



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ARK OCAKLI ÇELİK ÜRETİM
TESİSLERİNDE PROSES
MALİYETİNİN DÜŞÜRÜLMESİNE
YÖNELİK ÇALIŞMALAR**

Tuncay MIÇOOĞULLARI

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**ARK OCAKLI ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE PROSES MALİYETİNİN
DÜŞÜRÜLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR**

TUNCAY MIÇOOĞULLARI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

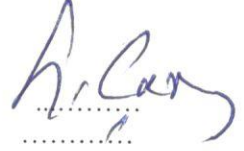
OCAK 2019

Tuncay MİÇOOĞULLARI tarafından hazırlanan "ARK OCAKLI ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE PROSES MALİYETİNİN DÜŞÜRÜLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Gürel ÇAM

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Başkan: Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Mühendislik Temel Bilimleri Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

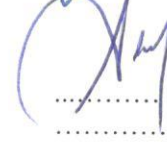
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Üye: Doç.Dr. Ahmet ÇAKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHÇECİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Tez Savunma Tarihi: 21/01/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Tuncay MIÇOOĞULLARI

21/01/2019

ARK OCAKLI ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE PROSES MALİYETİNİN
DÜŞÜRÜLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuncay MİÇOOĞULLARI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2019

ÖZET

Ülkemizde sanayileşme ve ekonomik gelişmeye paralel olarak elektrik enerjisi talebi her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, özellikle incelenmesi gereken hususlar üretim için gerekli enerji maliyetlerinin nasıl düşüreceğidir. Ayrıca, enerjinin düzenli ve etkin kullanımı ile bu enerjinin geri kazanımı'da önemlidir. Bu kapsamda, gelişmiş ülkeler ile rekabet gücünü artırma ve sürdürülebilirliğe yönelik, ark ocaklarında 1 ton demiri üretmek için gereken enerji miktarını mümkün olan en aza seviyeye çekmek için yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

Enerji tüketiminin performans göstergelerinden biri olan spesifik enerji tüketimini, başka bir ifade ile, ton çelik başına kullanılan enerji miktarını etkileyen faktörlerin en başında hammadde kalitesi gelmektedir. Genel olarak sanayide enerji yönetiminin uygulanması, enerji muhasebesini ve enerji tüketimlerinin sürekli ölçülmesini gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler : Elektrik ark ocağı, Proses maliyeti, Enerji yönetimi

Sayfa Adedi : 44

Danışman : Prof. Dr. Gürel ÇAM

MEASURES FOR REDUCING PROCESS COSTS IN ARC FURNACES

(M. Sc. Thesis)

Tuncay MİÇOOĞULLARI

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

Jan 2019

ABSTRACT

Electric energy demand is increasing day by day in parallel to the industrial and economic development in our country. For this reason, the issue that should be examined particularly is how to reduce the energy costs for the production. On the other hand, regular and efficient use of energy and recovery of this energy are also important issues. In this work, studies to minimize the energy amount required to manufacture 1 ton of iron in arc furnaces are specified with the purpose to improve competitive power and sustainability.

Foremost among the factors influencing specific energy consumption, in other words, energy amount used per 1 ton steel, which is one of the performance indicators of energy consumption, is the raw material quality. In general, implementation of energy method in the industry requires energy accounting and measurement of energy consumptions continuously.

Key Words : Electric arc furnace, Process costs, Energy management

Page Number : 44

Supervisor : Prof. Dr. Gürel ÇAM

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Gürel ÇAM'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Güven İPEKOĞLU'na saygılarımı sunar ve yüksek lisans tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda verdikleri destekten dolayı sayın Prof. Dr. Tolga DEPÇİ'ye ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHÇECİ'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Türkiyede ve Dünyada Çelik Üretimi.....	2
2.1.1. Üretim süreçlerini gösteren diyagram ve teknikleri.....	4
2.1.2. Ham çelik üreten tesislerin bölgesel durumu ve toplandıkları noktalar....	5
2.1.3. Demir-çelik sektöründe maliyet kalemleri.....	6
2.1.4. Demir-çelik sektörünün enerji ve hammadde kullanım oranları	7
2.1.5. Sektörün elektrik enerjisi tüketimi.....	8
2.2. Enerji Yönetimi Sistemi ve Enerji Balans Durumu.....	9
2.2.1. Enerji merkezi noktalarının fonksiyonu	9
2.2.1.1. Enerjiyi tek noktadan yönetmek	9
2.2.1.2. Elektrik enerjisi üretiminin enerji merkezinden yönetimi	9

	Sayfa
2.2.1.3. Bilgiyi yönetmek.....	9
2.2.2. Enerjinin kontrol edilmesi nasıl olmalıdır.....	10
2.2.3. Dışarıdan aldığımız enerjinin miktar ve maliyetini azaltmak.....	10
2.2.4. Yakıtın önemi	10
2.2.5. Enerjinin sağladığı santralleri verimli olarak çalıştırmak.....	10
2.2.6. Enerjinin gereken miktarlarda kullanımının sağlanması	11
2.2.7. Enerji kayıplarının önlemi	11
2.2.8. Dışarıya atılan ısının ve enerjinin geri kazanılması.....	11
2.2.9. Enerji balans durumları.....	13
3. MATERYAL VE METOT.....	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	16
4.1. Hurda Ön Isıtma.....	16
4.2. Hurda Ön Isıtma Sistemine Ait İncelemeler.....	19
4.3. Brülör Sistemleri ve Uygulamalar	28
4.4. Hurda Eleme Sistemi	30
4.5. Ocak Tabanından Döküm Alma Sistemleri	32
4.6. Hammadde Kalitesi.....	32
4.7. Su Soğutmalı Gövde Kapak Sistemi ve Yüksek Güçte Maliyet	34
4.8. Kömür Tozu Enjeksiyonu ve Kabarık Cüruf.....	34
4.8.1. Cüruf ile köpürtmenin yararları	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Demir-çelik sektöründe girdi oranları	6
Çizelge 2.2. Entegre tesis ve elektrik ark ocağı bulunan tesislerde maliyet kalemleri ..	7
Çizelge 2.3. Demir-çelik tesislerinde tüketilen enerji kalemleri.....	7
Çizelge 2.4. Demir-çelik fabrikalarının hammadde tüketim miktarı.....	8
Çizelge 2.5. Demir-çelik Sektörünün elektrik tüketim miktarı.....	8
Çizelge 4.1. Ön ısıtmasız 4 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler	24
Çizelge 4.2. Ön ısıtmalı 4 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler	25
Çizelge 4.3. Ön ısıtmalı 3 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler	27

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. EAO tesislerinde kütle akışı tablosu.....	4
Şekil 4.1. Fuchs sistemli hurdanın ön ısıtılma sistemine ait şema.....	18
Şekil 4.2. Con steel prosesine ait şema.....	18
Şekil 4.3. Ark ocağının kesit görünüşü.....	20
Şekil 4.4. Ark ocağı ve hurda ısıtma sistemi	20
Şekil 4.5. Ark ocağına bağlı ana hattın zamana göre sıcaklık diyagramı	22
Şekil 4.6. Ön ısıtma sistemine giren gazın sıcaklığının zamana göre değişimi	22
Şekil 4.7. Ön ısıtma sisteminden çıkan gazın sıcaklığının zamana göre değişimi	23
Şekil 4.8. Hurda ön ısıtmalı ve hurda ön ısıtmasız fırınlarda enerji karşılaştırılması....	28
Şekil 4.9. Üç fazlı elektrik ark ocağı.....	31

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Ark ocağı genel görüntü resmi	21
Resim 4.2. Hurda ön ısıtma sistemi.....	21
Resim 4.3. Brülör sistemine ait görünüş.....	29
Resim 4.4. Brülör sisteminin üflemesine ait görünüş.....	29
Resim 4.5. Hurda eleme sistemine ait genel görünüş.....	30
Resim 4.6. Elektrot sistemine ait görünüş.....	31
Resim 4.7. Kaba kıyılmış heavy metal scrap hurdasına ait görüntü.....	33
Resim 4.8. Daha ince kıyılmış heavy metal scrap hurdasına ait görüntü.....	34

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Türkiye'deki çelik üreticilerini gösteren harita.....	5



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
-----------------	--------------------

CO₂	Karbondioksit
TEP	Ton eşdeğer petrol
kwh	Kilowatt saat
°C	Santigrat
Kg	Kilogram
CO	Karbonmonoksit
FeO	Demiroksit
CaO	Kalsiyumoksit
Si	Silis
Mn	Mangan
Cr	Krom
V	Volt
AL	Alüminyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
Ca	Kalsyum

Kısaltmalar	Açıklamalar
--------------------	--------------------

EAO	Elektrik ark ocağı
BF/BOF	Yüksek fırın
UHP	Ultra High Power

1. GİRİŞ

Demir-çelik sektörü için elektrik enerjisi ve maliyeti çok önemlidir. Ark ocaklı demir çelik tesislerinde elektrik enerjisi hammadde maliyetinden sonra %10' un üzerinde bir oran ile en önemli kalemlerden biridir. Fabrikalarda devamlılığın sağlanması elektrik enerjisine bağlıdır. Enerji tasarrufu, atıkların etkin değerlendirilmesinin yanı sıra verimliliğin artırılması ve enerji kayıplarının önüne geçilmesi ile sağlanabilir. Enerji tasarrufu, tüketilen enerjinin ekonomiyi, gelişmeyi ve refahı azaltmadan, kaliteyi ve performansı etkilemeden, en aza indirilmesi olarak tanımlanabilir. Enerji tasarrufu, daha hızlı, ucuz ve yerli imkânlar ile üretilen enerji kaynaklarını kullanmaktır.

Bu tez ile yukarıda belirtmiş olduğumuz çalışmalar ve geliştirilebilir yatırımların etkinliklerinin ve öneminin araştırılması hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Türkiye’de ve Dünyada Çelik Üretimi

Elektrik ark ocağı çelik üretiminde önemli rol oynamaktadır. 2013 yılında dünyada çelik üretiminin ortalama %30 civarındaki kısmı ark ocaklarında üretilmiştir. Bu işlem fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin %40’ından fazlasını tüketir. Türkiye’de ark ocağında üretilen çeliğin oranı %70 civarındadır [1,2].

Türkiye 2016 yılı itibariyle Demir çelik sektöründe, dünyada 65 çelik üreten ülke arasından 8. sıradadır. Avrupa’daki çelik üreten ülkeler arasından 1. Almanya’dan sonra yer almakta. Bu sıra bize Türkiye’nin geçen yıl koltuğunu kaybettiği sıralamaya tekrar geldiğini göstermektedir [3].

Dünya’da çelik Derneğinin açıklamış olduğu 2017 Aralık ayına ait sonuçlara göre, Dünyadaki çelik üretimi, 2016 yılının aynı ayı ile mukayese edildiğinde % 3,9 artış göstererek 138,1 milyon tona, yıllık olarak % 5,3 üretim artışıyla, 1 milyar 691 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’deki toplam çelik üretimi 2016 yılı ile mukayese edildiğinde % 13,2 oranında artmıştır. 33,2 milyon tondan 37,5 milyon tona yükselmiştir. Çin Ekim ayı itibariyle % 6,1 oranında artış ile 72,4 milyon ton ham çelik üretimi gerçekleştirmiştir. Çin ilk 10 aylık dönemde ’de % 6,1 seviyesindeki artış ile 709,5 milyon ton ham çelik üretimini gerçekleştirmiştir. Dünyada 2. Büyük çelik üreticisi olan Japonya Ekim ayı itibari ile % 1 oranında azalış ile 8,9 milyon ton ham çelik üretimi gerçekleştirmiştir. 3. Sıradaki Hindistan, % 5,3 artışla 8,6 milyon ton ham çelik üretmiştir. Ekim ayı itibari ile İran ham çelik üretimi % 24,2 oranında farklı bir artışla 1,98 milyon tona ulaşmıştır. İlk 10 aylık dönemde Amerika’nın ham çelik üretimi % 3,9 oranındadır. Rusya ham çelik üretimi %3 oranında artış göstermiştir. Ukrayna üretimi azalarak % 10,9 oranında gerilemiştir. Ukrayna ham çelik üreten ilk 20 ülkenin arasından üretiminde en fazla düşüş olan ülke konumunu korumuştur.

Bu dönemde ilk 10 çelik üreticisi içerisinde, üretimindeki en çok artış % 13,3 oranı ile Türkiye’de gerçekleşirken, Brezilya % 8,5 seviye ile ham çelik üretim oranını en çok yükselten ikinci ülke konumundadır. Bu dönem içerisinde ilk 20 ülkenin arasında bulunan

Vietnam'a ait ham çelik üretimi % 88,8 seviyesinde ani bir artış eğilimini sürdürmüştür. Bu dönemde Polonya'nın ham çelik üretimi % 17 seviyesinde artmıştır. İlk 10 aylık dönem arasında Asya bölgesinin üretimi % 6 artış göstermiştir. Üretim 975,2 milyon ton gerçekleşmiştir. Avrupa Birliği üretimi % 3,7 artış ile 140,7 milyon ton, Kuzey Amerika bölgesinin üretimi % 4,1 seviyesinde artış ile 96,4 milyon ton, Bağımsız devletler topluluğunun üretimi % 0,4 artış ile 85,2 milyon ton dolayında gerçekleşmiştir. Bu dönemde Orta Doğu, ham çelik üretiminde % 20,9 artış ile 17,9 milyon ton düzeyinde yükseliş gösteren İran'ın katkısıyla % 13,3 düzeyinde artış ile 27,2 milyon tona ulaşmıştır [4].

