



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KİREÇ BESLEME YÖNTEMLERİNİN ELEKTRİK ARK
OCAĞI'NDA ENERJİ ve SÜREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sergen Ali KAT

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
ŞUBAT-2016



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KİREÇ BESLEME YÖNTEMLERİNİN ELEKTRİK ARK
OCAĞI'NDA ENERJİ ve SÜREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sergen Ali KAT

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
ŞUBAT-2016**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

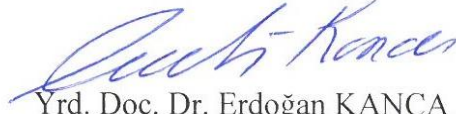
FARKLI KİREÇ BESLEME YÖNTEMLERİNİN ELEKTRİK ARK
OCAĞI'NDA ENERJİ ve SÜREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

SERGEN ALİ KAT

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

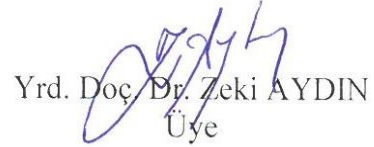
Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA danışmanlığında hazırlanan bu tez 18/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA
Başkan



Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN
Üye



Yrd. Doç. Dr. Zeki AYDIN
Üye

Kod No: 003

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

18/02/2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Sergen Ali KAT

ÖZET

FARKLI KİREÇ BESLEME YÖNTEMLERİNİN ELEKTRİK ARK OCAĞINDA ENERJİ ve SÜREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dünyada ve ülkemizde önemli bir çelik üretim ve geri dönüşüm yöntemi olarak bilinen Elektrik Ark Ocakları, yüksek elektrik enerjisi sarfiyatı ile çalışmaktadır. Geçmişten günümüze dek üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve üretkenliğin artırılması anlamında birçok yenilik yapıldığı bilinmektedir. Yapılan çalışmaların çoğunluğu ana sarfiyat giderini; yani elektrik enerjisi tüketimini azaltmak yönünde olmuştur. Bu bağlamda; hurda ön ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi, karbon ve oksijen (oksi-brülör) enjeksiyon sistemlerinin kurulması, Elektrik Ark Ocaklarında (EAO) mobilizasyon sistemlerinin (sensörlerin kullanımı) tasarlanması gibi çalışmaların yapıldığı bilinmektedir.

EAO'nda şarj ve besleme tipleri incelendiğinde, fırın girdilerinden cüruf yapıcı kirecin fırına beslenme tipinin; enerji sarfiyatı açısından etkili olabileceği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada farklı kireç besleme yöntemlerinin Elektrik Ark Ocağı'nda enerji ve süreye etkisi araştırılmıştır. Yöntem olarak; Kireç, 3 döküm için hurda sepetiyle, 3 döküm için de konveyör sistemle ocak kapağında beslenerek; üretim süreçleri tamamlanıp dökümler devrilmiştir.

Aynı kalitede hurda, oksijen, doğalgaz, karbon ve kireç kullanılarak yapılan deneylerde; kireç farklı miktarlarda olmak üzere her iki yöntemle de ocağa beslenerek, izabe sürecinde alınan prova sonuçlarına göre gerektiğinde ilaveler yapılmış ve üretim süreçleri tamamlanmıştır. Üretim değerleri karşılaştırıldığında, kapaktan kireç besleme yönteminde enerjinin 31,1 kWh/t ve enerjili sürenin 0,64 dakika düşük olduğu görülmüştür. İşletme kapasitesi 1.000.000 ton/yıl olan bir firmada 31.100.000 kWh/yıl enerji tasarrufu sağlanması mümkündür.

2016, 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektrik ark ocağı, kireç besleme, enerji, enerjili süre

ABSTRACT

An EXPERIMENTAL OBSERVATION on the EFFECTS of DIFFERENT LIME FEEDING METHODS to TIME and ENERGY in ELECTRIC ARC FURNACE

Electric Arc Furnaces which is known important recycling method in our country and all over the world, operate with high electrical energy consumption. From past to present it is known that is made a great variety of innovation studies to improve reproductivity and to reduce costs. Most of investigation studies are focused on reducing the main consumption cost, in other words the electrical energy consumption. In this context, it is known that is made different studies like improving scrap preheating systems, setting up carbon and oxygen (oxy-burner) injection systems, designing mobilization systems (using sensors) in Electric Arc Furnaces.

When analyzing charge and feeding systems of Electric Arc furnace it was seen that the feeding types of the lime which is one of the inputs of the furnece can be effective on the electric energy consumption. For this reason in this study, it is investigated that the effects of different lime feeding methods on energy and time in the electric arc furnace. For this purpose, the lime was feeded into the eletric arc furnace three casting in a scrap basket and three casting with a conveyor system on the furnace roof.

In experiments in which were used same quality of scrap, oxygen, natural gas, carbon and lime different quantity of lime was feeded in two methods and for taking of samples in smelting process lime was added to the eletric arc furnace and production processes were completed. When production values are compared it seen that energy consumption is less than 31,1 kWh/t and power on time is less than 0,64 min. in the lime feeding system from roof. In a factory which has 1.000.000 tones/year production capacity it can be possible to provide 31.100.000 kWh energy saving for a year.

2016, 44 pages

Key Words: Electric arc furnace, lime feeding methods, energy, power on time

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 Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA' ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunun belirlenmesinde ve tüm işletmesel olanaklardan yararlanmam konusunda her türlü yardımı esirgemeyen Ekinciler Demir ve Çelik A.Ő. Çelikhane Müdürü Cem TUNA' ya, Çelikhane İşletme Şefi Nuri Alkım EREN' e, Hurda Hazırlama Şefi Ali SAFER' e, Refrakter ve Pota Hazırlama Mühendisi Vahti AKÇETİN' e sonsuz teşekkür ederim. Deneysel çalışmaların yapılması sırasında emeği geçen Çelikhane, Haddehane ve Kalite Güvence personeline teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında desteklerini ve sabrını esirgemeyen sevgili eşim Melis PORAZAN KAT' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu yüksek lisans tez çalışmasını rahmetli anneme ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1 Materyal	11
3.1.1 Elektrik Ark Ocağı	11
3.1.2 Pota Ocağı	16
3.1.3 Sürekli Döküm Prosesi.....	17
3.1.4 Haddehane Prosesi	18
3.1.5 Çalışmada Kullanılan Hammaddeler	20
3.1.6 Deneysel Test ve Ölçü Cihazları	23
3.2 Yöntem.....	26
3.2.1 Sepetle Kireç Besleme İçin İzlenecek Yol	27
3.2.2 Ocak Kapağından Kireç Besleme İçin İzlenecek Yol	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	29
4.1 Deneysel Çalışmalar	29
4.2 Deney Verileri.....	32
4.2.1 Kullanılan hurdalar ve miktarları	32
4.2.2 Kimyasal Analiz Sonuçları.....	33
4.2.3 Cüruf Analiz Sonuçları.....	34
4.2.4 Mekanik Test Sonuçları	35
4.2.5 EAO Proses Verileri.....	36
4.3 Deney Verilerinin Karşılaştırılması	37
5. SONUÇ	41
6. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Elektrik ark ocağı genel görünümü.....	11
Şekil 3.2.	Hurda şarjının hazırlanması ve tartılması	12
Şekil 3.3.	EAO'na hurda şarjının yapılması	13
Şekil 3.4.	Banyo sıcaklığı ölçümü	14
Şekil 3.5.	Döküm devirme	15
Şekil 3.6.	Sıvı çelik dolu pota	15
Şekil 3.7.	Pota ocağı.....	17
Şekil 3.8.	Sürekli döküm makinesi	18
Şekil 3.9.	Haddeleme işlemi	19
Şekil 3.10.	Kasaya doldurulmuş kireç	20
Şekil 3.11.	Kireç eklenmiş hurda sepeti.....	21
Şekil 3.12.	Çalışmada kullanılan kireç.....	22
Şekil 3.13.	Bant zımpara ve numune parlatma cihazı.....	23
Şekil 3.14.	Kimyasal analiz cihazı (ARL 4460 OES).....	23
Şekil 3.15.	Öğütme cihazı	24
Şekil 3.16.	Presleme cihazı	24
Şekil 3.17.	XRF (Optimix) cihazı	25
Şekil 3.18.	Mekanik test laboratuvarı	26
Şekil 4.1.	Kırılan Elektrod	29
Şekil 4.2.	Kırılan Elektrod	29
Şekil 4.3.	Prova alan Ark Ocağı İşçisi	30
Şekil 4.4.	501884 – 501779 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı	37
Şekil 4.5.	501883 – 501780 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı	38
Şekil 4.6.	501882 – 501781 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı	38
Şekil 4.7.	Yönteme göre ortalama enerjili süre karşılaştırması	39
Şekil 4.8.	Yönteme göre ortalama EAO enerji karşılaştırması	39
Şekil 4.9.	Yönteme göre döküm ortalama enerji karşılaştırması	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kireç analizi.....	23
Çizelge 4.1.	Çalışmada kullanılan hurdalar (miktar, cins ve döküm bazında).....	33
Çizelge 4.2.	Kapakta kireç besleme yöntemi ile alınan provalara ait kimyasal analiz sonuçları	33
Çizelge 4.3.	Hurda sepeti ile kireç besleme yöntemi için alınan provalara ait kimyasal analiz sonuçları	34
Çizelge 4.4.	Cüruf analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.5.	Mekanik test sonuçları.....	35
Çizelge 4.6.	EAO proses verileri	36



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Dk	: Dakika
Gr	: Gram
Kg	: Kilogram
Kg/m	: 1 metre çubuğun ağırlığı (Kg)
KWh	: Kilowattsaat
kWh/t	: 1 ton sıvı çelik için sarf edilen enerji (Kilowattsaat)
M	: Metre
m ³	: Metreküp
Mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MW	: Megawatt
N/(mm ²)	: Mega pascal
Nm ³	: Normal metreküp
Ppm	: Part per million
Sn	: Saniye
T	: Ton
T	: Sıcaklık (°C)
t/h	: 1 saatte üretilen sıvı çelik tonajı
t/m ³	: Ton/metreküp

KISALTMALAR

%Al ₂ O ₃	: Cürufta çözünmüş oksitlenmiş alüminyum
%Fe ₂ O ₃	: Cürufta çözünmüş oksitlenmiş demir
%MgO	: Cürufta çözünmüş oksitlenmiş magnezyum
%MnO	: Cürufta çözünmüş oksitlenmiş mangan
%P	: Sıvı çelik içerisindeki fosfor oranı
%S	: Sıvı çelik içerisindeki kükürt oranı
%SiO ₂	: Cürufta çözünmüş oksitlenmiş silisyum
1A	: 501879
2A	: 501880
3A	: 501881
1B	: 501884
2B	: 501883
3B	: 501882
(CaO)	: Çözünmüş halde cürufta bulunan kireç
(FeO)	: Cürufta çözünmüş demir oksit
[Fe]	: Sıvı çelikteki demir miktarı
[P]	: Sıvı çelikteki fosfor miktarı
A3	: Bonus tipi hurda
ABD	: Amerika birleşik devletleri
AC	: Alternatif akım
BS	: British standards
C	: Karbon
CaC ₂	: Karpit (kalsiyum karbür)
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat (kireç)
CaF ₂	: Fluşpat (kalsiyum florür)
CaO	: Kalsiyum oksit
CaO.P ₂ O ₅	: Fosforu bağlayan kirecin cürufa geçmiş formu
CCM	: Sürekli döküm makinesi
CO	: Karbon mono oksit
CO ₂	: Karbon di oksit
Cu	: Bakır
DC	: Doğru akım
EAF	: Electrical arc furnace
EAF 1	: ark ocağı 1. prova
EAF 2	: ark ocağı 2. prova
EAO	: Elektrik ark ocağı
EBT	: Ecsantric bottom tapping
FeS	: Pirotit (Demir sülfür)

GR	: Standartlar için kalite (grade)
HMS1	: Heavy metal scrap 1
IPD	: Integreted process director
IQS	: Iraqi quality standards
LF	: Pota ocağı
LF 1	: pota ocağı 1. prova
LF 2	: pota ocağı 2. prova
LF 3	: pota ocağı 3. prova
LFS 1	: Soğuk kütük parça için kimyasal analiz
LPG	: Doğalgaz
Mn	: Mangan
O ₂	: Oksijen
pOnT	: Enerjili süre
S ⁻²	: Sülfid
Si	: Silisyum
SiC	: Siliko karbon
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TTT	: Dökümden döküme geçen süre
VLB	: Virtual lance brülör
XRF	: X-Ray flüoresans

1.GİRİŞ

Hurdanın çeliğe geri dönüşümü için günümüzde kullanılan proses, Elektrik Ark Ocağı (EAO) prosesidir. Gelişen teknolojiler ile birlikte, ilk yatırım maliyetlerinin çok düşük ve daha basit bir işletme prosesine sahip olmalarından dolayı EAO' ları dünya çelik üretiminde %30'lara ulaşan bir pay elde etmiştir. Türkiye' de ise bu oran %70'lerin üzerindedir. (Erensoy, 2007)

İlk kullanımından bu yana mini çelik tesislerinde izabe amacıyla çalıştırılan elektrik ark ocakları teknolojik prensibi değişmemesine rağmen gerek boyut gerek fırın dizaynı, gerekse çalışma şekli açısından zamanımıza kadar önemli değişikliklere uğramıştır. Son yıllarda bu değişikliklerden en önemlileri, alternatif akım (AC) yerine doğru akım (DC) kullanılması, oksitleyici gaz üflenmesi, katı sıvı veya gaz seklinde ilave yakıt enjeksiyonu, refrakterlerdeki iyileştirmeler ve izabenin otomasyona bağlanması ve cürufsuz döküm alma (EBT) teknikleridir. Bu yenilikler sayesinde 30 dakikaya varan sürelerde fosfor giderme de dahil döküm alınabilmektedir. (Özaksoy, 2004)

