da elektrostatik filtreler (ESF'ler)) kullanılabilmektedir. Tozların etkili bir şekilde tutulup, torbalı filtrelerden geçirildiği durumda, emisyon seviyesi 10 mg/Nm^3'ün altına düşmektedir (yaklaşık 1 g/ton sıvı çelik). Kükürt giderme prosesinde kalsiyum karbür kullanımı birtakım koku problemlerine neden olabilmektedir [2].

Konverter gazının enerjisini geri kazanmak amacıyla genellikle kısmi/tam yanma ve yanmanın baskılandığı sistemler olmak üzere iki farklı sistem kullanılır. Tam yanma sisteminde, konverterden çıkan proses gazı baca gazı kanalında yakılır. Yanmanın baskılandığı sistemler uygulandığında, geri çekilebilir su soğutma etekleri konvertere indirilir. Bu durumda baca gazı kanalında CO yanması bastırılmakta, böylece CO gazı geri kazanılabilmektedir. Tablo 5.9'da yanmanın baskılandığı BOF'da emisyon azaltımı sonrası elde edilen spesifik emisyon değerleri verilmektedir. Konverter gazının bileşimi kullanılan prosese, oksijen debisine, yanma türüne ve geri kazanım yöntemine göre değişmektedir [2].

Çelik üretimindeki diğer emisyon kaynakları:

- Sıvı çeliği dökme (boşaltma) prosesinde (ikincil metalurjide kullanılan pota, pota ocağı, konverter ve diğer ekipmanlar)
- Gaz alma
- Refrakterin ön ısıtması (pota, tandiş, gaz giderici)
- Katkı maddelerinin ilavesi
- Sürekli döküm

prosesleridir. Bu proseslerden bazıları ikincil havalandırma ve toz emme sistemi ile bağlantılıdır. Emisyon azaltım yöntemlerinin uygulanmasıyla toz emisyonu miktarı 1 g/ton SÇ-275 g/ton SÇ'den; 0,1-50 g/ton SÇ'ye kadar düşebilmektedir [2].

Tablo 5.9 Yanmanın baskılandığı bazik oksijen fırınında emisyon azaltımı sonrası elde edilen spesifik emisyon değerleri

Bileşen		Spesifik Emisyon Değeri	Birim
Birincil (BOF gazı) havalandırmanın akışı	Birincil (BOF gazı) havalandırmanın akışı	65.000-300.000	Nm^3/saat
	Tam yanma	500-1.000	Nm^3/ton SÇ
	Baskılanmış yanma	50-120	Nm^3/ton SÇ
Oksijen üfleme(besleme) işleminden kaynaklı toz	Azaltılmamış	15-20	kg/ton SÇ
	Birincil (BOF gazı) toz emme işleminden sonra	0,3-55	g/ton SÇ
	Filtre edilmiş toz/çamur	12-23	kg/ton SÇ
İkincil havalandırmanın akışı		1.300-4.800	Nm^3/ton SÇ
		300.000-3.441.000	Nm^3/saat
Şarj ve deşarjdan kaynaklı toz	Azaltılmamış	200-1000	g/ton SÇ
	İkincil toz emme işleminden sonra	2-60	
	Yakalanamayan	8-120	
İkincil toz alma işleminden kaynaklı toz	Filtre edilmiş toz/çamur	0,1-1,2	kg/ton SÇ
Ağır Metaller	Al As Cd Cr Cu Fe Hg Mg N Pb Zn	0,6-0,68 0,00-0,02 0,07-0,2 0,00-0,04 0,04 2,8-83 0,00-0,02 1,45-2,40 2,7-60 1,5-2,9 8,2	g/ton SÇ
SO_2		0,4-5,5	g/ton SÇ
NO_x		5-20	g/ton SÇ
CO		7-16	kg/ton SÇ
Hidrojen Florür *		0,008-0,01	g/ton SÇ
PAH		0,08-0,16	mg/ton SÇ
PCDD/F		<0,001-0,11	µg I-TEQ/ton SÇ

(*) Pik demir desülfürizasyonunda flaks olarak florit(CaF2) ilave edilirse, florit emisyonu daha yüksek olabilir.
Bilgi: SÇ = (Ham) Sıvı Çelik

Kaynak: [2]

EAO tesisleri kaynaklı toplam emisyonların yaklaşık %95'ini birincil atık gazlar oluşturmaktadır. Hurdanın hazırlanması, şarj edilmesi ve döküm alınması gibi işlemlerden kaynaklı emisyonların tamamı birincil emisyonların içerisinde değerlendirilmektedir. İkincil emisyonları ise genellikle elektrik ark ocağı kaynaklı kaçak emisyonlar oluşturmaktadır. EAO'larda toplanan atık gazlarda toz, ağır metal, azot, kükürt oksit ve organik maddeler (örneğin; UOB, klorürbenzoller, PCB, PAH ve PCDD/F) gibi birincil ve ikincil emisyonlar bulunmaktadır. Organik madde emisyonları hurda kalitesine bağlı olarak değişmekle birlikte bazı hurdalar boya, yağ ve diğer organik maddeler içerebilmektedir. Özellikle toplam PCDD/F emisyonlarının minimize edilmesi için güçlü bir bina havalandırma ve tahliye sistemi kurulmalıdır. EAO prosesinden kaynaklı hava emisyonlarının torbalı filtre ve ESF'lerde arıtılması sonrası mevcut konsantrasyonlar Tablo 5.10'da verilmiştir [2].

Tablo 5.10 EAO prosesinden kaynaklı hava emisyonlarının torbalı filtre ve elektrostatik filtrelerde arıtılması sonrası mevcut konsantrasyonları

Parametreler		Torbalı filtre	Elektrostatik filtre[1]	Birim
Toz		0,35 – 3,4	1,8	mg/Nm³
CO		88 – 256		mg/Nm³
NO_x		0,97 – 70		mg/Nm³
SO_x		8 – 17		mg/Nm³
Metaller	Hg	0,016 – 0,019		mg/Nm³
	Toplam (Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co, Sn dahil)	0,006 – 0,022		mg/Nm³
	Cr (Cr (VI) hariç)	0,013		
	Mn	0,036		
	Ni	0,003		
PAH		<0,00001	<0,001	mg/Nm³
PCDD/F		0,0015 – 0,1[2]		mg/Nm³
HF		0,085 – 0,2		mg/Nm³
HCl		3 – 5,4		mg/Nm³
Cl[2]		<3		mg/Nm³

[1] Tablodaki değerler paslanmaz çelik üreten bir Alman tesisinden alınmıştır.
[2] Aralığın en yüksek değeri 1997 yılında yapılan ölçümlere dayanmaktadır.

Not: PAH benzol(a)piren ve dibenzol-(a,h)-antrasen içerir.
Değerler yıllık ortalama değerlerdir ve merkezi toz tutma sistemine dayanır.

Kaynak: [2]

Sıcak haddeleme sırasında özellikle fırınlardaki yüksek enerji tüketimine bağlı olarak NO_x ve SO_x emisyonları ve ürünlerin manipülasyonu sırasında veya yüzey temizlemesi sırasında ortama yayılan toz emisyonları meydana gelmektedir. Isıtma ve ısıl işlem fırınlarındaki spesifik NO_x emisyonu 80 ile 360 g/ton arasında değişmektedir. Spesifik SO_2 emisyon miktarları, kullanılan yakıta bağlı olarak 0,3-600 g/ton arasında değişmektedir [3].

Soğuk haddeleme sırasında yağsızlaştırma buharı, asit ve yağ içeren buharlar, tufal giderme sırasında toz, asitleme işlemi sırasında NO_x gazı ve yakma fırınlarından çıkan emisyonlar oluşmaktadır. Soğuk haddelemedeki asit emisyonları; asitleme ve asit rejenerasyon prosesinden kaynaklanmaktadır

ve kullanılan asit türüne göre değişiklik göstermektedir [3].

Paslanmaz çeliğin karışık asitle temizlenmesi sırasında 0,2-3,4 g/ton aralığında HF emisyonu meydana gelmektedir. Filmaşin üretiminde asitle temizleme işleminden, galvanizleme tesislerinde asidik hava emisyonları ile fırınların kaynaklanan emisyonlar meydana gelmektedir. Ayrıca kesikli galvanizleme prosesinde asitle temizleme işleminde HCl ve kazandan gelen toz ve gaz bileşiklerinin emisyonları da mevcuttur [3].

Ferrokrom üretiminde toz emisyonları ham maddenin kırılması ve öğütülmesi sırasında, reaksiyon potalarında ve izabe işleminden sonra ürünün boyutunun küçültülmesi sırasında oluşmaktadır. Ham maddenin kırılması ve öğütülmesi sırasında oluşan toz emisyonları Tablo 5.11'de verilmektedir.

Tablo 5.11 Bir FeCr tesisinde ham maddenin kırılması ve öğütülmesi sırasında oluşan toz emisyonları

Kirletici	Azaltma tekniği	En düşük değer (mg/Nm^3)	Ortalama değer (mg/Nm^3)	En yüksek değer (mg/Nm^3)	Ölçüm yöntemi	İzleme sıklığı
Toz	Torbalı filtre	0,2	NA	0,3	Periyodik	Yarım saatlik

Kaynak: [4]

Ferrokrom üretiminde, döküm alınan malzeme, entegre bir kırma eleme işleminden geçirilerek istenen ürün boyutuna getirilir. Bu işlemler toz emisyonları için potansiyel bir kaynaktır. Toz toplama sistemi ve torbalı filtreler kullanılarak toplanan toz, proseste tekrar kullanılmaktadır. Bir ferrokrom üretim tesisinde kırma ve eleme istasyonlarında oluşan çok ince ürünlerin geri kazanım miktarları Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.12 Bir ferrokrom üretim tesisinde kırma ve eleme istasyonlarında oluşan çok ince ürünlerin geri kazanımı

Yıl	Kırılan toplam FeCr Miktarı (ton)	Toplanan çok ince ürün miktarı (ton)	
		Kırma istasyonunda	Eleme istasyonunda
2010	142.100	389	136
2011	131.600	319	120

Kaynak: [4]

İzabe işleminden sonra ürünün boyutunun küçültülmesi sırasında oluşan toz emisyonları Tablo 5.13'te verilmektedir.

Tablo 5.13 Bir FeCr tesisinde izabe işleminden sonra ürünün boyutunun küçültülmesi sırasında oluşan toz emisyonları

Kirletici	Azaltma tekniği	Ortalama değer (mg/Nm^3)	En yüksek değer (mg/Nm^3)	Ölçüm yöntemi	İzleme sıklığı
Toz	Torbalı filtre	<5	<10	Sürekli	Saatlik

Kaynak: [4]

Bir ton alaşım üretimi bazında ferrokrom üretiminden kaynaklanan toz emisyonları Tablo 5.14'te verilmiştir.

Tablo 5.14 Bir ton alaşım üretimi bazında ferrokrom üretiminden kaynaklanan toz emisyonları

Kaynak	YK FeCr		DK FeCr	
	(kg/ton)	(mg/Nm³)	(kg/ton)	(mg/Nm³)
Ham madde elleçleme	0,01–0,02	f [1]	f [1]	
Kurutma	0,01–0,02 (kok)	1–50	0,082 (cevher)	5
Kırma	0,002	NA	0,003	3
Peletleme/ Sinterleme [2]	0,01–0,02 /ton pelet	1–15	NR	NR
Dozlama istasyonu	0,01–0,02	1–30 [2]	0,024	5
Ön ısıtma	0,001–0,005	1–15 [2]	NR	NR
İzabe fırını	0,02–0,1 [3]	1–100 [2][4][5]	0,101	8
Döküm alma	[6]	5–12 [2]	[7]	[7]
Döküm	[6]	5–12 [6]	0,2–0,4 [2]	3–15 [2]
Cüruf elleçleme	NM	NM	0,04	10–15
Ürün elleçleme (kırma, eleme, depolama, vb.)	0,02–0,05	r	NA	NA

[1] Ham maddenin elleçlenmesi ve depolanması sırasında meydana gelen malzeme kaybının %1'den daha az olduğu tahmin edilmektedir.
[2] Toz emisyonları kullanılan ocak tipine ve proses gazı azaltma tekniğine bağlıdır.
[3] Ocak tozunun Cr(VI) içeriği kapalı ocaklar için 5 ppm ila 100 ppm; açık ocaklar için ise 1000 ppm ila 7000 ppm arasındadır.
[4] En kötü ve en iyi performansa sahip ocakları temsil etmektedir.
[5] Kapalı ocaklardan çıkan gazla ıslak yıkayıcılarda arıtıldıktan sonra yakıt olarak kullanılabilir.
[6] Ocak binasından çıkan havalandırma havasından uzun dönemde alınan örnekler ortalama değerlerin tayin edilmesinde kullanılabilir. Bu örnekler 5 mg/Nm3 ila 12 5 mg/Nm3 arasında ortalama toz konsantrasyona sahiptir.
[7] "İzabe ocağı" kaynağında dahil edilmiştir.
Not: NA = Ulaşılamamıştır. NR = İlgili değildir. NM = Ölçülmemiştir.
f = kaçak emisyonlar. r = Toz prosese geri döndürülmektedir.

Kaynak: [4]

5.5. HAM MADDE KULLANIMI

Çelik üretiminde ham madde olarak cevher, kömür, sinter, hurda, kireç gibi çok çeşitli girdiler kullanılmaktadır. Ülkemizde çelik üretimi, %70 oranında hurdadan çelik üretimine dayandığından kullanılan ham maddelerin başında hurda metal gelmektedir. Bunu entegre tesislerde kullanılan demir cevheri, sinter ve koklaşabilir kömür (kok üretiminde) takip etmektedir. Ham çelik üretiminde kullanılan temel ham maddelerin üretim süreçlerinde, ton ham çelik başına ortalama kullanım miktarları Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15 Ham çelik üretiminde kullanılan temel ham maddelerin üretim süreçlerinde ortalama kullanım miktarları (ton/ton ham çelik)

Ham madde	Kok Üretimi	Sinter Üretimi	Demir Üretimi	Çelik Üretimi	EAO	Toplam
Kömür	1,14	–	0,10	–	0,02*	1,25
Kok	–	0,04	0,34	0,0002	–	0,38
Sinter	–	0,22	0,75	–	–	0,97
Demir Cevheri	–	0,65	0,29	0,01	–	0,95
Sıvı Maden	–	–	–	0,86	–	0,86
Kireç taşı/Kireç/Dolomit	–	0,11	0,03	0,07	0,08	0,30
Hurda	–	–	–	0,22	1,14	1,36
Pik Demir	–	–	–	–	0,08	0,08
Sünger Demir (DRI)	–	–	–	–	0,11	0,11
Grafit Elektrot	–	–	–	–	0,004	0,00
Refrakter	–	–	–	–	0,04	0,04
Alaşımlar (karbon çeliği için)	–	–	–	–	0,03	0,03

** Antrasit ve kok toplamı*

Kaynak: [2]

Ferrokrom üretiminde ana hammadde olan demir ve krom oksitleri içeren kromit cevherinin yanı sıra indirgeyici olarak karbon (metalurjik kok, kömür, odun kömürü) veya silikon kullanılmaktadır [4]. Ferrokrom üretiminde, üretilen bir ton alaşım başına brüt ham madde tüketim verisi Tablo 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.16 Ferrokrom üretiminde, üretilen bir ton alaşım başına brüt ham madde tüketim verisi

Ham madde	YK FeCr				DK FeCr
	Tesis 1	Tesis 2	Tesis 3	Tesis 4	
Kromit (kg/ton)	2400–3000 (1)	2300–2400 (2)	NA	NA	1600
İndirgeyici (kg/ton) (3)	550–700 (1)	500–550 (2)	600 (4)	NA	675 (FeSiCr)
Flakslar (kg/ton)	100–400 (1)	200–300 (2)	NA	NA	1100
Diğer (kg/ton)	Elektrot 8–25 Tekrar ergitilen 0–300	Elektrot 7–10	NA	NA	Kum < 100 kg Si < 40 kg Elektrot 10 kg Borik asit 3kg

(1) Geleneksel açık daldırılmış ark ocağı, topaklı ve topaklaşmamış toz cevher, ön ısıtma ve/veya ön indirgeme proseslerinin tüketim verileri
(2) Ham maddele olarak ön ısıtılmış peletlerin kullanıldığı ve geri dönüşümün olmadığı tüketim verileri
(3) İndirgeyici tüketimi bütün proses içindir.
(4) Ham maddele olarak ön indirgenmiş peletlerin kullanıldığı tüketim verileri. Bu durumda enerji tüketimi metalleşme derecesine bağlıdır.
NA = Ulaşılamamıştır.

Kaynak: [4]

Kutu-1 Türkiye Materials Marketplace

Türkiye Materials Marketplace, malzemelerin endüstriler arası yeniden kullanımını desteklemek amacıyla tasarlanmış, bulut tabanlı bir platformdur. Materials Marketplace, kolay bilgi paylaşımı, malzemelerin yeniden kullanım fırsatlarının belirlenmesi ve uygulanması konularında destek sunarak şirketlerin daha uygun fiyatlı hammaddelere erişmelerine ve atık sahalarının yüksek maliyetli imha ücretlerinden kaçınmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir. Şirketler sisteme üye olup giriş yaparak platformda hâlihazırda bulunan malzemelerin miktarını, fotoğraflarını, MSDS formlarını görebilmekte, aynı zamanda atık ürünlerini sisteme ekleyerek atıklarını değerlendirebilmektedir. Platform katılımcıları arasında demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren firmalar da yer almaktadır

Avusturya DRIVE Fonu, Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) ve Avrupa Birliği tarafından desteklenen Türkiye Materials Marketplace Projesi Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD Türkiye) tarafından yürütülmektedir.

http://turkey.materialsmarketplace.org/

5.6. ATIK OLUŞUMU

Entegre demir ve çelik üretim tesisleri, üretim proseslerinden çıkan çelik harici temel çıktılar; yüksek fırın cürufu ile çeşitli çelik cürufları, amonyum sülfat, desülfürizasyon ünitesinden çıkan sülfür veya sülfürik asit, kok katranı, kok zifti, benzen, kok fırın gazı ve demir hurdası olarak sıralanabilir. Demir ve çelik üretim proseslerine bağlı olarak yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu veya ikincil metalurji proses cürufları gibi farklı türlerde cüruf açığa çıkmaktadır. Bu malzemelerin bazıları, diğer sektörlerde ham madde olarak kullanılabilmekte; ayrıca tesis içi proses optimizasyonu ile karbon ve demir taşıyan tozların iç sirkülasyonunun maksimize edilmesi ve çelik üretimine ait çeşitli atıkların minimize edilmesi sağlanabilmektedir [2, 16].

