

ÇELİK ÜRETİMİNDE ELEKTRİK ARK OCAKLARINDA ENERJİ MALİYETLERİNİN VE ENERJİ VERİMLİLİK FAKTÖRLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION ON ENERGY COSTS AND ENERGY EFFICIENCY FACTORS OF ELECTRIC ARC FURNACE FOR STEEL PRODUCTION

Hasan TAMSÖZ *, Emin Taner ELMAS **

ÖZET

Bu çalışmada, elektrik ark ocaklarının sıvı çelik üretimi sırasında önemli maliyet kalemi olan elektrik enerjisi tüketiminin azaltılabilmesi ve üretimin artırılabilmesi için yapılabilecek iyileştirmeler ve kullanılabilir yeni sistemler araştırılmıştır. Araştırma kapsamında güç girdisinin artırılıp, düzenli ve etkin hale getirilmesi, üretimin hızlandırılarak kayıpların azaltılması, kimyasal enerji kullanımının elektrik enerjisi üzerindeki etkileri ve enerji geri kazanım sistemlerinin kullanılabilirlikleri incelenmiştir. Çalışma hazırlanırken bazı sistemler birbir uygulanıp ve elde edilen sonuçlar irdelenebilmiştir. Bazı sistemler ise yatırım maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle deneysel olarak uygulanma fırsatı bulunamamış, bu sistemlerin dünya üzerindeki uygulamalarından değerler alınarak inceleme yapılabilmıştır. Çalışma sonucunda ocaklarda elektrik arkının oluşturulması, ark kararlılığının sürdürülebilmesi ve elektrik enerjisi gücünün mümkün olan en yüksek seviyede ocağa verilebilmesi, ayrıca ocağa toplamda verilmesi gereken enerjinin bir bölümünün kimyasal enerji kaynaklarından karşılanabilmesi ve enerji geri dönüşüm sistemlerinin kullanımlarının etkileri noktalarında sonuçlar elde edilmiştir. Bunların yanı sıra elektrik ark ocaklarının diğer maliyet kalemlerinden sayılan elektrot ve refrakter tüketim üzerinde de tasarruf gerçekleştirilmesi yönünde bulgular elde edilmiştir.

Geliş Tarihi/Received: 20.09.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 09.10.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

*
Yazıcılar Demir Çelik Fabrikaları A.Ş., 31200
İskenderun - TÜRKİYE

Yazıcılar Iron and Steel Factory, 31200
İskenderun / Turkey

**
İğdir Teknik Bilimler M.Y.O., Motorlu Araçlar
ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü,
Otomotiv Teknolojisi Programı,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı,
İğdir Üniversitesi, 76000, İğdir – Türkiye

Vocational School of Higher Education for
Technical Sciences, Division of
Motor Vehicles and Transportation
Technologies, Department of Automotive
Technology, Graduate School of Natural
and Applied Sciences, Major Science
Department of Bioengineering and Bio-
Sciences, İğdir University, Turkey.

ORCID: 0000-0002-7290-2308

Anahtar Kelimeler: Elektrik ark ocağı, çelik üretimi, üretimin artırılması, enerji verimliliği

ABSTRACT

In this study, amendments that can be done and new systems that can be used in order to increase the production and decrease the consumption of electrical energy which is an important cost factor in the process of liquid steel production of electrical arc furnaces have been searched. In this work, increasing the power input and making it regular and active, accelerating the production in order to decrease losses, the effects of using chemical energy on electrical energy consumption and utility of energy regaining systems have been examined. While preparing the study, some systems have been directly applied and the outcomes have been examined. However, some systems could not be applied because of the high level of investment costs; so, examination could be done by taking results from the applications of these systems. At the end of the study, outcomes like formation of electrical arc in the furnaces, continuation of arc stability and giving electrical energy power to the furnace at the highest level possible; moreover, results like providing some of the total energy given to the furnace from chemical energy sources and points about effects of using energy recycling systems were obtained. In addition to these, findings were acquired proposing that there should be saving in the consumption of electrode and refractory which are other important cost factors of electrical arc.

Keywords: Electric arc furnace, steel production, production increase, energy efficiency

1. GİRİŞ

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %12'sinin Demir-Çelik sektöründe tüketilmesi, bu sektörde kullanılan enerjinin büyüklüğünü ortaya koymaktadır. Bununla birlikte günümüzde çelik üretiminin artması nedeniyle, birim ürün başına harcanan enerji miktarının azaltılması çalışmaları, sektörde harcanan enerjinin büyüklüğü göz önüne alındığında hayli önem kazanmaktadır (Çamdalı, 1998).