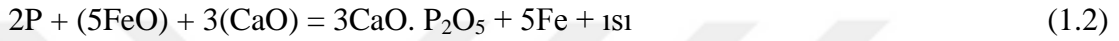
Elektrik Ark Ocakları'nda daha hızlı ve daha az maliyetle üretim yapılabilme amacıyla çeşitli parametreler üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu hususta birincil olarak değerlendirilecek konu enerji olarak göze çarpmaktadır. Literatürde, geçmişten günümüze kadar enerji maliyetleri azaltılmaya çalışılmıştır. Enerji maliyetlerini oluşturan en önemli alt başlık ise elektrik enerjisidir. Diğer önemli alt başlık ise ocak içerisindeki ergitme safhalarını hızlandırıcı etkisi olan ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısı enerjisidir. Yapılan araştırmalarda; Oksijen lanslarının kullanımıyla, brülörlerin kullanımıyla, hurda ön ısıtma sistemlerinin kurulmasıyla, karbon ilavesiyle, EAO' na elektrik enerjisi sağlayan trafo ve güç reaktörlerindeki gelişmelerle, elektrik akımı pratiğiyle (AC, DC), gelişen teknolojiyle birlikte EAO'larda sensörlerin kullanımıyla elektrik enerjisi tüketim değerlerinin, üretim sürelerinin ve dolayısıyla üretkenlik değerlerinin iyileştirilebildiği görülmüştür. Yapılan literatür taramalarında çelik üretiminin en önemli katkı malzemelerinden biri olan kirecin, ocak içerisine şarj edilme şekillerinin enerji tüketim değerlerini, enerjili süreleri ve dolayısıyla üretkenlik değerlerini nasıl etkilediği ile ilgili çalışmaya rastlanılmamıştır.

Çelik içinde bulunan fosfor, çeliğin uzama, darbe mukavemeti gibi fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiler, soğuk çekilebilirliği azaltır. Bu nedenle istenmeyen bir elementtir ve çelik içindeki miktarı çeşitli çelik cinslerinde değişmekle birlikte %0,05 ile sınırlanmıştır. Bazı kaliteli çelik cinslerinde ise en fazla % 0,015 olmalıdır.

Ancak hurda içinde daha fazla fosfor bulunmaktadır ve fosforun oksijen eğilimi demirden daha fazladır. Bu nedenle ergitme sırasında oksijen ile rafine edilir ve kireç ile de cürufa bağlanır. Temel olarak fosfor rafinasyonu;



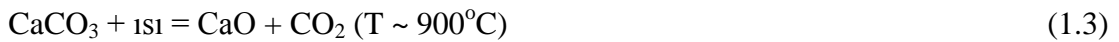
Eşitliği ile sağlanır ancak cürufa bağlanabilmesi için kirece ihtiyaç vardır ve gerçek rafinasyon reaksiyonu;



Şeklinde. Cüruf içinde bol miktarda FeO ve CaO bulunması reaksiyonu hızlandırmaktadır.

Bu nedenle fosfor rafinasyonu için bazik oksitleyici cürufa ihtiyaç vardır. Reaksiyon sonunda ısı açığa çıktığı için fosfor tasfiyesi 1570°C'nin altındaki sıcaklıklarda çok hızlı olur. Bu sıcaklığın üzerinde reaksiyon ters yönde oluşur. Fosfor rafinasyonunu etkileyen bir diğer önemli noktada cüruf içindeki (%MnO) değeridir.

%MnO+%MgO+%CaO = % 65 seviyelerindedir ve sabittir. Eğer %MnO artarsa diğer fazların miktarı azalacağından fosfor tasfiyesi daha yavaş olur. Fosfor cürufa bağlayabilmek için CaO'ya ihtiyaç vardır ve CaO kireç ilavesi ile sağlanabileceği gibi kireçtaşı (CaCO₃) ilavesinden sonra cürufa aşağıdaki reaksiyon ile geçmektedir.



ısı alan bir reaksiyon olması nedeniyle kireçtaşı ilavesi enerji tüketimini arttırmaktadır. Ancak CO₂ gazı banyonun karışmasını sağlayarak reaksiyonu hızlandırmaktadır.

Fosfor tasfiyesinin olması için sıcaklık 1570 °C'ye gelmesine rağmen yeterli fosfor tasfiyesi olmamış ise kireçtaşı ilave edilir.

Böylece;

–Sıcaklık düşürülerek reaksiyon hızlandırılır.

–Fazladan CaO eklenmesi nedeniyle baziklik artar ve fosfor tasfiyesi hızlandırılır.

Fosfor rafinasyonu için gerekli şartlar özetlenecek olursa:

1. Bazik cüruf (CaO/SiO₂>2,5) gereklidir. Bunun için yeterli miktarda kireç veya kireçtaşı verilmelidir.

2. Oksitleyici cüruf gereklidir. Bu şart oksijen enjeksiyonu ile sağlanır ve banyo karbonu düşürülür. Fosfor tasfiyesi 1570°C' ye çıkmadan tamamlanmalıdır.

3. Etkin bir karbon kaynaması yapılarak banyo içindeki karbon miktarı düşürülmelidir.

4. Cüruf akışkan ve sıvı olmalıdır. Bu koşulu sağlamak için gerekirse fluşpat ilave edilebilir. Reaksiyonun hızlandırılması için etkin bir karıştırma gereklidir. Karbon ve oksijen enjeksiyonuna, ayrıca EAF dipten karıştırma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. (Anonim, 2010)

EAO'larda fosfor (%P) rafinasyonunu sağlayan kireç, EAO'na; Hurda sepeti ile besleme, ocak kapağından besleme ve ocak içerisine direk enjeksiyon gibi farklı yöntemlerle ilave edilebilmektedir.

Kireç, hurda sepeti ile kireç besleme yönteminde Ocak kapağı yana alındıktan sonra hurda ile birlikte Ocağa beslenmektedir. Bu yöntemle yapılan beslemede, %P rafinasyonunun yeterli olmadığı (iyileştirme gereği de dahil) durumlarda, Ocak kapağı tekrar açılır ve vinç yardımı ile gereken ilave kireç beslenir. Ocak birden çok hurda şarjı ile üretim yapıyorsa ve tesiste hurda ön ısıtma kullanılıyorsa; Kirecin ön ısıtma sıcaklığıyla yanma riskinden dolayı birinci şarjlarda kireç ilavesi yapılamamaktadır. Bundan dolayı kireç ikinci hurda şarjı ile birlikte beslenebilmektedir. Ayrıca kirecin, hurda sepeti içerisine planlı bir şekilde yerleştirilmesine rağmen; elektrod altlarına denk gelerek elektrodların kırılmasına sebep olma riski vardır.

Ocak kapağından kireç besleme yönteminde ise; Kireç, bir konveyör bant ve basit bir otomasyon sistemi kurularak Ocağın tepesine konumlandırılmış deliklerden kontrollü olarak beslenebilmektedir. Bu yöntemin, hurda sepeti ile kireç besleme yönteminden farkları; kireç besleme, hurda şarjından bağımsız olarak yapıldığı için çoklu hurda şarjı ile üretim yapıldığında hurda şarjından bağımsız olarak kireç besleyebilme olanağı sağlaması, her şarjda kireç verilmesi ile daha verimli rafinasyon olanağı sağlaması, delik açılarının elektrod altlarına kireç gelmeyecek şekilde ayarlanabilir olması olarak sayılabilir.

Rafinasyon yeterliliği ve etkinliği sağlamak amacı ile yapılan ilave kireç besleme süreçlerinde proses gereği hurda sepeti ile kireç besleme yönteminde Ocak kapağı açılarak, vinç yardımı ile ilave besleme yapılmaktayken, kapaktan kireç besleme yönteminde ise kapağın açılması gerekmeksizin kireç beslemesi yapılabilmektedir.

Hurda sepeti ile kireç besleme yönteminde ocak kapağının açılmasıyla kaybedilen ısı ancak daha fazla enerji ve süre ile geri kazanılabilmektedir. Kireç besleme yöntemlerinde yaşanan bu farklılık enerji ve enerjili sürelerde değişimlere sebep olmaktadır.

Literatürde yapılan araştırmalarda kirecin EAO içerisinde kimyasal reaksiyon konusundaki etkisi dışında çalışmaya rastlanılmadığından, bu çalışmada; her iki kireç besleme yönteminin EAO' nda enerji ve enerjili süreye etkisi incelenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Anonim (1997), “Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu” adlı çalışmada bildirildiğine göre, Ülkemizde demir çelik sektörünün en önemli üreticisi ark ocaklı tesislerde yılda elektrik olarak 5 milyar kWh civarında ve yakıt olarak da toplam 700 bin TEP civarında enerji tüketildiği belirtilmiştir.

Hemen hemen tamamı AC ark ocağı ile üretim yapan bu tesislerde yüksek enerji tüketiminin yanı sıra harmonik üretimi ve reaktif güç tüketimi gibi nedenlerle elektrik şebekelerinin üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu belirtilmiştir. DC ark ocağı uygulamalarının getirdiği avantajların takip edildiği ve ülkemizde 2 sanayi tesisinde bu teknolojiyi uygulandığı ve % 5 e kadar enerji verimliliği artışı ve şebekeye daha az olumsuz etki yaratması gibi avantajlarının olduğu bildirilmiştir. Buna rağmen, tek elektrot olması nedeniyle ark kontrolünün zorlaştığı. AC ark ocakları ile aynı yatırım miktarına sahip DC ark ocakları teknolojisinin yakın gelecekte ülkemizde yaygın kullanılacağı ön görülmüştür.

De Beer ve ark., (1998) “Demir-Çelik Üretiminde Enerji Verimliliği için Gelecekteki Teknolojiler” adlı çalışmada, EAO’ nın entegre tesislere göre düşük yatırım maliyeti, düşük kapasitelerde ekonomik işletme avantajı ve daha az çevresel etki gibi bazı avantajları olduğunu, dezavantajlarının ise bütün mamullerin üretilmemesi olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak ark ocaklarında düşük kaliteli uzun ürünlerin üretildiği, ürünün entegre çelik fabrikalarına göre daha düşük kaliteli olması genellikle hurdanın pik demire göre daha fazla kirlilik içermesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Sıcak yassı ürün haddehaneleri rekabet edebilirlik açısından sadece büyük kapasitede üretim yapıldığında avantajlı olduğundan ark ocaklarında tercih edilmezler. Fakat döküm teknikleri ark ocaklarında yassı ürün üretimini birincil üretimle (entegre tesisler) rekabet edebilir düzeye getirmiştir. Bu bağlamda Nucor firmasının ABD’de ark ocağı üretimi olan yassı ürün merkezi kurduğu anlatılmıştır. Entegre tesislerle oluşan bu rekabet ortamında Ark Ocaklarında enerji tüketim değerlerinin düşürülmesi ve üretkenliğin arttırılması konuları gündeme gelmiştir. Ark ocağı ile çelik üretiminde en önemli sarfiyatın elektrik enerjisi olduğu; elektrik arkının bir katod ve bir anod arasında (DC fırınlarda) veya 3 anod arasında (AC fırınlarında) oluşturulması ve hurdanın ergitilmesi prensibine dayandığı belirtilmektedir. Enerji tüketimini azaltmak veya daha

fazla enerji açığa çıkarabilmek adına; metalurjik reaksiyonları hızlandırmak için oksijen kullanılabilen, kömür tozu CO yardımıyla köpüklü cüruf yapmada kullanılabilen, oksijen yakıt brülörleri soğuk bölgelere yönlendirilebilmektedir. Bu bağlamda geride kalan 30 yılda elektrik tüketimi 35% oranında azaltılmıştır. Elektrik tüketiminin daha da düşürülmesinin fosil yakıt kullanımı ve hurda ön ısıtması ile mümkün olduğu belirtilmiştir.

Kournetas, (1998) ‘‘Elektrik Ark Fırınlarında Oksijen Kullanımı ile Enerji Sarfiyatının Azaltılması’’ adlı çalışmada bildirildiğine göre, Co Steel Lasco firmasına ait EAF’ nda tüketilen enerjiyi azaltma çalışması; yan duvarlarda bulunan brülörlerden üflenen serbest oksijenin artırılması esasına dayanmaktadır. Çalışmanın sonucunda normalde tüketilen elektrik enerjisinin %4 azaldığı, normalde tüketilen doğalgazın (LPG) %42,7 azaldığı, ortalama enerjili sürenin %5 oranında azaldığı, dökümden döküme geçen sürenin %4,5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Lokman, (2000) ‘‘Sönmemiş Kirecin Ark Ocağı Çeliğinde Safsızlık Arıtma Kimyasalı Olarak Kullanılması’’ adlı çalışmada, kirecin normal kalsinasyon sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda (Ör: 1200 °C ve üzeri) pişirilmesi durumunda sinterleşerek gözeneklerin kapanacağını, reaksiyon yüzeyi azalarak küçülüp ağırlaşacağını, çekirdekteki kireçleşmemiş kısmın (CO₂=kızdırma kaybı) çok azalacağını, dolayısıyla serbest CaO miktarı yüksek olmasına rağmen ark ocağında cüruf ile reaksiyona girebilme (reaktivite) kabiliyetinin düşeceğini, böyle sert bir cüruf yapıcının kullanımı sonucu; kireç ve elektrik enerjisi tüketiminin artacağı bildirilmiştir. Kirecin normal kalsinasyon sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda (Ör: 900 °C’ den düşük) pişirilmesinde ise, kireç taşının kirece tam dönüşmemesinden kaynaklı çekirdek kısmında %10’dan daha büyük oranlarda CaCO₃ kalacağı (yüksek kızdırma kaybı) böyle iyi pişmemiş bir kirecin çelik üretiminde kullanılması sırasında, öncelikle çekirdeğin kireçleşme prosesi yaşanacağı, buna bağlı olarak elektrik enerjisi sarfiyatının artacağı ve cüruf-erişik reaksiyonlarının gecikeceği veya daha fazla kireç tüketileceği bildirilmiştir.