Tufal, baca gazı tozu ve cüruf, oluşum miktarları, geri kazanılabilir olmaları ve farklı kullanım alanlarına sahip olmaları bakımından demir ve çelik üretiminde öne çıkan atıklar arasındadır. Tufal, haddehanelerde, sürekli döküm tesislerinde, sıcak slab ve kütük yüzeyinin soğutulması sırasında yüksek sıcaklık (1100-1300°C) ve oksitleyici ortam nedeniyle oluşan metal oksit tabakasıdır [17]. Baca gazı tozunun başlıca kaynakları; hurda içerisindeki galvanizli kısım, demir pası, hurdayla birlikte sisteme giren minör anorganik kirlilikler, proseste kullanılan antrasit ve fırın refrakter parçacıklarıdır. Demir ve çelik üretimi esnasında ortaya çıkan baca gazı tozunun içerdiği çinko, kurşun, krom, kadmiyum ve arsenik gibi maddelerden dolayı tehlikeli atık niteliğindedir [18, 19]. Elektrikli ark ocaklarında 1 ton çelik üretiminde ortalama 14 kg baca gazı tozu açığa çıkmaktadır [20]. EAO'larda çelik üretimi esnasında oluşan baca tozlarının kimyasal bileşimi Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 Genel baca gazı tozu kimyasal bileşimi

Bileşen	Miktar (%ağırlıkça)
Fe_{top}	10-45
Zn	21-43
Cu	0,08-0,5
Pb	0,4-10
Cd	0,02-0,18
SiO_2	0,6-5,1
Al_2O_3	0,3-3
CaO	3-17
MgO	0,5-6
MnO	1,1-6
Cr_2O_3	0,13-2
Na_2O	0,3-3
K_2O	0,5-2,3
Cl	0,8-5

Kaynak: [2]

Kok fırın tesislerinde üretilen katı atıklar katran, dekanter tortusu, atık yağ tortusu ve arıtma çamurundan oluşmaktadır ve yaklaşık olarak 1 kg/ton kok mertebesindedir. Bu atıklar benzen ve PAH gibi oldukça tehlikeli bileşenler içermektedir. Arıtma çamurunun susuzlaştırıldıktan sonra diğer katı atıklar ile birlikte kok fırınına beslenmesi veya düzenli depolama sahası ya da atık yakma yöntemleri ile bertaraf edilmesi mümkündür [2].

KFG'nin temizlenmesi aşamasında katran ve diğer organik bileşenlerin (BTEX vb.) geri kazanılması sağlanmaktadır. Bu bileşenlerin toprağa karışması durumunda çevresel açıdan önemli tehlikelerin ortaya çıkması söz konusudur. BOF gazının ve yüksek fırın gazının temizlenmesi sırasında çinko bakımından zengin toz ve çamur açığa çıkmaktadır. Fakat toz ve çamur içerisindeki çinko miktarı, çinko geri kazanımı yapmak için yeterince yüksek değildir [2].

Galvanizleme işlemi sırasında yağlı atıklar (örneğin, yağ giderme havuzlarının temizlenmesinden) ve çinko içeren yağ ve krom atıklar (filtre tozu, çinko külü, sert çinko) oluşmaktadır [3].

Ferrokrom üretiminde oluşan başlıca atıklar filtre tozları, ıslak yıkayıcılarda oluşan çamur, indirgenme prosesi cürufu, kullanılmış ocak astarları ve varil veya bigbag çuvalları gibi paketleme malzemeleridir. Bu atıklar yan ürün olarak kullanılır, prosese geri döndürülür veya ekonomik olarak kullanımı olmayanlar atık alanına nakledilir. Bir ton ferro alaşım için oluşan cüruf, toz ve çamur miktarları, kullanım olasılıkları ile birlikte Tablo 5.18'de ve Tablo 5.19'da belirtilmiştir.

Tablo 5.18 Bir ton ferro alaşım için oluşan cüruf, toz ve çamur miktarları ve bunların kullanım olasılıkları

Ferro alaşım	Cüruf (ton/ton alaşım)	Analitik içerik	Geri dönüşümü yeniden kullanımı ve tahliyesi
YK FeCr	1,0–1,7	Spinel karışımı, MgO, Al_2O_3, forsterit, 2MgO, SiO_2 ve Cr_2O_3 (3–15 %) Cüruf kimyasal olarak oldukça kararlıdır	Cürufun düşük bazlığı, süzülemeyen kararlı silikatlar oluşmasını sağlar. Kırılmış topak ve granüle edilmiş cüruf bina ve yol inşaat malzemesi olarak kullanılabilir. Cüruf aynı zamanda kumlama kumu olarak ve dökme refrakter üretiminde kullanılabilir.
DK FeCr	1	CaO 44–45 % SiO_2 23–33 % MgO 9–13 % Al_2O_3 5–9 % Cr_2O_3 2,5–6,5 % FeO 0,6–1,2 %	Cüruf yeniden kullanılır.

Kaynak: [4]

Tablo 5.19 Hava emisyonlarını azaltma sisteminde oluşan toz ve çamurun miktarı, geri dönüşümü yeniden kullanımı ve tahliyesi

Ferro alaşım	Toz veya çamur (kg/ton alaşım)	Geri dönüşümü yeniden kullanımı ve tahliyesi
YK FeCr	20–80 (1)	Ocaktan kaynaklanan toz atık depolama alanına gönderilir. Kırma ve eleme işlemlerinden kaynaklanan toz tekrar ergitilmek üzere ocağa gönderilir veya paslanmaz çelik üretiminde kullanılır. Ham madde taşıma sistemlerinde, kok kurutmada, topaklama işleminde ve dozlama istasyonunda oluşan tozlar prosese geri döndürülebilir. Islak yıkayıcılarda oluşan çamur PAH ve metal içerebileceğinden tehlikeli atık sahasına gönderilir. Yarı kapalı ark ocağından sonra atık ısı kazanında toplanan yüksek krom içeriğine sahip, yaklaşık 8-10 kg/ton kaba toz topaklanma işleminden sonra fırına geri döndürülebilir. FeCr açık ark ocaklarından toplanan kuru toz genellikle Cr(VI) içerir ve atık sahalarına gönderilemez.
DK FeCr	70	Toz izabe ocağına geri döndürülür.

(1) Toz veya çamurun içeriği kullanılan izabe ocağı ve ham maddeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

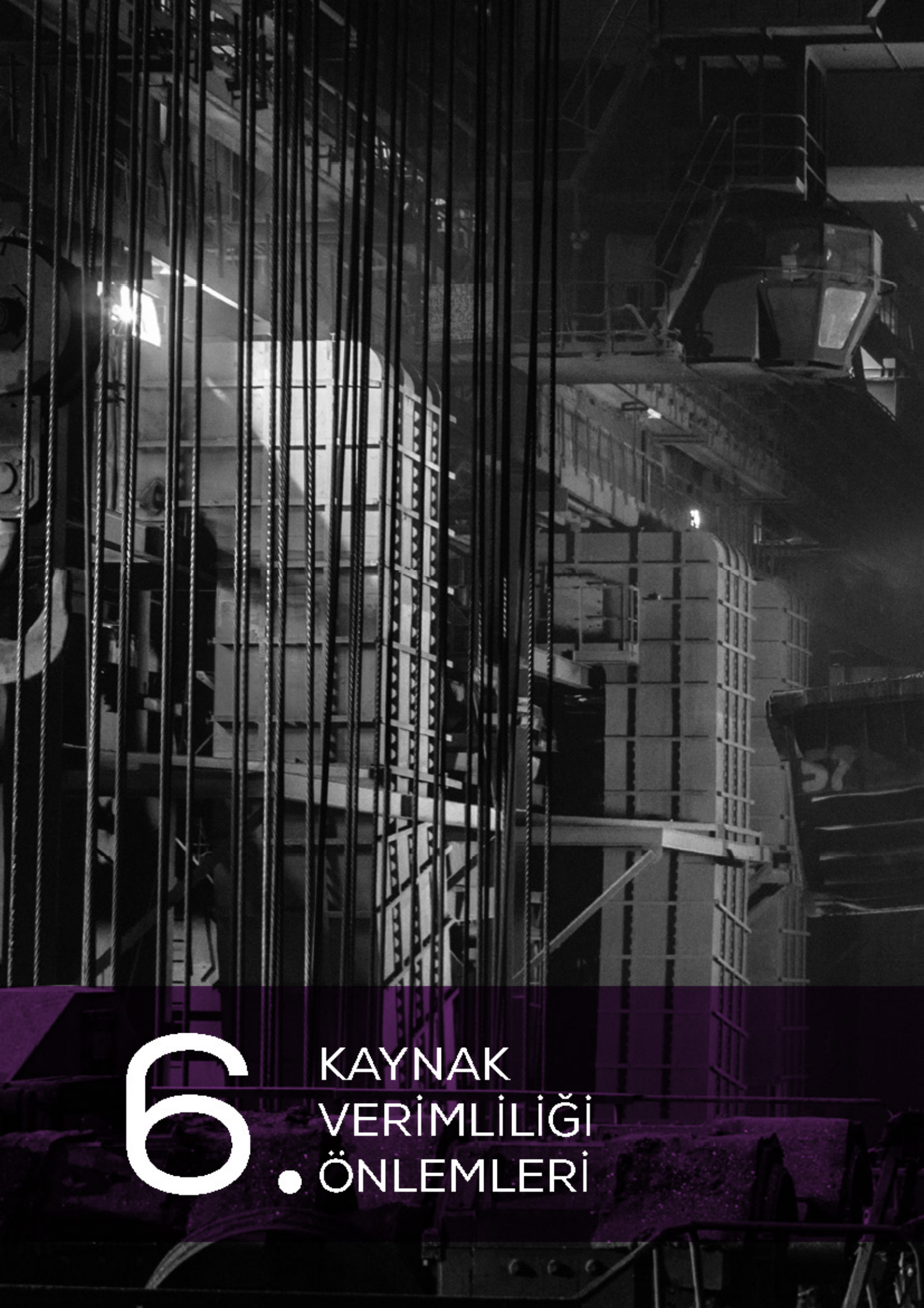
Kaynak: [4]

5.7. GÜRÜLTÜ

Demir ve çelik üretiminde birçok proses önemli derecede gürültü emisyonu üretmektedir. Bu emisyonların oluştuğu başlıca alanlar aşağıda listelenmektedir [2]:

- EAO'larda ve pota ocaklarında ark üretimi sırasında,
- Sinter kırma işleminde,
- Sinter atık gaz ve soğutma gazı fanlarının çalışması sırasında
- Yüksek fırın tüyerlerinden
- İkincil toz toplama sistemlerinin çalışması sırasında
- Hurdaların taşınması, boyutlandırılması ve şarjı sırasında
- Cüruf potalarının taşınması sırasında
- Cürufun kırıcılarda, manyetik ayırıcılarda ve eleklerde işlenmesi sırasında

Elektrik ark ocaklarında oluşan gürültü 90-113 dB(A) değerleri aralığındadır [2].



6. KAYNAK VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ

6 KAYNAK VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ

6.1. DEMİR VE ÇELİK ÜRETİMİ İÇİN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER HAKKINDA REFERANS BELGESİ

Endüstriyel faaliyetler sonucunda tüketilen kaynak miktarını ve oluşan emisyonları önlemek amacıyla, Avrupa'da özellikle son 20 yılda entegre bir yaklaşım olan temiz üretim uygulamaları ivme kazanmıştır. Bu entegre yaklaşım özellikle su, enerji ve kaynak tüketimi yoğun olan endüstrilerde ön plana çıkmıştır. Bu çerçevede, AB ülkelerinde "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC-96/61/EC)", yeni adıyla "Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (IED-2010/75/EU)" ile kirliliğin kaynağında entegre bir yaklaşımla önlenmesi hedeflenmiştir.

Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi, Demir ve Çelik Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler Hakkında Referans Belgesi (BREF), Demirli Metallerin İşlenmesi Sanayii için Mevcut En İyi Teknikler Hakkında Referans Belgesi (BREF), demir-çelik sektörü ve üretim prosesleri hakkında genel bilgi, mevcut emisyon ve tüketim seviyeleri ve "Mevcut En İyi Teknikler (MET)"e ilişkin bilgiler içermektedir.

MET'ler için enerji tüketimi, su tüketimi ve atık önleme konularına değinmektedir. MET'ler çevrenin yüksek düzeyde korunmasına yönelik en etkili yöntemdir. MET'ler yalnızca bir işletme içerisinde kullanılan teknolojiyi ifade etmeyip, bununla birlikte işletmenin tasarlanma, kurulma, işletme ve bakım aşamalarında da uygulanmaktadır.

Demir-çelik sektörüne yönelik uygulanabilecek MET'ler için referans olarak 2001 ve 2013 yılında yayımlanmıştır [3, 2]. 12 temel bölümden oluşan 627 sayfalık demir ve çelik üretimi için referans dokümanında ham çelik üretimine ilişkin bölümler Tablo 6.1'de verilmiştir [2].

Tablo 6.1 Demir ve çelik üretimi için referans belgesi temel bölümleri

Bölüm 1	Genel Bilgiler
Bölüm 2	Genel Süreçler ve Teknikler
Bölüm 3	Sinter Tesisleri
Bölüm 4	Peletleme Tesisleri
Bölüm 5	Kok Fırını Tesisleri
Bölüm 6	Yüksek Fırınlar
Bölüm 7	Bazik Oksijen Çelik Üretimi ve Döküm
Bölüm 8	Elektrik Ark Ocakları Çelik Üretimi ve Döküm
Bölüm 9	Demir ve Çelik Üretimi için MET Sonuçları
Bölüm 10	Alternatif Demir Üretim Teknikleri
Bölüm 11	Gelişmekte Olan Teknolojiler
Bölüm 12	Sonsöz ve Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler

7 temel bölümden oluşan 538 sayfalık demirli metallerin işlenmesi için referans dokümanında ham çelik üretimine ilişkin bölümler Tablo 6.2'de verilmiştir [2].

Tablo 6.2 Demirli metallerin işlenmesi için referans belgesi temel bölümleri

Bölüm 1	Sıcak ve Soğuk Şekillendirme Hakkında Genel Bilgiler
Bölüm 2	Sıcak ve Soğuk Şekillendirmede Kullanılan Süreç ve Teknikler
Bölüm 3	Sıcak ve Soğuk Şekillendirme için Mevcut Tüketim ve Emisyon Seviyeleri
Bölüm 4	Sıcak ve Soğuk Şekillendirme için MET'lerin Belirlenmesinde Değerlendirilmesi Gereken Teknikler
Bölüm 5	Sıcak ve Soğuk Şekillendirme için Mevcut En İyi Teknikler
Bölüm 6	Sıcak ve Soğuk Şekillendirme için Gelişmekte Olan Teknolojiler
Bölüm 7	Sonsöz

6.2. İLGİLİ ÇEVRE VE ENERJİ MEVZUATI

Ülkemizde yürürlükte olan çevre ve enerji mevzuatı değerlendirildiğinde, demir-çelik üretimi sektöründe kaynak verimliliği uygulamalarına dolaylı atıfların olduğu düzenlemeler yer almaktadır. Ancak, bu sektöre yönelik doğrudan kaynak verimliliği odaklı bir mevzuat ülkemizde mevcut değildir. Demir-çelik üretimini bu çerçevede ilgilendiren kirlilik önleme, kaynağında azaltma, geri kazanım, geri dönüşüm, verimlilik gibi konulara ilişkin temel düzenlemeler Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Demir ve çelik üretimine dair ilgili kanun ve yönetmelikler

KANUN		Çevre Kanunu
		Enerji Verimliliği Kanunu
Yönetmelik	Su	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
		Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
	Atık	Atık Yönetimi Yönetmeliği
		Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
		Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
		Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
		Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
		Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik
	Hava	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
		Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
		Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
	İklim	Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik
		Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik
	Enerji	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik
		Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
	Yatay	Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği
		Çevre Denetimi Yönetmeliği
		Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği
		Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerin Azaltılması Hakkında Yönetmelik

6.3. DEMİR VE ÇELİK ÜRETİMİNE YÖNELİK TEMİZ ÜRETİM OLANAKLARI

Demir ve çelik üretimi, üretim hacminin yüksek olması, enerji yoğun prosesler içermesi ve prosesler sonucu oluşan çevresel etkilerin önemli boyutlara ulaşması nedeniyle sürekli iyileştirmeye ve gelişmeye ihtiyaç duyan bir süreçtir. Bunu sağlamak amacıyla uygulanabilecek teknikler temelde iki ana MET referans dokümanı mevcuttur [2, 3]. Bu sektörel referans dokümanlarının haricinde diğer sektörlerin referans dokümanlarında geçen genel MET'lerden de faydalanılabilmektedir. İlaveten, enerji verimliliği ve endüstriyel soğutma sistemleri alanında yayınlanan MET referans dokümanlarında her sektörde uygulanabilecek teknikler yer almaktadır [4, 21, 22, 23].

6.3.1 SU TÜKETİMİ

Tesis içerisinde ve çeşitli proseslerde mevcut su tüketiminin yüksek seviyede olup olmadığını belirlemek ve değerlendirmek, su yönetimini ve verimliliğini değerlendirmek, kayıp ve kaçakları tespit ederek gerekli önlemleri almak amacıyla tüketilen su miktarlarının izlenmesi ve tüm atıksu akımlarının kaynakları, bileşimi, miktarları ve kalitesi hakkında bilgi toplanması önemli bir iyi yönetim uygulamasıdır [22]. Bu kapsamda tesis geneli ve üretim prosesleri özelinde debimetre ve sayaçların kullanılması, sürekli çalışan makinelerde otomatik kapatma vanaları ve valflerin kullanılması, bilgisayar destekli sistemler kullanılarak su tüketimleri ve belirlenen bazı kalite parametrelerine göre izleme-kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi gereklidir. Elde edilen veriler Ar-Ge çalışmalarının boyutunu ve gelecek hedeflerini belirlemek amacıyla kullanılabilmektedir.