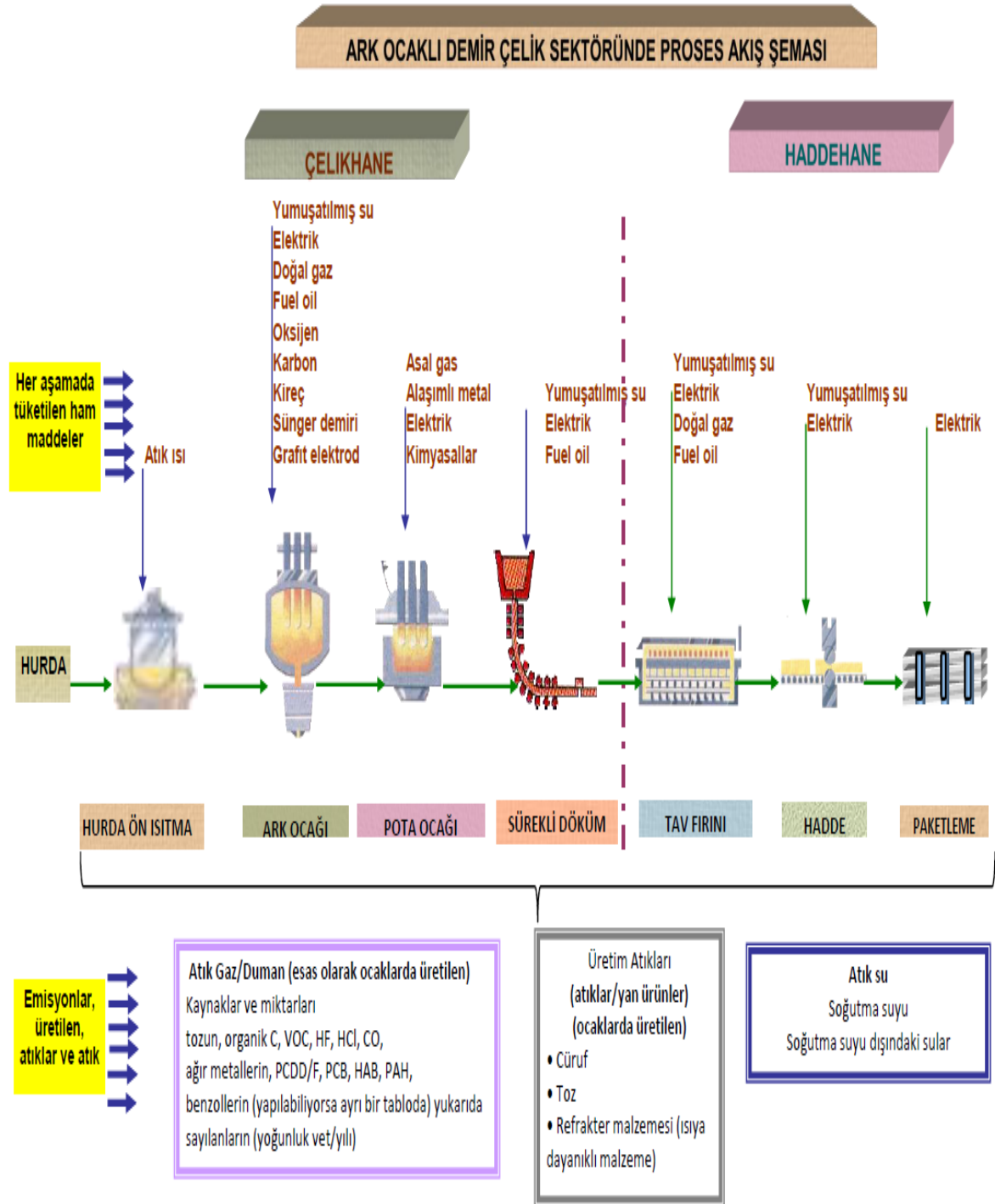
Türkiye çelik sektöründe, 2012 ile 2015 arasında yaşamış olduğu azalmayı, kısmen toparlanmasına rağmen 2016 yılında kapatamadı. Türkiye ham çelik üretiminde, 2012 ile 2015 dönemi arasında % 12'lik düşüş sonrasında 2016 yılı itibariyle yükselişe geçti ve % 5,2 artış ile 33,2 milyon ton seviyelerine ulaşmıştır. Artıştaki bu gelişmeye rağmen, ham çelik üretimi 2012 yılındaki yüksek oranın %7,6 aşağısında kalmış bulunmaktadır. Üretimin bu artışı ile çelik sektörü kapasitesinin kullanımı 2015 yılında % 62,5'tan % 64,4 seviyesine çıkmıştır. Bu gelişmeye rağmen, 18 milyon ton kurulu kapasite oranı kullanılamamıştır.

2016 yılı itibariyle, özellikle yılın son 6 aylık düşüş seyrine rağmen, çelik kullanımındaki azalış % 0,9 seviyesindedir. 2012 ile 2016 döneminde, Türkiye'deki çelik kullanımı % 21 düzeyinde ciddi bir artış göstermiştir. Üretimde ise % 7,6 düzeyinde düşüş göstermiştir. Bu dönemde, ihracat % 18 düzeyinde azalmıştır. Buna rağmen, ithalat % 50 artmıştır. 11,8 milyon ton düzeyinden, 17,5 milyon seviyesine ulaşmıştır [5].

Türkiye'de katma değeri yüksek ürünler üretilmesi gerekmektedir. Bu konuda ciddi bir ilerleme kaydedilememiştir. Vasıflı çelik, paslanmaz çelik, alaşımlı çelik ve yapı çeliği gibi ürünlerin üretimi çok önemlidir, Bu ürünler katma değeri yüksek olmakla beraber dış ticaret açığımıza fayda sağlayıp dış ticaretteki açığı azaltıcı yönü vardır. Otomotiv sektörü ile beraber beyaz eşya ve makina imalat gibi sektörler ilerleyerek milli gelirimizi artırmayı sağlayacaktır.

2.1.1. Üretim süreçlerini gösteren diyagram ve teknikleri

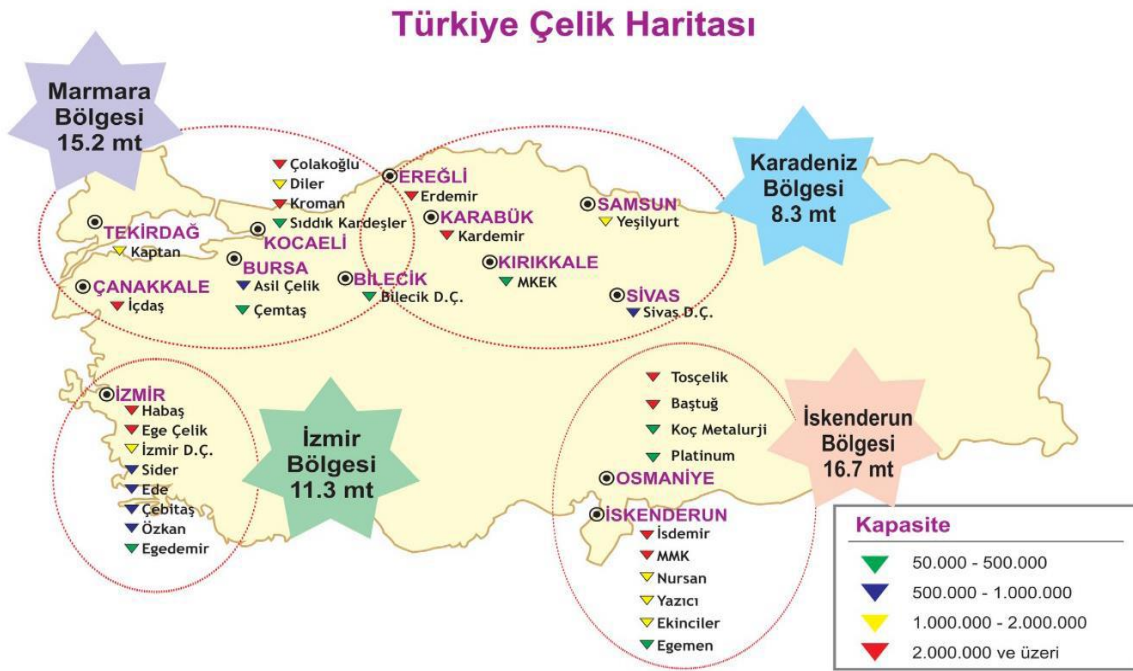
Elektrik ark ocaklı (EAO) çelik üretim tesisinde hammadde ile mamül arasındaki akışı gösteren diyagram Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1 EAO tesislerinde kütle akış tablosu [6].

2.1.2. Ham çelik üreten tesislerin bölgesel durumu ve toplandıkları noktalar

Türkiye’de hammadde olarak ham çelikten son ürün üretimi yapan fabrikalar Ege bölgesi, Marmara bölgesi, Akdeniz bölgesi, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde üretim faaliyetleri gerçekleştirmektedir. Üretim yapan tesislerin çoğu Ege bölgesi, Marmara bölgesi ve Akdeniz bölgelerinin sahil kısmında bulunmaktadır. Türkiye’de demir-çelik sektöründe ortalama 150 firma faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Bunlar arasında üretim kapasitesi 50 000 ton ile 3 500 000 ton arasında bulunan 27 Ark Ocaklı üretim tesisleri bulunmaktadır. Toplam kapasiteleri 12 500 000 ton olan üç adet entegre çelik üretim tesisi bulunmakta. Geriye kalan tesisler haddehane tesisidir. Çelikhanelerden aldıkları kütük demirleri köşebent, profil, nervür ve düz inşaat demiri haline getirerek üretim yapmaktadır [7].



Harita 2.1. Türkiye’deki çelik üreticilerini gösteren harita [4].

Demir çelik üreten tesislerdeki fabrikaların çıkarmış olduğu baca gazı atıkları, iklim değişikliği üzerinde etkisi çok yüksektir. Sektördeki kullanılan teknoloji ile CO₂ emisyonunu düşürmek çok mümkün görünmemektedir. Bundan dolayı firmalar, araştırma ve geliştirme faaliyet alanlarını emisyon değerini düşürmek için ve kullanılan enerji

miktarını azaltmak yönündeki teknoloji sistemlerini geliştirmek üzere çalışmalar yapmaktadır [8].

2.1.3. Demir-çelik sektöründe maliyet kalemleri

Dünyadaki ham çeliğin üçte ikisi tam entegre üretim tesislerinde cevherden ve üçte biri elektrik ile (yani yarı entegre üretim tesislerinde) hurdadan üretilmektedir. Elektrik enerjisi hammaddeden sonra en büyük maliyet kalemidir [9]. Türkiye’de demir çelik tesislerinde, büyük oranda dışarıdan ithal getirilen hurda, demir cevheri, taşkömürü kullanılmaktadır. Elektrik Ark Ocağı bulunan fabrikalarda girdi olarak tüketilen hurdanın %70 dolayındaki kısmı dış ülkelerden ithalat yoluyla elde edilmektedir. Türkiye 2016 yılı itibariyle 3,96 milyar dolarlık ithal hurda almıştır. Miktar olarak 17,72 milyon ton ithal hurda satın almıştır. İthalatın en fazla olduğu ülkeler Amerika, Rusya, İngiltere, Hollanda ve Belçika’dır. Cevherden üretim yapan fabrikalarda ise, hammadde girdisi olarak kullanılmakta olan taş kömürü ithalatı 497 milyon dolar ve miktar olarak 5,14 milyon tondur. Demir cevheri ithalatı ise 698 milyon dolar olup, miktar olarak 10,42 milyon ton ithalatı yapılmıştır [10].

Çizelge 2.1 ‘de Türkiye’de bulunan çelik fabrikalarına ait girdi oranları gösterilmiştir, OECD’ ye bağlı çelik komitesi de buna benzer bir çalışma yapmıştır. Komitenin yürüttüğü çalışmada Çizelge 2.2’de verilen yüzde değerlerine ulaşılmıştır. Özetlemek gerekirse cevher demir, entegre üretim tesislerde % 47,6 oranında maliyet kalemiyken, hurda demir ise ark ocaklı tesislerde toplam maliyet içerisinde % 75,5 oranındadır.

Çizelge 2.1. Demir çelik sektöründe girdi oranları [11].

Girdi ürünler	Elektrikli Ark Ocağı (EAO)		Cevherden üretim yapan Entegre fabrikalar (BOF)	
	Yerli kaynak (%)	İthalat (%)	Yerli kaynak(%)	İthalat (%)
Demir-Hurda	29	71		
Demir-cevher			41	59
Koklaşabilen Taş Kömürü			10	90

Çizelge 2.2. Entegre tesis ve elektrik ark ocağı bulunan tesislerde maliyet kalemleri (% Genel maliyet içerisindeki oranı) [10].

	Entegre tesis	Ark Ocağı
Cevher Demir	47,6	
Koklaşabilir Taş Kömürü	25,7	
Hurda demir	13,1	75,5
Hammadde toplamı	86,4	75,5
Enerji payı	2,5	9,9
Tüketim harcamaları	14,7	10,1
Servis giderleri	8,2	4,4

Entegre üretim tesislerinde 1 ton demir üretmek için en fazla maliyet düzeyini Avrupa ülkeleri bulmaktadır. Çin, Türkiye Avrupa'ya göre daha düşük seviyededir. En az maliyet Rusya'dadır.

2.1.4. Demirçelik sektörünün enerji ve hammadde kullanım oranları

Yoğun enerji kullanımı olan sektörlerden demir çelik tesislerinde, üretim yapmak için gerekli olan temel hammaddeler üretim yöntemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Ekonomik açıdan üretimi etkileyen bu hammaddelerin tüketimi Çizelge 2.3 ve 2.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Demir-Çelik tesislerinde tüketilen enerji kalemleri [10].

Enerji Tüketimi	BOF'lu Tesisler (1 ton ham çelik)	EAO'lu tesisler (1 ton ham çelik)
Elektrik enerji tüketimi	%5	%65
Doğalgaz kullanım miktarı	%15	%30
Motorin kullanım miktarı	-	%5
Kömür kullanım miktarı	%75	-
Petrol kullanım miktarı	%5	-
Maliyet içerisindeki payı	%20	%15
Toplam; Mcal cinsinden	5450	570

Çizelge 2.4. Demir Çelik fabrikalarının Hammadde Tüketim miktarı [11].