Engin ve ark., (2005) ‘‘Concast IPD Sistemi ile Gerçek Zaman Proses Kontrol Stratejileri’’ adlı çalışmada bildirildiğine göre, İçdaş’ ta işlevsel olarak üç ana bölüm tanımlanmıştır. Bunlar; Ön ısıtma hurda sepeti sistemi ve EAO bölgesi, Pota Ocağı alanları ve Sürekli Döküm Bölgesi’dir. İçdaş ve Concast’ın ortak olarak projelendirdiği

ön ısıtma sisteminde, yanma sonrası EAO'ndan çıkan gazlar, hurda sepetlerinin üzerine beslenerek; bir sonraki döküm için kullanılacak hurdanın ısıtılması ve ocakta tüketilecek enerjinin azaltılması düşünülmüştür. Ayrıca, kurulan ön ısıtma izleme sistemiyle ön ısıtma sıcaklığı, atık gaz akış hızı da kontrol altına alınmıştır. Üretim, üç şarj ile yapılmakta olup; Birinci ve ikinci hurda sepetleri ön ısıtmaya girerek ocağa şarj olunurken, üçüncü hurda sepeti ön ısıtmaya girmeden direk şarj edilmiştir. Böyle büyük bir EAF'nda yaşanan yüksek enerji tüketimi sorununu çözmek için; Birinci temel sorun olan büyük miktarda elektrik enerjisi tüketimini azaltmak gerekmektedir. Elektrik enerjisinin azaltılması için de kimyasal enerjinin kontrol altında tutulması, yani maksimum ısı transferinin sağlanması gerekmektedir. 8,3 m çapa sahip EAF'nda soğuk ve sıcak noktaların dağılımının enerjii önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Bu nedenle kimyasal enerjinin etkisinin daha fazla olması adına, çok sayıda düşük güce sahip brülör ve enjektörler yerine, az sayıda ama daha güçlü olan enjektör ve yakıt sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan sisteme göre 6 adet 6,5 MW gücünde 3500 Nm³ oksijen enjeksiyonu yapabilen brülörlerin montajı yapılmış ve bakım sistemini, güç profili set değerlerinin yönetilmesini sağlayan IPD "Entegre Süreç Yöneticisi" kurulmuştur. Bu noktada üretimde; Ön ısıtma, Atık gaz ve brülör-karbon enjeksiyon sistemleri kontrol altına alınmıştır. Yapılan revizyonların ardından ön ısıtma yaparak ve ön ısıtma yapmadan üretilen dökümlerin enerji tüketim değerleri ve enerjili süreleri karşılaştırıldığında, ön ısıtma yapılarak üretilen dökümde enerjili sürenin %4 oranında, elektrik enerjisi tüketiminin ise %9,5 oranında azaldığı, üretkenliğin ise %4,5 oranında arttığı görülmüştür. EAO'na yeni avantajlar kazandırmak ve ocak prosesini yönetebilmek için özel önlemler alınmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışma ile daha önceki teknolojik sorunlar ve riskler çözümlenmiştir.

Kleimt ve ark., (2005) "Elektrik Ark Ocaklarında Dinamik Operasyon Sistemi İçin Elektrik Enerjisi Tüketimi Uygulama Modelleri Geliştirilmesi" adlı çalışmada, elektrik ark ocaklarının enerji dengelerinin değişik modellemelerle karşılaştırılmasında, bazı modellerin farklı yönleri olduğunu bildirilmiştir. Enerji tüketimine ilişkin farklı operasyon pratiklerinin değerlendirilmesi için elektrik enerji ihtiyacı formülü kullanıldığı belirtilen çalışmada; fırının operasyon süresince enerji verimliliğini takip edebilmek için gaz çıkışı miktarının ölçülmesine dayanan diferansiyel on-line enerji denge sağlayıcı kullanılmıştır. Prosesin online olarak izlenebilmesi ve kontrol

edilebilmesi için elektrik ark ocağının kütle dengesi ve enerji dengesi kombinasyonu kullanılmıştır. Dinamik EAF proses modelinin gelecek yıllarda enerji tüketimi, üretim süresinin azalması ve üretkenliğin artması yolunda temel olacağı, ayrıca brülörler, oksijen enjektörleri ve ön ısıtmaya ilişkin on-line dinamik proses kontrolü için kullanılacağı belirtilmiştir.

Erensoy, (2007) ‘‘Elektrik Ark Ocaklarında Enerji Maliyetlerinin Araştırılması’’ adlı çalışmada, elektrik ark ocaklarında birim miktarda sıvı çelik üretimi için gerekli olan elektrik enerjisi miktarının düşürülebilmesi için geliştirilmiş sistemlerin etkinliklerini incelemiştir. Elektrik enerjisi girdisinin etkinleştirilmesi kapsamında, ocakta kararlı bir ark oluşumu, bu arkın sürdürülebilmesi ve en yüksek ark gücü değerine ulaşabilmek için ne yapılabileceğini araştırmıştır. Buna göre; Güç faktörü değerinin 0,707 civarında tutulması, kararlı bir ark oluşumu için ilk şarttır. Ayrıca bu nokta, maksimum ark gücünün elde edilebildiği noktadır. Güç faktörünün bu noktaya düşürülebilmesi için ocakların elektrik sistemlerinin birincil devresine seri bağlı reaktör ilavesi etkili bir çözüm olmuştur. Bu sayede ocağa olan aktif güç girdisinde %20–40 arasında artış elde edildiğini belirtmiştir. Bunun yanında kimyasal enerji girdisini arttırıcı brülör sistemleri, oksijen kullanımının etkisi, alttan döküm almalı (EBT) sistemlerin kullanımının etkisi incelenmiştir.

Opfermann ve ark., (2008) ‘‘Elektrik Ark Ocaklarında Enerji Verimliliği’’ adlı çalışmada bildirildiğine göre, maksimum üretkenliğin; kullanılabilecek maksimum elektrik gücü ve kimyasal enerji girdisi (Örneğin: Oksijen, gaz, alyajlar vs.) ile elde edilebileceğinden yola çıkılmıştır. EAO’nda fazla enerji girdisi hurdanın ergime süresini hızlandıracağı ilkesi ile sorulması gereken asıl sorunun verilen enerjinin ne kadarının ergitmede kullanıldığı, ne kadarının da kaybolduğu idi. Araştırmacılar, etkin bir enerji tüketiminin olması için toplam tüketilen enerjinin operasyon süresince kaybolan kısmının minimize edilmesi gerektiğini düşünmüşlerdir. Operasyonel süreci; Enerjili süre, enerjisiz süre (proses duruşları), döküm devirme sonrası tapalama, şarj alma olarak tanımlamışlardır. Yapılan çalışmada enerjili süredeki gecikmeler, enerjisiz sürelerdeki gecikme sürelerini etkileyen optimize edilebilecek farklı değişkenler (Örneğin; vinç hızlarının arttırılması, fırın tipi/dizaynı, transformatör gücü, şarj malzemeleri, ilave malzeme enjeksiyon ekipmanları) incelenmiştir. Çalışmada, optimum performans

erişebilmek için elektriksel enerjinin optimize edilmesi gerektiği, bunun yanında kimyasal enerji girdisinin de iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Gottardi ve ark., (2008) ‘‘Hızlı ve Daha Verimli Elektrik Ark Ocakları’’ adlı çalışmada, Texas’ ta kurulan Nucor Steel’ e ait ark ocaklarında yapılan geliştirme uygulamalarından örneklemeler yapmışlardır. Bugün 4. jenerasyon ConsoTech enjeksiyon sisteminin (karbon ve oksijen üfleme sistemleri) kurulmasından sonra ark ocağı yıllık kapasitesi 1.100.000 ton kapasitesine ulaştığı ve dökümden döküme geçen zamanınsa 30-32 dakika seviyelerine indiği belirtilmiştir. Yapılan araştırmalara göre bu zamana kadar yapılan en iyi dökümden döküme geçen sürenin ise 28 dk olduğu vurgulanmaktadır. Bu da günlük 50 döküm alabilme kapasitesi demektir. Nucor Steel’ deki fırının temel özelliği tek hurda sepeti şarjı uygulamalı olmasıdır. Nucor’ da hurda sepeti hacmi 140 m³ tür. Bu hacim, hurda yoğunluğu 0.65 t/m³’ten daha düşük olsa bile tek şarj için yeterlidir. Genel olarak hurda yoğunluğunun 0.73 t/m³ olması hurda sepetinin %90’ının kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ortalama şarj süresi her döküm için 50-70 sn. sürmektedir. Bu süreye elektrot hareketleri ve kapağın açılıp kapanması dâhildir. Duvara monteli ConsoTech bakırlardan karbon enjektörleri ile dakikada 80 Kg. karbon verebilmektedir. Her enjektörün pozisyonu ve eğim açısı düzgün dağılmış ve sıvı banyoyu tam olarak kapatabilecek köpüklü cüruf için dikkatlice seçilmiş ve ayarlanmıştır. Enerjili süre 24 dakika, enerji tüketimi 380 kWh/t, üretkenlik ise 165 t/h olarak hesaplanmıştır. Çalışma başlangıcında konulan hedeflerin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmüştür. Özellikle çatıda delta bölgesindeki ve enjektörlerin altındaki refrakterlerin tüketiminde etkili bir azalma sağlanmıştır. En son UHCP-EAF projelerinden elde edilen deneyimler, 30 dk. lık çevrim zamanı ve öncekilerde daha fazla termal verimliliğe sahip yeni fırınlarının tasarımının mümkün olduğunu göstermiştir. Temel teknik noktalar aşağıdaki gibi özetlenebilir: artan elektrik girdisini karşılamak için daha yüksek kapasite, EAO üzerine konumlandırılan enjeksiyon sistemi, daha iyi bir termal denge için daha iyi bir EAO geometrisi. Ark ocağı gelişiminin oldukça azaldığı, önemli gelişme olarak gösterilecek parametrenin dökümden döküme geçen süre olduğu ve geçmiş yıllara göre beş kat azaltıldığı belirtilmiştir.

Mottahedi ve ark., (2009) ‘‘Elektrik Ark Ocağıyla Çelik Üretiminde Oksijen Kullanımıyla Elektrik Sarfıyatının Azaltılması’’ adlı çalışmada, EAO içerisine oksijen

üflenmesi ile enerji ve süre tasarrufu sağlanabileceği bildirilmiştir. Araştırmacılar, Machine Sazi Arak şirketinin Elektrik Ark Ocağı için bir oksijen üfleme ve kontrolü projesi geliştirmiş, kurulan sistemle; elektrik tüketiminin % 20 oranında azaltıldığını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda üretim sürecinin hızlandığı ve aynı zamanda üretim miktarının da artış gösterdiği belirtilmiştir.

Worrell E. ve ark. (2010) tarafından bildirildiğine göre, EAF' nda proses esnasında herhangi bir geri bildirim bilgisi olmadan, önceden ayarlanmış brülörler ile işletilen Arcelor Mittal Profil Lüksemburg Esch-Belval çelik fabrikasında; kimyasal enerji kullanımı verimliliğini artırmak ve elektrik tüketimini azaltmak için daha önceden bir çalışma yapıldığı; brülörlerin, su soğutmalı panelleri ve refrakter astara zarar verme sorunları yaşanmakta olduğu görüldüğü ve halka şeklindeki brülörler içine monte edilebilir bir on-line "hurda mesafesi ölçer" ölçüm tekniği geliştirildiği; yapılan ölçümler sonucunda her brülörün önünde hurda ergitilmesinin izlenebilirliği ve refrakter açısından hasar oluşumunun önlenmesi konuları başarıyla test edildiği; çalışma ile EAF' nda enerji ve enerji ile ilgili maliyetlerin azaltıldığı Nyssen ve ark. (2007) tarafından belirtilmiştir.