Çelik üretim proseslerinde en önemli su tüketimi, fırın ve ekipmanlarının soğutulması sırasında gerçekleşir. Buna ilaveten, atık gazın soğutulması ve ikincil metalurji işlemlerinde de (pota ocaklarında) su kullanılabilmektedir. Elektrik ark ocaklarında soğutma elemanları için ihtiyaç duyulan su miktarı yaklaşık 5-12 m^3/m^2sa'dir. Soğuk haddeleme sırasında açığa çıkan ısı genellikle plakalı ısı değiştiriciler vasıtasıyla soğutma suyu çevrimine aktarılır. Özel soğutma suyu sistemlerinin kullanımı ile soğutma suyunun yağlarla kirletilmesi ihtimali düşürülmektedir. Ayrı ve kapalı soğutma suyu sistemlerinde, proses suyu evaporatif kuleler ya da plakalı ısı değiştiriciler tarafından soğutulur. Kapalı devre su soğutma sisteminin uygulanması ile sistemden atıksu deşarjı olmamakta ve kullanılan su oranında tasarruf edilmektedir. Kapalı devre su soğutma sistemi, suyun pompalanması ve tekrar soğutulması için ek enerji gerektirmektedir [2, 3]

Soğuk haddehanelerde yüzey temizleme (asitleme) işlemi sırasında tüketilen su miktarının azaltılması mümkündür. Bu amaçla ıslak asitleme prosesi, kısmen veya tamamen mekanik tufal giderme prosesi ile değiştirilebilmektedir. Ancak mekanik tufal giderme işleminin tercih edilmesi enerji tüketiminin artmasına neden olabilir. Öte yandan paslanmaz çelik üretiminde prosesin sadece belirli bir kısmında mekanik tufal giderme işlemi kullanılabilir. Ayrıca ardışık akışlı asitleme sistemlerinin ve geliştirilmiş asitleme ve durulama ekipmanlarının (mekanik ön işlem, baca gazı arıtma sistemlerinin verimliliğinin artırılması amacıyla kapalı tanklar, daldırmalı işlem yerine sprey işlemleri, sıkıştırmalı merdaneler) kullanımı ile su tüketiminin azaltılması mümkündür. Atık asitlerin rejenerasyonu da asit nötralizasyonu için gereken su tüketimini düşüren teknikler arasındadır. Rejenerasyonun gerçekleştirilebilmesi için de asit konsantrasyonu ve hacminin belirli bir seviyenin üstüne çıkması gerekmek-

tedir. Rejenerasyonun bir kısmının iyon değiştirme veya elektrodiyaliz yöntemleri ile yapılması mümkündür. Su tüketiminin azaltılmasında asitleme ve durulama/yıkama suyunun filtrelerden geçirilerek tekrar kullanılması fayda sağlayabilmektedir [3].

6.3.2 ATIKSU DEŞARJLARI

Su tüketiminin azaltılmasına yönelik temiz üretim olanaklarının hemen hepsi aynı zamanda atıksu oluşumunun azalmasına da neden olmaktadır.

Tesislerde atıksu akımlarının kirlilik yüklerine ve karakteristiklerine göre ayrılması ve ayrı toplanması için atıksu ayırma sistemi tasarımı yapılabilmektedir. Ürün kalitesi açısından bir sakınca bulunmayan ayrı toplanmış atıksular, yıkama, temizleme, takviye suyu vb. proseslerde ya da işlemlerde yeniden kullanılabilmektedir. Bazı kirlilik içeren atıksu akımları ise kullanım amacına uygun olarak gerek arıtıldıktan gerekse arıtılmadan üretim proseslerinde yeniden kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda ayrılmış atıksu akımlarından değerli malzemelerin geri kazanılması da sağlanmaktadır.

Atıksu akımlarının ayrılması ile kirlilik içermeyen atıksuların alıcı ortam deşarj standartlarını sağlamaları durumunda arıtılmadan alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte üretim proseslerinde yeniden değerlendirilmesi mümkün olmayan atıksu akımlarının ayrı toplanması ve uygun arıtım teknikleri ile arıtılması, arıtma sistemlerinde arıtılacak su debisini düşüreceğinden ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasında etkili olmaktadır. Bu sayede arıtma performansları artırılmakta ve arıtma ihtiyacının azaltılması ile ilişkili olarak enerji tüketimleri azaltılmaktadır. Bazı durumlarda ayrılmış sıcak atıksu akımlarından atık ısı geri kazanımı da sağlanabilmektedir. Atıksu akımlarının ayrılması yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilmektedir. Yüksek miktarda atıksuyun ve enerjinin geri kazanılmasının mümkün olduğu durumlarda maliyetlerin azaltılması sağlanabilmektedir [4].

Kok fırınında oluşan amonyaklı sudan, biyolojik artıma öncesinde katranın ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) ayrıştırılması gerekmektedir. Normal şartlarda amonyak tutma kolonun atığında katran bulunmamasına rağmen, aksi bir durumun biyolojik atıksu arıtma tesisi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle (katran içeriğinde bulunan PAH mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaratır) katran giderimi önem arz etmektedir. Katran amonyaklı sudan, koagülant ilavesi, filtreleme sonrasında çöktürme (dekanter), santrifüjleme, yüzdürerek ayırma veya kum filtreleme olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılarak ayrıştırılabilmektedir. Kum filtreleme yöntemi ile 700-800 µg/L'nin altında %99 verimle sonuç elde edilebilmektedir. Katranın giderilmesine yönelik tüm teknikler atık oluşumunu artırmaktadır. Ancak elde edilen atık içerdiği katran çamuru nedeniyle kok fırınına tekrar beslenebilmektedir [2].

Sıcak haddehanelerden gelen, yağ ve tufal içeren atıksular; tufal çukurları, çökeltme tankları, siklonlar, filtrasyon vb. adımlardan geçerek oldukça karmaşık bir atıksu arıtma sisteminde arıtılmaktadır. Yağ ve daha ince tufal içeriğinin arıtılması devam eden süreçte ikincil arıtma ile olmaktadır. Sürekli döküm prosesinde su doğrudan slab, kütük ve blumların üzerine püskürtülerek, döküm parçalarının soğutulması amacıyla kullanılır. Püskürtme suyu, buharlaşmalı soğutma kulelerinde soğutulduktan

sonra kum filtrelerinde çöktürme işlemine tabi tutulur. Birçok durumda, bu su, sıcak haddehaneden gelen atıksu ile birlikte arıtılmaktadır. Su arıtıldıktan sonra sistemde resirküle edilmektedir. Kum filtrasyonu, partikül miktarını ve döküm makinesindeki sprey nozullarının yağ kontaminasyonunu düşük seviyelerde tutmaya yardımcı olmaktadır. Kum filtrelerinin tıkanmasının önlenmesi için, yağ sıyırıcıların sisteme kum filtrelerinden daha önce entegre edilmesi gerekmektedir. Birçok durumda, bu su, sıcak haddehaneden gelen atıksu ile birlikte arıtılmaktadır. Su arıtıldıktan sonra sistemde resirküle edilmektedir. Sedimantasyon adımında çamur oluşmaktadır. Çamurun yapısında demir bulunduğu için doğrudan sinter tesisine ya da yüksek fırına beslenebilmektedir [2, 3].

Çekme yağlayıcısından kaynaklanan kullanılmış emülsiyonun sudan arıtılması ile bertaraf edilecek atık hacminin azaltılması ve atık yakma işleminin tercih edilmesi durumumda atığın ısıl değerinden faydalanılması mümkündür. Bu amaçla termal, kimyasal, yüzdürme, adsorpsiyon, elektrolitik ve membran filtrasyonu gibi çeşitli teknikler kullanılabilmektedir. Sistemin hayata geçirilmesi ile atık maliyetleri azaltılmaktadır [3].

6.3.3 ENERJİ TÜKETİMİ

Ekipmanlardan dış ortama ısı kaybının önlenmesi için ekipmanlara ısı yalıtımı uygulanarak ısı kayıplarının azaltılması ve enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanabilmektedir. Ekonomik nedenler dışında proses işleyişi sırasında akışkanın sıcaklığının düşmesinin engellenmesi, daha uygun, verimli ve rahat çalışma koşulları sağlanması, personelin güvenliği, yangın veya parlama olasılığının ortadan kaldırılması, çok ani sıcaklık düşüşleriyle boru bağlantı parçaları üzerinde gerilim oluşmasının önlenmesi amacıyla da ısı yalıtımı uygulanmaktadır. Bununla birlikte gazların yoğuşmasının istenmediği durumlarda ve özellikle kızgın buharın taşındığı borularda ısı kayıplarının önlenmesi gerekmektedir. Yalıtım malzemesinin seçiminde ise özellikle çalışma sıcaklığının göz önünde bulundurulması ve kimyasallara karşı dirençli malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Boruların, valflerin, tankların ve makinelerin izolasyonu, enerji verimliliği ve çevresel etkilerin azaltılması bakımından tüm endüstriyel tesislerde uygulanması gereken etkili bir iyi yönetim uygulamasıdır [22].

Kazanlarda ısıl verimin sürekli olarak yüksek tutulabilmesi ve emisyonların kontrol edilebilmesi amacıyla baca gazı analizörleri yardımıyla baca gazı bileşenlerinin sürekli veya periyodik olarak izlenmesi, yanmaya etki eden parametrelere zamanında müdahale edilmesi, ayrıca brulörlerin duruşlarında kazanların iç soğuma kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Yakıt-hava oranı gibi parametreler izlenerek ve optimize edilerek yanma reaksiyonlarının en etkin şekilde gerçekleştirilmesi, enerji yönetimi kapsamında, enerji verimliliğinin sağlanması bakımından oldukça önemlidir. Kazanlarda yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, karbonmonoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, baca gazı içerisindeki oksijen oranının mümkün olduğunca düşük seviyede olması istenir. Doğal gazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta %5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir. Yanma havasının izlenmesi-kontrol edilmesi ile kazan veriminde %2-6 oranında artış sağlanabilmektedir [4, 24].

Enerji verimliliği açısından önemli olan bir diğer teknik ise üretim proseslerinde kullanılan motorların yükle uyumlu olarak seçilmesidir. Elektrik motorunun kapasitesinden daha düşük bir yükte çalıştı-

rılması yapılan işe göre tüketilen enerji miktarını artırmakta ve dolayısıyla enerjinin verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Motor seçiminde yüksek verimlilikte motorların tercih edilmesi de enerji verimliliği açından oldukça önemlidir. Uygun motor seçimi ile enerji tüketiminde %1-3 oranında tasarruflar sağlanabilmektedir [25].

Enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması amacıyla elektrik enerjisi ve ısıl enerji tüketiminin yüksek olduğu tesislerde kojenerasyon sistemleri kurulabilmektedir. Kojenerasyon (birleşik ısı-güç üretim sistemleri) buhar ve elektriğin birlikte üretildiği sistemlerdir. Bu sistemlerde doğal gaz, biyokütle, biyogaz gibi yakıt kaynaklarından yararlanılarak yerinde ısı ve elektrik enerjisi birlikte üretilebilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıt ve üretilen enerji (elektrik ve ısıl enerji) birlikte değerlendirildiğinde verimi %80-90 seviyelerine ulaşmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinden yararlanılan tesislerde enerji maliyetleri %40'a varan oranda azaltılabilmektedir. Kojenerasyon sistemlerine soğutma sistemlerinin de dahil edilmesi ile (trijenerasyon) %10-30 oranında oluşan verim kayıplarının sıcak su, su buharı, soğuk hava, sıcak hava ve suya dönüştürülmesi (absorpsiyonlu ısı değiştiricileri ile) mümkündür. Böylelikle tesis içerisindeki soğutma ve kurutma gibi proseslerde gerek duyulan enerjinin bir bölümü de yine kojenerasyon sistemlerindeki atık ısıdan karşılanabilmektedir [21, 26].

Hurdadan ve cevherden üretim yapan demir-çelik tesislerinde, proses gazı kullanımının optimize edilmesiyle enerji verimliliği artırılabilmektedir. Bu kapsamda tüm yan ürün gazlar için gaz tutucuları ya da kısa süreli depolama için diğer uygun sistemler ve proses gazlarının geri kazanımını artırmak için basınç tutma üniteleri kullanılmalıdır. Ayrıca flare bacalarında enerji kayıplarının olduğu durumlarda, gaz kanallarındaki basıncın artırılması; farklı kalorifik değerlere sahip proses gazlarının zenginleştirilmesi; proses gazları ile fırınların ön ısıtmasının sağlanması; bilgisayar kontrollü kalorifik değer kontrol sistemlerinin kullanılması; tüketilen kokun ve baca gazının sıcaklığının kayıt altına alınması ve proses gazları için enerji geri kazanım tesislerinin kapasitelerinin uygun bir şekilde kurulması da bu amaçla kullanılabilecek teknikler arasındadır [2].

6.3.4 HAM MADDE KULLANIMI

Hurdanın doğru karakterize edilmesi hem devamında gerçekleştirilecek operasyonların (EAO, BOF vb.) işletilmesi açısından hem de tahmin edilemeyen emisyon profillerinin oluşması açısından önem arz etmektedir. EAO ve BOF proseslerinde kullanılan reçete ve çelik özelliklerine bağlı olarak çeşitli demir içerikli hurda malzeme kullanımı gerektirmektedir. Bu nedenle satın alınan veya iç üretimden geri dönüştürülen hurda ayrı ayrı depolanmalıdır. İç üretimde oluşan hurdanın tamamen geri dönüştürülmesi ve hurda kullanım miktarının genel olarak artırılması ile ekonomik açıdan önemli tasarrufların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Öte yandan çelik üretiminin artırılması ile satın alınan kütük miktarında azaltım ve buna bağlı olarak karlılığın artması sağlanabilmektedir [2].

Hurdalar ağırlık, boyut ve kimyasal analiz sonuçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Hurda sahasında her çeşit hurda için ayrı depo alanı bulunur. Yüksek oranda ağır metal veya istenmeyen/tehlikeli madde içeriği nedeniyle üretimde kullanılamayan hurda malzemelerin belirlenmesinde operatörlerce uygulanan birçok farklı teknik mevcuttur. Toprağı kirletme riski taşıyan hurda, tabanı geçirimsiz olan ve drenaj ve toplama sistemine sahip bir sahada depolanmalı ya da hurda depo alanı çatı ile

kapatılmalıdır. İşletmede kullanılmayacak hurdanın ayrılmasına yönelik prosedürler oluşturulmalıdır. Bu tekniklerin bazıları hurdanın karakterize edilmesi noktasında operatörlere destek sağlamaktadır. Hurda içeriğinin bilinmesi ile çevreye istenmeyen emisyonların oluşması engellenebilmektedir. Hurda kullanımının geliştirilmesine yönelik diğer bazı teknikler şu şekildedir [2]:

- Satın alma sürecinde üretim profiline uygun olacak şekilde kabul kriterlerinin belirlenmesi
- Hurdanın tedarik edildiği kaynağı sıkı bir şekilde takip edilerek hurda kompozisyonu hakkında sağlıklı bir bilgi birikimine sahip olunması (bazı özel durumlarda hurdaya uygulanacak bir ergitme testi ile kompozisyonun belirlenmesi sağlanabilmektedir.)
- Uygun bir kabul tesisi ve teslimat sürecinin bulunması
- PCB'lerin, yağ ve gres gibi tehlikeli ya da demir dışı madde içeren kirliliklerin azaltılması amacıyla hurdanın sınıflandırılarak kullanılması (bu işlem genellikle hurda tedarikçileri tarafından gerçekleştirilmekte olup, güvenlik sebebiyle tesiste operatörlerce de son kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle bu kontroller esnasında mümkün olduğunca hurdanın kirleticiler açısından da tetkik edilmesi gerekir. Bu aşamada küçük plastik parçaların da (plastik kaplı parçalar vb.) değerlendirilmesi gerekmektedir.)
- Radyoaktivite kontrolünün yapılması

Bu tekniklerden bazılarının kullanılması ile BOF'a beslenen hurda miktarının 200 kg/ton çelik seviyesinden 250 kg/ton çelik seviyesine artırılması sağlanabilmiştir [2].

Bazı maddelerin hurda içeriğinde bulunmasının yasak olduğu durumlar olabilmektedir. Örneğin AB'de hurda içeriğinde cıva bulunması yasaklanmıştır. Satın alma sözleşmelerinin yapılması aşamasında hurda içeriğinde cıva bulunmaması şartının konulması veya görünürde elektronik parçalar içeren hurdaların kabul edilmemesi uygulanabilecek iki farklı yöntemdir [2].

BOF ve yüksek fırın toz ve cüruflarının haddehane tufali ile birlikte işlendiği ve sinter makinesi ve yüksek fırından oluşan DK prosesinin kullanılması ile atıkların birikmesinin önlenmesi ve demir ile çinko atıklarının geri dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Bu proses ile ortalama %2-3 seviyesinde olan çinko içeriği %10'a kadar çıkabilmektedir [2].

6.3.5 ATIK OLUŞUMU

Kok fırın tesislerinde yaklaşık olarak 1 kg/ton kok mertebesinde katı atık üretilmektedir. Tesiste oluşan ve Tablo 6.4'te belirtilen bu katı atıklar benzen ve PAH gibi oldukça tehlikeli bileşenler içermektedir. Genellikle tüm katı atıkların kok fırınına geri beslenmesi mümkündür [2].

Tablo 6.4 Kok üretiminden kaynaklanan temel katı atıklar

Atık/artık kaynağı	Miktar (kg/ton kok)
Katran geri kazanımı	0,1
Katran (dekanter)	0,2
Katran (depolama)	0,4
Hafif yağların işlenmesi	0,2
Atıksu arıtımı	0,1
Naftalinin tutulması ve geri kazanımı	0,02
Katran (distilasyon)	0,01
Toplam	1,03

Kaynak: [2]

Kok fırın gazının temizlenmesi aşamasında katran ve diğer organik bileşenleri (BTEX vb.) geri kazanılmaktadır. Bu bileşenlerin toprağa karışması, çevresel açıdan önemli tehlikelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tehlikelerin önlenmesi amacıyla, boru ve flanşların mümkün mertebe toprak altına veya muhafazalı boru içlerine konuşlandırılması, flanş ve ek noktalarının minimize edilmesi, depolama ve taşıma işlemleri sırasında dökülme vb. tehlikelere karşı gerekli önlemlerin alınması ve yer altı suyu çöktürmesi gibi çeşitli teknikler kullanılabilmektedir [2].

Düşük karbonlu çelik üretiminden çıkan cürufların büyük bir kısmının serbest kireç içeriği nispeten düşük olduğundan yol inşaat malzemesi veya toprak dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Çelikhanede üretilen çeliğin özelliklerine bağlı olarak ton çelik başına 60-270 kg cüruf oluşmaktadır. Çelikhane cürufları genel olarak agrega özelliklerine sahip olduğundan yapı/dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Yapı malzemesi olarak yasal koşullar sağlandığı takdirde çelikhane cürufu kırılıp elendikten sonra boyutlarına ayrılıp istenilen alanlarda kullanılabilir. Bu tarz kullanımlar için karar faktörleri çevresel kabul edilebilirlik ve yapısal uygunluktur [27].

Cüruftaki metalik demirin ayrılması cürufun daha etkin kullanılması açısından önemlidir. Bu nedenle cüruf soğutulduktan sonra kırılarak metalik demir geri kazanımı amacıyla manyetik ayırma işlemine tabi tutulur [27]. Cürufun işlenmesi ilave enerji kullanımı gerektirmektedir. Cürufun serbest CaO içerdiği durumlarda oluşabilecek alkali dumanlarına dikkat edilmelidir [2].