Hammadde Tüketim	BOF'lu Tesisler (1 ton ham çelik)	EAO'lu tesisler (1 ton ham çelik)
Hurda (kg) olarak	-	1150
Cevher (kg) olarak	1500	-

2.1.5. Sektörün elektrik enerjisi tüketimi

Türkiye’ de 2011 yılı itibariyle sektörlerde toplam 16004 Tep (ton eşdeğer petrol) enerji kullanmıştır. Bu oranın 8011’i sanayide tüketilirken, demir-çelik sanayi 1734,3 Tep enerji kullanmış bulunmaktadır. Enerji miktarını çok kullanmakta olan demir çelik sanayisinin 1734 Tep, Türkiye’de tüketilen toplam enerjinin içindeki payı yaklaşık olarak % 5 oranındadır. Sanayide tüketilen enerji içerisindeki oranı % 22 dolayındadır. Ark ocağı bulunan demir çelik sektörü içerisinde enerji tüketim miktarının % 65’lik kısmı elektrik enerjisi , % 30’luk kısmı doğalgaz enerjisi % 5’lik kısmı petrol, entegre üretim yapan fabrikaların ise, tüketilen enerji miktarının % 75’lik kısmı kömür, % 5’liki kısmı elektrik, % 5’i petrol ve % 15’lik kısmını doğalgaz oluşturmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın istatistik veri sonuçlarına göre demir çelik sanayinde Tep (ton eşdeğer petrol) cinsinden tüketilen elektrik enerjisi değerleri Çizelge 2.5’te verilmiştir [8].

Çizelge 2.5. Demir-Çelik Sektörünün Elektrik Tüketim Miktarı [8].

2011 yılına ait elektrik tüketim miktarı	
Toplam olarak enerji tüketim miktarı	16004,6 TEP
Sektörlerin toplam enerji tüketim miktarı	16004,6 TEP
Sanayideki tüketim miktarı	8011 TEP
Demir-çelik sektörü tüketim miktarı	1734,3 TEP

2.2. Enerji Yönetimi Sistemi ve Enerji Balans Durumu

Demir çelik üretimi yapan üretim tesisinde enerji üretimi ve tüketim birbiri ile yakın ilişkilidir. Enerji yönetim sistemi noktası enerji merkezi olarak bilinen yer olmalıdır. Fabrikada üretilmekte olan ve harcanan tüm enerji bu noktadan yönetilmelidir. Üretim prosesi esnasında çıkan gazların, kullanılması işletmenin içinde bulunduğu şartlara göre değişmektedir. Az bir kayıp ile çıkan enerjinin kullanılması, maliyet açısından ve enerji tüketimi açısından çok önemlidir. Enerji merkezinin görevleri içerisinde enerji yönetim sisteminin oluşturulmasının yanında harcanan enerjinin takibi bulunmaktadır. Enerji tasarrufuna yönelik yeni teknoloji sistemlerin takip edilmesi önem arz etmektedir [12,13]. Yukarıda belirttiğimiz çıkan gazların tekrar kullanımı ve yanmanın verimliliğinin sağlanması gerekmektedir. Emisyon değerleri ile prosesin takibi ve otomasyon sistemlerinin uygulaması ile atıkların geri kazanımı hususunda gereken gayret gösterilmelidir. Demir çelik üreten tesislerimiz enerjiyi daha etkin kullanmalı ve fiyatı daha ucuza enerji sağlamak amacı ile otoprodüktör ve kojenerasyon düzeyinde enerji üretim tesisleri kurmaktadır. Demir çelik sektöründe son zamanlarda enerji yoğunluğu miktarını azaltmak için katma değeri yüksek olan ürünler üretmeye ağırlık verilmektedir [14].

2.2.1. Enerji merkezi noktalarının fonksiyonu;

2.2.1.1 Enerjiyi tek noktadan yönetmek

- İşletme içerisinde o anki şartlar çok iyi bilinmeli,
- Enerji denge noktalarında öncelikli olanlar tespit edilmeli,
- Enerjinin üretimi ve tüketimi ayarlanıp maliyetler kontrol altında tutulmalı,
- Enerji sağlayan ekipman kontrolü yapılmalı,
- Enerjinin kalitesi ve kontrolü sağlanmalıdır,

2.2.1.2 Elektrik enerjisi üretiminin enerji merkezinden yönetimi.

2.2.1.3. Bilgiyi yönetmek,

- Üretim prosesi ve uygulamalar ile ilgili bilgi,
- Enerji üretimi ve tüketim için bilgi,

2.2.2. Enerjinin kontrol edilmesi nasıl olmalıdır.

- Ölçümleri ve verileri elde etmek için sistem kurulmalı,
- Elde edilen değerler analiz edilmeli ve saklanmalı,
- Verimlilik ve harcanan enerji değerlendirilip yorumlanmalı,
- Yönetici grup tasarrufa dönük bu çalışmalara destek vermeli,
- Enerji tasarrufunun önemi çalışanların hepsine anlatılmalı,
- Çalışan sınıfının enerji tasarrufuna katkısını sağlamak için yöntemler geliştirilmeli.
- Tasarruf için hedeflerin tespiti yapılmalı.
- Ürün kalitesini etkileyecek yapılacak iyileştirme çalışmaları belirlenmeli,
- Çalışılan ortamın sağlıklı olması sağlanmalı,
- Tasarrufa yönelik bir plan yapılmalı ve uygulanmalıdır. Bu hedefe ulaşmak için her aşamada kontroller sağlanmalıdır. İstenilen hedefe ulaşılmamış ise düzenleyici faaliyetler belirlenmelidir.

2.2.3. Dışarıdan aldığımız enerjinin miktar ve maliyetini azaltmak

- Enerji tüketimini azaltmak,
- Elektriğin yükünün ayarı ve düzenli elektrik.

2.2.4. Yakıtın önemi;

- Petrolün kullanımından ziyade doğal gaz ve kömür kullanmak,
- Bu kullanım sırasında mümkün olan optimum düzeyde yakıt balansının sağlanması için tüketimin kontrol edilip takip edilmesi gereklidir.

2.2.5. Enerjinin sağlandığı santralleri verimli olarak çalıştırmak

- Santralde bulunan ekipmanların yeni ve verimli çalışıyor olması gerekli,

- Oksijen tesisleri ile buhar üreten sistemlerin veriminin artırılması,
- Hava üreten ekipmanların'da modernizasyonun yapılması gereklidir.

2.2.6. Enerjinin gereken miktarlarda kullanımın sağlanması

- Dönen ekipmanlarda hız kontrolü yapılmalı,
- Yanma ekipmanlarının kontrolü yapılmalı,
- Soğutmada ve ısıtmada ısılar optimize edilmeli,
- Aydınlatmanın kontrolü sağlanmalıdır.

2.2.7. Enerji kayıplarının önlemi

- Yalıtım sağlanmalı, fırınlardaki kayıplar önlenmeli,
- Enerji hattı boruları modernize edilmeli,
- Kaçaklar tespit edilip önlem alınmalıdır.

2.2.8. Dışarıya atılan ısının ve enerjinin geri kazanılması

- Enerji geri kazanımını sağlayan sistemler kurulmalı,
- Kazanılan enerji verimli olarak kullanılmalı,
- Sistemlerin veriminin artırılması için sürekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

Türkiye’de sanayi işletmelerinde enerji yönetim sisteminin uygulanması, enerjinin muhasebesi ve enerjide tüketimlerin daima ölçmesini gerektirir. Ölçülen oranlar ve çalışmalar ile fikir sahibi olunur. Fabrikadaki ölçülen enerjinin değerini benzer işi yapan işletmeler ile ülkedeki ve dünyadaki diğer işletmelerin değerleri ile karşılaştırmak gerekir. Yapılması tasarlanan yeni yatırımlar için enerjiden verimlilik sağlayan ve enerji tüketim oranları düşük prosesleri tercih etmek gerekir. Sanayi işletmelerinde, başarı ile uygulayabileceğimiz bir enerji yönetim sistemi oluşturmak için göz önünde bulunduracağımız uygulamalar aşağıda özetlenmiştir:

- Kazanlar, fırınlar, hava sağlayan kompresörler ve üretimi sağlayan ekipmanların verimlerinin yükseltilmesi,
- Elektrikle çalışan motor ve sürücüler ile, soğutmayı sağlayan sistemler, haddehane tezgâh sistemleri vb. enerjiyi fazla harcayan ekipmanların daha verimli kullanımının sağlanması ve tüketimlerin switch kullanımı ve vanalar ile istenilen düzeyde tutulması,
- Fanlar ve pompa sistemlerinin frekanslar ile kontrol edilmesi ve çalıştırılması, doğal havalandırmanın ve aydınlatmanın kullanılması,
- Aşırı güç tüketen yerlerin daima otomasyon ve gelişmiş sistemlerle kontrolü sağlanmalı,
- Enerji en ucuz yollu kullanılmalı, elektrik yükünün kontrolü sağlanmalı,
- Kojenerasyon sistemleriyle enerjiyi üretmede verimlilik sağlanmalı,
- Sanayi tesislerindeki üretim yapan makineler bakımları yapılarak hazır durumda tutulmalıdır. Ekipmanların mümkün olan optimum çalışma modlarında tutulması gerekir.

Yukarıda belirtilen çalışmalar, sanayi tesislerinde enerjiyi verimli kullanmak için vazgeçilmez hususlardır. Bunların gerçekleşmesini sağlamak için aşağıda belirtilen çalışmalar çok büyük önem arz etmektedir:

- Sanayideki işletmelerde enerjinin verimliliğini sağlamak için uygulanabilecek noktalar tespit edilmelidir. Bunun için sürekli enerji tüketimi değerleri ölçülmelidir.
- Enerjide verimliliği sağlayan uygulamalara ait plan yapılmalıdır.
- Enerji verimliliği için yapılması gereken yatırımlara ait maliyet çalışmaları ve uygulanacak projelere ait geri ödeme süresinin tespiti yapılmalıdır.
- Yapılabilir olan ekonomik projelerin tasarım çalışması yapılmalıdır.
- Projenin uygulanması ve gerekli olan yatırım yapılmalıdır.
- Uygulanan enerji verimliliği yatırımına ait sonuçlar izlenmeli ve yapılan tasarruflar tespit edilmelidir.
- Başarı ile uygulanan yatırımların uygulamasının yaygın olarak kullanılması, aynı üretimi yapan işletmelerde bilginin paylaşılması gereklidir.

Enerjiyi yönetmek için yukarıda belirtilen ön çalışmalar yapılmalıdır. Daha sonra yapılan bu çalışmaları detaylandırarak incelemeler yapılır. Bu çalışmalar da çok büyük önem arz etmektedir. Etüt ile ilgili çalışmaları fabrikanın prosesini çok iyi bilen kişilere yaptırmak önemlidir. Yanlış yönlendirme sonucu boşuna zaman kaybı ve maddi kayıplar olabilir. Fabrikalar gibi işletmelerde verimliliği sağlayan uygulamaların bazıları yatırım yapmaksızın alışlagelmiş alışkanlıkları değiştirmek ile gerçekleştirilebilir. Yapılan iyileştirme çalışmalarının boyutuna göre %10'a varan tasarruflar sağlayabilmektedir. Geri dönüşüm maliyeti yüksek bazı yatırımlarda, bunların geri kazanım süresi 6 aydan 2 yıla kadar değişir. Dünyada bu süreler daha uzun olabilmektedir [15].

2.2.9. Enerji balans durumları

Demir çelik tesislerinin enerjinin tüketimi konusunda en büyük paya sahip olduğu daha önce belirtilmişti. Bundan dolayı bu tesislerde tasarruf potansiyeli diğer sektörlere göre daha yüksektir. Türkiye'de ortalama üretilen 22 milyon ton/yıl demir çeliğin 16 milyon tonluk kısmı ark ocağı bulunan fabrikalarda üretilmektedir. Ark ocağı bulunan tesislerin alaşımli çelik ve yassı mamul gibi katma değeri yüksek ürün üretmesi, ayrı bir yatırım gerektirir. Ark ocaklı tesislerin yatırım maliyeti cevherden üretim yapan entegre tesislere göre çok daha düşük olmasından dolayı ark ocaklı tesisler ülkemizde daha fazla tercih edilmektedir.

Proses sırasında oluşan kimyasal reaksiyon yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Oluşan bu atık ısının kullanımının sağlanması ve yalıtımların iyileştirilmesi ile enerji tüketiminde düşüş sağlanabilir. Ergitme sırasında birtakım kimyasal ısı takviyesi ile elektriğin verimli olarak kullanımının sağlanması yapılmaktadır. Bu sayede, üretim süresi kısaldığından dolayı enerji tüketimi düşmektedir. Ark ocağı bulunan tesislerde tüketilen enerji miktarını düşürmek için aşağıdaki hususlar önemlidir:

- Ark ocaklarının gövde ve kapaklarının su boruları ile soğutulması suretiyle ocaklar daha tasarruflu çalıştırılmış ve verim sağlanmış olur.
- Eski yolluk sistemli ark ocakları, delikli olarak dizayn edilerek cüruf olmadan döküm sağlanmış olur.

- Pota ocağının kullanılması, elektrik ocaklarının yalnız eritme amacıyla kullanılmasını sağlayarak dökümden döküme olan sürenin kısılması sağlanır.
- Önceleri eritme işlemi yalnız elektrik enerjisi ile yapılmaktaydı. Şimdi brülör sistemi kullanılarak kimyasal ısı desteği ile dökümden döküme geçen süre düşürülmektedir.
- Cürufun köpürme uygulaması sayesinde enerjinin çelik içerisine iyice geçişi sağlanır.
- Çeliğin erimesi sırasında oluşan atık ısı enerjisi ile hurdanın bir miktar ısıtılması sağlanabilir.
- Trafolarda yapılan modernize çalışmaları ile daha güçlü ve etkin çalışmalar yapılabilir. Trafoların UHP (ultra high power) gücü artırıldığı takdirde daha yüksek enerji ile çalışma sağlanır.

Enerji tasarruf çalışmasının yapılabilmesi açısından kütle ile enerjinin balansının hesaplanması ve tesiste tasarruf potansiyel noktalarının tespit edilmesi gerekir. Örnek olarak ark ocağı bulunan bir demir çelik tesisinde enerjinin ve kütlelerin denklik hesaplamaları şu şekilde yapılabilir. Örnek çalışma için; 100 ila 1400 °C için ortaya çıkan gazlara ait sıcaklıklar ve CO, CO₂, O₂ miktarı ölçülmüş ve atık enerjinin miktarı hesaplanmıştır. Girdi enerji, elektriksel ve kimyasal enerji toplamından oluşmaktadır. Giren enerjinin toplamı 700 kwh/ton değerindedir. Çeliğin içine aktarılmış enerji, toplam enerjinin % 63'ü olarak hesaplanmıştır. 700 kwh/t enerji miktarının %7 oranı ocak gövdesi ve kapağının soğutulması için kullanılan suya, %7'lik kısmı cürufufla birlikte kaybedilmektedir. %20'lik kısmı bacadan dışarıya atılmaktadır. %3'lük kısmı başka kayıplardan oluşmaktadır. Elektrik ark ocaklarında yapılan iyileştirme çalışmaları sonunda yukarıdaki hesaplamaya göre ile enerjinin %37'lik kısmı dışarıya atılmaktadır. Dolayısıyla, ön ısıtma sistemleri ile soğutma suyu ve baca gazı sistemlerinden oluşacak ısıyı diğer prosesler içerisinde kullanarak yüksek tasarruflar elde edilebilir.