Biswas ve ark., (2012) "Çelik Dökümhanelerinde Eritme Enerjisi Verimliliğinin Arttırılması" adlı çalışmada, Amerikan Enerji Departmanının, Enerji Tasarrufu Geri Dönüşümü ve Tüketiminin Azaltılması Programı çerçevesinde 5 yılda yapılan endüstriyel ölçümlerle, kombine termodinamik operasyonel verileri derlemişlerdir. Elektrik Ark Ocaklarında, efektif oksijen ve doğalgaz brülör kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda; ergime süresinin kısaldığı, üretkenliğin arttığı ve enerji kayıplarının da azaldığı görülmüştür. Elektrik enerjisi tüketimleri oksijen-gaz brülörleri olmadığında 480-500 kWh/t iken, brülörler kullanıldığında 400-420 kWh/t değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Oksijen (O₂) lanslarının kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda; elektrik enerjisi tüketiminin %10, ergime süresinin %13 oranında azaldığı tespit edilmiştir. hurda ile birlikte yeterli derecede SiC ilavesi ile ilgili yapılan çalışmalarda; enerji tüketiminin %7,1 oranında azaldığı; üretkenliğin yaklaşık olarak %5 oranında arttığı tespit edilmiştir, bunun yanında hurda ön ısıtmanın kullanımı ve elektrik akımı pratiği ile enerji tüketim değerlerinin iyileştirilmesi konusunda incelemeler yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Elektrik Ark Ocağı

Elektrik Ark Ocaklarını temel olarak üç bölümde incelememiz mümkündür. Bunlar basitçe; Kapak, Gövde ve Taban olarak ifade edilebilir. Fırın kapağı ve gövde su soğutma panelleri ile yapılmış olup, taban ise yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter tuğla ve dövme malzemesi ile kaplıdır. Fırın kapağı ve gövdede su soğutma panellerinin kullanılmasının avantajı refrakter malzeme tüketiminin azaltılması açısından önemlidir (Madias, 2014). Fırın tabanında; üretim ilavelerinden kireç ile birlikte oluşacak olan bazik karakterli cüruf nedeniyle manyezit esaslı refrakterler kullanılmaktadır. Yani kullanılacak refrakterin cinsi oluşacak olan cürufun baziklik oranına göre belirlenmektedir.

Temel olarak hurda çeliğin, kullanılabilir çeliğe dönüşümünü sağlayan Elektrik Ark Ocaklarında hurda, grafit elektrodlar yardımıyla ergitilir. Ergiyik metal içerisinde bulunan ve çeliğin özelliklerini olumsuz yönde etkileyen elementlerse; kireç, karbon ve oksijen yardımıyla çelik yapısından uzaklaştırılır. Yoğunluğu, çelik yoğunluğuna göre düşük olan bu ergiyiğe ise cüruf adı verilir.

Elektrik Ark Ocağı'nda üretim beş basamakta gerçekleştirilir. Bunlar: Şarj Alma, Ergitme, Rafinasyon ve Cüruf Giderme, Döküm Devirme ve Yeni Döküme Hazırlık olarak sıralanabilir. Elektrik Ark Ocağı genel olarak Şekil 3.1.'deki gibi görünmektedir.



Şekil 3.1. Elektrik ark ocağı genel görünümü

3.1.1.1.Şarj Alma

Ürün kompozisyonunu etkilemesinin yanı sıra proses dengeleri üzerinde önemli etkisi olan şarj hazırlanırken; brülörlerin ve oksijen lanslarının gaz akışını engelleyici yığılmaların önüne geçilmesi, fırın homojenizasyonunun sağlanması, optimum ergimenin sağlanabilmesi için hurdanın sepetlere dengeli şekilde konumlandırılması hususlarına dikkat edilmelidir. Hurda, polip vinçler yardımıyla hurda sepetlerinin içerisine konularak şarj hazırlanır, hazırlanan şarj yer kantarlarında tartılır (Şekil 3.2.). EAO' nın şarjı hareketli kapak sistemi sayesinde üstten yapılabilmektedir. Büyük miktarda şarj malzemesi vinçler yardımıyla fırın kapağının yan tarafa alınmasıyla üstten fırına şarj edilir (Anonymous, 2006). Fırına hurda şarjı yapılırken fırın refrakterlerine ve elektrodlara zarar gelmemesi için dikkatli çalışılmalıdır. Bunun için şarj yapılacak sepet altına hafif hurda yerleştirilmelidir ve yukarıya doğru hafiften ağıra yer almalıdır. Hurda şarjı ile birlikte fırına cüruf yapıcılar da şarj edilir. Flakslardan kireç taşının; ark bölgesine gelmeyecek şekilde şarjı yapılmalıdır, aksi takdirde elektrodların kırılmasına neden olabilmektedirler (Jones ve ark., 1998). Hurda şarjı ocak kapasitesi ve Şarj için hazırlanan hurdalar bileşim bakımından çok çeşitli özelliklerde olabilmektedir. Karbon çelikleri gibi alaşımsız çeliklerin yanı sıra yapısında yüksek oranda alaşım elementi barındıran yüksek alaşımlı çelikler de hurda olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Hurda şarjının hazırlanması ve tartılması

Günümüzde elektrik ark fırınlarında fırın kapağının dikey ekseninde yükseltip akabinde bağlı bulunduğu mil etrafında döndürülmesiyle fırın kapağı açılmış ve şarja hazır hale getirilmiş olur. Şarj sepeti vinç yardımıyla fırın ağzına getirilir. Sepetin alt

kapakları açılarak fırın içerisine hurda şarjı yapılır. İşlemine tamamlayan sepet bir sonraki şarj için gerekli hurdayı almak üzere tekrar hurda alanına taşınır. Fırın kapağı kapatılarak ergitme işleminin başlaması için elektrotlar uygun konuma getirilir. EAO'nda çelik üretiminde tek, iki ve üç hurda şarjı ile çalışan sistemler mevcuttur. EAO'na şarj yapılması Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3. EAO'na hurda şarjının yapılması

3.1.1.2.Ergitme

Elektrik ark fırınlarında ergitme işlemi grafit elektrotlar ile hurda arasında oluşturulan ark vasıtasıyla gerçekleştirilir. Şarj edilen hurdanın ergitilmesinde temel olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Ergitme için kullanılan elektrik enerjisinin azaltılması ve önemli saflaştırma işlemlerinin daha hızlı yapılabilmesi amacıyla fırına kimyasal enerji katkısı da yapılmaktadır. Gerekli ısının sağlanabilmesi için brülörlerden oksijen yardımıyla yakılan doğalgaz verilir. Bunun yanında büyük ebatlı hurdaların daha kolay ergimesini sağlayan ve banyo sıcaklığını arttıran saf oksijen de lanslar yardımıyla ocak içerisine enjekte edilmektedir. Ocak içerisine karbon enjeksiyonu yapılması ile birlikte ekzotermik reaksiyonlar gerçekleşir. Bu süreç sonucunda yüksek ısı ile birlikte sıcaklık artışı ve cüruf oluşmaya başlar. Cürufun oluşması rafinasyon sürecinin başladığına işarettir. EAO içi banyo sıcaklığının ölçümü Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Banyo sıcaklığı ölçümü

3.1.1.3. Rafinasyon ve Cüruf Giderme

Rafinasyon, hurda birleşiminde bulunan istenmeyen empüritelerin çelik yapısından uzaklaştırılması işlemidir. Kireç, oksijen ve karbon rafinasyon sürecinin en önemli elemanlarıdır. Hurda yapısında bulunup oksijene afiniteleri demirden daha yüksek olan alüminyum, silisyum, fosfor, kükürt gibi elementler yapıdan rafinasyon ile uzaklaştırılabilirler. Fosfor ve Kükürt'ün çelik yapısına olan olumsuz etkisi bilindiğinden; bu elementlerin çelik yapısından uzaklaştırılması çelik imalatının önemli bir basamağı olarak tanımlanmaktadır. Fosfor rafinasyonu için kullanılan yöntem "Cüruf Köpürtme" yöntemidir. Banyo sıcaklığı düşükken oksijen üflenerek başlanan teknik, cüruftaki yüksek demiroksit oranı sayesinde fosforun uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Defosforizasyon prosesi, ergiyikte demir oksitle bileşik halde bulunan fosforun sönmemiş kireçle reaksiyonu sonucunda gerçekleşir. Fosfor, çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen (uzama ve darbe mukavemeti, soğuk çekilebilirlik vs.) bir elementtir. Çelik içinde %0,015-0,050 değerleri arasında bulunması kabul edilebilir (Kat, 2010).

EAO' larında rafinasyon sonrasında oluşturulan cüruf, yoğunluğunun düşük olması sebebi ile sıvı çeliğin üzerinde yer almaktadır. Günümüzde EAO lar konstrüktif avantajlardan faydalanılarak bir mil üzerine oturtulmuş ve operatörlerin kontrolünde olacak şekilde iki yönlü hareket edebilecek şekilde tasarlanmışlardır. Bu sayede cüruf ve sıvı çelik farklı yönlerden tasfiye edilerek, çelik kalitesinin bozulması engellenmiş

olunmaktadır. Ocak, döküm devirme yönünün tersine (üretim devam ettiği yönün tersine) doğru hareketlendirildiğinde cürufun tasfiyesi gerçekleştirilmiş olur.

3.1.1.4.Döküm Devirme

Ergitme ve rafinasyon işlemi tamamlandıktan sonra ikincil metalurji ve dökümün alınacağı potanın sıcaklığı ile dengenin yakalanması için uygun sıcaklığın yakalanması sağlanır. Uygun sıcaklık yakalandıktan sonra ocak, üretimin devam ettiği yöne doğru hareketlendirilerek elde edilen dökümün fırın tabanındaki döküm deliğinden bir potaya aktarılması sağlanır. Yapılan bu işleme döküm devirme denir. Devirme esnasında olabildiğince az cürufun potaya geçmesine ve hava ile mümkün olduğunca az temas edilmesine özen gösterilir. Günümüzde döküm devirmede cürufun potaya geçişini azaltmak için dipten döküm alma yöntemi (EBT) uygulanmaktadır. Cürufun yoğunluğu düşük olduğu için yüzeyde kalmaktadır. EBT ile döküm alma yönteminde sirkülasyon minimum olacak şekilde gerçekleştiği için hava ile temas eden yüzeyi azalır ve yapıya azot geçişi minimuma iner. Potaya alınan döküm; yapısında bulunan kükürdün giderilmesi ve alaşım elementleri ilavesinin yapılması için ikincil metalurji kısmına götürülür. Şekil 3.5.' te EBT ile döküm alma yöntemi ve Şekil 3.6.'te sıvı çelik dolu pota görülmektedir.



Şekil 3.5. Döküm devirme,



Şekil 3.6. Sıvı çelik dolu pota

3.1.1.5.Yeni Döküme Hazırlık

Dökümün devrilmesinin ardından ocak tabanında kalan ergiyik metal miktarı, ergimeden kalmış olan hurda olup olmadığı, taban refrakterleri ve su soğutma panellerinde kaçak olup olmadığı kontrol edildikten sonra, yeni dökümün ilk hurda şarjı yapılır ve üretim aynı süreçler ile devam eder.

3.1.2 Pota Ocağı

Ark ocağında eritmeden sonra sıvı çeliğin potada ısıtılması, deoksidasyonu, desülfürizasyonu, homojenleştirilmesi, kalıntıların yüzdürülmesi ve gaz giderilmesi gibi metalurjik işlemlerin tamamına "İkincil Metalurji, Sekonder Metalurji veya yaygın deyimiyile "Pota Metalurjisi" denilmektedir (Pota ocağı Şekil 3.7.'de görülmektedir.).

Pota ocağında deoksidasyon ve desülfürizasyon işlemlerinin yanında çeliğin mekanik özelliklerini arttırıcı ferro alyaj ilaveleri de gerçekleşir. Kükürt (sülfür) , çelik içerisinde tane sınırlarında FeS formunda çökerek sıcak yırtılmaya sebep olması, kalıntı olarak sıcak haddeleme sırasında uzayarak çeliğin üzerine binen dik yüklerde kırılmaya neden olmasından dolayı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen istenmeyen bir elementtir. Sıvı cüruf içerisinde kükürt sülfid (S^{2-}) halde bulunmaktadır. Pota ocağında; metal (çelik) içerisindeki kükürdün, çeşitli ilaveler (CaO , CaF_2 , CaC_2) sayesinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar (CaF_2 hariç) ile pota ocağı sentetik cürufuna katılarak giderilmesi veya azaltılması işlemlerine "desülfürizasyon" denilmektedir.



Şekil 3.7. Pota ocağı

Çelik üretim sürecinde, Elektrik Ark Ocağında ergitmeyi hızlandırmak ve defosforizasyon işleminin (bazik oksitleyici cüruf ile) gerçekleştirilebilmesi için oksijen kullanımı zorunludur. Ancak, sıvı çelik (banyo) içine oksijen verilmesi durumunda, kaçınılmaz olarak sıvı çeliğin oksijen konsantrasyonu arttırılmaktadır. Sekonder metalurji prosesinin başlangıcında, sıvı çeliğin oksijen içeriği 400 – 1000 ppm (%0:004 - %0,1) arasında değişmektedir. Sıvı çelik içerisindeki oksijen çözünürlüğü 0,16% iken, katı çelik içerisindeki maksimum oksijen çözünürlüğü %0,003 'dür. Bu nedenle; çelik katılaştıktan önce, gaz boşluğu oluşturmayacak şekilde oksijen içeriğinin azaltılması gerekmektedir.

Pota Ocağı süreçleri yani kükürt giderme, deoksidasyon ve alyaj ilavelerinin ardından kimyasal analiz sonuçlarının uygunluğu değerlendirilip, yeterli sıcaklık yakalandıktan sonra döküm sürekli döküm makinesine gönderilir.

3.1.3 Sürekli Döküm Prosesi

Sürekli döküm, sıvı çeliğin kütük, blum veya slab olarak adlandırılan yarı mamul haline getirilecek şekilde kontrollü olarak katılaştırıldığı bir prosestir. Pota ocağında istenen kimyasal kompozisyonun ve sıcaklığın elde edilmesinin ardından elde edilen sıvı çelik sürekli döküm makinesinde kalıplara dökülerek kontrollü olarak soğutulur ve istenen yarı mamul/mamul elde edilir. Sürekli döküm makinesinde (CCM) kalıplarda

kontrollü olarak soğutulan sıvı çelik, katılaşma süreci sonunda kütük adı verilen haddehane yarı mamulü olarak elde edilir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Sürekli döküm makinesi(SDM)

3.1.4 Haddehane Prosesi

Çelikhanenin nihai ürünü olan kütükler, haddehanenin yarı mamulü olmaktadır. Haddeleme prosesinde kütükler haddeleme yöntemlerinden sıcak haddeleme ile şekillendirileceğinden, tav fırınlarında uygun haddeleme sıcaklığına çıkacak şekilde bekletilirler.