Demirce zengin atıkların geri kazanımı için OxyCup® şaft fırını gibi özel kazanım yöntemler kullanılabilmektedir. Entegre OxyCup® tesisi; briket üretimi, fırın doldurma ve OxyCup® şaft fırınından oluşan üç işletme biriminden oluşmaktadır. Proses, briket üretimi ile başlamakta ve çelik fabrikasına sıcak metal temini ile sonlanmaktadır. OxyCup® Şaft fırınları özellikle entegre demir-çelik tesisleri için uygundur. Bu tekniğin uygulanması ile daha yüksek ekolojik ve ekonomik verimlilik; ham madde, arıtma ve bertaraf maliyetlerinde keskin artışlar sağlanmaktadır [2].

Kurutma, ısıtma ve EAO öncesinde ergitme işleminin başladığı çok hazneli fırınların (Primus) kullanıldığı izabe ergitme prosesinin kullanılması ile tesis içerisinde geri dönüştürülemeyen EAO tozu, YF çamuru ve diğer çamurlar gibi tüm tipik demir ve çelik üretim atıklarının arıtılması sağlanabil-

mektedir. Çok hazneli fırınlarda atık karışımı ve kömür üstten beslenmektedir. Döner kollar, şarjın karışmasını ve transferini sağlamaktadır. Bu şekilde kurutma, ön ısıtma ve ön indirgenme sağlanmış olur. İndirgeme için gerekli karbon ve proses için gerekli enerji, yağlı kömürden sağlanır. Sonrasında, ergitme birimine (özel olarak tasarlanmış bir EAO), elektrotların arasında yer alan bir oluk vasıtasıyla sürekli olarak sıcak şarj yapılır. Tamamen indirgenme, demir ve cüruf oluşumu ve tamamen çinkosuzlaştırma bu proseste gerçekleşmektedir. Çinko ve kurşun atık gaz içerisine geçmekte ve satılabilir çinko oksit konsantresi olarak geri kazanılmaktadır. Oluşan cüruf ise, YF cürufuna benzemekte ve yol yapımında kullanılabilmektedir [2].

Proseste açığa çıkan refrakter kırıkları, BOF'ta kullanılmak üzere geri kazanılabilmekte ya da yeni refrakter malzemesinin üretimi için tekrar kullanılabilmektedir [2].

Kutu-2 Ferrokrom cüruflarının agrega olarak kullanımı, [39]

Türkiye'de biri Antalya Ferrokrom İşletmesi, diğeri Elazığ Ferrokrom İşletmesi olmak üzere iki tesisten endüstriyel boyutta ferrokrom cürufu çıkmaktadır. Bu cürufların tamamına yakını stok alanlarında depolanmaktadır. Vapur ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Eti Krom Elazığ Ferrokrom Tesisi cüruflarının agrega olarak kullanıma uygun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma kapsamında tesisten alınan bloklar halindeki ark fırını cürufları çeneli kırıcıdan geçirilerek boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyut küçültme işlemi sonrasında cürufların ortalama tane boyutu (d50) 10 mm olarak belirlenmiştir.

Kırılarak agrega haline getirilen ferrokrom cüruflarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, söz konusu cürufların agrega olarak kullanılabileceği ve yol ve yapı işlerinin gerektirdiği agrega ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilecek özelliğe sahip olduğu değerlendirilmiştir.

6.3.6 EMİSYONLAR

Çelik üretiminde oluşan NO_x emisyonlarının azaltılması, katalizör kullanımı olmaksızın daha yüksek sıcaklıkta uygulanan bir yöntem olan Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SNCR) yöntemi ile mümkündür. SNCR tekniğinde 900-1000°C gibi daha yüksek bir sıcaklık aralığına ihtiyaç vardır; fakat belirtilen sıcaklık aralığındaki termal NO_x üretimi sebebiyle indirgeyici madde tüketimi fazladır. İndirgeyici madde enjeksiyonu optimum sıcaklığın olduğu farklı aşamalarda yapılmalıdır ancak bu sürecin kontrolü zor olabilmektedir. Bununla birlikte aşamalı hava beslemesi yapılarak NO_x giderim veriminin artırılması mümkündür. Böylelikle alev etrafında farklı oksijen miktarına sahip yanma bölgeleri oluştuğu için yanma bölgesi daha büyüktür ve alev içerisinde kalma süresi daha fazladır. Aşamalı besleme doğrudan brulör veya ocak içerisine yapılabilmektedir. NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla uygulanan bir başka teknik ise iki aşamada yakıt beslenmesidir. Aşamalı hava beslemeye benzer

olarak, yakıt genellikle iki aşamada ocak içerisine beslenmektedir. NO_x emisyonları için benzer azaltım sonuçlarına sahiptir [2].

Yüksek sıcaklık direncine sahip ve filtreleme ve katalitik işlemlerin bir arada yapılmasına olanak veren metaller arası (intermetallic) torbalı filtre kullanılarak toz, PCDD/F ve ağır metal emisyonlarında %95'in üzerinde azaltım sağlanması mümkündür. Geleneksel arıtma tekniklerinin uygulanabilmesi için gazın sıcaklığının 150-200°C civarına düşürülmesi gerekirken, bu tekniğin uygulama sıcaklığı 350-500°C civarındadır. Bu nedenle tekniğin uygulanması ile enerji tasarrufu da sağlanabilmektedir [2].

Yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması için yüksek fırın baca gazının ayırma (seperasyon) işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Ayırma işlemi ile baca gazındaki faydalı bileşenler fırına geri beslenerek fırında indirgeyici olarak kullanılabilir. Bu durum yüksek fırın prosesinde ihtiyaç duyulan kok miktarının azalmasına olanak sağlar. Kok tüketiminin azalması (1 ton sıcak metal başına yaklaşık %25 oranında azaltım) ile bağlantılı olarak CO_2 emisyonlarının azalmasına neden olacaktır. Yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması, enerji üretimi için mevcut fazla miktardaki tepe gazının azalmasına neden olurken, diğer taraftan da enerji üretimi için başka kaynaklar kullanıldığından toplam CO_2 tasarrufu %25'in altına düşmektedir. Kullanılan yakıt karışımına göre, bu oran, %10-20 arasında kalmaktadır [2].

6.3.7 GÜRÜLTÜ

Yerleşim bölgelerine yakın olarak konumlanmış tesislerde gürültü emisyonunu engellemek amacıyla genellikle aşağıda listelenen teknikler uygulanmaktadır [2].

- Hurda sahalarındaki gürültünün sürekli takip edilmesi
- Yük sepetlerini taşıyan vinçlerin, mekanik sarsıntı yaratmayacak şekilde inşa edilmesi ve kurulumlarının bu hususa göre yapılması
- Vinç operatörlerine gürültüyü azaltmaya yönelik özel bilgi ve eğitim verilmesi
- Fiziksel bariyerlerin inşa edilmesi
- Hurda şarjından kaynaklanan gürültü ve toz emisyonunun azaltılması için hurdanın serbest düşüş yüksekliğinin azaltılması
- Hurdanın kapalı alanlarda stoklanması
- Hurda şarj ve ergitme işlemlerinin sürekli biçimde yapılması
- Gece yapılan bazı gürültülü faaliyetlerin kısıtlanması (örneğin hurda sahalarındaki ve hurda nakli yerlerindeki faaliyetler).
- EAO binalarında yalıtım amacıyla, duvarlar için görünür ses azalma indisi (R'w) 56 dB, çatı için R'w 55 dB olan (DIN 55210 Kısım 3'te belirtilen bilgilere göre) malzemelerin kullanılması

Toz tutma tesislerinde gürültünün azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemler aşağıda listelenmektedir [2]:

- Tesisin her bir ünitesi için maksimum gürültü seviyelerinin tanımlanması

- Gürültü yalıtımına sahip fanların kurulması
- Sistemin takviye edilmiş beton odalar içine alınarak gürültünün en aza indirilmesi
- Yeni filtre odalarına gürültüyü absorbe eden malzemelerin kurulumu
- Mevcut filtre odasındaki profilli levhaların gürültüyü absorbe eden malzemeler ile değiştirilmesi
- Mevcut toz filtresinde gürültü azaltıcı önlemlerin uygulanması

Yukarıda bahsi geçen teknikler kullanılarak gürültü seviyesi 37 ile 50 dB(A) Leq(1h) aralığında elde edilebilir [2].

6.3.8 KONTROL LİSTELERİ

MET Referans Dokümanları, sektörel ziyaretler ile Türkiye ve dünyadaki iyi uygulama örnekleri dikkate alınarak genel kontrol listesi (Tablo 6.5) ve demir ve çelik üretimi ile ilgili kontrol listesi (Tablo 6.6) taslak olarak oluşturulmuştur [2, 3, 4, 21, 22, 23, 28, 29]. Nihai halleri sonuç raporunda sunulacaktır.

LEJANT

Yönetimsel/Operasyonel

Kaza Yönetimi

Ham Madde

Su

Enerji

Kimyasal

Atık Su

Katı Atık

Sera Gazı

Hava Emisyonu

Gürültü

Tablo 6.5 Genel kontrol listesi

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Çevre Yönetimi ve Rutin Bakım	Üretim prosedürlerinin dokümante edilmiş halde bulundurulması ve takip edilmesi	
	Çevre Yönetim Sistemi kurulması	
	Enerji Yönetimi Sistemi kurulması	
	Çalışanların bilinçlendirmesi ve teknik altyapının güçlendirilmesine yönelik eğitimlerin düzenlenmesi	
	Tank, reaktör, pompa, kompresör ve vanalar gibi ekipmanlardaki kaçakların belirlenmesi ve önlem alınması	
	Bakım Yönetim Sistemi kurulması	
	Tesis genelinde tüm girdi ve çıktıların ünite bazında (ham madde, kimyasal, enerji, su, ürün, yan ürün, atıksu, hava emisyonları, çamur, katı ve tehlikeli atık) miktar ve nitelikleri açısından izlenmesi	
	Kimyasalların dozlanmasında otomatik dozlama yapılması ve dağıtım sistemlerinin kullanılması	
	Vana, kompresör, fan vb. ekipmanların bulunduruldukları birimlerde çalışma olmadığı durumlarda kapatılması	
	Üretimde zaman optimizasyonunun uygulanması, tüm işlemlerin en kısa sürede bitecek şekilde düzenlenmesi	
	Tesisat tasarımında yük kaybı yaratan ekipmanların (dirsek, vana vb.) enerji verimliliğini sağlayacak şekilde planlanması	
	Malzeme ve ekipman seçiminde korozyona duyarlılığı düşük malzemelerin tercih edilmesi	
Kaza Yönetimi	Tüm kimyasal maddelerin, Malzeme Güvenlik Bilgi Formları'nda tanımlanan koşullarda saklanması ve depolanması	
	Vana, valf, kompresör vb. ekipmanların kullanımında insan kaynaklı hataların önüne geçebilmek amacıyla tüm ekipmanlar için prosedürlerin oluşturulması, optimum çalışma ayarlarının belirlenmesi	
Su Yönetimi	İçme suyunun üretim hatlarında kullanımından kaçınılması	
	Su tüketimlerinin izlenmesi için izleme sistemi kurulması	
	Su yumuşatma öncesindeki kum filtresi geri yıkama sularının yeniden kullanılması	
	Su yumuşatma sistemlerinde rejenerasyon süresinin optimize edilmesi	
	Ters ozmos (TO) konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması	
	Toplama sistemleri kurularak yağmur sularının tesis temizliğinde veya uygun alanlarda alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesi	
	Su tüketiminin azaltılması amacıyla soğutma suyunun arıtılarak çevriminin sürdürülmesi	
	Yarı veya tam kapalı sistemlerin uygulanması ile su tüketim ve deşarjının azaltılması	
	Kapalı devre su soğutma sistemlerinin kullanılması	
Enerji Yönetimi	Boru, vana, tank ve makinelerinin izolasyonunun yapılması	
	Gerek duyulandan daha yüksek güçte motorların kullanımından kaçınılması	
	Yakıt-hava oranının izlenmesi ve optimize edilmesi	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Enerji Yönetimi	Kojenerasyon sistemi kurulması	
	Proses bazlı enerji denetimleri yapılması	
	Proses gazı kullanımının optimizasyonu	
	Reaktif gücün boyutunu azaltmak için alternatif akım (AC) devresinde kapasitörlerin kurulması	
	Tesisteki önemli enerji akışları ve yanma prosesleri için online izleme-kontrol sistemlerinin kullanılması	
	Frekans kontrollü pompa, fan ve elektrik motorlarının kullanılması	
	Isının ürünlerden, sıcak atıksu akımlarından ve atık gaz emisyonlarından geri kazanılması	
	Fan, kompresör ve pompalarda yükün azaltılması için değişken hız sürücülerin kullanılması	
	Aydınlatma yönetimi kontrol sistemlerinin (dedektör, zamanlayıcı, fotosel vb.) kullanılması	
Emisyon Yönetimi	NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla; • Katalizör kullanımı olmaksızın daha yüksek sıcaklıkta uygulanan bir yöntem olan Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SNCR) yöntemi ile NO_x emisyonlarının azaltılması • Alev etrafında farklı oksijen miktarına sahip yanma bölgeleri olduğundan aşamalı hava beslemesi yapılarak NO_x giderim veriminin artırılması • İki aşamada yakıt beslenmesi ile NO_x emisyonlarının azaltılması	
	Yüksek fırın tepe gazının yeniden kullanılması	
	Toz, PCDD/F ve ağır metal emisyonlarının minimize edilmesinde yüksek sıcaklık direncine sahip ve filtreleme ve katalitik işlemlerin bir arada yapılmasına olanak veren metaller arası (intermetallic) torbalı filtre kullanılması	
	Doğrudan veya yarı-doğrudan ölçümler ile emisyon kaynaklarının izlenmesi	
	Toz emisyonlarının ve PCDD/F emisyonlarının azaltılması • Geliştirilmiş Elektrostatik Filtre (ESF) ve aktif karbon gibi adsorbanların kullanılmasıyla spesifik direnci daha yüksek olan bileşenlerin azaltılması • Atık gaz içerisindeki toz halindeki maddelerin ince partikül ıslak yıkayıcılarla uzaklaştırılması	
	SO_2 emisyonlarının, düşük kükürt içeriğine sahip ham madde kullanılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve sinterin kükürt alımının artırılması yöntemleri ile azaltılması	
	Emisyon faktörleri kullanılarak emisyonların hesaplanması	
Atıksu Yönetimi	Atıksu arıtımını ve yeniden kullanımı optimize etmek için farklı kirlilik yüklerine sahip atıksu akımlarının teknik ve ekonomik uygulanabilirlikleri doğrultusunda ayrılması	
	Ters ozmos konsantrelerinin karakterizasyonuna bağlı olarak arıtılmadan ya da arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması	
	Kok fırınında oluşan amonyaklı sudan katranın ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) ayrıştırılması	
	NaOH konsantrasyonunun ve sıyırma prosesi kademe sayısının artırılması ile atıksu içerisindeki amonyak konsantrasyonunun düşürülmesi	
	Yaş oksidasyon prensibi ile çalışan desülfürizasyon sistemlerine ait atıksuların içeriğinde bulunan bileşenlerin biyolojik arıtma üzerindeki zarar verici etkileri nedeniyle diğer atıksulardan ayrılmak suretiyle işlem görmesi	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Atıksu Yönetimi	Yağ, tufal ve askıda katı madde içeren atıksuların; tufal çukurları, çökeltme tankları, siklonlar, filtrasyon, sıyırma tankları vb. kullanılarak arıtılması	
	Asitli atıksuların arıtılmadan önce diğer tesislerde oluşan bazik özellikteki atıksularla karıştırılarak nötralize edilmesi	
	Çekme yağlayıcısı atıklarının (yağ ve yağlı emülsiyonlar) arıtılması ve bertaraf edilmesinde: • Termal yöntem kullanılması • Kimyasal yöntem kullanılması • Yüzdürme yöntemi kullanılması • Adsorpsiyon yöntemi kullanılması • Elektrolitik yöntem kullanılması • Membran filtrasyonu yöntemi kullanılması	
Katı Atık Yönetimi	Kok fırını tesisinden kaynaklanan tüm katı atıkların ve atıksu çamurunun susuzlaştırıldıktan sonra kok fırınına beslenmesi	
	Uçucu ve tehlikeli metal ve bileşik içermeyen ve demir açısından zengin olan kuru atık tozların yakılması ve geri dönüşümü	
	Demirce zengin artıkların geri kazanımı amacıyla • Briketleme, harmanlama ve ergitme aşamalarından oluşan OxyCup® şaft fırını gibi özel kazanım yöntemlerinin kullanılması • Kurutma, ısıtma ve EAO öncesinde ergitme işleminin başladığı çok hazneli fırınların kullanıldığı izabe ergitme prosesinin (Primus) kullanılması	
	Yüksek alaşımlı ve paslanmaz çelik EAO cüruflarının işlenmesi	
	Hadde atölyesinden kaynaklanan atıkların geri kazanılması (tufal, çamur içerisindeki metaller vb.)	
	Taşlama ve yüzey temizleme işlemleri sonucu açığa çıkan kuru veya suyu azaltılmış oksitlerin, manyetik ve mekanik ızgaralarla sudan ayrılarak tesis içinde tekrar kullanılması	
Gürültü Yönetimi	Tesisin her bir ünitesi için maksimum gürültü seviyelerinin tanımlanması	
	Yük sepetlerini taşıyan vinçlerin, mekanik sarsıntı yaratmayacak şekilde inşa edilmesi ve kurulumlarının bu hususa göre yapılması	
	Gürültü yalıtımına sahip fanların kurulması	
	Toz tutma tesisinde sistemin takviye edilmiş beton odalar içine alınarak gürültünün en aza indirilmesi	
	Yeni filtre odalarına gürültüyü absorbe eden malzemelerin kurulumu	
	Mevcut filtre odasındaki profilli levhaların gürültüyü absorbe eden malzemeler ile değiştirilmesi	
	Mevcut toz filtresinde gürültü azaltıcı önlemlerin uygulanması	
	Hurda sahalarındaki gürültünün sürekli takip edilmesi	

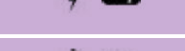
Tablo 6.6 Demir ve çelik üretimi ile ilgili kontrol listesi