Atık enerji miktarının %37'lik kısmının %15 oranındaki miktarı geri kazanılabilirse yıllık 1 milyon ton üretim gerçekleştiren EAO'lu tesis içerisinde 100 milyon kwh/yıl tasarruf edilecektir. Türkiye'de bu suretle yılda 1,6 milyar kwh/yıl tasarruf sağlanabilecektir. Enerji verimliliği ile atmosfere bırakılan CO₂ miktarı da daha az olacaktır [16].

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, ark ocaklı bir demir-çelik tesisinde enerji tüketiminin düşürülmesine yönelik çalışmalar tek tek maddeler halinde ele alınacak ve bu faaliyetlerin enerji tüketiminde sağladıkları tasarruflar tartışılacaktır.

Ark ocaklı çelik üretim tesislerindeki enerji tüketimini düşürmek için alınabilecek ve bu çalışma kapsamında tartışılacak müdahaleler şu şekilde sıralanabilir:

- Hurda ön ısıtma
- Isı takviyesi için brülör kullanımı
- Hurda eleme
- Ocak tabanından döküm alma
- Kaliteli hammadde kullanımı
- Su soğutmalı gövde kapak sistemi kullanımı
- Kömür tozu enjeksiyonu ve cürufle köpürtme.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ark ocaklı çelik üretiminde enerji tasarrufu sağlamaya yönelik yürütülen faaliyetler ve bu faaliyetler sonucu elde edilen kazanımlar aşağıda madde madde tartışılmaktadır.

4.1. Hurda Ön Isıtma

Elektrik ark ocağında mevcut süreyi azaltmak ve enerji tasarrufuna yönelik olarak hurdaların ön ısıtma sistemi ile, şarjın kısa süre içerisinde yapılması için ayıklanmış hurdaların hazırlanması ve uygun şarj yöntemi için mekanikteki gelişmelerin kullanılması yöntemleri uygulanmaktadır. EAO ile çelik üretiminde, harcanan toplam enerjinin % 15-20'si baca gazlarından ısı enerjisi olarak kaçmaktadır. Hurda ön ısıtma sistemi bu enerjiyi hurda ısıtmada kullanmaktadır. Isı geri kazanımı çelik üretiminde önemli rol oynamaktadır. Yüksek enerji çıkışları termal enerjiyi girdi olarak kullanmayı sağlamıştır [17].

Ön ısıtma ile 100 ile 500 °C derece arasındaki sıcaklığa ulaşan hurdanın EOA şarjı ile;

- 25-30 kWh/ton enerjiden tasarruf,
- 3-4 dakika dökümden döküme geçen sürede azalış,
- 0,2 kg/ton elektrot tüketim miktarında tasarruf ve
- Çelikte hidrojen kontrolü sağlanması gerçekleşmektedir.

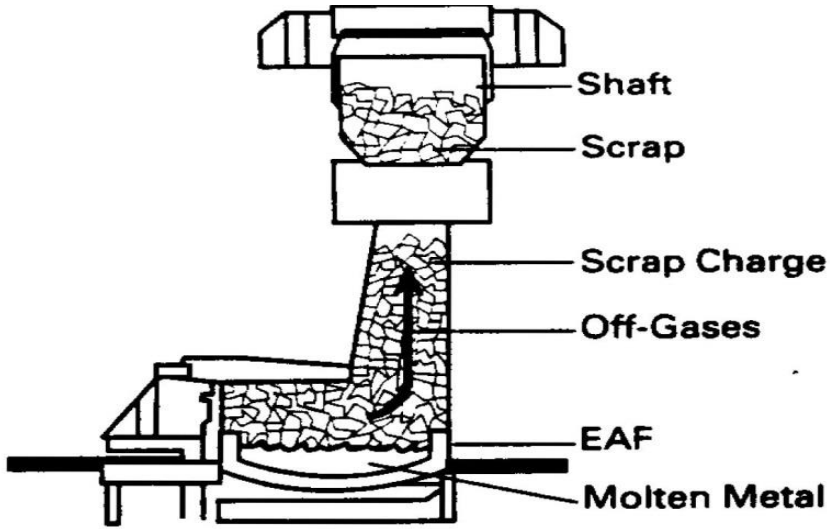
Türkiye'deki sanayi sektörleri, enerji tüketim miktarının ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı tasarruf çalışmalarında en başta yer almaktadır. Enerjinin çok kullanıldığı demir çelik fabrikaları bu sektörlerdendir.

Baca gazının içerisindeki ısı enerjisinden yararlanmak son yıllarda ortaya çıkmıştır. Enerji tasarrufu ve harcanan toplam enerji miktarını azaltması açısından bugün kabul gören yöntemlerdendir. Örnek verecek olursak hurdanın ön ısıtılması sistemi ile, elektrik ark ocağındaki ergitme prosesi öncesi hurdayı 300 ile 400 °C sıcaklığa kadar ısıtmak mümkündür. Bu değer tüketilen toplam enerjiyi 100 kWsaat /t sıvı çelik oranına düşürmektedir.

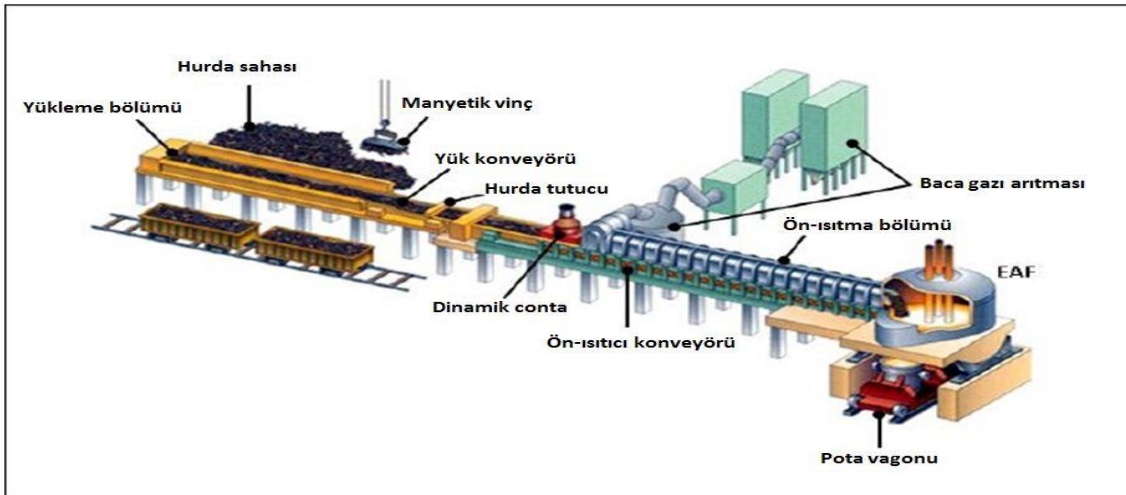
Ön ısıtma sistemleri hurda yüklemek için kullanılan sepetlerde veya EAO'ya yükleme için eklenen şaftta, ya da özel dizayn edilmiş sistemler ile sağlanmaktadır. Fosil bazlı enerji'de kullanılabilir.

Hurda ön ısıtma sistemi için kullanılan şaft sistemi zamanla geliştirilmiştir. 1988'de Fuchs Systemtechnik GmbH kova türünden hurdanın ön ısıtılması eksiklerini gidermeye yarayan bir dizayn yapmıştır. Fuchs sistemli hurda ön ısıtma şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bu tasarım sayesinde, hurdaların EAO'nin çatısının üzerinde konumlanmış bir şaft içinde doğrudan olarak yüklemesi sağlanmıştır. Bir şaft kullanılarak hurdanın tamamına ön ısıtma işlemi yapılabilir.

Şaftlı fırınların tasarımlarında avantajlı diğer sistem tırnaklı şaft fırın sistemidir. Tırnaklı şaftın avantajı benzeri olmayan bir hurda tutma sisteminin olmasıdır. Bu sistem hurdanın tamamının ön ısıtmasına imkan sağlamaktadır. Hurda sepetinin ön ısıtma işlemi yapılırken önceki ısıtma arıtım işlemleri yapılmaktadır. Yani, birinci hurda sepetinin ergitme işleminde 2. hurda sepetinin ön ısıtma işlemi yapılmaktadır. Tırnaklı ilk şaftlı fırın 1994 yılında Monterrey, Meksika'da işletmeye alınmıştır. EAO'dan ard arda döküm alınmasıyla, ark ocağında atık baca gazının kullanılmasıyla, ocağın şaftındaki hurda, eritmenin öncesi, 1000 °C sıcaklık değerine ısıtılabilir. Bunun sonucunda enerjiden ve maliyetten büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır. Bu da döküm süresinde kısalmaya yol açmaktadır. Hurdaların ön ısıtması sırasında çıkan emisyonların tamamı farklı ateşlemenin olduğu haznede yakılabilir. 2000 yılından sonra hurdaların ön ısıtma işlemleri yaygın şekilde kullanılmaya başlamıştır. Şekil 4.2'de hurda ön ısıtmalı con steel prosesi şematik olarak verilmiştir. Hurdalar vinçler yardımı ile konveyör sistemine alınmakta ve ocaktaki baca gazlarından alınan ısı ile işlem gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1. Fuchs sistemli hurdanın ön ısıtılma sistemine ait şema [6].



Şekil 4.2. Con steel prosesine ait şema [6]

Çevre ile ilgili sağlanan fayda:

Şaftlı ocakla 800 ile 1000 °C dolayında yüksek sıcaklıklarda hurdanın ön ısıtması elde edilir. Hurdanın ön ısıtılmasında, bilinen teknikler kullanmak suretiyle 70 ile 100 kWsaat/t değerinde enerjiden tasarruf sağlanabilmektedir. Bu değer harcanan elektrik enerjisinin hemen hemen %10 ile %25'i arasındadır. Dönüşüme uğramadan kullanılan birincil enerjinin, enerji kaynağının verimliliğini dikkate aldığımızda, elde edilen tasarrufun oranı yüksek değerlerde olabiliyor. Yukarıda belirtilen hurda ön ısıtma sistemleri ile, eritme sırasında daha az elektriksel enerjinin gerekmesinden dolayı döküm süresi de düşmektedir.

İleri teknolojili toz tutma tesislerinin kullanılmasıyla hurdanın ön ısıtılmasında sadece verimlilik ve üretimdeki artış ile değil, bunun yanında emisyon değerlerinin minimum değere inmesi bakımından da faydalar sağlanır. Hurdanın ön ısıtılmasının sonucu olarak tozun yaratmış olduğu emisyon ortalama %20 civarında düşürülür. Bacadan çıkan gazın hurdadan geçmesiyle hurda bir filtre gibi işlev görmektedir. Bunun sonucu olarak, hurdanın ön ısıtması işlemiyle, tozdaki çinko içeriğinin artışı beraberinde getirir. Bu da elektrik ark ocağına ait bacanın tozu içerisindeki çinkonun geri kazanılması yönünden avantajlıdır. Hurdanın beslemesine ait sistemlerin kullanılması ile hurdanın sıcaklığı yaklaşık 300 °C sıcaklık derecelerine kadar yükseltilebilir; bunun sonucunda ocağın verim değeri artmış ve enerjideki tüketim azalmış olur. Ayrıca, hurda ön ısıtma sistemlerinin kullanılması ile daha düşük gürültü seviyesi de sağlanmış olur.

Ergitme prosesi ile ortaya çıkan karbonmonoksit, hidrojen ön ısıtma sisteminde yakılır ve sonuç olarak karbondioksit ile su ortaya çıkar. Proseste devamlı olarak 800-1100 °C arasında kararlı bir sıcaklığın ortaya çıkması sağlanır [6].

4.2. Hurda Ön Isıtma Sistemine Ait İncelemeler

Bu çalışmada 150 tonluk ark ocağı sistemi incelenmiştir. Bu ark ocağında, 1 ton çeliği ergitmek için ortalama 380 kWh elektrik enerjisi tüketimi gerekmektedir. Hurda ön ısıtma sistemleri ile, hurda ortalama 200 - 400 °C sıcaklık aralığına kadar ısıtılabilir. Dolayısıyla ön ısıtma sistemi ile, sarf edilen elektrik enerjisi 350 kWh değerine kadar düşmektedir. Ton başına 30 kW'lık enerji düşüşü ile her dökümde 150 ton üretim yapan elektrik ark ocağında:

$30 \text{ kW} \times 150 \text{ ton} = 4500 \text{ kW}$ döküm başına tasarruf sağlanır.

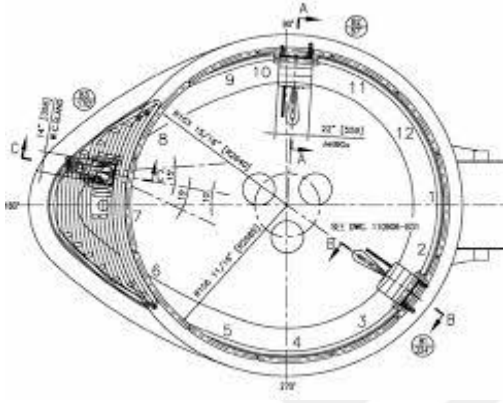
Şu anda 1 kW elektriğin 0,35 TL olduğunu varsayarsak;

$4500 \text{ kW} \times 0,35 \text{ TL} = 1575 \text{ TL/döküm}$ tasarruf sağlanır.