Sıcak haddeleme işleminde sıcak metalin elektrik enerjisi ile çalışan hadde makinesinin silindirleri arasında tekrar tekrar sıkıştırılması suretiyle çeliğin ölçüleri, şekli ve metalürjik özellikleri değiştirilmektedir (metalın sıcaklığı 1050 °C ila 1300 °C arasında değişmektedir) . Sıcak haddelemede merdaneler arasında şekil alan kütük Şekil 3.9.' da gösterilmiştir. Sıcak haddeleme işleminde, üretilecek ürüne bağlı olarak çok çeşitli şekilde ve durumda bulunan çelik malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar; döküm külçeler, levhalar, kütükler, çubuklar, putreller olabilmektedir. Sıcak haddeleme işleminden elde edilen ürünler genellikle biçimlerine göre düz ve uzun ürünler olarak iki ana kategoriye ayrılırlar. Sıcak çelik haddehanelerinde genellikle aşağıda belirtilen işlemler uygulanmaktadır: Girdi malzemesinin işlenmesi (kusurların işlenmesi, taşlanması); haddeleme sıcaklığına kadar ısıtılması; kazıma; haddeleme (kaba haddeleme, eninin kısaltılması, nihai ölçülere ve özelliklere göre haddelenmesi) ve rötuşlama (düzeltme, dilme, kesme). Bu haddehaneler ürettikleri ürün türüne ve tasarım

özelliklerine göre; Ham demir ve çubuk haddehaneleri, kızgın şerit haddehaneleri, levha haddehaneleri, çubuk haddehaneleri, profil haddehaneleri ve boru haddehaneleri olarak sınıflandırılmaktadırlar (Anonim, 2001).



Şekil 3.9. Haddeleme işlemi

Sıcak olarak haddelenerek gelen kütükler uzun çubuklar olarak finiş tezgahına gelirler. Bu noktadan sonra malzemenin nihai mekanik özelliklerini etkileyecek proses olan Termex Prosesi başlar. Bu proses; Malzemenin finiş tezgahından veya monobloktan çıktıktan sonra çok kısa bir sürede ve etkili bir şekilde soğutulması işlemidir. Bu işlem sonrası malzemenin dış yüzeyi martensite dönüşür. Malzeme platforma düştükten sonra iç kısım kendi ısıyla yüzeyindeki kabuğu temperlenmiş martensite dönüştürür. Son olarak ise iç kısımdaki ostenit çok ince taneli perlite dönüşür (Taştekin, 2015).

Proses, malzemenin üretilen kesite ve standarda bağlı olarak hazırlanan thermex hattında istenilen basınçtaki su ile soğutulup platforma düşürülmesiyle tamamlanır. Platforma düşen malzemedan test numunesi alınır ve laboratuarda çekme testi yapılır. Test sonuçları alınana kadar malzeme platformda bekletilir. Sonuçlar uygun çıkar ise ilgili siparişe, uygun çıkmaz ise, malzeme uygun olmayan ürün olarak üretimden ayrılır ve değerlendirilebiliyorsa iç pazarda, değerlendirilemiyorsa uygun olmayan ürünün konulduğu sahaya alınır. Thermex' in ana prosedürü; Thermex' li BS ve diğer Avrupa standartlarına direk bağlıdır. Standartlara göre üretim isteklerinde kütüğün karbon içeriği, haddeleme hızı, suyun basıncı gibi parametrelerin değiştirilebilirliği göz önünde tutulmalıdır (Taştekin, 2015).

3.1.5 Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada kullanılan başlıca hammaddeler; hurda, kireç, karbon, doğalgaz, oksijen, alaşım yapıcı malzemelerdir.

3.1.5.1 Çalışmada Kullanılan Hurdalar

Çalışmada kullanılan tüm hurdalar İngiliz menşelidir. Hurda sahasından Bonus (A3), Kirlilik oranı %0,5 ve HMS1, Kirlilik oranı %2 (Ortalama Kirlilik Oranı: %1,57) özelliklerine sahip hurdalar polip vinçler yardımı ile hurda sepetlerine boşaltılmıştır.

A3 Hurdası: Demir dışı metallerin mevcudiyeti istenmez. Alaşımli hurda ve Karbonlu hurdanın karışmaması gibi tek kalite ve tek gruptan oluşmalıdır. Bu tür bir karışım olursa %5'i geçmemelidir. Yanıcı, asit v.b. korozyon içermemelidir (Ezer, 2010).

HMS1'i daha ziyade otomotiv şase ve jantları, kalın boru ve profiller, iş makinesi parçaları, silindirler ve miller, kazan bozmaları, inşaat demiri parçaları v.b. oluşturmaktadır. Bu parçaların et kalınlığı 4 mm' den büyüktür (Ezer, 2010).

Deneyisel çalışmalarda, kireç beslenecek birinci yöntem hurda sepeti olarak belirlenmiştir. İkinci yöntem olarak konveyör ile kapaktaki hollerden (kapak açılmadan) kireç besleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Kasaya doldurulmuş kireç

Sepet ile kireç besleme yönteminde EAO' na yapılacak ilk şarj ön ısıtmaya girdiğinden dolayı kireç ocağa ikinci şarj ile birlikte beslenmiştir. Kirecin üstte kalması durumunda elektrodların ark oluşturmama riski bulunmaktadır. Kireç; bir kasa yardımı

ile (Şekil 3.10.) tartıldıktan sonra, hurda sepetinin ortasına boşaltılarak, üstüne tekrar hurda konulmuştur (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Kireç eklenmiş hurda sepeti (2. Hurda Şarjı)

Çalışmada ortalama 41000 Kg Bonus, ortalama 61000 Kg HMS1 olmak üzere Ortalama döküm başına 102066,7 Kg. hurda kullanılmıştır.

3.1.5.2 Çalışmada Kullanılan Kireç

Empüritelerin giderilmesinde kullanılan malzemelere cüruf yapıcılar denilmektedir. Elektrik Ark Ocağı'nda kullanılan en önemli cüruf yapıcı kireçtir. Kireç, Elektrik Ark Ocağı'nda Fosforun (%P) giderilmesinde kullanılmaktadır.

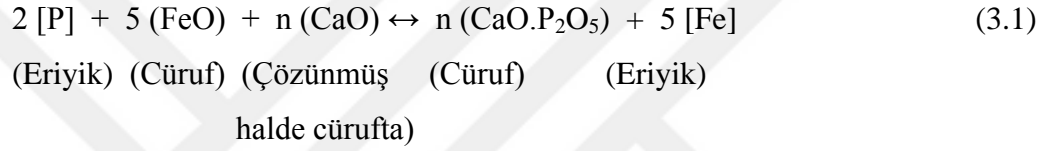
CaO, fırına yanmış kireç veya dolomit olarak hurda ile birlikte yada izabe esnasında direk beslenir. Birden çok hurda sepeti şarjının fırında ergimesinden sonra dekarburizasyon ve defosforizasyon gerçekleşir (Yıldırım ve ark., 2011).

Kullanılan kireç taşının saflık derecesi ve kireç fırınlarında optimal şartlarda kalsine edilmesi ark ocaklarındaki kullanım performansı yani çelikteki kükürt ve fosfor gibi safsızlıklarla en hızlı ve en etkili bir biçimde reaksiyona girme kabiliyeti açısından çok önemlidir (Lokman, 2000).

Kirecin normal kalsinasyon sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda (Ör: 1200 °C ve üzeri) pişirilmesi durumunda kireç, sinterleşerek gözenekleri kapanır, reaksiyon yüzeyi azalır, küçülür ve ağırlaşır. Çekirdekteki kireçleşmemiş kısmın (CO₂= kızdırma kaybı) çok azalmış, dolayısıyla serbest CaO miktarının çok yüksek bulunmasına rağmen kirecin ark ocağında cürufla reaksiyona girebilme (reaktivite) kabiliyeti düşer, kireç sarfiyatı ve tüketilen elektrik enerjisi miktarı artar. Aşırı pişmiş bu kirece sert kireç

denir. Kirecin normal kalsinasyon sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda (Ör: 900 °C' den düşük) pişirilmesinde ise, kireç taşı kirece tam dönüşemediğinden çekirdek kısmında %10'dan daha büyük oranlarda CaCO₃ kalır (yüksek kızdırma kaybı). Böyle iyi pişmemiş bir kirecin çelik üretiminde kullanılması sırasında ark ocağında öncelikle çekirdeğin kireçleşme prosesi yaşanacağından elektrik sarfiyatı artar ve cüruf-eriyik reaksiyonları gecikir veya daha fazla kireç tüketilir. Hurdayla birlikte ocağa şarj edilen kireç (1 ton çelik için 30-60 Kg kireç) reaksiyon kabiliyeti yüksek bazik bir cüruf oluşumunu sağlar. Cürufta çözünen kireç, eriyikteki safsızlıklarla reaksiyona girerek seri bir defosforizasyon prosesi gerçekleştirir (Lokman, 2000).

Defosforizasyon prosesi, ergiyikte demir oksitle birleşik halde bulunan fosforun sönmemiş kireçle reaksiyonu sonucunda gerçekleşir:



Bu reaksiyonun kısa zamanda gerçekleşmesi için reaksiyon denge sabitini arttıran CaO 'ın aktivitesinin mümkün olduğu kadar yüksek olması gerekir. Başka bir deyişle kireç, ergiyik içinde mümkün olduğu kadar kısa sürede çözünmeli yani reaktivitesi yüksek olmalıdır. Aksi takdirde düşük kaliteli bir kireç, cüruf kalınlığını arttırdığı gibi ısı transferini de olumsuz yönde etki eder ve cüruf-eriyik reaksiyonunu frenler. Bu nedenle, kirecin çözünme hızı defosforizasyon hızını belirler (Lokman, 2000). Yani, fosforun metalden cürufa geçmesi EAO prosesini çelik üretimi konusunda önemli bir fonksiyon haline getirmektedir (Pretorius ve ark., 2005). Deneysel çalışmalarda kullanılan kireç Şekil 3.12.' te görülmektedir.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan kireç

Çalışmada kullanılan kireç için yapılan analiz sonucu Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kireç analizi

Kriter	%
Aktif CaO	91,32
Pasif CaO + %MgO + %SiO ₂ + %Al ₂ O ₃	8,68
Kızdırma Kaybı	1,45
Reaktivite	36,3

3.1.6 Deneysel Test ve Ölçü Cihazları

Kasaya konulan kireç ve hurda sepetlerinin tartımları için yer ve araba kantarları kullanılmıştır.

Kimyasal analizler için; Bant zımpara makinesi (Şekil 3.13., çelikhaneden gelen numunelerin kaba olarak kirlerinden arındırılması için kullanılır.) , Numune parlatma cihazı (Şekil 3.13., kimyasal analize girecek olan numunenin yüzeyinin düz olması için kullanılan ince zımparalama cihazıdır.), Spektral analiz cihazı (Şekil 3.14., ark ve pota ocağında sıvı çeliğe gereken ilavelerin yapılabilmesi için alınan numunelerin parlatıldıktan sonra kimyasal olarak analiz edilmesinde kullanılır.) kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Bant zımpara ve numune parlatma cihazı



Şekil 3.14. Optik emisyon spektrometresi (ARL 4460 OES)

Cüruf analizleri için; Öğütme Cihazı (Şekil 3.15., alınan cüruf ve kireç numunelerinin öğütülmesinde kullanılır.), Hammadde presleme cihazı (Şekil 3.16., öğütülen cürufların analize gitmeden önce homojen olarak kalıpta preslenmesini sağlayan cihazdır.) , XRF cihazı (Şekil 3.17., hazırlanan cüruf numunesinin kimyasal olarak analiz edilmesinde kullanılır.) kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Öğütme cihazı



Şekil 3.16. Presleme cihazı



Şekil 3.17. XRF (Optimix) cihazı

Kireç analizleri için; Öğütme cihazı (Şekil 3.15.), Analitik hassas terazi, nem ve sıcaklık ölçer kullanılmıştır.

Mekanik testler için; Mekanik ve dijital kumpas, Master blok set, Mekanik Test Cihazı (Şekil 3.18.) ve Nervürlü çubuklar için ekstensometre kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Mekanik test laboratuvarı

3.2 Yöntem

Çalışmanın amacı farklı kireç besleme yöntemlerinin Elektrik Ark Ocağı'nda enerji ve süreye etkisinin araştırılmasıdır. Farklı olarak tabir edilen kireç besleme yöntemleri ise; Hurda sepeti ile kireç besleme yöntemi ve konveyör sistemle ocak kapağından kireç beslemedir.