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Ham Madde Seçimi, Depolanması ve Kullanımı	Hurda içeriğinin satın alma aşamasından itibaren takip edilerek hurdaların sınıflandırılması ve istenen çelik kalitesine göre kullanılması	
	Ham madde depolama, elleçleme, taşıma ve harmanlama işlemlerinde oluşan difüz emisyonların azaltılması	
	Yüksek fırın ve BOF toz ve cüruflarının haddehane tufali ile birlikte işlendiği, sinter makinesi ile yüksek fırından oluşan DK prosesinin kullanılması	
	Ham maddelerin depolanması, elleçlenmesi ve taşınması sırasında suya geçen kirliliğin kontrol edilmesi	
	Kimyasal ve ham madde kullanımında çevre ve insan sağlığı açısından en az risk taşıyan malzemelerin tercih edilmesi	
	Toz cevherin, soğuk bağlama yöntemiyle topaklaştırılması ile üretilen peletlerin veya briketlerin yüksek fırınlarda tekrar kullanılması	
	Yağlı tufal için geri dönüşüm teknolojilerinin kullanılması	
Buhar Üretimi ve Dağıtımı Sistemleri	Buhar kayıplarının en aza indirilmesi için otomatik kontrol mekanizmasına sahip iyi bir izolasyon sisteminin kullanılması	
	Kondensat geri dönüşünün en üst seviyeye çıkarılmasıyla enerji ve su tüketiminin, atıksu oluşumunun ve kazan besleme suyuna eklenen kimyasal madde miktarlarının azaltılması	
	Kazan besleme suyunun ekonomizerde atık gaz ısısı ile ısıtılması	
	Yanma havası sıcaklığının artırılması için ön ısıtma yapılması	
	Yakma hızı ve yük değişimi kontrolü ile buhar kazanlarının en yüksek verimde çalıştırılması için brulör kapasitesinin artırılması	
	Buhar sıcaklığının, proseste ihtiyaç duyulan minimum seviyelere indirilmesi	
	Kazan blöflerinin azaltılması	
	Kazan blöfünden ısının geri kazanılması	
	Flaş buharın yeniden kullanılması	
Basınçlı Hava Sistemleri	Hava girişine nem tutucu takılması	
	Kompresör yağ seviyesinin kontrol edilmesi	
	Kompresör kapasitesinin optimize edilmesi	
	Kompresör giriş havası sıcaklığının optimize edilmesi	
	Basınçlı hava sistemlerinde dış ortam havasının giriş havası olarak kullanılması	
	Basınçlı hava ihtiyacının ve basınç seviyesinin izlenmesi ve optimize edilmesi	
	Boru hacminin uygun şekilde artırılmasıyla sürtünme basıncının düşürülmesi ve kompresörlerdeki enerji ihtiyacının azaltılması	
Soğutma, Isıtma ve Havalandırma Sistemleri	Kompresör basıncının aşırı yükselmesinin engellenmesi	
	Soğutma sularının ayrı toplanması ve yeniden kullanılması	
	Kondenserde yoğuşmayan gaz oluşumunun engellenmesi	
	Sucul organizmalar ve biyolojik risklerin azaltılması	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Soğutma, Isıtma ve Havalandırma Sistemleri	Soğutma kulelerinde oluşan hüzmenin yer seviyesine ulaşmasının engellenmesi	
	Soğutmada kullanılan suların şartlandırılması	
	Soğutma yükünün azaltılması	
	Soğutma kuleleri yüzeylerinin temiz tutulması, kireçlenme, korozyon ve tıkanmanın önlenmesi	
	Havalandırma girişlerinin sayısının, şeklinin ve boyutunun optimize edilmesi	
Kok Fırını Tesisleri	Dikey baca ve şarj delikleri sızdırmazlıklarının sağlanması	
	Fırın kapı ve çerçevelerinin contalarının temizlenmesi amacıyla her itmede kapı-kasa temizleme ekipmanı kullanılması	
	Yay baskılı ve esnek kapıların kullanımı ve kapı ve çerçevelerin her itme aşamasında temizlenmesi ile fırın kapı ve çerçevelerinin sızdırmazlıklarının geliştirilmesi	
	Seramik kaynak, silikon kaynak veya kuru-yaş spreyleme yöntemleri ile kok fırın kamarası ile ısıtma kamarası arasındaki sızıntıların azaltılması	
	Kok fırınında açığa çıkan azot oksitlerin (NO_x) giderilmesi amacıyla hava beslemesinin aşamalı olarak yapılması	
	Kok fırın gazı desülfürizasyonu ile kükürt dioksidin (SO2) giderilmesi amacıyla yaş oksidasyon prosesi kullanılması veya absorpsiyon/ sıyırma prosesi kullanılması	
	Kok fırını itmelerinde emisyonların azaltılması amacıyla davlumbazlı (entegre) kok transfer makinesi, sabit kanal ve sabit gaz temizleme ve tercihen torbalı filtre içeren sistem kullanılması	
	Kok işleme aşamasındaki emisyonların azaltılması amacıyla kapalı taşıma sistemlerinin kullanılması ve depo alanlarında serpme sulama sistemlerinin kullanılması	
	Kok fırın gazının elektrik üretimi amacıyla buhar üretiminde kullanılması	
	Koklaştırma esnasında düzenli gaz çekişi sağlanarak fırın şarj emisyonlarının düşürülmesi amacıyla kapalı şarj sisteminin kullanılması	
Sinter Tesisleri	Sinter tesislerinde çamur, toz, tufal ve cüruf gibi üretim atıklarının ve yan ürünlerin kullanılması	
	Proses optimizasyonunun yapılması (planlı ve düzenli bakımların yapılması, yatak hızı, yüksekliği ve kompozisyonunun ayarlaması vb.)	
	Sinterleme makinelerinden çıkan ana egzoz gazının resirküle edilerek doğrudan sinter yatağına geri döndürülmesi ile atık ısının geri kazanılması için sinter soğutucudan gelen soğutma havasının; buhar/su üretimi, yanma havasının yakma bacasında önceden ısıtılması veya sinter beslemesinin ön ısıtılması amaçlarıyla kullanılması	
	Atık gazın yeniden kullanılması • Tüm sinter yatağı boyunca toplanan atık gazın %40-45'inin bütün yatak yüzeyinde yeniden kullanılması • Sinter yatağının ikinci yarısından toplanan atık gazların yatak boyunca resirküle ettirilmesi (gaz akımları elektrostatik filtreye girmeden önce ısı değiştiricide sıcaklıkları düşürülür) • Sinter yatağının sonunda yer alan ve sıcaklığın ivmeli bir şekilde arttığı bölgeden toplanan gaza sinter soğutucudan gelen atık gaz eklenerek yeniden kullanımının sağlanması • Sinter yatağının farklı bölümlerinden toplanan atık gazın yatağın diğer bölümlerinde kullanılması	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Sinter Tesisleri	Sıcak baca gazının soğuk su sisi enjeksiyonu ile hızlı bir şekilde söndürülmesi ile PCDD/F oluşumunun engellenmesi	
	Baca gazının akışına ters yönde trietanolamin (TEA) veya monoetanolamin (MEA) gibi azot bileşiklerinin enjekte edilmesiyle PCDD/F emisyonlarının oluşumu engellenmesi	
Yüksek Fırın Tesisleri	Sobalarda enerji verimliliğini optimize etmek için bilgisayar destekli soba işletimi uygulanması	
	Sobalarda yakıtın veya yanma havasının atık baca gazı ile ön ısıtılması	
	Sobalarda, O2 ölçümleri hızlı yapılması ve takibinde yanma koşullarının buna uygun değiştirilmesi	
	Yüksek fırın tepe gazının, sonrasında yakıt olarak kullanılmak üzere temizlenmesi ve gaz tutucularda toplanması	
	Kömürün yüksek fırın tüyer seviyesinden indirgeyici olarak enjeksiyonu	
	Yüksek basınca sahip tepe gazından, tepe gazı temizleme donanımından sonra yerleştirilen genleşme türbini vasıtasıyla enerji geri kazanımı	
	Yüksek fırın gazının içerdiği toz, siyanür (HCN), amonyak (NH^3) ve kükürt bileşiklerinden temizlenmesi	
	Yüksek fırınlarda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla 1150°C izoterminin yerini belirleyen ve ölü adam bölgesinin yüksekliğini termal iletkenlik ile hesaplayan modellerin kullanılması	
	Yüksek fırın çamurunun hidrosiklonlanması ile çinko bakımdan zengin ve düşük çinko içerikli iki tip çamur oluşturulması	
	Yüksek demir ve düşük gang içeriğine sahip olan sinter veya peletin ham madde olarak kullanılmasının tercih edilmesi	
	Yüksek fırın yakma havasının oksijen ile zenginleştirilmesi	
Bazik Oksijen Fırını Prosesi	İkincil emisyon kaynaklarından çıkan difüz ve kaçak emisyonların önlenmesi amacıyla; • Cürufun taşmasını önleyici kimyasallarının kullanılması ve taşmaya neden olan elementlerin sınırlandırılmasıyla veya bilgisayar kontrollü proses optimizasyonu ile döküm esnasında oluşan taşmanın azaltılması • Oksijen üflemesi esnasında dog house kapılarının kapatılması • Sıcak metal potası kullanılmadığı zaman kapakların bakımının yapılması ve sıcak metal potalarının düzenli olarak skallardan temizlenmesi	
	Online örnekleme ve çelik analizi yapılarak proses süresinin kısaltılması	
	Sıcak metalden cüruf alma, kükürt giderme ve potadan potaya boşaltma gibi sıcak metal ön işlemlerinin uygulanması sırasında toz emisyonlarının toplanması amacıyla; • Entegre cüruf sıyırma prosesleri kullanılması • Pota kapaklarının kullanılması • Kükürt giderme kimyasallarının prosese kontrollü olarak girmesi	
	BOF gazından enerji geri kazanımının sağlanması amacıyla BOF gazının yanmasının baskılanması ve daha sonradan kullanım için gazometrelerde toplanması	
	Otomatik pota kapak sisteminin kullanılmasıyla pota ısıtma aşamasında kullanılan enerjiden tasarruf edilmesi	
	Konverterin ağız kısmının üstünde yer alan bir davlumbaz ile toz emisyonlarının toplanması	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Elektrik Ark Ocakları	Köpüklü cüruf uygulaması ile enerji verimliliği sağlanması ve refrakter malzemenin ömrünün uzatılması	
	Gelişmiş emisyon toplama sistemlerinin kullanılması kapsamında; • DC fırınlar için 2. Delik (tek bir elektrot kullanımı) • AC fırınlar için 4. Delik (üç elektrot kullanımı) • Kubbe şeklinde çekiş davlumbaz sistemleri (ya da fırın kapakları) kullanılarak doğrudan ayırmanın sağlanması	
	Konvansiyonel dekarbürasyon yerine oksijen enjeksiyonunun sağlanması	
	BOF, EAO ve ikincil metalurji işlemlerinden çıkan refrakter malzemenin geri kazanılması	
	Kırılmış haldeki cürufun depolanması ve transferi esnasında su ile ıslatma işleminin yapılması	
	Ağır metallerin geri kazanımı için EAO tozlarının işlenmesi	
	Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının ark ocağının dışında yapılması ile döküm sayısının artırılması	
İndüksiyon Ocakları	Yükseltgen cürufun döküm esnasında potaya geçme miktarının minimize edilmesi amacıyla tabandan döküm alma yönteminin kullanılması	
	Kükürt giderme, alaşımlama, sıcaklık ve kimyasal bileşim eşitleme vb. üretim adımlarının indüksiyon ocağının dışında yapılması ile döküm sayısının artırılması	
	Ham maddelerin şarjı ve işletilmesinin optimize edilmesi	
	Ergitme için temiz hurda kullanımı	
	Döküm sürelerinin düşürülmesi için daha güçlü fırın trafolarının kullanılması	
	Atık gazın sahip olduğu atık ısı ile hurdaların ön ısıtmasının yapılması	
	Cüruf işlemeden kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması	
	Şebeke frekanslı fırınlardan orta frekanslı fırınlara geçilmesi	
Sürekli Döküm Tesisleri	Eriyik haldeki metali oksijen kontaminasyonundan korumak ve duman oluşumunu istenilen seviyeye indirmek için döküm örtüsü kullanılması veya kurşunlu çeliklerin dökümü yapılırken ya da kurşun ilavesi yapılırken, tandiş ve potanın üstünün kapatılması	
	Girdilerin şartlandırılması ve skarf (yüzey düzeltme) işlemlerinde; • CAQC-Bilgisayar destekli kalite kontrol sisteminin uygulanması ile sürekli döküm makinesinin çıktı kalitesinin artırılması böylece haddelenmiş ürünün yüzey kusurlarının azaltılmasının sağlanması • Skarf işleminin oksi-yakıt alevinden çıkan tozu ve dumanı çeken, sızdırmaz bir odada yapılması • Manuel taşlama işleminin davlumbaz ile donatılmış özel kabinlerde yapılması • Sürekli dökümün üretimini artırmak amacıyla çeşitli genişliklerde dökülen slabların sıcak haddeleme öncesi dilme araçları, dilmeli haddeleme veya şaloma (alevle kesme) ile manuel veya otomatik olarak bölünmesi (slab dilme işlemi) • Makine ile yapılan taşlama işleminin ses yalıtımlı, tam sızdırmaz ortamda yapılması	
	Nihai ebada yakın döküm tekniğinin (şekilli kütük dökümü) kullanılması	
	Alevle kenar kesme yerine, sıcak haddenin özel ayarı yapılarak kenarı pahlı slab kullanılması	
	Nihai ebada yakın şerit döküm tekniğinin (ince slab dökümü) kullanılması	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Tavlama ve Isıl İşlem Fırınları	Fırın otomasyonu/fırın kontrolünün yapılması	
	Isıtma fırınlarında brulör alev boyu kontrolünün yapılması	
	Ilık şarj / sıcak şarj / doğrudan şarj tekniklerinin uygulanması	
	Reküperatif veya rejeneratif yakma sistemli tavlama fırınları kullanılması ve proses optimizasyonunun yapılması	
	Atık gaz içerisindeki ısının atık ısı kazanlarında buhar üretmek amacıyla kullanılması	
	Taşıma sistemlerinde enerji kaybının azaltılması (izolasyon)	
	Yarı işlenmiş ürünlerin ısı izolasyonlu kutularda bekletilmesi ve fırın çıkışı ile hadde tezgahları arasına izolasyonlu termal kapakların monte edilmesi	
	Fırın iç basıncının kontrolü için uygun kapak (çoklu kapak ve klepe sistemleri) tasarımlarının kullanılması	
	Skid izlerini azaltmak için optimize skid tasarımı (bölgesel indüksiyon ısıtması) uygulanması	
Sıcak Haddehane Tesisleri	Hidrolik ayarlı otomatik genişlik kontrolü ile yan kenarların haddelenmesi	
	Kaba/ön haddeleme-proses ve kalibre optimizasyonu	
	Nihai haddelemede online ebat ölçüm sistemlerinin kullanılması	
	Tezgahlar arası gergi kontrolünün uygulanması (loop-boşluk kontrolü)	
	Tufal temizlemede; • Nozul, heder ve basınç optimizasyonu • Malzeme takibine göre pompa otomasyonu • Yüksek basınçlı depolama ekipmanı (akümülatör) kullanılması	
	Kaba haddelenmiş şerit malzemesinin nihai haddeleme hattına taşınması sırasında sıcaklık kaybının azaltılması ve sıcaklığın homojen dağılması için bobin kutusu kullanılması	
	Nihai haddelemede proses otomasyonu ve temel otomasyon uygulanması	
	Nihai haddelemede hidrolik ebat kontrol sistemlerinin kullanılması	
	Nihai haddelemede merdane soğutma sisteminin optimize edilmesi	
Soğuk Haddehane Tesisleri	Yüzey temizleme (asitleme) işleminde mekanik ön tufal giderme işleminin yapılması	
	Yüzey temizleme çözeltisinin temizlenmesi ve yeniden kullanılmasında; • Elektrolitik yüzey temizleme çözeltisinin temizlenmesi ve yeniden kullanılması • Hidroklorik asit rejenerasyonunun akışkan yataklı sistem ile yapılması • Hidroklorik asit rejenerasyonunun sıcak spreyleme yöntemi ile yapılması • Kristalizasyon yöntemi ile sülfürik asit geri kazanımının sağlanması • Karışık asit (HNO_3 ve HF) geri kazanımının sağlanması (örneğin; sıcak spreyleme, iyon değişimi, diyaliz, buharlaştırma yöntemleri)	
	Yüzey temizleme (asitleme) işleminde bobin açıcılarda toz emisyonlarının azaltılması	
	Yüzey temizleme işleminde asidin seyrelmesini önlemek amacıyla ısı değiştiriciler vasıtasıyla ısıtılması	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Soğuk Haddehane Tesisleri	Karışık asit yüzey temizleme prosesinden çıkan NO_x emisyonunun yüzey temizleme banyosuna H_2O_2 (veya üre) ilavesiyle tutulması	
	Yağ tüketiminin azaltılması ve ürün kalitesinin sağlanması amacıyla hadde yağı ve emülsiyon sisteminin optimize edilmesi	
	Haddeleme işleminde sürekli haddeleme (tandem) prosesinin kullanılması ve otomasyonu	
	Haddeleme işleminde emülsiyon kalitesinin sürekli izlenmesi, kontaminasyonun önlenmesi	
	Haddeleme işleminde emülsiyonun temizlenmesi, yeniden kullanılması ve arıtılması	
	Haddeleme işleminde yağ buharı emisyonlarının tutulması ve yağın ayrıştırılması	
	Temperleme işleminde emülsiyon sisteminin optimize edilmesi	
	Kuru temperleme prosesinin kullanılması	
	Temper haddeleme emülsiyonun temizlenmesi	
Filmaşin Çekimi	Sürekli tavlama uygulamasında fırın işletmesinin optimize edilmesi	
	Tufalin demir ve çelik üretiminde kullanılarak geri kazanılması	
	Mekanik tufal giderme (bükme, fırça) yöntemlerinin uygulanması	
	Ham madde ve yardımcı maddelerin depolanması ve taşınması sırasında sızdırmazlığın sağlanması ve aside karşı dirençli tali güvenlik bariyerlerinin kullanılması	
	Yüzey temizleme prosesinde meydana gelen taşmaların azaltılması	
	HCl yüzey temizleme banyosunun banyo sıcaklığı ve asit konsantrasyonu bakımından optimum aralıkta işletilmesi	
	Yüzey temizleme tankında buhar kontrolü ve arıtımı yapılması	
	Serbest asidin kristalizasyon (H_2SO_4 için), buharlaştırma (HCl için) ve membran sistemlerinin kullanımı ile ayrılması ve tekrar kullanılması	
Sürekli Kaplama Hatları	Kullanılmış asidin rejenere edilmesinde: • Pirohidroliz yönteminin (akışkan yatak, sıcak spreyleme) kullanılması • Elektrolitik yöntemin kullanılması • Bipolar membran yönteminin kullanılması • Buharlaştırma yönteminin kullanılması • Harcanan asidin ikincil ham madde olarak tekrar kullanılması	
	Yıkama suyu tüketiminin ardışık yıkama yapılarak minimize edilmesi	
	Yağ giderme çözeltisinin arıtılarak yeniden kullanılması	
	İndüksiyonlu ısıtma sisteminin kullanılması	
	Sıcak daldırma (galvanizleme) yönteminin kullanılması • Galvaniz kazanı/potasının kimyasal bileşim optimizasyonunun yapılması • Hava bıçağı uygulamasının kullanılması ve optimizasyonunun yapılması • Çinko cürufunun (dross) oluşumunun azaltılması ve tesis içerisinde geri dönüştürülmesi • Çinko cürufunun (dross) tesis dışında geri dönüştürülmesi	