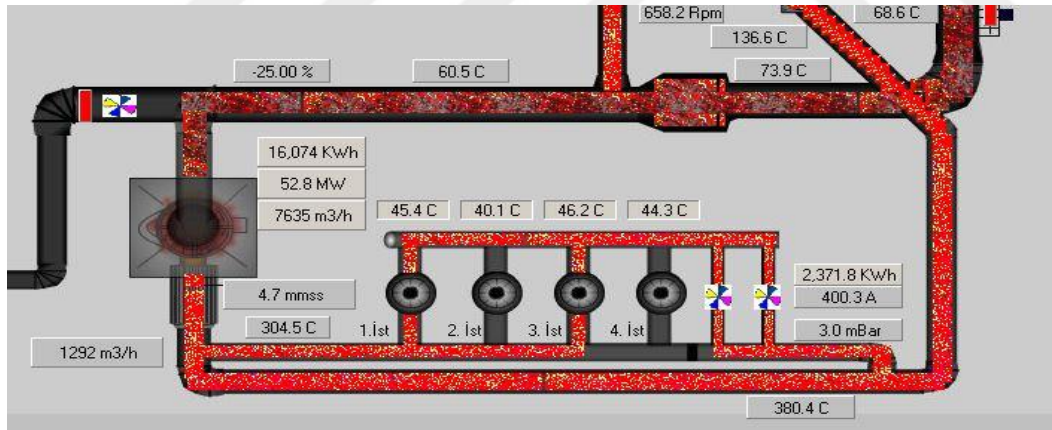
Günde 30 döküm olan bir elektrik ark ocağında $1575 \times 30 = 47\,250 \text{ TL}$ tasarruf elde edilir.

Aylık olarak hesaplandığında bu değer $47\,250 \text{ TL} \times 30 \text{ Gün} = 1\,417\,500 \text{ TL/ay}$ olarak bulunur. Ton başına işletme maliyetine bakıldığı zaman bu rakam çok ciddi bir kar sağlayacaktır.

Şekil 4.3'te bir ark ocağının şematik kesit görünüşü ve Resim 4.1'de ark ocağı genel görüntüsü verilmektedir. Şekil 4.4'te de bir ark ocağına ait hurda ön ısıtma sistemi görülmektedir. Şekilde ocağa giren davlumbaz sistemi ve ocaktan çıkan sıcak gazın geçtiği hat yer almaktadır.



Şekil 4.3. Ark ocağının kesit görünüşü

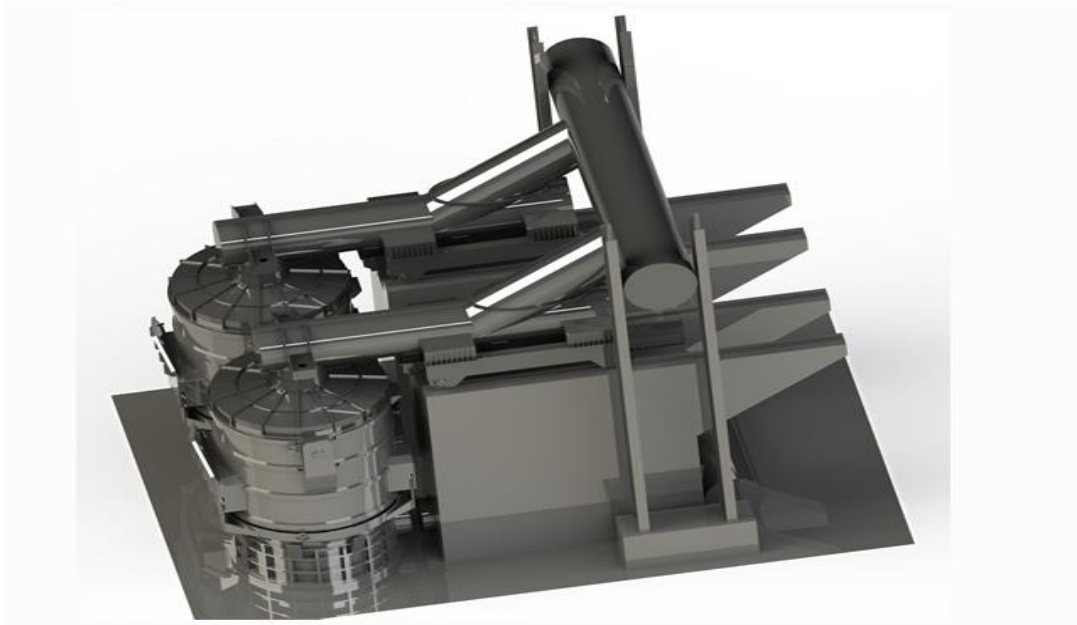


Şekil 4.4. Ark ocağı ve hurda ön ısıtma sistemi



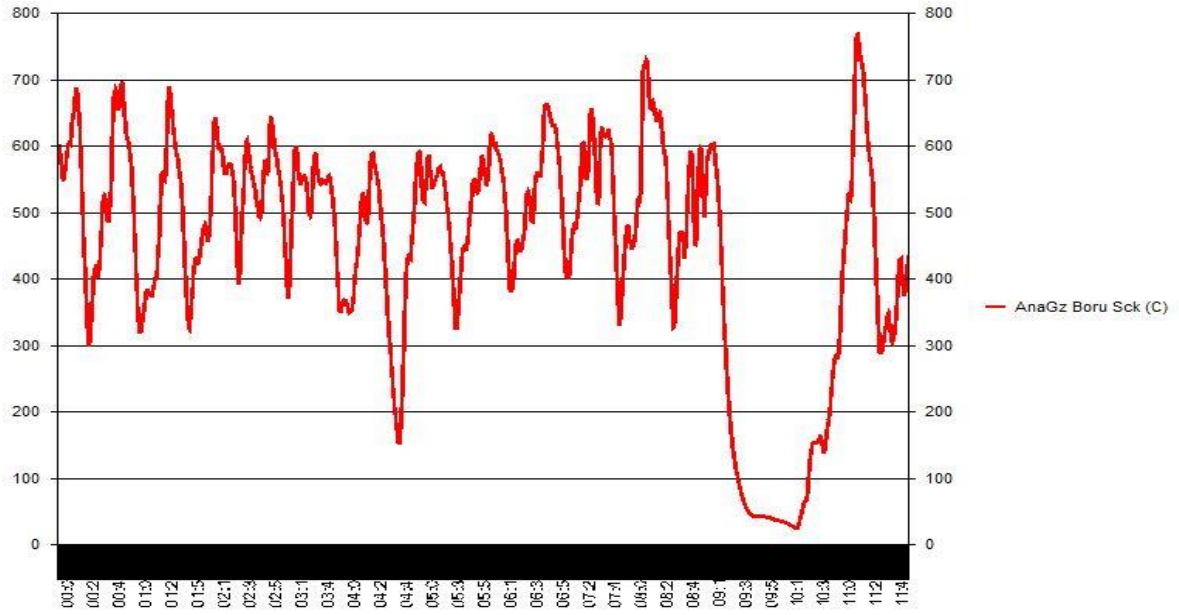
Resim 4.1. Ark ocağı genel görüntü resmi [6]

Resim 4.2 ark ocağı hurda ön ısıtma sistemini göstermektedir. Bu şekilde, ön ısıtma sistemi hattına bağlı hurda sepetleri ve hatlar görülebilir.

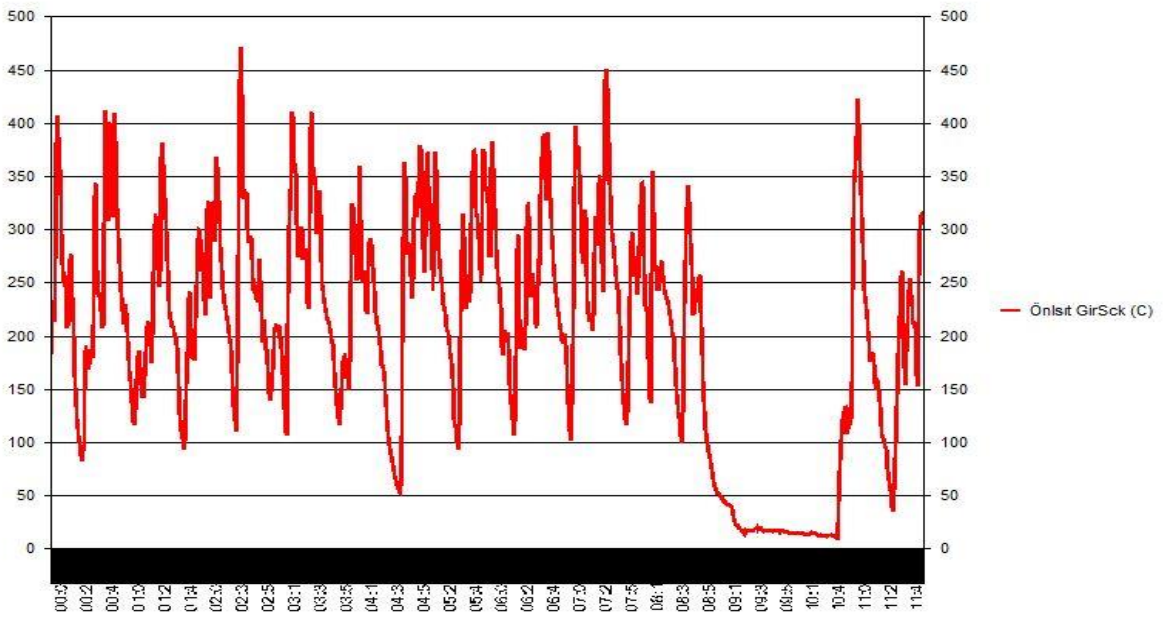


Resim 4.2. Hurda ön ısıtma sistemi [18].

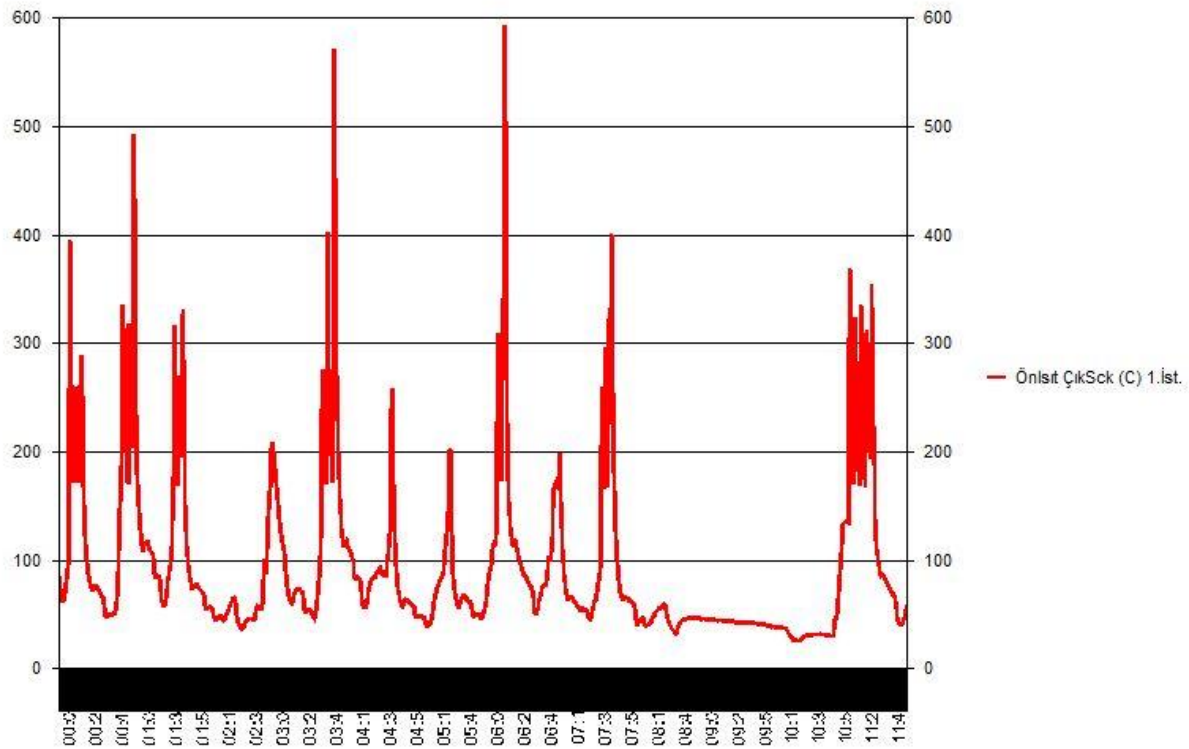
Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 de sırasıyla, ark ocağına bağlı ana hattın zamana göre sıcaklık diyagramı, ön ısıtma sistemine giren gazın sıcaklığının zamana göre değişimi ve Ön ısıtma sisteminden çıkan gazın sıcaklığının zamana göre değişimi verilmektedir.



Şekil 4.5. Ark ocağına bağlı ana hattın zamana göre sıcaklık diyagramı



Şekil 4.6. Ön ısıtma sistemine giren gazın sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil 4.7. Ön ısıtma sisteminden çıkan gazın sıcaklığının zamana göre değişimi

Ön ısıtma sistemi kullanımının getirileri:

Ön ısıtma sisteminin kullanılması ile dökümden döküme 3-4 dakikalık sürede azalma ile günlük ortalama 2 döküm fazla alınabilir. Her dökümden 150 ton döküm alan bir elektrik ark ocağında hurda ön ısıtmasız üretimde günde 30 döküm yapılırsa: $30 \text{ döküm} \times 150 \text{ t} = 4500 \text{ ton}$ çelik alınır. Bir ayda, $4500 \text{ ton} \times 30 \text{ Gün} = 135 000 \text{ ton}$ çelik üretilir. Eğer hurda ön ısıtma ile günde 2 döküm fazla alındığı zaman;

$32 \text{ döküm} \times 150 \text{ ton} = 4800 \text{ ton}$ üretim sağlanır.

Bu da ayda: $4800 \text{ ton} \times 30 \text{ Gün} = 144 000 \text{ ton/ay}$ yapar. Bu sayede ayda:

$144 000 - 135 000 = 9 000 \text{ ton}$ fazladan üretim sağlanır.