Farklı kireç besleme yöntemlerinin Elektrik Ark Ocağı'nda enerji ve süreye etkisi incelenirken; hurda cinslerine (A3, HMS1), farklı hurdaların birinci ve ikinci şarjlarda kullanım oranlarına, aynı cins kirecin kullanılmasına, aynı cins karbonun kullanılmasına, aynı cins oksijenin kullanılmasına, aynı cins doğalgazın kullanılmasına, aynı cins elektrodların kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Her iki kireç besleme yöntemi ile toplamda üçer döküm alınarak EAO verilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Yani, üç döküm hurda sepeti ile kireç besleme yöntemiyle, üç döküm de konveyör sistemle ocak kapağından beslenerek alınacaktır. Farklı kireç besleme yöntemleri kullanılarak yapılacak üretimlerde aynı kalitede ve miktarda; karbon, doğalgaz ve oksijen kullanılacaktır. Bunun yanında her iki yöntemle alınacak her bir döküm için aynı kalitede olmak şartı ile farklı kireç miktarları beslenecektir. Buna karşın beslenecek farklı kireç miktarları her iki yöntem için de aynı olacaktır. Bu sayede her iki yöntem arasındaki farkın ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Çalışmada üretilen çeliğin mekanik özelliklerinin kalite standartları çerçevesinde olup olmadığının incelemesi de yapılacaktır. Bu nedenle EAO sürecinin yanı sıra; Pota ocağı, sürekli döküm süreci ve haddehane süreçleri de sırasıyla kontrol altında tutulacaktır. Deneyle aşağıdaki sıra izlenerek tamamlanacaktır.

3.2.1 Sepetle Kireç Besleme İçin İzlenecek Yol

- Hurda paçalının belirlenmesi,
- Birinci şarjın hazırlanması,
- Birinci şarjın ön ısıtılması,
- Birinci şarjın EAO'na boşaltılması ve ergitmenin başlaması,
- İkinci şarjın hazırlanması (Şarja kireç ilavesinin yapılması),
- Ocak kapağının açılması,
- İkinci şarjın (belirlenen kireç ile birlikte) ön ısıtmaya girmeden EAO'na boşaltılması,
- Ocak kapağının kapatılarak çalışılması,
- İzabe süreci (Sıcaklık ölçümlerinin yapılması, cüruf ve sıvı çelik provalarının alınması),
- Sıcaklık ve prova sonuçlarının değerlendirilmesi,
- Değerlendirme sonucuna göre ilave kirecin hesaplanarak fırın kapağı açılarak EAO'na beslenmesi (defosforizasyon yetersiz ve/veya iyileştirilmesi gerekiyorsa),
- Ocak kapağının kapatılarak çalışılması,
- Tekrar sıcaklık, cüruf ve sıvı çelik provalarının alınması,
- Oluşturulan cürufun sıvı çelikten uzaklaştırılması,
- Dökümün devrilmesi,
- Devirmede akışa alyaj ilavesi yapılması,
- Pota ocağında istenilen kimyasal analizin ayarlanması,
- Hazırlanan dökümün sürekli dökülerek kütük üretiminin tamamlanması,
- Kütüklerin tav fırınının tavlanması,
- Haddeleme süreci,
- Mekanik testlerin yapılması,

- Nihai ürün uygunluğunun değerlendirilmesi.

3.2.2 Ocak kapağından Kireç Besleme İçin İzlenecek Yol

- Hurda paçalının belirlenmesi,
- Birinci şarjın hazırlanması,
- Birinci şarjın ön ısıtılması,
- Birinci şarjın EAO'na boşaltılması ve ergitmenin başlaması,
- Ocak kapağından kireç beslemesi,
- İkinci şarjın hazırlanması,
- İkinci şarjın ön ısıtılması,
- Ocak kapağının açılması,
- İkinci şarjın EAO'na boşaltılması,
- Ocak kapağının kapatılarak çalışılması,
- Ocak kapağından kireç beslenmesi
- İzabe süreci (Sıcaklık ölçümlerinin yapılması, cüruf ve sıvı çelik provalarının alınması),
- Sıcaklık ve prova sonuçlarının değerlendirilmesi,
- Değerlendirme sonucuna göre ilave kirecin hesaplanarak ocak kapağı açılmadan kapaktan beslenmesi (defosforizasyon yetersiz ve/veya iyileştirilmesi gerekiyorsa),
- Tekrar sıcaklık, cüruf ve sıvı çelik provalarının alınması,
- Oluşturulan cürufun sıvı çelikten uzaklaştırılması,
- Dökümün devrilmesi,
- Devirmede akışa alyaj ilavesi yapılması,
- Pota ocağında istenilen kimyasal analizin ayarlanması,
- Hazırlanan dökümün sürekli dökülerek kütük üretiminin tamamlanması,
- Kütüklerin tav fırınında istenilen sıcaklığa getirilmesi,
- Haddelme süreci,
- Mekanik testlerin yapılması,
- Nihai ürün uygunluğunun değerlendirilmesi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Deneysel Çalışmalar

Sepetten kireç besleme yöntemi ile 3, konveyör yardımıyla kapak hollerinden kireç besleme yöntemi ile de 3 olmak üzere toplamda 6 döküm için deneme yapılmıştır.

Üretimin başlamasına müteakip alınan ikinci döküm çalışmanın ilk deneyi olmuştur. 501879 (1A) numaralı döküm için; 1. Hurda Şarjı: 52.500 Kg, 2. Hurda Şarjı: 49.600 Kg (40.500 Kg Bonus, 60.900 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 101.650 Kg hurda şarj olmuştur. 2. Şarj ile birlikte sepetten kireç besleme yöntemi ile 3.500 Kg kireç hurda şarjı ile birlikte ocağa verilmiştir. Sonrasında çalışmaya başlandığı anda 3 numaralı faz kirece denk geldiğinden limit görmeyip, elektrotun kırılmasına sebep olmuştur (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.). Kırılan elektrotun değiştirilmesi ve tekrar çalışmaya başlanması 25 dakikalık duruş olarak ölçülmüştür (Duruş anında EAO'nda harcanan enerji: 10.790,8 kWh okunmuştur. Enerjili süre (pOnT) : 10,7 dakika). Duruş süresince ocak kapağı kapalı olacak şekilde lans ve brülörler çalıştırılarak enerji kaybı minimize edilmiştir.



Şekil 4.1. Kırılan elektrod üst kısım



Şekil 4.2. Kırılan elektrod alt kısım

İzabe süreci başlaması itibari ile kimyasal analiz için prova (Şekil 4.3.) ve cüruf numunesi alınıp, uygunluğu kontrol edilmiştir. %P değerinin uygunluğunun kontrol altına alınmasının ardından dökümün devrilmiştir. Döküm devirme sıcaklığı 1605 °C. EAO' nda harcanan enerji: 29.890 kWh, enerjili süre: 29,5 dakika, dökümden döküme geçen süre (TTT): 62 dakika olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.3. Prova alan ark ocağı işçisi

Döküm devrildikten sonra sıvı çelik Pota Ocağı'na (PO) geldiği anda prova alınıp; prova sonucuna göre gerekli alyaj ilaveleri yapılmış ve istenen kalite değerleri göz önünde bulundurularak sürekli döküm platformuna gönderilmiştir. 150x150 kare kütük olarak dökülen çelik, Ekinciler Demir ve Çelik A.Ş.' ne ait haddehanede Ø12 mm nervürlü inşaat çeliği olarak mamul haline gelmiştir. Ürünlere yapılan mekanik testlerin de standart gereklerini yerine getirdiği görülmüştür.

501880 (2A) numaralı döküm için; 1. Hurda Şarjı: 52.750 Kg, 2. Hurda Şarjı: 48.900 Kg (41150 Kg Bonus, 60.200 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 101.650 Kg hurda şarj olmuştur. Şarj ile birlikte sepetten kireç besleme yöntemi ile 2.750 Kg kireç 2. hurda şarjı ile birlikte ocağa verilmiştir. İzabe sürecinde cüruf numunesi alınmıştır, alınan ilk provada %P değeri yüksek olduğundan, ocak kapağı kaldırılarak 400 Kg kireç vinç yardımı ile şarj edilmiştir (Duruş süresi: 1,20 dakika olarak ölçülmüştür. Duruş anında harcanan enerji: 25.480,1 kWh olarak okunmuştur. Enerjili süre: 23,6 dakika, toplam beslenen kireç: 3.150 Kg' dir.). ilave sonrasında tekrar çalışılarak ikinci prova alınmıştır, %P değerinin düşmesinin ardından döküm devrilmiştir (EAO' nda harcanan enerji: 29.960,1 kWh okunmuştur. Enerjili süre: 27,8 dakika, Döküm Süresi (TTT): 35 dakika). Döküm devirme sıcaklığı 1611 °C. Pota Ocağı (LF) ve Haddehane süreçleri 501879 numaralı döküm ile aynı şekilde işlemiştir.

501881 (3A) numaralı döküm için; 1. Hurda Şarjı: 51.050 Kg, 2. Hurda Şarjı: 49.550 Kg (39.200 Kg Bonus, 61.150 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 100.600 Kg hurda şarj olmuştur. 2. Şarj ile birlikte sepetten kireç besleme yöntemi ile 2.750 Kg kireç 2. hurda şarjı ile birlikte ocağa verilmiştir. İzabe sürecinde cüruf numunesi alınmıştır, alınan ilk provada %P değerini iyileştirilmek amacıyla, ocak kapağı kaldırılarak 600 Kg kireç vinç yardımı ile şarj edilmiştir (Toplam 3.350 Kg kireç). Duruş süresi: 1,30 dakika olarak ölçülmüştür. Duruş anında EAO' nda harcanan enerji: 24.700,9 kWh, Enerjili süre: 23,9 dakika okunmuştur. İlave sonrasında tekrar çalışılarak ikinci prova alınmış ve %P değerinin düşmesinin ardından döküm devrilmiştir. Döküm devirme sıcaklığı 1598 °C (EAO' nda harcanan enerji: 30.560 kWh okunmuştur. Enerjili süre: 29,6 dakika, Döküm Süresi (TTT) : 37 dakika). Pota Ocağı ve Haddehane süreçleri 501879 numaralı döküm ile aynı şekilde işlemiştir.

501884 (1B) numaralı döküm için; 1. Hurda Şarjı: 50.500Kg, 2. Hurda Şarjı: 52.200 Kg (40.850 Kg Bonus, 61.550 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 102.700 Kg hurda şarj olmuştur. Bu dökümde de kireç ocağa konveyör yardımı ile kapakta bulunan iki adet holden verilmiştir. Ocağın kapağı açılmadan yapılan beslemede; 1. Hurda şarjından sonra çalışılmaya başlanmış ve 5-10 dakika sonra ocağa ilk kireç şarjı 1.765 Kg olarak yapılmıştır. 2. Hurda şarjı yapıldıktan 5 dakika sonra 2. Kireç şarjı 1.735 Kg olarak yapılmıştır (Toplam 3.500 Kg kireç). İzabe sürecinde cüruf numunesi alınmıştır, iki adet prova alınmıştır. İlk provada %P değeri yeterli seviyelere düştüğü görülmüştür. Döküm devirme sıcaklığı 1604 °C (EAO' nda harcanan enerji: 26.770 kWh okunmuştur. Enerjili süre: 27,6 dakika, döküm Süresi (TTT): 41 dakika). Pota Ocağı ve haddehane süreçleri 501879 numaralı döküm ile aynı şekilde işlemiştir.

501883 (2B) numaralı döküm için; 1. Hurda Şarjı: 51.050Kg, 2. Hurda Şarjı: 52.550 Kg (42.250 Kg Bonus, 61.100 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 103.600 Kg hurda şarj olmuştur. Bu dökümde kireç ocağa konveyör yardımı ile holden verilmiştir. Böylece daha homojen bir besleme yapılmıştır. Ocağın kapağı açılmadan yapılan bu beslemede; 1. Hurda şarjından sonra çalışılmaya başlanmış ve 5-10 dakika sonra ocağa ilk kireç şarjı 1.750 Kg olarak yapılmıştır. 2. Hurda şarjı yapıldıktan 5 dakika sonra 2. Kireç şarjı 1.400 Kg olarak yapılmıştır (Toplam 3.150 Kg kireç). İzabe sürecinde cüruf numunesi alınmıştır, iki adet prova alınmıştır. İlk provada %P değeri yeterli seviyelere düştüğü görülmüştür. Döküm devirmeden önce alınan ikinci provada bu değer daha

da iyileştiği gözlenmiştir. Döküm devirme sıcaklığı 1606 °C (EAO' nda harcanan enerji: 28.929,9 kWh okunmuştur. Enerjili süre: 27,7 dakika, Döküm Süresi(TTT): 35 dakika). Pota Ocağı ve haddehane süreçleri 501879 numaralı döküm ile aynı şekilde işlemiştir.

501882 (3B) numaralı döküm için; 1. Hurda şarjı: 50.100Kg, 2. Hurda şarjı: 52.100 Kg (41.800 Kg Bonus, 60.100 Kg HMS1) olmak üzere toplamda: 102.200 Kg hurda şarj olmuştur. Bu dökümde kireç ocağa konveyör yardımı ile kapakta bulunan iki adet holden verilmiştir. Kireç besleme yönteminin değişmesi ile birlikte ocağa yapılacak her iki hurda şarjı için ayrı ayrı kireç besleyebilme imkânı doğmuştur. Böylece daha homojen bir besleme yapılmıştır. Ocağın kapağı açılmadan yapılan beslemede; 1. Hurda şarjından sonra çalışılmaya başlanmış ve 5-10 dakika sonra ocağa ilk kireç şarjı 1.745 Kg olarak yapılmıştır. 2. Hurda şarjı yapıldıktan 5 dakika sonra 2. Kireç şarjı 1.025 Kg olarak yapılmıştır. İzabe sürecinde cüruf numunesi alınmıştır, alınan ilk prova sonucu da göz önünde bulundurularak %P değerini iyileştirilmek amacıyla, yaklaşık olarak 24. dakikada ocağa 580 Kg daha kireç beslenmiştir (Toplam 3.350 Kg kireç). %P değerinin düşmesinin ardından döküm devrilmiştir (Döküm devirme sıcaklığı 1602 °C (EAO' nda harcanan enerji: 29.050 kWh okunmuştur. Enerjili süre: 29,4 dakika, Döküm Süresi (TTT): 38 dakika). Pota Ocağı ve Haddehane süreçleri 501879 numaralı döküm ile aynı şekilde işlemiştir.