Kategori	Önlem	İyileştirme Alanı
Sürekli Kaplama Hatları	Sonraki işlemler; • Kaplama çözeltilerinin temizlenmesi ve yeniden kullanılması • Üstü kapalı proses banyolarının ve depolama tanklarının kullanılması • Sıkıştırma (sıyırma) merdanelerinin kullanılması • Yağ geçirmez tepsiler ya da çukur tipi havuz uygulamalarının kullanılması • Yağ içeren atıkların geri dönüştürülmesi	
Ferrokrom Üretimi	Enerji tüketiminin azaltılması için cevhere ön ısıtma veya ön indirgeme yapılması	
	Açık veya yarı açık tip daldırılmış ark ocaklarında oluşan emisyonların önlenmesi ve azaltılması amacıyla torbalı filtrelerin kullanılması	
	Açık veya yarı açık tip daldırılmış ark ocaklarında oluşan emisyonların önlenmesi ve azaltılması amacıyla adsorban enjeksiyonlu torbalı filtrelerin kullanılması	
	Kapalı tip daldırılmış ark ocaklarında emisyonların önlenmesi ve azaltılması için ıslak yıkayıcıların kullanılması	
	Kapalı tip daldırılmış ark ocaklarında emisyonların önlenmesi ve azaltılması için adsorban enjeksiyonlu ıslak yıkayıcıların kullanılması	
	Kapalı tip daldırılmış ark ocaklarında emisyonların önlenmesi ve azaltılması için torbalı filtrelerin kullanılması	
	Cüruf granülasyonundan kaynaklanan dumanın azaltılması amacıyla ıslak ESF kullanılması	
	Atıksu oluşumunun önlenmesi amacıyla soğutma suyunun ve arıtılmış atıksuyun, yağmur suyu da dahil edilerek proseste tekrar kullanılması	
	Cürufların ve hava emisyonları azaltım sistemlerinde oluşan tozun/çamurun geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması	
	Kok kurutma işleminden çıkan CO içeriği bakımından zengin gazın yakıt olarak kullanılması	
	Yarı kapalı ark ocaklarında izabe sırasında oluşan CO gazının elektrik ve ısı üretiminde kullanılması	
	Kapalı ark ocaklarında oluşan CO içeriği bakımından zengin gazın ikincil yakıt olarak kullanılması	

6.4. TÜRKİYE'DEN VE DÜNYADAN İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Endüstriyel işletmelerde; enerji etüt çalışması ile belirlenen önlemlerin uygulanması ve enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi amacıyla Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) olarak ifade edilen projeler hazırlanmaktadır. Verimlilik Arttırıcı Projeler, 5627 sayı ve 18/4/2007 tarihinde yürürlüğe giren "Enerji Verimliliği Kanunu" ve 28097 sayılı, 27/10/2011 tarihli "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik" kapsamında T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından desteklenmektedir. Verimlilik Arttırıcı Projelerinin desteklenmesini isteyen ve elektrik üretim faaliyeti gösteren lisans sahibi tüzel kişiler dışındaki yıllık toplam enerji tüketimleri 1000 TEP ve üzeri olan ticaret ve sanayi odası, ticaret odası veya sanayi odasına bağlı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan endüstriyel işletmeler, tebliğ olarak yayımlanan usul ve esaslara uygun olarak şirketlere hazırlattıkları projelerini her yıl Ocak ayı içinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na sunar. Bakanlık, internet sayfası üzerinden ilan etmek suretiyle, başvuru almayabileceği gibi başvuru dönemini erteleyebilir, uzatabilir veya birden fazla dönemde başvuru alabilir. Demir-çelik

sektöründe 2009 yılından itibaren destek alan VAP'lar aşağıda listelenmektedir [30].

- Buhar Kazanı Döner Hava Isıtıcısı Değişimi (2013)
- Booster Hava Fanında Değişken Hız Sürücüsü Uygulaması Verimlilik Artırıcı Projesi (2014)
- LED Dönüşümü (2014)
- Enerji Tesislerinde Kazanlardaki FD Fan İçin Motor ve Sürücü Yatırımı Projesi (2014)
- Aydınlatmada Verimlilik Projesi (2014)
- Sıcak Haddehaneler Slab Stok / Manipülasyon Sahası ve Motor Odaları Hol Aydınlatması LED Dönüşümü Projesi (2014)
- Kompresörlerde Sürücü Uygulaması Vinçlerde ve Role Yollarında Rejeneratif Sürücü Uygulaması (2014)
- İndüksiyon Fırınında Enerji Verimliliği Uygulaması (2015)
- Elektrik Ark Ocaklarında (EAO) Elektrot Regülasyon Sisteminin İyileştirilmesi (2015)
- ID Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması (2015)
- Sekonder Hava Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması (2015)
- Sıcak Haddehane Hatboyu ve Yüksek Fırınlar Bölgesinde Bulunan 400 W Metal Halide Aydınlatma Armatürlerinin Led Armatürler ile Değiştirilmesi Projesi (2015)
- Sinter Dairesel Soğutucu Hava Fanında Değişken Hız Sürücüsü Uygulaması (2015)
- Galvaniz Üretim Hattı Galvaniz Ocağında Yakma Sisteminin Modernizasyonu ile Enerji Verimliliğinin Sağlanması Projesi (2016)
- Galvaniz Üretim Hattı Açık Alev Tav Fırınında Yakma Sistemi Modernizasyonu ile Enerji Verimliliğinin Sağlanması Projesi (2016)
- Hurda Eleme Sistemi ile Proses Elektrik Enerjisinden Tasarruf ve Üretkenliğin İyileştirilmesi (2016)
- Basınçlı Hava Sistemi Revizyonu (2016)
- Çelikhane Tesisi Aydınlatma Sistemin Verimli Aydınlatma Sistemi ile Değişimi Projesi (2016)
- Descale Pompasına Değişken Hız Sürücüsü Uygulaması (2017)
- Soğutma Suyu Pompaları Revizyonu (2017)
- Aydınlatmada LED Armatürler ile Verimliliğin Artırılması (2017)
- Aydınlatma Sisteminin Verimli Aydınlatma Sistemi ile Değiştirilmesi Projesi (2017)
- Mevcut Elektrik Motorlarına ve Kompresörlere Sürücü Uygulaması (2017)
- Hadde Hava Bıçağı Değişimi Projesi (2017)
- Konvektör Gaz Toplama Sistemi Debi Kontrolünün ID Fan Hidrolik Kaplin Yerine Sürücü ile Yapılması (2017)
- FD Hava Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması (2017, 2018)
- Düşük Verimli CAF - S Fanının Yüksek Verimli Fan ile Değiştirilmesi ve Akış Kontrolünün Hız Sürücü ile Sağlanması (2017)
- Boya Bölümü İnsinerator (RTO) Değişimi (2017)
- Galvaniz Fırını (HDGL FF) Reküperatör Sonrasına Ekonomizer ve Atık Isı Kazanı Uygulaması (2017)
- Galvaniz Fırını (TT) Hattı Üzerine Ekonomizer Uygulaması (2017)
- Çubuk Haddehane Tesisi Aydınlatma Sisteminin Verimli Aydınlatma Sistemi ile Değişimi Projesi (2018)
- Kazan Besi Suyu Pompasına Değişken Devirli Hidrolik Kaplin Uygulaması (2018)
- Çubuk Haddehane Tesisi Tezgahlarındaki DC Motorların AC Motorlar ile Değişimi Projesi (2018)
- Mevcut Kompresörün Verimli Kompresör ile Değişimi (2018)

Dünyada ve Türkiye'de demir-çelik sektöründe kaynak verimliliğinin sağlanması amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazı örnekler aşağıda sunulmuştur.

6.4.1 Örnek Uygulama 1 [31]

Firma Bilgisi: 5 adet entegre demir-çelik tesisi (Brezilya)[3]

Çevresel Değerlendirme: Demir-çelik sektörü, Brezilya'daki bütün sektörler içerisinde en fazla sera gazı emisyonuna sebep olan sektördür.

Arka Plan: Çalışmada incelenen 5 tesis, Brezilya ham çelik üretiminin yaklaşık yarısını karşılamaktadır. 2015 yılında Brezilya'da 48,9 milyon ton ham çelik üretilmiştir. Sektörün toplam enerji tüketimi 691,8 PJ'dür. Sektör, aynı yıl 67,4 PJ (18,7 GWh) elektrik enerjisi tüketmiştir. Bunun 45,9 PJ'lük bölümü tesis içinde üretilmiştir. Tesislerde dahili kok üretimi mevcuttur ve çelik üretiminde BOF kullanılmaktadır.

Süreç Özeti: Tümevarım yaklaşımını esas alan çalışma, üç temel aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Demir-çelik tesislerinin önemli bir bölümünün enerji performansı analiz edilmiştir.
2. Bu tesislerde bir dizi enerji verimliliği önlemlerinin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.
3. Yakıtlar ve elektrik için enerji tasarrufu arz eğrisi oluşturulmuş ve bu önlemlerin maliyet etkinliği değerlendirilmiştir.

Sağlanan Kazanımlar: Brezilya'da faaliyet gösteren ve dahili kok üretimi olan 5 demir-çelik tesisinin tasarruf önlemleri ve bunlara bağlı olarak tasarruf edilen enerjinin maliyeti ve enerji verimliliği potansiyeli aşağıda verilmektedir.

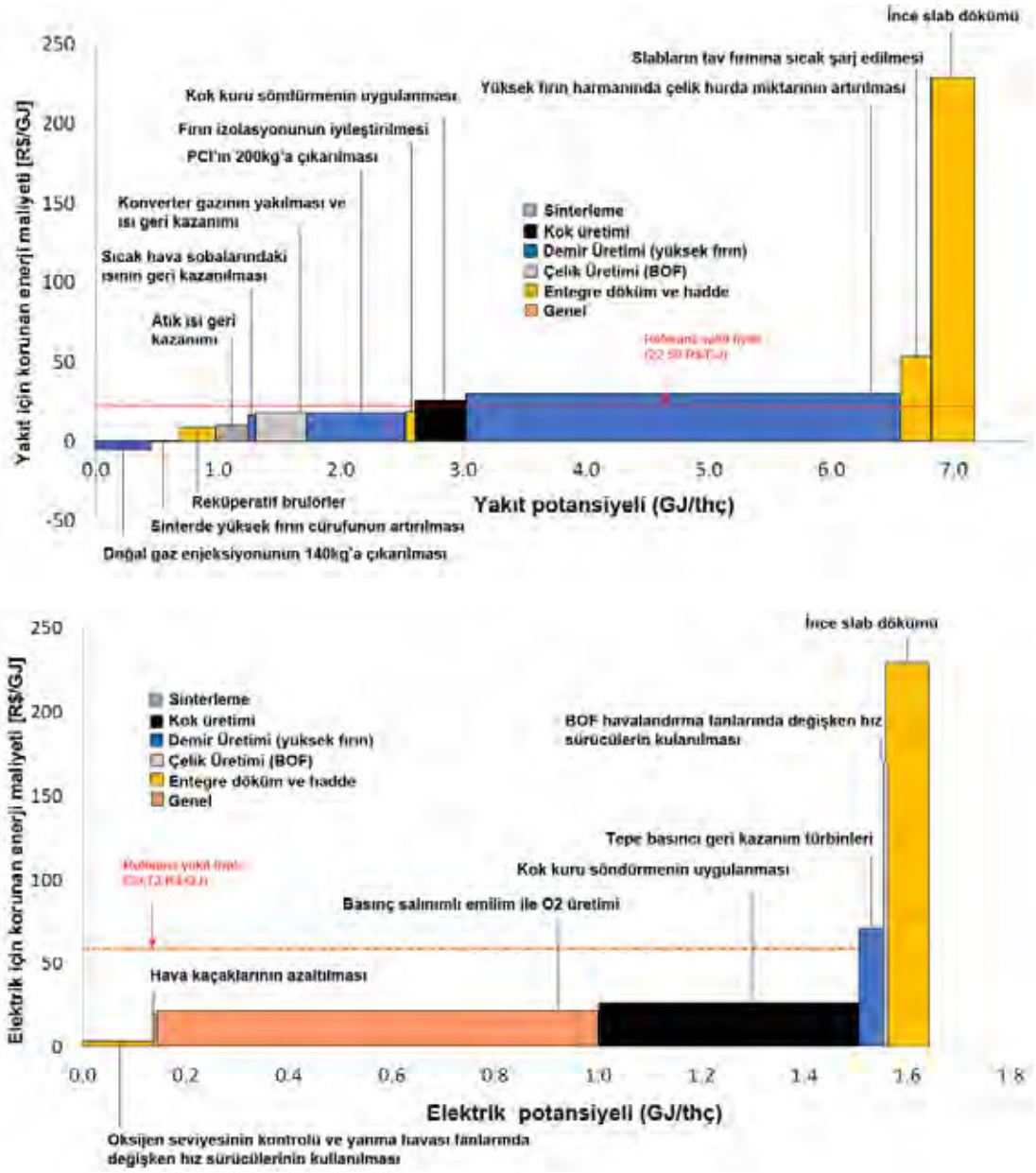
[3] *ArcelorMittal (Tubarão, ES), CSN (Volta Redonda, RJ) Usiminas (Ipatinga, MG), Usiminas (Cubatão, SP) ve Gerdau (Ouro Branco, MG)*

Proses	Önlem	Enerji verimliliği potansiyeli (Yakıtlar)	Enerji verimliliği potansiyeli (Elektrik)	Yatırım	Sermaye geri kazanım faktörü	İşletme maliyetlerindeki değişim	Korunan Enerji Maliyeti - yakıtlar	Korunan Enerji Maliyeti - elektrik	Kullanım potansiyeli	Enerji verimliliği potansiyeli (Yakıtlar)	Enerji verimliliği potansiyeli (Elektrik)
		GJ/ tp	GJ/tp	R$/ tp	1/yıl	R$/ tp	R$/ GJ	R$/ GJ	%	GJ/ thç	GJ/ thç
Sinterleme	Atık ısı geri kazanımı	0,2	0	6,46	0,323	0	10,46	-	100	0,26	-
	Hava kaçaklarının azaltılması	0	0,012	0,51	0,323	0	-	20	50	-	0,01
	Sinter karışımındaki yüksek fırın çamurunun miktarının artırılması	0,36	0	0	0,3	0	0	-	50	0,23	-
Koklaştırma	Kok kuru söndürmenin uygulanması	1,2	1,47	165,25	0,303	0	26,23	26,23	82	0,41	0,51
Demir Üretimi (yüksek fırın)	Tepe basıncı geri kazanım türbinlerinin kurulması	0	0,14	28,01	0,306	1,47	-	71,19	35	-	0,05
	Pulvarize kömür enjeksiyonunu 200 kg'a kadar artırmak	2,23	0	96,9	0,302	0	18,35	-	35	0,79	-
	Doğal gaz enjeksiyonunu 140 kg'a kadar artırmak	0,9	0	28,42	0,302	-16,35	-4,84	-	50	0,46	-
	Yanma havasının ön ısıtması için sıcak hava sobalarındaki ısının geri kazanılması	0,13	0	4,65	0,323	0	16,85	-	50	0,06	-
	Yüksek fırın harmanında çelik hurda miktarının artırılması	3,5	0	0	0,3	105,05	30,01	-	100	3,55	-
Çelik Üretimi (BOF)	Konverter gazının yakılması ve duyulur ısının geri kazanımı	0,84	0	33,97	0,323	0	18,31	-	50	0,43	-
	BOF havalandırma fanlarında değişken hız sürücülerin kullanılması	0	0,003	1,13	0,323	0	-	170,05	50	-	0
	Slabların tav fırınına sıcak şarj edilmesi	0,6	0	85,4	0,302	-3,78	53,8	-	50	0,25	-
	Tav fırınında reküperatif brulörlerin kullanılması	0,7	0	14,17	0,323	0	9,17	-	50	0,29	-
Entegre döküm ve hadde	Oksijen seviyesinin kontrolü ve yanma havası fanlarında değişken hız sürücülerinin kullanılması	0	0,33	2,87	0,306	0	-	3,73	50	-	0,14
	Fırın izolasyonunun iyileştirilmesi	0,2	0	12,4	0,3	0	18,6	-	50	0,08	-
	Nihai ebada yakın şerit döküm tekniğinin (ince slab dökümü) kullanılması	0,88	0,2	853,64	0,302	-112,66	229,42	229,42	50	0,36	0,08
Entegre	Basınç salınımlı emilim ile O_2 üretimi	0	1,01	71,73	0,3	0,22	-	21,57	85	-	0,86

tp: ton proses ürünü (kok, sinter,pik demir, ham çelik, haddelenmiş çelik)
thç: ton ham çelik
R$: Brezilya Reali

Kaynak: [31]

Bu kapsamda yakıtlar için ve elektrik için oluşturulan enerji tasarrufu arz eğrileri aşağıda verilmektedir.



Kaynak: [31]

Sonuçlar: Bu çalışmada yer alan tesisler için tahmini ekonomik enerji verimliliği potansiyeli, yakıtlar için 3,02 GJ/ton ham çelik (%12) ve elektrik için 1,51 GJ/ton ham çelik'tir. Çalıma sonucunda, bu tesislerin sahip olduğu ekonomik elektrik enerjisi potansiyelinin, tesislerin net elektrik ihracatçısı konumuna gelmelerine olanak sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Yakıtlar için oluşturulan enerji tasarrufu arz eğrisi incelendiğinde demir üretimi, sinterleme ve çelik üretimi prosesleri için ekonomik olarak uygulanabilir verimlilik önlemleri mevcuttur. Enerji tasarrufu arz eğrisine göre, kok kuru söndürme prosesinin, elektrik için uygulanabilir bir teknoloji olmakla birlikte yakıt tasarrufu konusunda da dikkate alınabileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, basınç salınımlı emilim ile O_2 üretimi de elektrik tüketiminin azaltılması konusunda yüksek potansiyele sahiptir.