Elde edilen fazla üretim ve sağlanan avantaj ile ton başına proses maliyeti düşer. İşçilik maliyetleri, yedek parça, oksijen tüketimi ve diğer maliyetlerde de düşüş sağlanır. Ortalama 100 tonluk bir ark ocağını baz alırsak; hurda ön ısıtmasız 4 şarj ve hurda ön ısıtmalı 4 ve 3 şarj arasındaki enerji sarfiyatı farkı aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 4.1. Ön ısıtmasız 4 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler

HURDA ÖN ISITMASIZ 4 ŞARJ										
DÖK NO	ŞARJ SAYISI	ŞARJ TONAJ	1.öl	2.öl	3.öl	4.öl	Net Süre	Bürüt Süre	AO Enj	AO kwh/t
1	4	108,5	0	0	0	0	32	50	33.98	350,8
2	4	108,6	0	0	0	0	35	51	34.24	351,6
3	4	105,1	0	0	0	0	31	51	32.70	362,8
4	4	105,1	0	0	0	0	32	51	34.50	390,6
5	4	105,1	0	0	0	0	32	48	33.74	374,2
6	4	105,3	0	0	0	0	32	49	33.92	392,4
7	4	106,1	0	0	0	0	33	50	34.50	382,7
8	4	105,6	0	0	0	0	33	59	34.98	372,9
9	4	114,4	0	0	0	0	35	54	36.48	382,9
10	4	105,3	0	0	0	0	36	53	35.33	376,6
									34.44	374

Yukarıdaki çizelgeden görüleceği üzere hurda ön ısıtma sistemi olmadan; 100 tonluk bir ark ocağını baz aldığımızda ortalama 51-52 dakikada bir döküm alınıyor. Ark ocağındaki enerji sarfiyatı ton başına ortalama 374 kWh/t olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Ön ısıtılmalı 4 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler

HURDA ÖN ISITMALI 4 ŞARJ										
DÖK NO	ŞARJ SAYISI	ŞARJ TONAJ	1.öl	2.öl	3.öl	4.öl	Net Süre	Bürüt Süre	AO Enj	AO kwh/t
1	4	107,2	55	64	55	78	32	46	30.29	328,9
2	4	106,4	250	64	36	180	32	43	30.49	331,1
3	4	106,3	63	55	250	81	32	43	30.26	346,6
4	4	106,7	84	84	41	181	32	42	29.72	320
5	4	106,7	151	67	79	118	32	42	29.75	328,8
6	4	106,6	75	60	65	65	34	43	30.57	332
7	4	106,3	196	57	68	70	34	45	30.25	334,3
8	4	107,2	250	69	58	117	33	46	30.01	337,5
9	4	107,5	233	250	81	85	31	42	30.34	329,6
10	4	107,6	250	250	89	65	31	44	29.09	310,6
11	4	107,7	81	250	110	250	32	47	29.94	329,5
12	4	107,4	250	169	101	70	32	50	30.26	317,8
13	4	107,8	250	159	69	55	33	43	30.12	338,8
14	4	107,2	162	57	61	70	32	42	29.22	306,8
15	4	106,8	215	72	63	241	32	42	28.96	304,1
16	4	107,8	82	83	87	118	33	42	29.34	313,3
17	4	107,6	71	53	250	250	31	43	29.29	329,4
18	4	107,0	55	86	55	106	32	43	30.25	328,5
									29.900	326

Yukarıdaki çizelgede yine 4 şarjlı ve hurda ön ısıtma sistemli 100 tonluk ark ocağına ait enerji tüketim değerleri ve üretim süreleri verilmiştir. Ön ısıtma kullanıldığında ortalama 44 dakikada üretim alınmaktadır. Hurda ön ısıtma ile ark ocağındaki tüketilen enerjinin ortalama 374 kwh/t'dan 326 kwh/t değerine düştüğü görülmüştür.

Aylık kazanımı hesaplırsak: Ön ısıtmasız 4 şarjlı sistemde ton başına tüketim 374 kWh/t iken ön ısıtmalı ve 4 şarjlı sistemde ton başına enerji tüketimi 326kWh/t olmaktadır. Böylece, ön ısıtma ile:

$374 \text{ kWh/t} - 326 \text{ kWh/t} = 48 \text{ kWh/t}$ bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Ortalama günde 45 dakikada bir üretim alındığını varsayarak,

Arıza duruşu olmadan 32 döküm alınabilir.

$32 \text{ döküm} \times 100 \text{ ton} = 3200 \text{ t/gün}$

$3200 \text{ ton} \times 48 \text{ kWh/t} = 153\ 600 \text{ kWh}$

Elektriğin kW fiyatını 0,35 TL kabul edersek;

$153.600 \times 0,35 = 53\ 760 \text{ TL}$ günlük kar elde edilir.

$53.760 \times 30 \text{ gün} = 1\ 612\ 800 \text{ TL}$ aylık kar elde edilir.

Döküm zamanını 51 dakikadan 45 dakikaya düşürdüğümüzde günlük ortalama 4 döküm fazla alınabilir.

$4 \text{ döküm} \times 100 \text{ ton} = 400 \text{ ton}$ günlük fazladan üretim sağlanır.

Aylık $400 \text{ t} \times 30 \text{ Gün} = 12\ 000 \text{ ton}$ fazla üretim sağlanır.

Çizelge 4.3'de 3 şarjlı ve hurda ön ısıtma sistemli 100 tonluk ark ocağına ait enerji tüketimi değerleri ve üretim süreleri verilmektedir. Ortalama 39 dakikada bir döküm alınmaktadır. Ark ocağı enerjisi ortalama 310 kWh/t değerine düşmüştür.

$374 \text{ kWh/t} - 310 \text{ kWh/t} = 64 \text{ kWh/t}$ bir tasarruf sağlanmaktadır.

Ortalama 40 dakikada bir üretim alındığında günlük,

Arıza duruşu olmadan 36 döküm alınabilir.

$36 \text{ döküm} \times 100 \text{ ton} = 3600 \text{ ton/gün}$

$3600 \text{ ton} \times 64 \text{ kwh/t} = 230\ 400 \text{ kWh}$

Elektriğin kw fiyatını 0,35 TL kabul edersek;

$234\ 400 \text{ kWh} \times 0,35 \text{ TL} = 80\ 640 \text{ TL}$ günlük kar elde edilir.

$80\ 640 \text{ TL} \times 30 \text{ gün} = 2\ 419\ 200 \text{ TL}$ aylık kar elde edilir.

Döküm zamanını 51 dakikadan 40 dakikaya düştüğü için günlük ortalama 8 döküm fazla alınır.

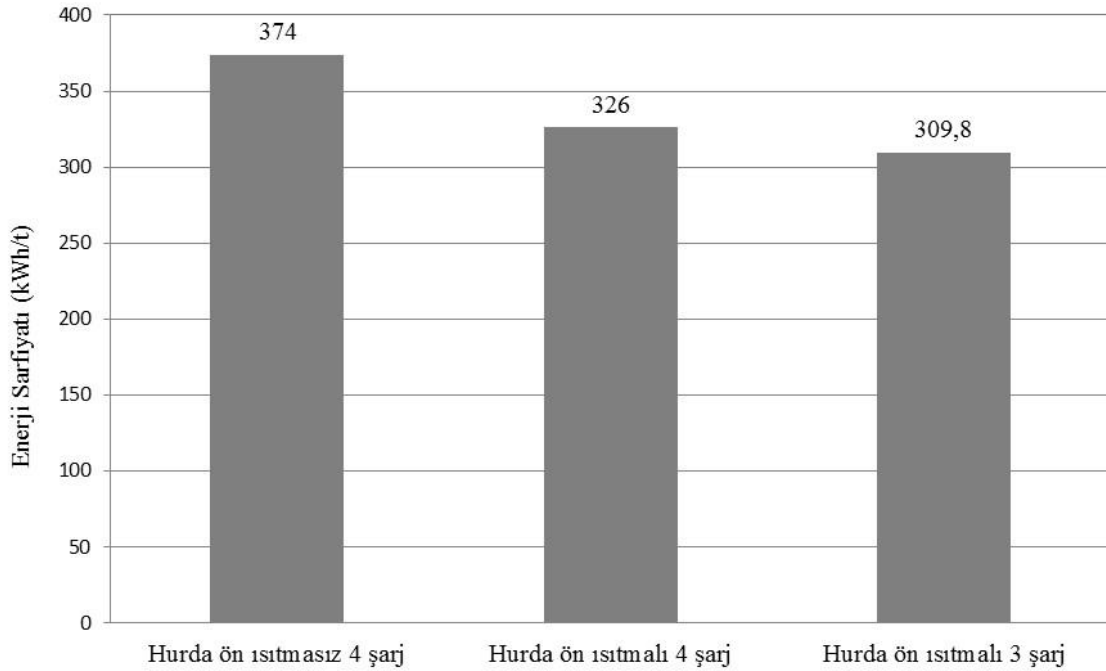
8 döküm x 100 ton = 800 ton günlük fazladan üretim sağlanır.

Aylık 800 t x 30 gün =24.000 ton fazla üretim sağlanır.

Çizelge 4.3. Ön ısıtmalı 3 şarjlı ark ocağında enerji ve süreler

HURDA ÖN ISITMALI 3 ŞARJ									
DÖK NO	ŞARJ SAYISI	ŞARJ TONAJ	1.öl	2.öl	3.öl	Net Süre	Bürüt Süre	AO Enj	AO kwh/t
1	3	107,4	101	108	97	32	41	30.62	332,8
2	3	106,6	97	105	81	31	39	29.59	321,6
3	3	106,2	250	71	86	30	38	29.04	315,7
4	3	106,8	250	234	69	29	37	27.87	292,8
5	3	106,8	219	69	112	31	50	29.70	322,8
6	3	107,3	250	250	69	28	36	27.18	287,2
7	3	106,4	212	77	67	29	37	28.50	316,1
8	3	106,6	250	226	75	28	36	28.43	312,5
9	3	106,8	206	72	163	28	36	27.42	304,1
10	3	106,5	250	179	117	28	36	27.38	302,3
11	3	106,4	109	81	91	28	36	28.11	309,1
12	3	107,4	222	130	85	28	37	28.89	314
13	3	107,2	204	193	69	30	40	28.06	296,5
								28.52	309,8

Şekil 4.8'den görüldüğü gibi 4 şarjda ön ısıtmasız enerji sarfiyatı 374 kwh/t iken ön ısıtmalı sistem ile bu enerji 326 kwh/t inmektedir. Hurda ön ısıtmada şarj sayısını 3'e düşürülerek bu değer 309 kwh/t'a kadar düşürülebilmektedir.

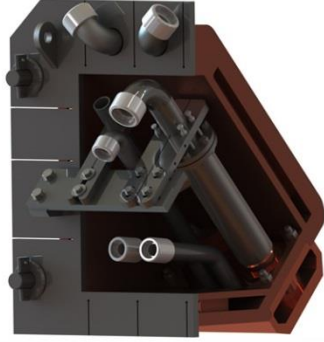


Şekil 4.8. Hurda ön ısıtmalı ve hurda ön ısıtmasız fırınlarda enerji karşılaştırılması

4.3. Brülör Sistemleri ve Uygulamalar

Elektrik ark ocaklarında üretim maliyeti ve verimlilik açısından brülör sistemleri önem arz etmektedir. Resim 4.3 ve 4.4'te sırasıyla bir brülör sistemi ve brülör sisteminin üfleme gösterilmektedir. Resim 4.6'da da bir ark ocağında kullanılan brülör sistemi gösterilmektedir. Oksijen ile çalışan yakıt brülör sistemleri hurdayı eritmek için destek sağlar. Yakıt brülör sistemi elektrik kaynağının üzerinde azami talebi denetlemek ve etkisini kısmen de olsa dengeleyebilir. Oksijen ile çalışan yakıt brülörler sistemleri ve oksijenin borusuna bağlanmış ilave enerji ile ihtiyaç duyulan enerjinin toplam miktarında çoğunlukla bir düşüşe sebep olur. Brülör sistemleri EAF toplam enerji girdisinin %30'una katkıda bulunur [19].

Brülörlerin sayısı ve açısı önemlidir. Brülörlerin verimli çalışması ile ark ocağının duvarlarının korunması ve elektrik enerji tüketiminin azalması açısından önemlidir. Daha güçlü brülör sistemleri ve güçlü oksijen üfleme ile elektrotlardan da tasarruf sağlanır.



Resim 4.3. Brülör sistemine ait görünüş [18].



Resim 4.4. Brülör sisteminin üflemesine ait görünüş

Brülör tipi ve kapasitesinin enerji sarfiyatındaki tasarruf üzerindeki etkisini belirlemek için günlük 150 ton üretim kapasitesine ait ark ocağında kullanılan 2 MW ve 1500 Nm³/h'lik brülör 4MW ve 2500Nm³/h'lik brülör ile değiştirilmiştir. Bu sayede, günlük döküm sayısı 27 den 30'a yükseltilmiştir.

Dökümden döküme geçen süre düşük kapasiteli brülörde $1440/27=53$ dakika iken, yüksek kapasiteli brülör kullanıldığında bu süre:

$1440/30= 48$ dakikaya kadar düşmüştür. Bu da günde 3 döküm fazla almayı mümkün kılmaktadır. Günlük fazladan alınan 3 döküm ile,
3 döküm x 150 ton =450 ton/gün olduğundan,
günde fazladan 450 ton döküm alınmaktadır.

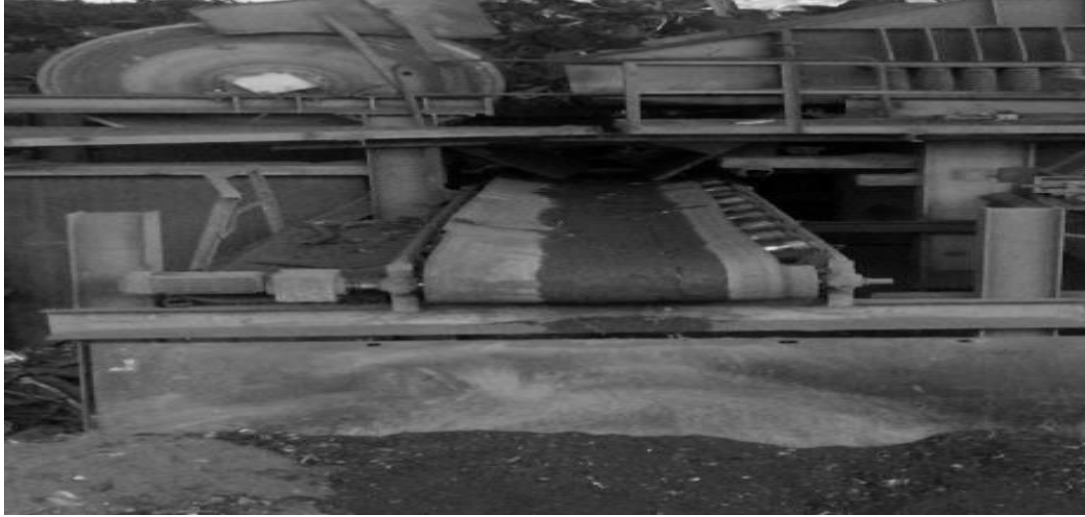
Aylık kazanım ise:

$450 \text{ ton/gün} \times 30 \text{ Gün} =13 \text{ 500 ton' dur.}$

Daha fazla kömür tozu ve oksijen üflemesi ile köpüklü cüruf oluşur ki bu da yüksek arkın çeliğin içinde kalmasını sağlamaktadır.