Yapılan deneyler toplamda altı adet (3 döküm hurda sepetiyle, 3 döküm de konveyör sistemle ocak kapağından beslenerek) olmuştur. Sadece kireç besleme yönteminin ve miktarının değiştiği diğer etkenlerin sabit tutulduğu bir çalışma yapılmıştır.

4.2 Deney Verileri

4.2.1 Kullanılan Hurdalar ve Miktarları

Çalışmada kullanılan hurdalar cinsine ve kullanım miktarına bağlı olarak döküm bazında kaydedilmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan hurdalar (miktar, cins ve döküm bazında)

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Kullanılan Hurda Çeşidi ve Döküm Bazında Şarj Miktarları					Toplam (Kg)
		Araba Kantarı		Yer Kantarı		Bonus (A3) (Kg)	
		HMS1 (Kg)	1.Şarj (Kg)	2.Şarj (Kg)			
Kapaktan Kireç Besleme	501884	40.850	61.550	50.500	52.200		102.700
	501883	42.250	61.100	51.050	52.550		103.600
	501882	41.800	60.100	50.100	52.100		102.200
Sepetten Kireç Besleme	501881	39.200	61.150	51.050	49.550		100.600
	501880	41.150	60.200	52.750	48.900		101.650
	501879	40.500	60.900	52.050	49.600		101.650

4.2.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

Farklı yöntemler kullanılarak kireç beslenen dökümlerin üretimi aşamasında yapılan kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.2. Kapaktan kireç besleme yöntemi ile alınan provalara ait kimyasal analiz sonuçları

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Kimyasal Analiz						
		Tip	% C	% Si	% S	% P	% Mn	% Cu
Kapaktan Kireç Besleme	501884	LFS 1	0,212	0,161	0,0188	0,0239	0,534	0,467
		LF 3	0,203	0,168	0,0276	0,0259	0,531	0,46
		LF 2	0,189	0,168	0,0366	0,0251	0,509	0,459
		LF 1	0,057	0,145	0,0471	0,0225	0,366	0,462
		EAF 2	0,06	0,005	0,0462	0,0188	0,075	0,457
		EAF 1	0,067	0,006	0,0445	0,0251	0,077	0,455
	501883	LFS 1	0,209	0,153	0,0108	0,0267	0,52	0,511
		LF 3	0,204	0,155	0,013	0,0285	0,53	0,514
		LF 2	0,171	0,148	0,0194	0,0281	0,524	0,514
		LF 1	0,15	0,15	0,032	0,0272	0,49	0,504
		EAF 2	0,052	0,008	0,0531	0,0214	0,377	0,51
		EAF 1	0,064	0,006	0,0497	0,0245	0,071	0,518

Çizelge 4.2. (Devam) Kapaktan kireç besleme yöntemi ile alınan provalara ait kimyasal analiz sonuçları

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Kimyasal Analiz						
		Tip	% C	% Si	% S	% P	% Mn	% Cu
Kapaktan Kireç Besleme	501882	LFS 1	0,197	0,149	0,0258	0,0176	0,552	0,51
		LF 3	0,197	0,156	0,0273	0,0173	0,56	0,503
		LF 2	0,187	0,137	0,0378	0,0177	0,511	0,512
		LF 1	0,033	0,122	0,0509	0,0165	0,415	0,516
		EAF 2	0,053	0,004	0,0507	0,0165	0,081	0,51
		EAF 1	0,109	0,012	0,0466	0,0208	0,107	0,52

Çizelge 4.3. Hurda sepeti ile kireç besleme yöntemi için alınan provalara ait kimyasal analiz sonuçları

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Kimyasal Analiz						
		Tip	% C	% Si	% S	% P	% Mn	% Cu
Sepetten Kireç Besleme	501881	LFS 1	0,21	0,153	0,0204	0,0219	0,531	0,533
		LF 3	0,217	0,166	0,0252	0,0222	0,536	0,527
		LF 2	0,179	0,173	0,0378	0,0207	0,463	0,529
		LF 1	0,041	0,138	0,0461	0,0197	0,372	0,528
		EAF 2	0,051	0,007	0,0458	0,0203	0,077	0,542
		EAF 1	0,154	0,014	0,0478	0,021	0,124	0,522
	501880	LFS 1	0,21	0,16	0,0174	0,0298	0,526	0,473
		LF 3	0,208	0,15	0,0192	0,0307	0,538	0,495
		LF 2	0,197	0,14	0,0263	0,0321	0,523	0,473
		LF 1	0,195	0,15	0,0423	0,0334	0,525	0,486
		EAF 2	0,038	0,16	0,0557	0,0276	0,429	0,482
		EAF 1	0,094	0,011	0,0561	0,0337	0,089	0,516
	501879	LFS 1	0,214	0,137	0,0194	0,0224	0,524	0,516
		LF 2	0,203	0,135	0,0268	0,0222	0,512	0,517
		LF 1	0,044	0,181	0,0563	0,0207	0,452	0,519
		EAF 2	0,056	0,007	0,0508	0,0164	0,084	0,521
		EAF 1	0,073	0,008	0,0497	0,0218	0,093	0,523

4.2.3 Cüruf Analiz Sonuçları

Farklı yöntemler kullanılarak kireç beslenen dökümlerin üretimi aşamasında yapılan cüruf analiz sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Cüruf analiz sonuçları

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Cüruf Analizi							
		% Al ₂ O ₃	% CaO	% Fe ₂ O ₃	% FeO	% MgO	% MnO	% SiO ₂	Baziklik
Kapaklı Kireç Besleme	501884	12,65	32,34	25,95	23,57	4,69	5,36	16,2	2
	501883	14,07	34,1	19,2	17,28	5,33	5,75	18,32	1,86
	501882	12,42	30,2	29,1	26,19	4,03	5,53	15,8	1,91
Sepetten Kireç Besleme	501881	12,49	32,92	24,69	22,22	5,2	5,82	15,81	2,08
	501880	12,33	33,97	25,89	23,3	4,11	4,93	15,56	2,18
	501879	12,64	33,28	23,49	21,14	5,37	5,94	16,17	2,06

4.2.4 Mekanik Test Sonuçları

Farklı yöntemler kullanılarak kireç beslenen dökümlerin üretimi aşamasında yapılan mekanik testlere ait sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. Mekanik test sonuçları

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Mekanik Test Sonuçları												
		Ebat	Boy (m)	Standart	Kalite	Ağırlık (Gr)	Kg/m	Akma (N/(mm ²))	Çekme (N/(mm ²))	Çekme/ Akma	Uzama (%)	Gerçek Kesit Alan (mm ²)	Nominal Kesit Alan (mm ²)	Bükme Testi
Kapaklı Kireç Besleme	501884	N12	12	IQS 2091	GR 400	508,75	0,84	585	670	1,15	12,5	107,23	113,12	OK
	501883					510,5	0,84	586,25	663,5	1,13	12,25	107,07	113,12	OK
	501882					508,5	0,84	577,75	654,5	1,13	12,25	106,88	113,12	OK
Sepetten Kireç Besleme	501881					511,33	0,84	584,5	663,33	1,13	12,83	106,97	113,12	OK
	501880					509	0,84	588	667	1,13	12	107,05	113,12	OK
	501879					510,75	0,84	594,5	676,25	1,14	12,25	107,14	113,12	OK

4.2.5 EAO Proses Verileri

DeneySEL çalışmalar sırasında EAO' daki kalibrasyonlu ve güncel doğrulaması yapılmış olan ölçüm ve tartım ekipmanlarından alınan veriler sonucunda Çizelge 4.6.'da görülen veriler elde edilmiştir. Bu veriler ışığında deneysel veriler karşılaştırılacaktır.

Çizelge 4.6. Proses verileri

Kireç Besleme Yöntemi	Döküm No	Enerji - Süre - Devirme Sıcaklığı						Katkı Malzemeleri									Standart Kütük Adedi		
		Döküm Süre (dk)	EAO Enerji (kWh)	Enerjili Süre (dk)	EAO Enerji/ Enerjili Süre (kW)	Döküm Ort. Enerji (kWh/t)	Devirme Sıcaklığı (°C)	Karbon			Kireç			Oksijen (Nm³)					
								(Kg)	1. Şarjda (Kg)	2. Şarjda (Kg)	İlave Kireç Besleme (Kg)	İlave Şarj/Duruş Öncesi Enerji (kWh)	Duruş Sebebi	Duruş (dk)	EAO Toplam Kireç (Kg)	Lans		VLB	Yakıt (LPG)
Kapaktan Kireç Besleme	501884	41	26.770	27,6	969,93	282,23	1604	1.115	1.765	1.735				kireç besleme için duruş yok	3.500	1.550	2.335	341	46
	501883	35	28.930	27,7	1.044,40	305	1606	1.178	1.750	1.400				kireç besleme için duruş yok	3.150	1.580	2.271	298	46
	501882	38	29.050	29,4	988,1	306,27	1602	1.134	1.745	1.025	580			kireç besleme için duruş yok	3.350	1.460	2.390	311	46
Sepetten Kireç Besleme	501881	37	30.560	29,6	1.032,43	322,19	1598	1.292		2.750	600	24.700	Kapak açıldı, vinç ile kireç beslendi	1,3	3.350	1.600	2.454	322	46
	501880	35	29.960	27,8	1.077,70	310,71	1611	1.232		2.750	400	25.480	Kapak açıldı, vinç ile kireç beslendi	1,2	3.150	1.530	2.221	314	44
	501879	62	29.890	29,5	1.013,22	353,9	1605	1.110		3.500	YOK	10.790	3.nolu faz kireç üzerine denk geldi, elektrod kırıldı	25	3.500	1.620	2.441	333	41

4.3 DeneY Verilerinin Karşılaştırılması

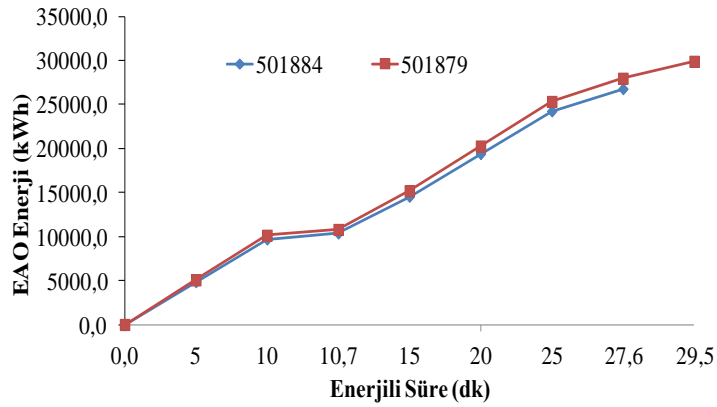
Değerlendirme yapılırken farklı yöntemler ile aynı miktarda kireç beslenen dökümlere ait enerji ve enerjili süre verilerinden yararlanılmıştır.

501879 (1A) numaralı döküme sepet ile 3.500 Kg kireç beslenmiştir. 501884 (1B) numaralı döküme konveyör yardımı ile ocak kapağındaki hollerden 3.500 Kg kireç beslenmiştir.

501880 (2A) numaralı döküme sepet ile 3.150 Kg kireç beslenmiştir. 501883 (2B) numaralı döküme konveyör yardımı ile ocak kapağındaki hollerden 3.150 Kg kireç beslenmiştir.

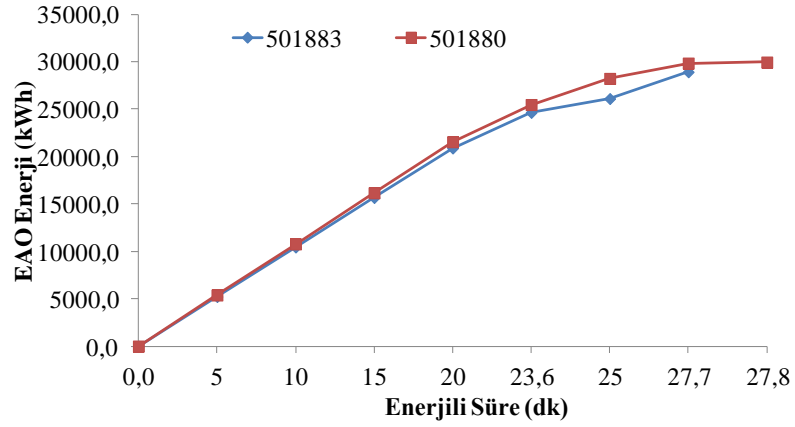
501881 (3A) numaralı döküme sepet ile 3.350 Kg kireç beslenmiştir. 501882 (3B) numaralı döküme konveyör yardımı ile ocak kapağındaki hollerden 3.350 Kg kireç beslenmiştir.

Yapılan karşılaştırmalar sonrasında oluşan çizelgeler aşağıdaki gibidir. Şekil 4.4. 'de görüldüğü üzere 10,7'nci enerjili süre (dk) sonrasında elektrod kırılması ile başlayan enerji sarfiyatı döküm sonunda dakikada 501779 (1A) için: 1.013,22 kWh, 501884 (1B) için: 969,93 kWh olarak görülmektedir.