6.4.2 Örnek Uygulama 2 [32]

Firma Bilgisi: Avrupa Demir-Çelik Sanayi

Arka Plan: Avrupa demir-çelik sanayii için üretim yöntemlerinin 1 ton ham çelik veya 1 MWh için enerji tüketimleri ve CO_2 emisyonları aşağıda listelenmiştir.

	Doğrudan enerji		Doğrudan CO_2 emisyonu	
	GJ/t ürün	GJ/MWh	t CO_2/t ürün	t CO_2/MWh
Güç Santrali		12,173		2,057
Kok Tesisi	6,539		0,794	
Sinter Tesisi	1,549		0,2	
Pelet Tesisi	0,901		0,057	
Yüksek Fırın	12,309		1,219	
BOF Tesisi	-0,853		0,181	
EAO*	2,505		0,098	
Kütük ve slab haddesi	1,783		0,088	
Sıcak şerit haddesi	1,7		0,082	
Levha haddesi	1,905		0,098	
Profil haddesi	1,828		0,084	
Asitleme hattı	0,222		0,004	
Soğuk hadde	0,743		0,008	
Tavlama	1,086		0,049	
Sıcak daldırma metal kaplama	1,491		0,059	
Elektrolitik metal kaplama	2,619		0,046	
Organik kaplama	0,049		0,003	

** 2.505 GJ/ton'un 0,481 MWh/ton'u elektrik ve 0,29 GJ/ton'u doğal gaz tüketiminden kaynaklanmaktadır. Geri kalanı kimyasal enerji veya kömür ile sağlanmaktadır.*

Kaynak: [32]

Süreç Özeti: Çalışmada, her tesiste bulunan ana proseslerin dikkate alındığı tümevarım modeli kullanılarak fiziksel olarak tesise eklenebilen (bakım, proses kontrol veya yeni teknoloji olmayan) MET'lerin uygulanmasının maliyet etkinliği analiz edilmiştir. Çalışmada değerlendirilen MET'lerin referans kapasitesi ve yatırım maliyeti bilgileri aşağıda verilmiştir.

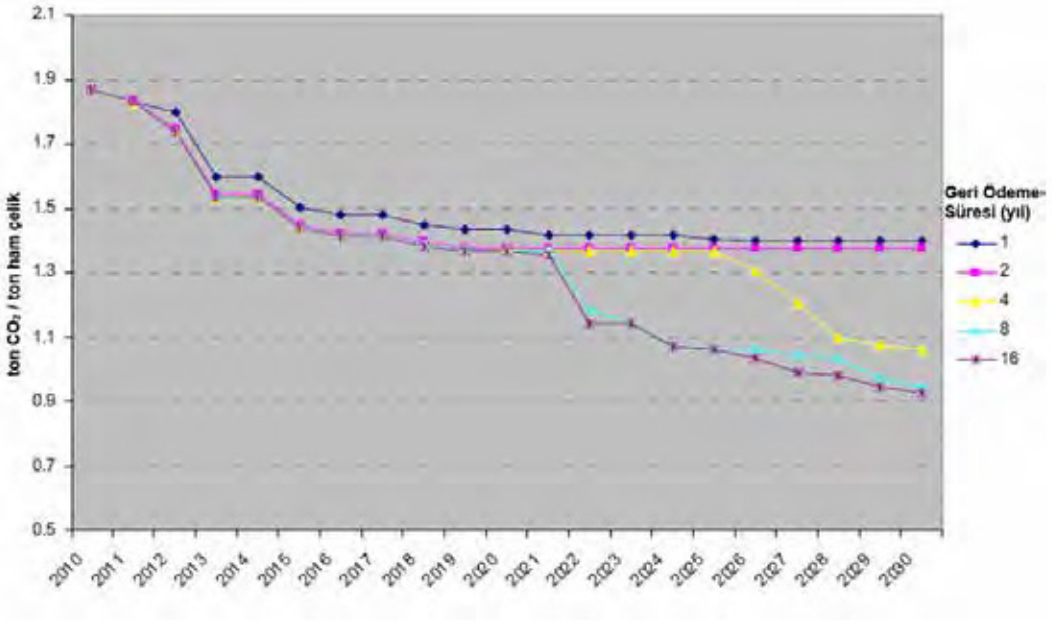
	Referans kapasitesi	Referans Yatırım Maliyeti
	Mton ürün/yıl	M€
Kok Kuru Söndürme	1,5	69
BOF Atık Isı ve Gaz Geri Kazanımı	2,8	37,5
Sürekli Döküm	1	80
Hurda Ön Isıtma	0,5	2,3
Sinter Tesisi Atık Isı Geri Kazanımı	1,8	6
Oksi-yakıt Brulörleri	0,5	2,8
Pulverize Kömür Enjeksiyonu	10	57
Tepe Gazı Geri Kazanım Türbini	3	9
Sobalarda Atık Isı ve Gaz Geri Kazanımı	1,5	3,7

Sağlanan Kazanımlar: 1 ton ham çelik veya 1 MWh için enerji tüketimleri ve CO_2 emisyonlarındaki azaltım tahmini

	Doğrudan enerji		Doğrudan CO_2 emisyonu	
	GJ/t ürün	GJ/MWh	t CO_2/t ürün	t CO_2/MWh
Yenilikçi Güç Santrali		-2,83		-0,442
Kok Kuru Söndürme	-1,463		-0,01	
BOF Atık Isı ve Gaz Geri Kazanımı	-0,908		-0,04	
Sürekli Döküm	-1,727		-0,085	
Hurda Ön Isıtma	-0,288		0	
Sinter Tesisi Atık Isı Geri Kazanımı	-0,387		-0,012	
Oksi-yakıt Brulörleri	0,013		0,008	
Pulverize Kömür Enjeksiyonu	0,126		-0,026	
Tepe Gazı Geri Kazanım Türbini	-0,108		0	
Sobalarda Atık Isı ve Gaz Geri Kazanımı	-0,16		-0,015	
Organik kaplama	0,049		0,003	

Kaynak: [32]

Ortalama spesifik CO_2 emisyonunun, geri ödeme süresinin bir fonksiyonu olarak gelişimi aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Kaynak: [32]

Sonuçlar: 2013 yılında yapılan bu çalışmada, model sonuçlarına göre, 2020 yılında Ultra-düşük CO_2 Çelik Üretimi (ULCOS Project[4]) teknolojilerinin ve karbon tutma ve depolama teknolojisinin devreye girmesi ile ortalama spesifik CO_2 emisyonunda ani bir düşüş olması öngörülmektedir. Aynı zamanda bu değişimin sadece uzun geri ödeme süresine sahip (2 yıldan uzun) yatırımlar sonucunda olacağı tahmin edilmektedir.

6.4.3 Örnek Uygulama 3 [33]

Firma Bilgisi: A Steel - An Demir ve Çelik Grup Şirketi (Çin)

Çevresel Değerlendirme: 2008 yılında Çin'de faaliyet gösteren büyük çelik şirketlerinin çoğunluğunun bir ton çelik üretimi için ortalama su tüketimi 7-8,3 m^3 arasındadır. Bu rakam gelişmiş ülkelerde 3 -4,2 m^3/ton civarındadır.

Arka Plan: Çalışmada incelenen tesis, yıllık 18 milyon ton ham çelik üretim kapasitesine sahiptir. 2009 yılında bir ton çelik üretimi için 4,8 m^3 su tüketimi gerçekleşmiştir.

Süreç Özeti: Çalışmada, bir çelik firmasında, su kullanan bütün prosesler bir sistem altına birleştirilmiş, optimizasyon modelinin oluşturulması için madde akış analizi ve su kullanım ağı için değerlendirme indeks sistemi uygulanmıştır.

Sağlanan Kazanımlar: A Steel'in su kullanım ağı optimizasyonundan önce ve sonra su tüketim miktarları aşağıda verilmektedir.

---

[4] 15 Ülkeden 48 şirket ve organizasyonun katıldığı ve çelik üretimden kaynaklanan CO_2 emisyonu seviyelerinde çarpıcı bir düşüş sağlamak amacıyla ortak araştırma ve geliştirme girişimini hayata geçiren bir konsersiyumdur. ULCOS Projesi kapsamında Tepe Gazı Geri Dönüşümlü Yüksek Fırın, Hisarna, ULCORED ve ULCOWIN olmak üzere dört yenilikçi teknoloji tanımlanmıştır.

Prosesler		W_p (m^3/ton çelik)	W_c (m^3/ton çelik)	W_f (m^3/tpn çelik)	W_e (m^3/ton çelik)	γ (%)	μ (%)	η (%)
Koklaştırma	Mevcut durum	0,452	15,466	15,968	0,091	35,35	96,86	3,58
	Optimizasyon sonrası	0,282	15,466	15,968	0,005	56,6	96,86	66,67
Sinterleme	Mevcut durum	0,025	1,413	1,898	0	74,57	74,46	+∞
	Optimizasyon sonrası	0,025	1,413	1,898	0	74,57	74,46	+∞
Demir Üretimi	Mevcut durum	1,751	68,602	70,566	0	40,31	97,22	+∞
	Optimizasyon sonrası	1,751	68,602	70,566	0	40,31	97,22	+∞
Çelik Üretimi	Mevcut durum	0,569	15,149	15,855	0	27,86	95,55	+∞
	Optimizasyon sonrası	0,477	15,149	15,855	0	33,24	95,55	+∞
Sürekli Döküm	Mevcut durum	0,536	11,86	12,396	0,071	23,11	95,67	14,08
	Optimizasyon sonrası	0,536	11,86	12,396	0,008	23,11	95,67	125
Haddeleme	Mevcut durum	0,437	54,701	55,625	0,292	127,37	98,34	3,34
	Optimizasyon sonrası	0,281	54,701	55,625	0,012	197,69	98,34	76,92
Toplam	Mevcut durum	3,77	167,191	172,308	0,454	45,71	97,03	2,2
	Optimizasyon sonrası	3,352	167,191	172,308	0,025	51,4	97,03	40
Toplamda değişim oranı	%	11,1	0	0	94,54	12,4	0	1718,2

W_p: Bir ton çelik üretimi için kullanılan su miktarı
W_c: Bir ton çelik için geri dönüştürülen su miktarı
W_f: Bir ton çelik üretimi için kullanılan endüstriyel temiz su miktarı
W_e: Bir ton çelik için oluşan atıksu miktarı
γ Su kaynak verimliliği
μ Su sirkülasyon oranı
η Su çevre verimliliği

Kaynak: [33]

Sonuçlar: Su geri dönüşümü için bazı optimizasyon önlemleri uygulandıktan sonra, A Steel'in su tüketiminin ton çelik başına 0,418 m^3, atıksu oluşumunun ise ton çelik başına 0,429 m^3 azaldığı görülmüştür. Buna göre su kaynak verimliliğinin %5,69; su çevre verimliliğinin %37,80 arttığı gözlenmiştir.

6.4.4 Örnek Uygulama 4 [34]

Firma Bilgisi: Entegre demir-çelik üretim tesisi (İspanya)

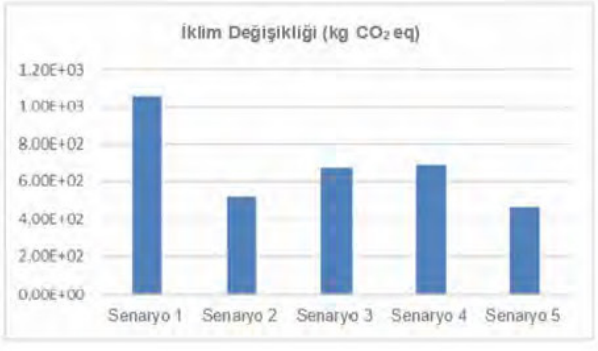
Çevresel Değerlendirme: Entegre demir çelik tesislerinde bulunan güç santrallerinde doğal gaz yerine çelik gazının (KFG ve konverter gazının) kullanılmasının iklim değişikliği, ozon tabakasında incelme, iyonlaştırıcı radyasyon, insan toksisitesi ve fosil kaynakların tükenmesi üzerine etkileri incelenmiştir.

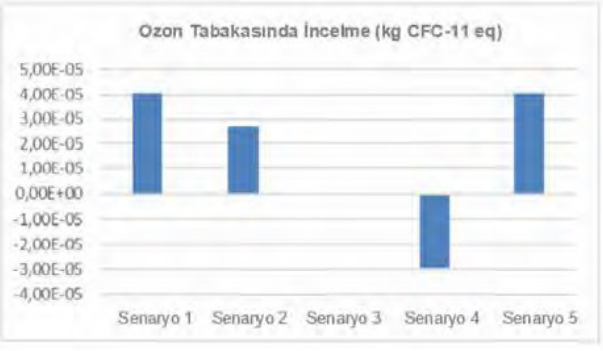
Arka Plan: Çalışma İspanya'da faaliyet gösteren, yıllık 5 milyon ton çelik üretim kapasitesine sahip bir entegre demir-çelik tesisi için gerçekleştirilmiştir. Tesiste bulunan güç santralinde 12 grup gaz motoru ile 20,400 kW net elektrik gücü sağlanmakta, çıkış gazı buhar üretiminde kullanılmaktadır. Kazanlarda, ekonomizer, buharlaştırıcı ve kızdırıcı bulunmaktadır. 300°C'de ve 1,96 MPa basınçta kızgın buhar oluşmaktadır.

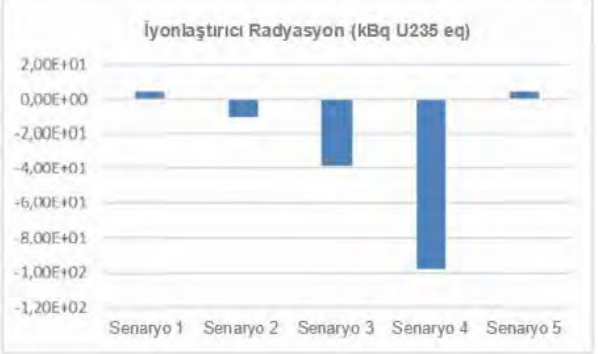
Süreç Özeti: Kojenerasyon prosesinde, çelik üretiminden kaynaklanan atık gazların yakıt olarak kullanılması durumunda oluşacak çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacıyla beş senaryo çalışılmış ve yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak senaryolar, çevresel etkileri bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışılan senaryolar:

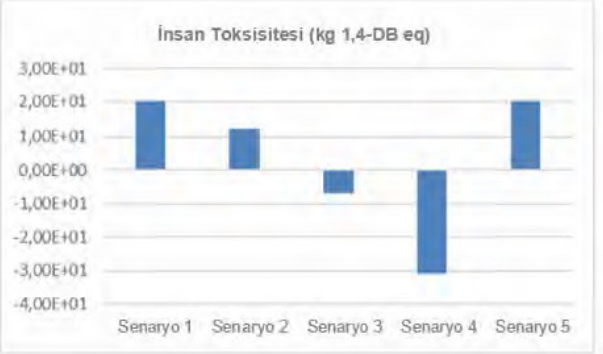
Senaryo 1 : Elektrik üretimi için %100 oran ile doğal gaz kullanılır, çelik üretimi atık gazları yakılır.
Senaryo 2 : Kojenerasyon tesisinde üretilen enerjinin %25 çelik gazlarından, %75'i doğal gazdan kaynaklanır.
Senaryo 3 : Kojenerasyon tesisinde üretilen enerjinin %71,3'ü çelik gazlarından, %28,7'si doğal gazdan kaynaklanır.
Senaryo 4 : Kojenerasyon tesisi sadece çelik gazları ile çalışmaktadır. Bu ideal senaryodur fakat gazometrelerin depolama kapasiteleri sınırlı olduğu için uygulanması mümkün değildir.
Senaryo 5 : Çelik üretimindeki teknik duruşlar ve gazometrelerin sınırlı kapasiteleri nedeniyle kullanılabilecek çelik gazı bulunmamaktadır ve bütün termal enerji doğal gazdan sağlanmaktadır.

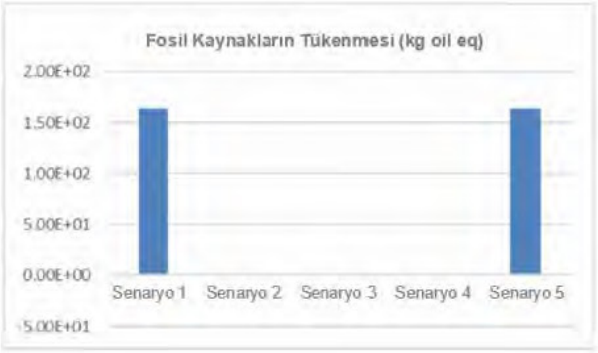
Etki Değerlendirmesi: Bütün senaryoların orta nokta etkilerini gösteren grafikler aşağıda verilmektedir. Temel etkilerin iklim değişikliği, ozon tabakasında incelme, iyonlaştırıcı radyasyon, insan toksisitesi ve fosil kaynakların tükenmesi kategorilerinde meydana geldiği gözlenmiştir.