4.4. Hurda Eleme Sistemi

Resim4.5’de bir hurda eleme sistemi verilmektedir. Hurda eleme sisteminin kapasitesine göre mevcut topraklı hurdalar elenebilir. Böylelikle, daha temiz hurdanın ocağa girmesi sağlanır. Bu sistem ile elektrot kırılmaları ve refrakter sarfiyatı azaltılabilir. Enerji tüketimi düşürülür ve ayrıca dökümden döküme geçen süre de kısaltılabilir.



Resim 4 .5. Hurda eleme sistemine ait genel görünüş

Hurda eleme sistemi ark ocağının performansını artırır. Elektrot kırılmalarının azaltılması ark ocakları için çok önemlidir. Bu sistem kullanılmadan önce ayda ortalama 3 kez kırılan elektrot sayısı bu sistem ile beraber ayda 1’e düşmüştür. Bir elektrot kırıldığında birbirine bağlı 3 adet elektrot zarar görmektedir. Ark ocağı fırınının çatısında 3 adet elektrot deliği vardır. Şekil 4.9 ve Resim 4.6’da sırasıyla, üç fazlı bir elektrik ark ocağı şematik olarak ve bir ark ocağındaki elektrot sistemi görülmektedir. Eşkenar üçgen şeklindeki bu deliklere 3’er adet elektrot yerleştirilir.

1 kolonda 3 adet elektrot olduğunu düşünürsek ve her bir elektrodun 2 ton ağırlığında olduğunu varsayar isek,

1 ton elektrot ortalama 16 500 €

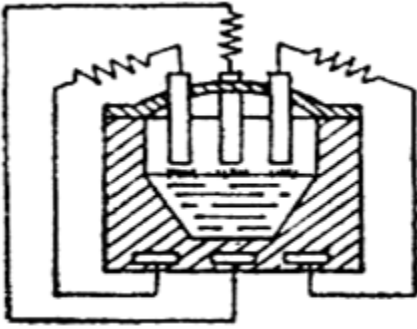
3 elektrot x 2 ton = 6 ton

3 (Aylık kırılma sayısı) x 3 elektrot x 2 ton x 16500 € = 297 000€ (Elek kullanılmadan önceki elektrot maliyeti)

Elek kullanımından sonra bu sayı 1'e düştüğü için,

1 (Aylık kırılma sayısı) x 3 elektrot x 2 ton x 16500 € = 99 000 €

Aradaki farkı düşünürsek; 297 000 – 99 000=198 000 € tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.9. Üç fazlı elektrik ark ocağı [20].



Resim 4.6. Elektrot sistemine ait görünüş [6]

Elektrot kırılması ile ortalama 40 dakika duruş olmaktadır. Kırılma sayısının 3 ten 1 e düşmesi ile;

$40 \times 2 = 80$ dakika üretim avantajı sağlanır.

45 dakikada 150 ton üretim alındığını düşünürsek, ayda 265 tonluk fazla üretim yapılır. Elektrot kırılmasının azaltılması döküm süresini kısaltmak ve maliyetleri düşürmek için önemli etkidir.

4.5. Ocak Tabanından Döküm Alma Sistemleri

Ark ocaklarının tabanından döküm almak, dökümün alınması esnasında potanın yükseltgenli cürufunun (tozutm) oranının minimum düzeye inmesine olanak sağladığı için günümüzde çok yoğun kullanılmaktadır. Bu uygulama aynı zamanda dökümü hızlı bir şekilde almak için de uygundur. Ocak tabanından döküm alınarak refrakter malzeme sarfiyatı düşürülerek maliyet tasarrufu sağlar ve kayıp enerji de azalır [6].

4.6. Hammadde Kalitesi

Enerji tüketiminde en önemli performans göstergelerinden biri, başka bir ifadeyle ton çelik için tüketilen enerji miktarını etkileyen faktörlerin en başında, hammadde kalitesi gelmektedir. Toprak, taş, beton ile kirletilmiş hurda, eriyerek, cüruf içerisine karışmakta, üretim hızını azaltıp, enerji tüketim miktarını yükseltmektedir. İçerisinde, Al, Cu, Zn, Pb vb. metallerin bulunduğu hurda, çelik kalitesini düşürücü etki yaratmaktadır. Lastik, kauçuk malzemeler gibi, yağlı ve boyalı ürünler içeren hurda da, çelik mukavemetini azaltıcı etkiler yaratmakta, ayrıca dioksin-furan gibi kalıcı organik kirleticilere yol açmaktadır.

Çelik sektöründe, hurda elemek ve ayırtırmak, kirli hurdanın olumsuz etkilerini gidermek için oldukça etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirli hurda kullanıldığında, enerji tüketiminde ton çelik başına 50-60 kwh artış tespit edilmiştir.

Üretilen her bir kalite ürün için hurda miktarı karışımı tesisten tesise farklılık gösterir. Hurda kalitesi ve hurdanın sepetler içine yerleşimi önem arz etmektedir. Hurda kalitesinin

düşük oluşu elektrot kırılmalarının yanında fırının duvarına zarar verebilir. Hurdanın elektrik ile çelik üretiminde maliyeti toplam maliyetin % 60 - 80 arasındadır [21].

150 ton/döküm üretim kapasitesine sahip ark ocağında yapılan çalışmaya bir örnek;

HMS1= Kaba kıyılmış Heavy Metal Scrap (Resim 4. 7'de gösterilmektedir).

Et kalınlığı zayıf olmayan 3mm'den daha yüksek

HMS2= Spesifik yüzey alanı artırılmış et kalınlığı 1-3mm arası olan ince kıyılmış hurda (Resim 4. 8'de gösterilmektedir).

HMS1 + HMS2 = Bir dökümdeki hurdanın toplamının %40'ı düzeyinde olması avantaj sağlamaktadır.



Resim 4.7. Kaba kıyılmış heavy metal scrap hurdasına ait görüntü

%20 düzeyinde kıyılmış hurda

%30 et kalınlığı 5-10 mm arası olan hurda

%10 piyasa hurdası

Döküm sayısını etkileyen bir diğer faktör hurdanın dökümdeki karışım oranıdır. Her fabrikanın ideal bir karışım oranı mevcuttur.



Resim 4.8. Daha ince kıyılmış heavy metal scrap hurdasına ait görüntü

4.7. Su Soğutmalı Gövde ve Kapak Sistemi ve Yüksek Güçte Maliyet (UHP)

Su soğutmalı paneller önemlidir. Ağır hurdalar bu panellere zarar verebilir. Duvar borularının kalınlığı ince hesaplanırsa su sızıntısı olabilir [10]. Fırın gövdesini korumak için fırın gövde ve çatısında su sirkülasyonlu soğutma panelleri kullanılmaktadır [22]. Çelik üreten ark ocaklarında üç fazlı alternatif akım kullanılmaktadır. 3 adet elektrot ile metal arasında elektrik arkı oluşmaktadır.

Su soğutması bulunan ark ocaklarında gövde ve çatılar, yüksek güce dayanıklı ve UHP (ultra high power) sistemli ileri teknolojili uygulamaların kullanılmasına imkan vermiştir. Dökümler arası süreyi kısaltmak amacıyla harcanan çaba yüksek güçlü ocak trafolarının kurulmasına imkan tanımıştır. UHP sistemiyle çalışma daha yüksek verimlilik ile, kullanılan elektrotun tüketim miktarında düşüş ve atık gazın miktarında azalma sağlar [6].

4.8. Kömür Tozu Enjeksiyonu ve Kabarık Cüruf

Elektrik ark ocaklı tesislerdeki çelik üretim proseslerinin önemli olan aşamalarından biri kömür tozu (karbon) enjeksiyonudur. Enerji tasarrufunun sağlanmasının dışında cüruf içerisindeki FeO'nun redüksiyonunun açısından da önemlidir [23].

Elektrikli ark ocak sistemleri 1950'lerden önce özel kaliteli ve alaşım içeren çelik üretimi için kullanılmaktaydı. O dönemler için maliyeti yüksek olan bir çelik üretim tesisiyken, ikinci dünya savaşının sonrasındaki dönemde geliştirilmiş olan ocaklarda arkın boyunun kısa olması ve trafoların gücünün yüksek olması sayesinde çelik üretiminde bazı avantajlar elde edilmiştir. Kullanılan elektrotların akımları kaldırarak düzeyde üretilmesi ile çeliğin ekonomik olarak üretimi mümkün olmuştur. Geçmiş yıllarda büyük alanlı ve kurulum maliyeti yüksek, cevherden çelik üreten entegre tesislere alternatif ark ocaklarının başlangıcı bu dönemdedir. Başlangıçta fazla akımla çalışmak avantajlı olsa da, sıvı çelikle çalışma ile düşük akımlara inilmesine rağmen enerji, refrakter ve elektrot tüketimi fazla olmaktaydı. Yüksek akımla çalışmak ark ocağı işletmecilerinin daima optimum seviyede tutmaya çalıştıkları bir iş olmuştur. Örnek vermek gerekirse uzunca bir zaman arkın getirmiş olduğu kısa ve az maliyetli hurdayı eritme avantajlarından faydalanmak için eritme sırasında az akımla, uzun arkla çalışma tercih edilmiştir.

Elektrik ark ocaklarının daha fazla verimle çalışmaları ocak panellerinin suyla soğutma sistemli olanlarının faaliyete girmesiyle çoğalmıştır. Refrakterin harcanması azalmıştır. Bu şekilde tasarruflar sağlanmıştır. Daha sonra yüksek güç faktörünün ve uzun arklar ile çalışma elektrotun tüketiminde azalma ve hurdanın çabuk bir şekilde erimesine olanak sağlamıştır. Bu işlemler elektrikli ark ocaklarının gelişmesinde önemli basamak taşıyıcı olmuştur. Uzun arkla çalışmak arkın istikrarının sağlanabilmesi ve uzun arkın sebep verdiği enerjiden kayıplar ile yansımaların sonucunda suyla soğutmalı panellerin ve refrakter malzemenin üzerine fazla ısı ele alınması gerekli konulardan biri haline gelmiştir. 1970'lerde Japonya ile başlayan, daha sonra 1980'lerde Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak kullanılmaya başlayan karbonla enjeksiyon ve kabarık cüruf çalışmalarını elektrik ark ocağının teknolojisindeki uzun arkın eritme ve ısıtma süreçlerinde sağlıklı bir halde kullanımını mümkün kılmıştır. Karbonla enjeksiyon sistemi ile cürufu köpürmek elektrik ark ocağı çalışmalarında sürekli kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Arkın yansıması gibi elverişsiz etkilerin kaldırılma çabası, çok yüksek güçte uygulama imkanının oluşmasını sağlamıştır. Trafonun gücünü bu derece artırmada karbonla enjeksiyon ve cürufu köpürtme çalışmasının önemli etkisi vardır. Hızla gelişen otomasyonlu sistemlerde, enjeksiyon işlemi robot teknolojisi ile stabil hale getirilmiştir. Baca gazından elde edilen analizler ile gelişen sistemler karbonun enjeksiyonu uygulamaları ile verilen karbonu taşıyan malzemenin kalitesiyle ortaya çıkan gelişmeler Avrupa'da ve Türkiye'de önemli

uygulamalardan olmuştur. Fakat uzun arka çalışmak için her ne kadar cürufun kabartma özelliği ile çalışmanın yararı olsa da, yüksek güç sistemi ile çalışma ve elektrotla çalışmada istikrarın yakalanması, elektrik sistemleri ve otomasyon sistemlerinin gelişmesi de önemlidir.

Kömür tozu (karbon) enjeksiyonunun genel olarak elektrik ark ocağı cürufunun düzenlenmesi ve verimde artış ile refrakter malzemeyi koruyucu etkileri bulunmaktadır. Karbon enjeksiyonunun FeO'yu indirgeyici özelliği yanında aşağıdaki faydaları sıralanabilir:

- a) Cürufun köpürtülmesi işlemi ile arkın tamamı cüruf içinde saklanır ve ark yansıması engellenir. Bundan dolayı yüksek voltaj ile çalışma mümkün olur.
- b) Arkın yansımasının önüne geçilmesi ile refrakter tüketimi ve enerji kayıpları azalır, ton çelik için az maliyetli elektrik tüketimi değerine ulaşılır. Kömür tozu enjeksiyonu olmadan çalışmada elektrik verimliliği % 36 değerindeyken, etkin bir kabarcık cüruf ile bu değer %93'e yükseltilebilmektedir.
- c) Elde edilen yüksek verimlilik ile dökümler arası sürenin azalması sağlanır.
- d) Düzgün ark çalışması ile elektrik şebekesindeki salınımlar azalır ve düşük değerlerin oluşması ve gürültü kirliliğinde azalmalar sağlanır.
- e) Düşük akım ile yüksek voltaj değerleriyle çalışabilme sayesinde elektrotun sarfiyatında azalma sağlanır,
- f) Kalınlığa göre cüruftaki ısının izolasyon özelliği ile, ısı kaybı düşürülür.
- g) Sıvı çelikle çalışıldığından ilavesi yapılan katkıları için elverişli bir çalışma ortamı sağlanır.
- h) Çeliğin içindeki C ile O oranının dengelenmesi ile dökümün alınması esnasında deoksidasyon verimliliğinin artması ve bu sayede iyi bir çelik üretimi ile pota ocağının kullanım süresinde azalma sağlanır.
- i) Elektrik ark ocağındaki kabarcık cüruf uygulaması için kullanılan kömür tozu enjeksiyonu sayesinde cürufun içindeki FeO redüksiyonunun sonucu verimlilikte artış sağlanır.
- j) Cüruf içerisindeki oksijenin değerinin azaltılması ile, kısaca cüruf deoksidasyonu ile kalsiyum, silis, mangan ve krom gibi elementlerin miktarlarında artış ve cüruftaki oksitlenme kapasitesinde düşüş sağlanır.

k) Kömür tozu enjeksiyonu yöntemiyle ya da karbonun giderilmesi sayesinde çelikteki azotun giderimi sağlanır. Aynı zamanda oluşan ark nedeniyle oluşmuş iyonlaşma sonucu çelikte azotun kapma ihtimali, cürufun koruyucu etkisiyle azalır.

l) Karbon monoksidin oksidasyonu ile egzotermik reaksiyonun oluşması ve sistem içerisine kimyasal ısı enerjisi katkısıyla, dökümler arası zamanlarda azalış ve verimlilikte artış sağlanır.

m) Cüruftaki FeO'nun içeriğinin düşüşüyle refrakter için önemli metalürjik koşullarının oluşması ile refrakterin tüketiminde düşüş sağlanır [19].