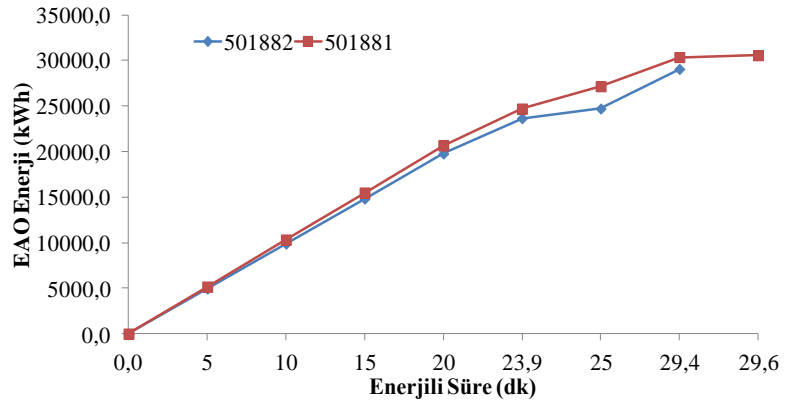
Şekil 4.4. 501884 – 501779 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı

Şekil 4.5.'de görüldüğü üzere 23,6'nci enerjili süre (dk) sonrasında; kireç ilavesi sırasında kaybedilen enerji, enerjili sürenin uzamasına ve daha yüksek enerji çekilmesine sebep olmuştur. Enerji sarfiyatı döküm sonunda dakikada 501880 (2A) için: 1.077,7 kWh, 501883 (2B) için: 1.044,4 kWh olarak görülmektedir.



Şekil 4.5. 501883 – 501780 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı

Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere 23,9'ncü enerjili süre (dk) sonrasında; kireç ilavesi sırasında kaybedilen enerji, enerjili sürenin uzamasına ve daha yüksek enerji çekilmesine sebep olmuştur. Enerji sarfiyatı döküm sonunda dakikada 501881 (3A) için: 1.032,4 kWh, 501882 (3B) için: 988,1 kWh olarak görülmektedir.

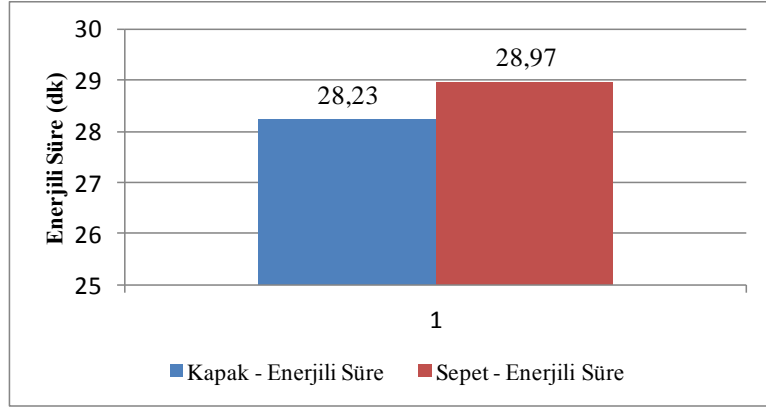


Şekil 4.6. 501882 – 501781 nolu dökümlere ait enerji sarfiyatı

Her iki yöntem ile yapılan üretimlerin ortalama enerjili süre karşılaştırma çizelgeleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

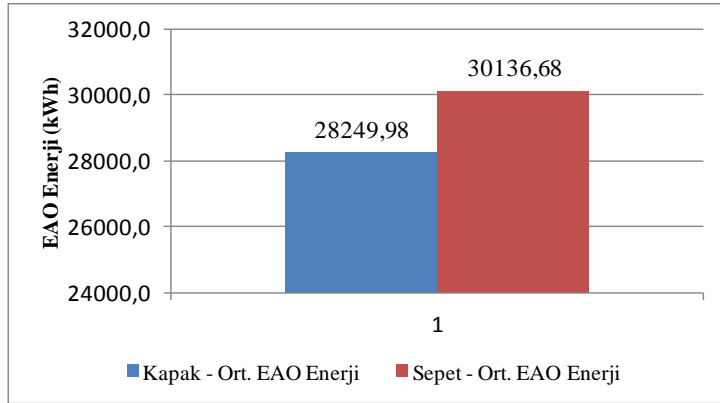
Şekil 4.7.'da görüldüğü üzere kapaktan kireç beslenerek yapılan üretimlerde enerjili süre; 501282 (3B), 501283 (2B), 501284 (1B) nolu dökümler için ortalama olarak 28,23 dakika olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde hurda sepetinden kireç beslenerek yapılan üretimlerde enerjili süre; 501279 (1A), 501280 (2A), 501281 (3A) nolu dökümler için ortalama olarak 28,97 dakika olarak hesaplanmıştır. Kapaktan kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile

yapılan üretimlere göre enerjili süre bakımından 0,64 dakika daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Yönteme göre ortalama enerjili süre karşılaştırması

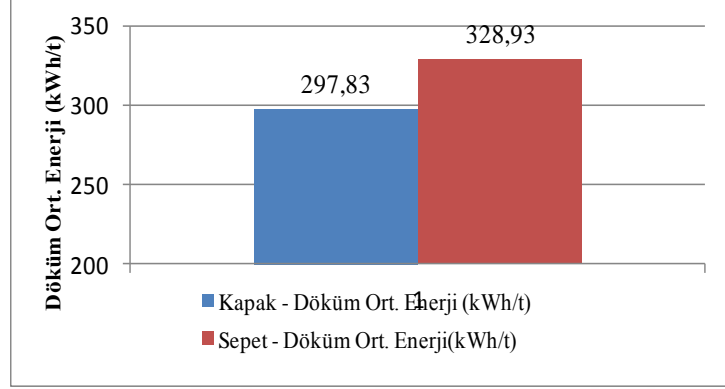
Şekil 4.8.'e göre; kapaktan kireç beslenerek yapılan üretimlerde (501282 (3B), 501283 (2B), 501284 (1B)) ortalama sarf edilen enerji: 28.249,98 kWh, hurda sepetinden kireç beslenerek yapılan üretimlerde ortalama (501279 (1A), 501280 (2A), 501281 (3A) nolu dökümler için) olarak sarf edilen enerji: 30.136,68 kWh olduğu görülmektedir. Kapaktan kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile yapılan üretilere göre EAO'nda sarf edilen enerji bakımından 1.886,7 kWh daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Yönteme göre ortalama EAO enerji karşılaştırması

Kapaktan kireç beslenerek yapılan üretimlerde ortalama (501282 (3B), 501283 (2B), 501284 (1B) nolu dökümler için) olarak ton başına sarf edilen enerji 297,83 kWh/t, hurda sepetinden kireç beslenerek yapılan üretimlerde ise ortalama (501279 (1A), 501280 (2A), 501281 (3A) nolu dökümler için) olarak ton başına sarf edilen enerji: 328,93 kWh/t olduğu görülmektedir (Şekil 4.9.). Kapaktan kireç besleme

yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlere göre ton başına sarf edilen enerji bakımından 31,1 kWh/t daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Yönteme göre döküm ortalama enerji karşılaştırması

5. SONUÇ

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve yapılan karşılaştırmalara göre; hurda sepetinden kireç belsleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, ocak kapağından kireç besleme yöntemi ile yapılan üretilere göre enerjili süre ve EAO enerji tüketimi bakımından daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Hurda sepetinden kireç besleme yönteminde; beslenen kirecin, hurda ocak içerisine şarj olunurken kontrollü olarak konumlandırılmıyor olması sebebiyle elektrod kırılması gibi problemlere yol açabildiği; dolayısıyla bu durumun hem enerji, hem döküm süresi, hem de elektrod kayıplarına neden olabileceği görülmektedir. Ocak kapağından kireç besleme yönteminde; besleme hollerinin açılı, elektrod-hurda temas bölgesine denk gelmeyecek şekilde konumlandırılabilir olması sebebiyle elektrodların kirece denk gelme olasılığının azaldığı, kırılma riskinin ve dolayısıyla; enerji, döküm süresi ve elektrod kayıplarının minimize edildiği görülmüştür.

Araştırma bulgularına göre: Kapaktan kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile yapılan üretilere göre enerjili süre bakımından 0,64 dakika daha az olduğu; Kapaktan kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile yapılan üretilere göre EAO'nda sarf edilen enerji bakımından 1886,7 kWh daha az olduğu; Kapaktan kireç besleme yöntemi ile yapılan üretimlerin, hurda sepetinden kireç besleme yöntemi ile yapılan üretilere göre ton başına sarf edilen enerji bakımından 31,1 kWh/t daha az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, Konveyör sistemle kapaktan kireç besleme yönteminin hurda sepetiyle kireç besleme yöntemine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1997. **Enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu.** <http://www.emo.org.tr/ekler/ee70b7987a735c0_ek.doc?tipi=38&turu=X...>
Erişim tarihi: 30.06.2015
- Anonim, 2001. **Demir metal sanayinde kullanılabilir en iyi teknikler hakkında referans belgesi.** <<http://www.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge1120.pdf>>,
Erişim tarihi: 29.06.2015
- Anonim, 2010. **Elektrik ark fırınlarında (EAF) çelik üretimi.** <<http://www.haberortak.com/Haber/Demir-Celik/14072010/Elektrik-ark-firinlarinda-EAF-celik-uretimi.php>>,
Erişim Tarihi: 30.06.2015
- Anonymous, 2006. **Electric ark furnace simulation user guide version 1.** <http://www.gotrawama.eu/Siderurgia/EAF_UserGuide.pdf>
Erişim tarihi: 29.06.2015
- Biswas, S., Peaslee, K.D., Lekakh, S., 2012. **Increasing melting energy efficiency in steel foundries.** Missouri University of Science & Technology, 12-040, 8, USA.
- De Beer, J., Worrell, E., Blok, K., 1998. **Future technologies for energy-efficient iron & steel making.** Annu. Rev. Energy Environ., (23:123–205).
- Engin, B., Gottardi, R., Miani, S. and Partyka, A., 2005. Real time process control strategies with concast integrated process director. **8th European Electric Steelmaking Conference**, 10, Birmingham.
- Erensoy, K., 2007. **Elektrik ark ocaklarında enerji maliyetlerinin araştırılması.** Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 134, Antakya.
- Ezer, İ., 2010. **Hurda el kitabı.** Ekinciler Demir ve Çelik A.Ş., 21, Türkiye
- Gottardi, R., Miani, S. and Partyka, A., 2008. A faster more efficient EAF. **AISTech Conference**, 10, Pittsburgh.
- Jones, J.A.T, Bowman, B. and Lefrank, P.A., 1998. Steelmaking and refining volume. (R.J. Fruehan). **Electric Furnace Steelmaking**, The AISE Steel Foundation, P.525-660, Pittsburgh.
- Kournetas, N.G., 1998. **The use of oxygen to decrease electrical energy usage in the electric arc furnace.** University of Toronto Faculty of Applied Science and Engineering, 81, Canada.
- Kleimt, B., Köhle, S., Kühn, R. and Zisser, S., 2005. Application of models for electrical energy consumption to improve EAF operation and dynamic control. **8th European Electric Steelmaking Conference**, 10, Birmingham.
- Kat, S.A., 2010. **Geçmişten günümüze demir-çelik üretim yöntemleri ve teknolojik gelişmeler.** İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi, 172, İstanbul.
- Lokman, L., 2000. **Sönmemiş kirecin ark ocağı çeliğinde safsızlık arıtma kimyasalı olarak kullanılması.** Türkiye.
- Mottahedi, A.A. and Amani, S., 2009. Using oxygen reaction as electricity saving in electric arc furnace steel making. **International Journal of ChemTech Research**, Vol.1 (1: 62-70).

- Madias J., 2014. Electric furnace steelmaking. **Treatise on Process Metallurgy**, Vol.3, 30, Argentina.
- Opfermann, A. ve Riedinger D., 2008. **Energy efficiency of electric arc furnace**. Badische Stahl Engineering GmbH, 14, Germany.
- Özaksoy, M.G., 2004. **İkincil çelik üretiminde kükürt giderimi ve çelik kalitesi**. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 111 İstanbul.
- Pretorius, E., Oltmann, H. and Jones, J., 2005. **EAF Fundamentals**. LWB Refractories Process Technology Group, 54, USA.
- Taştekin I., 2015. **Termex prosesi talimatı**, Ekinciler D.Ç. A.Ş. KYS Talimatları, T-471, 2, Hatay.
- Worrell, E., Blinde, P., Neelis, M., Blomen, E. and Masanet E., 2010. **Energy Efficiency improvement and cost saving opportunities for the U.S. iron and steel industry**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division, LBNL-4779E, 141, USA.
- Yildirim, İ.Z. and Prezzi, M., 2011. Chemical mineralogical and morphological properties of steel slag. (J. Antonio). **Advances in civil engineering volume**. Hindawi Publishing Corporation., Article ID 463638, 13 pages, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1988 yılında Ardahan - Göle’de doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi İskenderun’da tamamladı. 2006–2010 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde öğrenim gördü. 2010 yılında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 Kasım–2012 Şubat tarihleri arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde Uluslar arası Kaynak Mühendisliği eğitimi aldı. 2012 Mart – 2013 Eylül yılları arasında Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş.’ nde Kalite Güvence ve Kontrol Mühendisi olarak ilk iş deneyimine başladı. 2013 Eylül – 2014 Mayıs tarihleri arasında yurt içinde ve yurt dışında rafineri, köprüyol yapımı gibi projelerde Kaynaklı İmalat ve Kalite Kontrol Şefi olarak çalıştı. 2014 Mayıs ayında Ekinciler Demir ve Çelik A.Ş.’ nde Çelikhane İşletme Mühendisi olarak işe başladı. 8 Ağustos 2014 tarihinde hayatını Melis PORAZAN KAT ile birleştiren Sergen Ali KAT, halen bu pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.