Kaynak: [34]

Sonuçlar: İklim değişikliği kategorisi emisyonlardan doğrudan etkilendiği için beş senaryonun tamamında önemli düzeyde sera gazı oluşumu bulunmaktadır. Fakat gazın geri dönüşümünün küresel ısınma potansiyelini düşürdüğü görülmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon, insan toksisitesi, fosil kaynakların tükenmesi kategorilerinde doğal gaz önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle doğal gaz tüketimi arttıkça bu kategorilerdeki etki de artmaktadır. Ozon tabakasında incelme kategorisi için de benzer durum söz konusu olmakla birlikte bu kategoride, endüstriyel kimyasal maddelerin sebep olduğu etkiler temel olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

Çelik gazları daha düşük enerji verimliliğine sahip kirli gazlardır. Bu nedenle doğal gazdan daha fazla kirletici emisyona sebep olurlar. Bu gazların kullanıldığı senaryolarda iklim değişikliğine etkilerin daha büyük olduğu görülmektedir. Fakat bütün etkiler birlikte değerlendirildiğinde, çelik gazlarının %71,3'ten fazla oranlarda kullanıldığı 3. ve 4 senaryolarının doğal gaz tüketimini azaltması ve yan ürün olarak elektrik üretilmesinden dolayı daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

6.4.5 Örnek Uygulama 5 [35]

Firma Bilgisi: Birleşik Krallık Çelik Sektörü

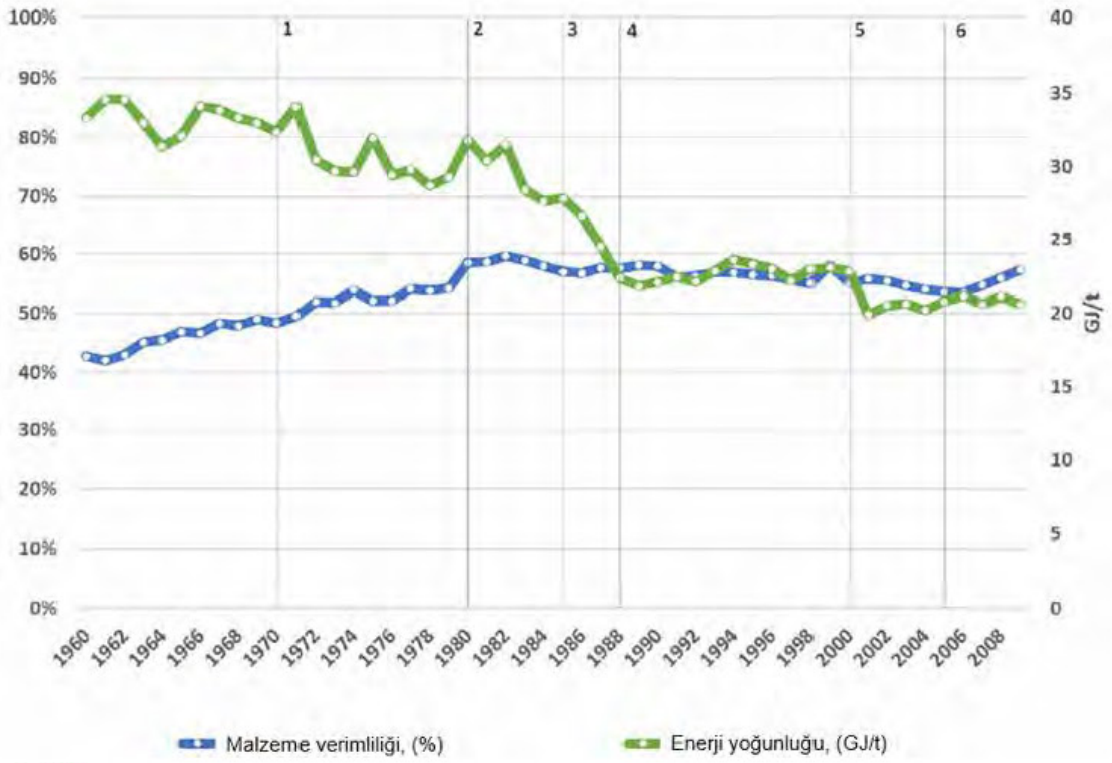
Kapsam: Demir üretimi yüksek fırınlarda, çelik üretimi ise açık hazne, bazik oksijen fırını veya elektrik ark ocaklarında gerçekleşmektedir. Bu proseslerin tamamı, sektörün toplam enerji tüketiminin %90'ını, ham madde tüketiminin %92'sini temsil etmektedir. 1960 ila 2009 yılları arasında Birleşik Krallık çelik sektörünün, enerji yoğunluğu, malzeme ve kaynak verimliliği bakımından incelenmiştir. Bu inceleme sırasında demir ve çelik sektörünü etkileyen temel tarihsel gelişmeler ve üretim teknolojileri dikkate alınmıştır.

Sağlanan Kazanımlar: Birleşik Krallık'ta demir ve çelik sektörünü etkileyen altı temel tarihsel gelişme bulunmaktadır. Bunlar;

1. kömür yerine doğal gaz kullanılmaya başlanması
2. açık hazne teknolojisinin devreden çıkarılması
3. enerji denetimlerinin başlatılması
4. İngiliz Çeliğinin özelleştirilmesi
5. tesis içinde elektrik üretimi amacıyla proses gazlarının kullanımının artırılması

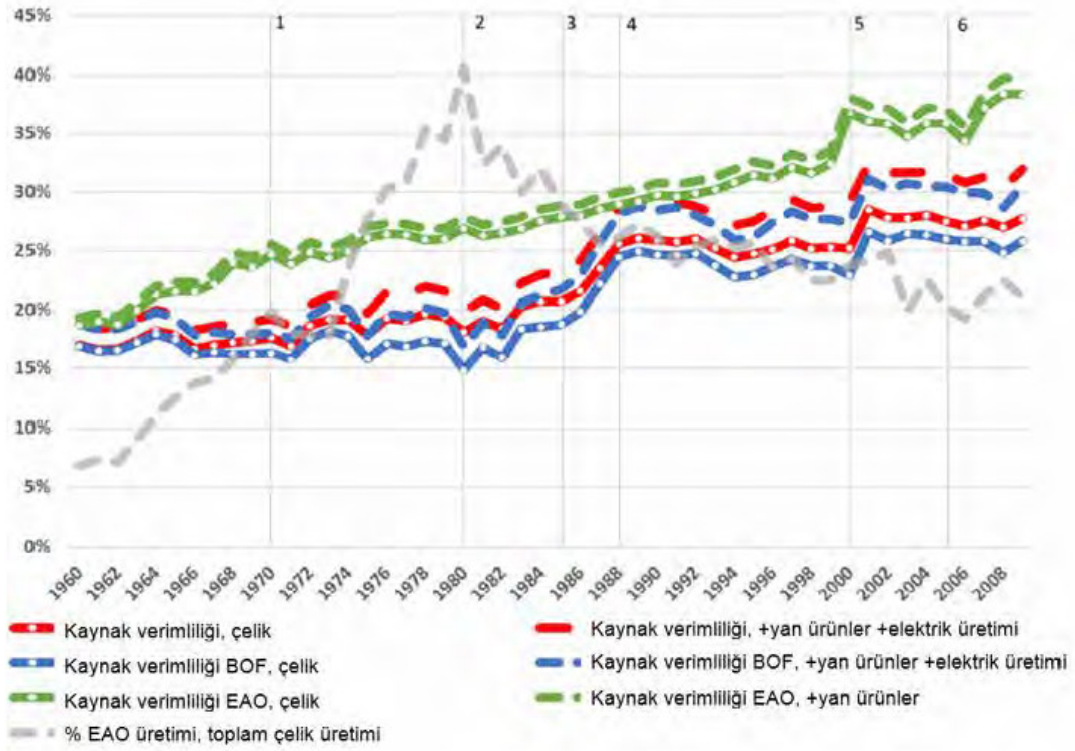
6. AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)'nin yürürlüğe girmesi ve ekonomik krizler

Demir ve çelik üretiminde yıllara göre malzeme verimliliği ve enerji yoğunluğu aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Grafikte, yukarıda bahsi geçen tarihsel gelişmeler ayrıca belirtilmiştir.



Kaynak: [35]

Teknoloji bazında yıllara göre kaynak verimliliği aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Grafikte, yukarıda bahsi geçen tarihsel gelişmeler ayrıca belirtilmiştir.



Kaynak: [35]

Sonuçlar: Enerji yoğunluğunun tarihsel gelişimi incelendiğinde en önemli etkilerden birinin enerji denetimlerinin başlatılması olduğu dikkati çekmektedir. Denetimlerin başlatılmasını takip eden dört yıl içerisinde enerji yoğunluğunun %14 oranında düştüğü gözlenmektedir. Bir diğer fark edilir etkinin tesis içinde elektrik üretimi amacıyla proses gazlarının kullanımının artırılması ile meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu uygulama ile enerji yoğunluğunda bir yıl içerisinde yaklaşık %8 oranda düşüş yaşanmıştır.

Farklı üretim teknolojileri birbirleri ile karşılaştırıldığında, EAO ile üretimin BOF ile üretimden ham madde verimliliği bakımından %20, toplam kaynak verimliliği bakımından %12 daha verimli olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, cürufun kimyasal ekserjisi (kullanılabilir enerji) düşük ve üretilen tozun miktarı ihmal edilebilir olduğundan, yakıt olmayan yan ürünlerin yeniden kullanımının kaynak verimliliğini belirgin biçimde artırmadığı görülmektedir.

6.4.6 Örnek Uygulama 6 [36, 37, 38]

Firma Bilgisi: Ekinciler Demir ve Çelik San. A.Ş.[5]

Arka Plan: İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi kapsamında Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı koordinasyonunda, Ekinciler Demir ve Çelik San. A.Ş. iş birliğiyle gerçekleştirilmiş olan "Elektrik Ark Fırını Çelik İzabe Cürufunun Karayolu İnşaatında Dolgu, Temel ve Alttemel Malzemesi Olarak Kullanılması" çalışmasında, EAO tesislerinden elde edilen cürufun yan ürün olarak karayolu inşaatında değerlendirilmesi planlanmıştır.

Süreç Özeti: Bu amaçla Ekinciler Demir ve Çelik San. A.Ş.'den temin edilen EAO cüruf numunelerinin doğal agrega yerine kullanım olanakları Karayolları Teknik Şartnamesi 2006'nın öngördüğü standartlar kapsamında incelenmiştir.

Sağlanan Kazanımlar: Projenin pilot uygulama aşamasında hesaplanan potansiyel kazanımlar aşağıda verilmiştir.

Kazanım	Potansiyel Miktar
Doğal kaynak ikamesi (ton/yıl)	262.700
Arazi kazancı (m^2)	45.000
İşgücü tasarrufu (adam.gün/ yıl)	3.285
Enerji tasarrufu(kWh/yıl)	145.601
CO_2 azaltımı (tCO2/yıl)	44
Yatırım maliyeti ($)	881.000
Yıllık net kazanç ($)	1.893.00
Geri ödeme süresi	6 ay

[5] *Firma ve uygulama ile ilgili bilgiler internet üzerinden yayınlanan aşağıdaki kaynaklardan temin edilmiştir.*
- *http://www.endustriyelsimbiyoz.org/wp-content/uploads/2014/02/endustriyel-simbiyoz-projesi-kapsamindaki-ornek-projeler_2014.02.20.pdf*
- *http://www.endustriyelsimbiyoz.org/wp-content/uploads/2014/01/endustriyel-simbiyoz-uygulamalari-ve-fizibilite-calismasi_14.01.2014.pdf*
- *http://projepazari.endustriyelsimbiyoz.org/wp-content/uploads/2013/04/Endustriyel-Simbiyoz-ve-Temiz-Uretim-Ar-Ge-Proje-Pazar%C4%B1_Proje-%C3%96zetleri.pdf*

Sonuçlar: Yapılan analiz sonuçlarına göre, çalışılan malzemenin çoğu doğal agregaya oranla daha iyi sonuçlar verdiği ve aşağıdaki kullanım alanları için uygun olduğu görülmüştür:

- alt-temel malzemesi
- granül temel malzemesi
- plent-miks temel malzemesi
- dolgu malzemesi
- dona hassas olmayan taban malzemesi
- koruyucu tabaka

Çevresel analiz kapsamında ise cürufun inert atık olduğu tespit edilmiştir.

7. KAYNAKÇA

7 KAYNAKÇA

[1] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı-Verimlilik Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK MAM, «Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi» 2017. [Çevrimiçi]. https://vgm.sanayi.gov.tr/handlers/DokumanGetHandler.ashx?dokumanId=753afe56-ecb9-42a2-9106-79d33a9c842a. [Erişildi: 01 10 2018].

[2] JRC, «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document Best Available Techiques (BAT) for Iron and Steel Production» 2013. [Çevrimiçi]. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf. [Erişildi: 15 10 2018].

[3] JRC, «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Ferrous Metals Processing Industry» 2001. [Çevrimiçi]. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fmp_bref_1201.pdf. [Erişildi: 15 10 2018].

[4] JRC, «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for the Non-Ferrous Metals Industries» 2017. [Çevrimiçi]. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM/JRC107041_NFM_bref2017.pdf. [Erişildi: 10 07 2019].

[5] IPPC, «96/61/EC Directive on Integrated Pollution and Prevention Control» European Commission, Brussels, 1996.

[6] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, «Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Yönetmelik Taslağı» 18 Nisan 2018. [Çevrimiçi]. https://cygm.csb.gov.tr/taslaklar-i-443. [Erişildi: 18 03 2019].

[7] O. Fresner, V. Dobes, T. Bürki ve K. Tiefenbrunner, «UNEP, PRE-SME Promoting Resource Efficiency in Small & Medium Sized Enterprises Industrial Training Handbook» Paris, 2010.

[8] K. Rademaekers, S. Z. Samir ve M. Smith, «Sustainable Industry: Going for Growth & Resouce Efficiency» Holland, 2011.

[9] worldsteel, «Steel Statistical Year Book 2018» 2018. [Çevrimiçi]. https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html. [Erişildi: 01 03 2019].

[10] worldsteel, «Steel Statistical Year Book 2007» 2007. [Çevrimiçi]. https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html. [Erişildi: 01 03 2019].

[11] worldsteel, «Steel Statistical Year Book 1997» 1997. [Çevrimiçi]. https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html. [Erişildi: 01 03 2019].

[12] worldsteel, «Steel Statistical Year Book 1987» 1987. [Çevrimiçi]. https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html. [Erişildi: 01 03 2019].

[13] A. Buonicore ve W. Davis, «Air Pollution Engineering Manual» New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

[14] L. Mihok, P. Demeter, D. Baricova ve K. Seilerova, «Utilization of Ironmaking and Steelmaking

Slags» Metabk, cilt 3, no. 45, pp. 163-168, 2006.

[15] F. C. Campbell, «Metals Processing» Ohio: ASM International, 2013.

[16] EUROSLAG, «The European Slag Association» 2016. [Çevrimiçi]. http://www.euroslag.com/. [Erişildi: 26 09 2016].

[17] N. Gündoğdu, «Demir-Çelik Tesislerinde Açığa Çıkan Tufalden Demirin Geri Kazanımı» İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013.

[18] B. Çubukçuoğlu ve S. K. Ouki, «The use of alternative constituents in cement-based solidification/stabilization of electric arc furnace dust» Proceedings of the 7th international conference on sustainable management of waste and recycled materials in construction, WASCON, 2009.

[19] B. Pavao, A. S. De Vargas, A. B. Masuero, D. C. Dal Molin ve A. C. Vilela, «Influence of Electric Arc Furnace Dust (EAFD) in Alkali-Activated Fly Ash Binder» Proceedings of the 11th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT'09), 2009.

[20] M. Tunç, «Türkiye'deki Elektrikli Ark Ocaklarından Kaynaklanan Baca Gazı Tozlarının Yönetim ve Geri Kazanım Seçenekleri» Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2013.

[21] Avrupa Komisyonu, «Enerji Verimliliğine İlişkin En Uygun Teknikler Kaynak Belgesi» 2009. [Çevrimiçi]. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/editordosya/BREF_Energy_Efficiency_2011_TR.pdf [Erişildi: 01 04 2018].

[22] JRC, «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Textile Industry» 2003. [Çevrimiçi]. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/txt_bref_0703.pdf. [Erişildi: 10 04 2018].

[23] Avrupa Komisyonu, «Endüstriyel Soğutma Sistemleri Alanında Mevcut En İyi Tekniklerin Uygulanmasına İlişkin Kaynak Belge» 2001. [Çevrimiçi]. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge1124.pdf. [Erişildi: 01 04 2018].

[24] A. Bilgin, «Kazanlarda Enerji Verimliliği» cilt 95, pp. 13-18, 2006.

[25] F. Dinçer, «Asenkron Motorlar Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Pratik Yaklaşımlar» 2010. [Çevrimiçi]. http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/asenkron-motorlarda-enerji-verimlilidi-calymalary-ve-pratik-yaklaymlar. [Erişildi: 01 04 2018].

[26] S. Pravadalıoğlu, «Yerinde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri» II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım, İzmir, 2011.

[27] K. Horii, Y. Kitano, N. Tsutsumi ve T. Kato, «Processing and Reusing Technologies for Steelmaking Slag, NIPPON Steel Technical Report No:104» 2013.

[28] TÜBİTAK MAM, «Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi Projesi (SANTEM) Sonuç Raporu» Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kocaeli, 2016.

[29] JRC, «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Food, Drink and Milk Industries» 2006. [Çevrimiçi]. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fdm_bref_0806.pdf. [Erişildi: 10 04 2018].

[30] ETKB, «Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Verimlilik Arttırıcı Projeler (VAP)» 2019. [Çevrimiçi]. http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/d_VAP.aspx. [Erişildi: 10 07 2019].

[31] R. Rodrigues da Silva, F. R. de Carvalho Mathias ve S. V. Bajay, «Potential energy efficiency improvements for Brezilian iron and steel industry: Fuel and electricity conservation supply curves for integrated steel mills» Energy, no. 153, pp. 816-824, 2018.

[32] J. A. Moya ve N. Pardo, «The potential for improvements in energy efficiency and CO2 emisions in the EU27 iron and steel industry under different payback periods» Journal of Cleaner Production, no. 52, pp. 71-83, 2013.

[33] C. Gao, D. Wang, H. Dong, J. Cai, W. Zhu ve T. Du, «Optimization and evaluation of steel industry's water-use system» Journal of Cleaner Production, no. 19, pp. 64-69, 2011.

[34] S. G. Garcia, V. R. Montequin ve R. L. Fernandez, «Evaluation of the aynergies in cogeneration with steel waste gases based on Life Cycle Assessment: A combined coke oven and steelmaking gas case study» Journal of Cleaner Production, no. 217, pp. 576-583, 2019.

[35] L. G. Carmona, K. Whiting, A. Carrasco ve T. Sousa, «The evolution of resource efficiency in United Kingdom's steel sector: An exergy approach» Energy Conversion and Management, no. 196, pp. 891-905, 2019.

[36] M. Böğürcü, «İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi Kapsamındaki Örnek Projeler» Endüstriyel Simbiyoz Konferansı 2014, Ankara, 2014.

[37] F. Ulutaş, «Endüstriyel Simbiyoz Örnek Projeler» Endüstriyel Simbiyoz Kapsamında Çevre Mevzuatı Toplantısı, Adana, 2014.

[38] TTGV, «Proje Özetleri Kitabı» Endüstriyel Simbiyoz ve Temiz Üretim Ar-Ge Proje Pazarı, 11 Nisan 2013, Adana, 2013.

[39] H. Vapur, S. Top, A. Teymen ve M. Türkmenoğlu, «Elazığ Ferrokrom Tesisi Cüruflarının Agrega Özelliklerinin Araştırılması» Çukurova Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 1, no. 28, pp. 77-88, 2013.

Türkiye Cumhuriyeti
SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü
Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
2151. Cadde NO:154/A 06510 Çankaya/ANKARA
T: (0 312) 201 50 00 - F: (0 312) 219 67 38
www.sanayi.gov.tr - www.temizuretim.gov.tr

TÜBİTAK
MAM

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. No:1 P.K. 21 41470 Gebze Kocaeli
T: (0 262) 677 20 00 - F: (0 262) 641 23 09
www.mam.tubitak.gov.tr - mam@tubitak.gov.tr

ISBN : 978-605-7887-03-0