Köpüklü cüruf yönteminin, ark istikrarını ve ışınlı azaltıcı etkilerinin yanı sıra, enerji ve elektrot sarfiyatında tasarruf, aynı zamanda gürültü düzeyinde azalma sağlayıcı ve verimliliği artırıcı etkileri vardır. Cüruf köpürtme işlemi refrakter malzemeleri yüksek enerjilerden korumak için ark ocaklarında kullanılmaktadır [24]. Verimliliği artırdığı gibi enerji sarfiyatını da düşürmektedir [25,26]. Cüruf demir üretiminde önemli bir bileşendir. Cüruflar oksit ve florürden oluşan sıvılardır. Oluşan cüruf, (CaO-MgO-SiO₂-FeO-Al₂O₃-CaF₂) karışımı olabilmekte ve sıvı çeliğin üst yüzeyinde birikmektedir. Ark kontrolü eritme sırasında refrakter hasarlarını azaltır.

Köpüklü cüruf sıvı çelik üretim yöntemleri olan hurda ön ısıtma, brülör kullanımı, sıcak şarj gibi yöntemler içerisinde en faydalı ve ekonomik olanıdır. Köpüklü cüruf ile arkın uzunluğu enerji kaybı olmaksızın artırılabilir. Köpüklü cüruf üretilmesini etkileyen asıl faktör içinde oluşan CO gazıdır.



Yukarıda gösterilen reaksiyonlar sırası ile cürufun erimesi, gazın erimesi, katı cürufun ara yüzünde oluşur. Cüruf içerisinde FeO difüzyonunun EAO'larda CO oluşumuna ait kinetiği kontrol ettiğini göstermiştir [27].

Elektrik ark ocağında fazla karbonla çalışma ya da genellikle pik demir ve entegre fabrika çıkışlı sıcak metalin kullanılmadığı zamanlarda, köpüklü cüruf genellikle ocağın refrakter astarını korumanın yanı sıra, termal verimliliği sağlama ve FeO'in redüksiyonunu sağlama amacıyla uygulanmaktadır [28,29].

Ark ocaklarında kömür tozu enjeksiyonu uygulamasıyla çelikteki karbon miktarı artırılır veya karbonla oksijenin beraber enjekteleri yapılır. Cüruf ile çelikteki karbon CO'e dönüşür. Cüruf gaz çözücü olarak kabırır. Cürufun kullanımı kadar bertaraf edilmesi de önemlidir. Cürufun geri dönüşümü ile hem çevresel yönden hem de ekonomik yönden kazanç sağlanır [30].

4.8.1.Cüruf ile köpürtmenin yararları

Cüruf ile köpürtmenin faydaları şunlardır:

- Yan duvarlardaki ısı kaybını azaltır,
- Arktan metale ısı transferini artırır ve daha hızlı ısı girişine imkan verir,
- Güç ve voltaj akışını düşürür,
- Elektriksel ve duyulabilir gürültüyü azaltır,
- %100'e kadar ark boyunu ısı kayıp olmadan artırabilir,
- Elektrot ve refrakterin aşınmasını düşürür.
- Daha uzun süreli ark işlemine imkan verir, elektrik enerjisini artırmaya yardımcı olur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şirketlerin çoğu enerjinin tasarrufu hususunda gereken yatırımları yapmak zorundadır. Türkiye’de enerjiyi çok tüketen demir çelik fabrikalarında yapılacak tasarruflar ile ileriki dönemde büyük kazanımlar sağlanır. Bundan dolayı gelişmiş ülkeler ile rekabet edebilmek için en önemli nokta kaliteyi yakalayıp ucuza üretmektir.

Demir çelik fabrikalarında hurda ön ısıtma sistemi enerji maliyetleri yönünden avantaj sağladığı için mutlaka tercih edilmelidir. Ark ocağında kullanılan brülör sistemlerinin yeni teknoloji ve güçlü sistemler ile değiştirilmesi avantajlıdır. Bunun yanında hurda eleme sistemleri ve kullanılan hammaddenin kalitesi de önemlidir. Bu tezde yapılan çalışma sonucunda 100 ton kapasiteli ark ocaklı bir çelik üretim tesislerinde 4 şarjda ön ısıtmasız çelik üretimindeki enerji sarfıyatı 374 kwh/t iken, hurda ön ısıtma sisteminin kullanılması ile bu enerji tüketimi 326 kwh/t’a düşürüldüğü tespit edilmiştir. Ark ocağında 4 şarjlı çelik üretiminde hurda ön ısıtma yapılarak enerji tüketiminde ton başına 48 kwh tasarruf sağlanmıştır. Bu da enerji tüketiminde %14 lük bir düşüşe karşılık gelmektedir. Buna ilaveten, hurda ısıtmalı üretimde şarj sayısını 4’den 3’e düşürmenin etkisi de incelenmiş olup, bu uygulama ile ilave 17 kwh tasarruf sağlanabildiği belirlenmiştir. Elektrik enerjisinden sağlanan avantajın yanında üretim süresinin kısalması ile günlük bazda daha fazla döküm (fazladan 4 döküm=400 ton) almak mümkündür. Bu da fabrikanın kapasitesine göre aylık bazda daha fazla üretim (12 000 ton) yapılmasını sağlar. Ayrıca, hurda eleme sistemi kullanımı sonucu elektrot kırılmasının aylık 3’ten 1’e düşmesi ile 247 500 € tasarruf sağlanmaktadır. Bu kazanım, elektrotların yurt dışından ithal edildiği göz önüne alındığında, hiç de küçümsenemeyecek bir döviz tasarrufu sağladığı aşikardır. Ayrıca, hurda eleme sistemi kullanımı ile elektrot kırılma sayısının azaltılması ile, elektrot kırılması sonucu elektrot değişimi esnasındaki kayıp zamanlar da azaltılmaktadır.

Demir çelik sanayi enerjinin yoğun kullanıldığı bir sektör olduğu için sektörün olumsuz yönden etkilenmesini önlemek amacıyla tükettiği enerjiyi yine kendi imkanlarıyla üreten tesislerin kurulmasının da uzun vadede bir avantaj olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Oliveira, T. L., Assis, P. S., Leal, E. M., & Ilídio, J. R. (2015). Study of biomass applied to a cogeneration system: A steelmaking industry case. *Applied Thermal Engineering*, 80, 269-278.
2. Kumar, Umesh, A. K. Prasad, and Sourabh Kumar Soni. [2016]. Efficient use of energy in a electric arc furnace by heat integration approach. *Internatinol journal of engineering sciences research technology*. 744-748.
3. T.C. Doğu Akdeniz kalkınma ajansı. (2014). Demir Çelik Sektör Raporu Sektörel araştırma raporları.
4. İnternet: Türkiye Çelik üreticileri Haberler Cipeç.URL: <http://celik.org.tr/category/haberler/> Son Erişim Tarihi: 31.12.2018.
5. Türkiye odalar ve borsalar birliği. (2016). Türkiye demir ve demir dışı metaller meclis raporu.
6. T.C. çevre ve şehircilik bakanlığı. (2012). Elektrik ark ocaklı demir çelik tesisleri için MET Kılavuzu.
7. Odenthal, H. J., Kemminger, A., Krause, F., Sankowski, L., Uebber, N., & Vogl, N. (2018). Review on Modeling and Simulation of the Electric Arc Furnace (EAF). *steel research international*, 89(1), 1700098.
8. ERSÖZ, T., DÜĞENCİ, M., ÜNVER, M., & EYİOL, B. (2015). Demir çelik sektörüne genel bir bakış ve beş milyon ton üstü demir çelik ihracatı yapan ülkelerin kümeleme analizi ile incelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 75-90.
9. T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2013/2). Demir Çelik Sektörü Raporu. *Sektörel raporlar ve analizler serisi*.
10. T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2016-2017). Demir Çelik Sektörü Raporu.
11. YILDIZ, K. (2005). Demir Çelik Metalurjisi. *Bölüm*, 7, 63-75.
12. Bakkaoğlu Adem. (2002/1). Yıldız Teknik Üniversitesi. Metalurji ve malzeme mühendisliği Bölümü, *Demir çelik tesislerinde enerji tasarrufu ve alınması gereken önlemler derleme yazısı*.
13. Zhao, J. H., Zhang, S. X., Yang, W., & Yu, T. (2017). Application of Waste Heat Recovery Energy Saving Technology in Reform of UHP-EAF. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 83, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.

14. Yayan Veysel (2013). Hacettepe ün.v. kongre merkezi. *Sürdürülebilir çelik üretimi*.
15. İnternet: Eldem S. (2013). Günümüzde enerji etütleri ve enerji yönetiminin önemi. <https://www.enerjigazetesi.ist>, Son Erişim Tarihi: 03.01.2019.
16. İnternet: Sanayide enerji verimliliği. Cipec .URL: <http://www.aakademienenerji.com/sanayide-enerji-verimliliği.html>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.
17. McBrien, M., Serrenho, A. C., & Allwood, J. M. (2016). Potential for energy savings by heat recovery in an integrated steel supply chain. *Applied Thermal Engineering*, 103, 592-606.
18. İnternet: Cvs Technologies. URL: <http://www.cvs.com.tr/tr/scrap-preheating-system.php>, Son erişim tarihi: 22.01.2019
19. Madias, J. (2016). Elektrik Ark Ocağı. *Demir Yapımı ve çelik yapım işlemleri*(s. 267-281). Springer, Cham.
20. Dragna, E. C., Ioana, A., & Constantin, N. (2018, January). Methods of steel manufacturing-The electric arc furnace. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 294, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
21. Sandberg, E. (2005). *Energy and scrap optimisation of electric arc furnaces by statistical analysis of process data* (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet). ISSN:1402-1757.
22. Mombeni, A. G., Hajidavalloo, E., & Behbahani-Nejad, M. (2016). Transient simulation of conjugate heat transfer in the roof cooling panel of an electric arc furnace. *Applied Thermal Engineering*, 98, 80-87.
23. İnternet: Bilgiç Muammer. (2003). *Elektrik Ark Ocaklarında Karbon Enjeksiyonu Curuf ve Refrakter ilişkileri*. Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.
24. Luz, A. P., Martinez, A. T., López, F., Bonadia, P., & Pandolfelli, V. C. (2018). Slag foaming practice in the steelmaking process. *Ceramics International*. 8727–8741
25. Makarov, A. N. (2017). Change in Arc Efficiency During Melting in Steel-Melting Arc Furnaces. *Metallurgist*, 61(3-4), 298-302.
26. Svensson, J. (2018). The effect of carbonaceous iron on slag foaming.
27. Aminorroaya, S. & Edris, H. (2002). The effect of foamy slag in electric arc furnaces on electric energy consumption. 7th European Electric Steelmaking Conference (pp. 2.447-2.456). AIM.

28. Torres-Rentería, A., Damián-Cuallo, M., Mayo-Maldonado, J., & Micheloud-Vernackt, O. (2017). Analysis of electric arc furnaces efficiency via frequency spectrum-based arc coverage detection. *Ironmaking & Steelmaking*, 44(4), 255-261.
29. Vieira, D., Almeida, R. A. M. D., Bielefeldt, W. V., & Vilela, A. C. F. (2016). Slag evaluation to reduce energy consumption and EAF electrical instability. *Materials Research*, 19(5), 1127-1131.
30. DIETZ S. (2014). Zero Waste Initiatives a Boon for the Scrap Metal Industry, Thermo Fisher Scientific.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MİÇOOĞULLARI, Tuncay
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.01.1980, Hatay
 Medeni hali : Evli
 Telefon :
 Faks :
 e-mail : tunm@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina	2019
Lisans	Mersin Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2005
Lise	Barbaros Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	ENDAŞ ENDÜSTRİYEL	İş Geliştirme ve Satış Mühendisi
2012-2014	BAŞTUĞ METALURJİ	Makina Bakım Mühendisi
2006-2011	TOSYALI DEMİRÇELİK	Makina Bakım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Makinatek Dergisi Nisan 2018 246. Sayı 66-67-68-69

2. Uluslararası Multidisipliner çalışmalar kongresi bildiri sunumu. Bildiri numarası

Multi2018-266

Hobiler

Futbol

DİZİN

A

Abstract · IV, V
Araştırma · 18,19,20,21,
22,23,24,25,26,27,28,29,
30,31,32,33,34,35

B

Brülör · 28,29,30

C

Curuf · 35,36,37,38,39

Ç

Çizelge · 6, 7, 8, 24,25,
27,

D

Dizin · 44

E

Elektrik Ark
Ocağı · 19,20,21
Enerji · 7,8,9,10,11,12,13
Elektrot · 32,33

G

Giriş · 1

H

Harita · 5
Hammadde · 7,8,34, 35,
36

Hesaplamalar·

19,20,21,22,23,24,25,
26,27

Hurda eleme· 30,31,32

Hurda ön ısıtma·
16,17,18,19

K

Kaynak · 40,41, 42
Key Words · IV, V

M

Maliyet· 6,7

O

Ö

Örnek · 19,23,24,25,26,27
,28,29,30,31,32,33

Özet · IV, V

Özgeçmiş · 43

P

R

Resim · 21,29,30,31,33,34

S

Simgeler ve kısaltmalar ·
VIII

Sonuç ve öneriler · 39

Ş

Şekil ·
4,18,20,22,23,28,31

T

Teşekkür · VI

Y

Yazar · 43

Z



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