Hurdanın çeliğe geri dönüşümü için günümüzde kullanılan proses, Elektrik Ark Ocağı (EAO) prosesidir. Geliyen teknolojiler ile birlikte, ilk yatırım maliyetlerinin çok düşük ve daha basit bir işletme prosesine sahip olmalarından dolayı dünya çelik üretiminde EAO' lar, %30' lara ulaşan bir pay elde etmiştir. Türkiye' de ise bu oran %75' lerin üzerindedir (TOBB, 2016). Türkiye'deki EAO ve BOF' larda çelik üretimi oranları Tablo 1 ile verilmektedir.

Yıl/m.ton	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2016	% değişim(16/15)	% pay (2016)
EAO	1 200	6 500	13 632	18 844	33 385	38 739	39 256	1,3	76,2
BOF	3 000	4 800	6 200	6 300	9 350	11 700	12 250	4,7	23,8
TOPLAM	4 200	11 300	19 832	25 144	42 735	50 439	51 506	2,1	100

Tablo 1. Türkiye'deki EAO ve BOF' larda çelik üretimi 1980-2016 üretim oranları (Tobb, 2016)

Çok geniş kullanım alanları ve geri dönüştürülebilir özelliklerinden dolayı çelik, bugünün ve yarının endüstrisinde sürdürülebilir gelişmenin ana direklerinden biri olarak yerini korumaktadır. Kullanım alanları hemen hemen her mühendislik dalına uzanmaktadır. Aparat ve makine yapımı, köprü yapımı, çelik yapılar, güç santralleri, çevre teknolojileri, nakliye, ambalaj makineleri vb. gibi uygulamalarla uzun bir liste hazırlanabilir. Bir ülkenin çelik imalatının seviyesi ve kullanımı, bir yandan o ülkenin nüfusuna, diğer yandan da o toplumun teknik ve ekonomik gelişmesine bağlıdır. Dünya ham demir üretimi 1950 yılında 189 milyon ton iken, 2016 yılında 1,689 milyon tona ulaşmıştır. Çağımızda malzemeler içerisinde çelik bir numaralı malzeme olarak yer almaktadır. Çelik, modern ve ileri sanayi toplumlarında kilit nokta olma özelliğini daima koruyacaktır. Çelik sektörü dünya tüketim oranlarının grafiğinde, çeliğin yaşantımız içinde tüketim oranlarına bakarsak ne kadar önemli bir malzeme olduğunu daha iyi görebilmekteyiz. Diğer yandan çeliğin bu önemli rolünü koruyabilmesi, çalışma şartlarındaki gelişmelere bağlıdır. [1]

2. METODOLOJİ

2.1. Elektrik Ark Ocağı ve Enerji Verimliliği

Enerji Verimliliği tanım olarak; aynı ya da daha fazla miktarda ürün üretmek için daha az enerji kullanımı olarak ifade edilebilir ve enerji verimliliği, sera gazı emisyonlarını azaltmak için en önemli ve uygun maliyetli çözümlerden biridir. Enerji Verimliliği çalışmaları çevreye olan faydalarının yanı sıra üretimi ve rekabeti artırarak şirketlerin toplam verimliliğini de iyileştirmektedir. Enerji verimliliği konusunda önemli olan enerji yönetimi kavramıdır. [1-4]

2.2. Çelik Üretiminde Enerji Verimliliği

Demir Çelik sanayi son derece yüksek enerji tüketim değerlerine sahiptir, ve Demir Çelik sektörünün en çok enerji tüketen sektör olduğunu söylemek de mümkündür. Dolayısıyla toplam üretim maliyetlerinin yaklaşık %20-25'ini oluşturan enerji maliyetlerini düşürmek, çelik üreticileri için son derece önemli olmaktadır.

İşletmelerin, daha etkin bir enerji yönetimi ile sadece, basit işletme tedbirlerini kullanarak enerji tüketimlerinde, yılda yaklaşık %10-30 oranında düşüş sağladıkları ve maliyetlerini azalttıkları görülmektedir (Steel data , 2018).

Enerji verimliliği için geliştirilen projeler, kuruluşlar bünyesinde Enerji Yönetim Sistemi -EYS kurmanın faydalarını göstermektedir. Bu sonuçlar, özel sektöre, enerji yönetim sistemi ile ilgili yatırım yapma konusunda cesaret vermektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2013 tarihli raporunda , enerji verimliliğinin, endüstriyel enerji kullanımını yaklaşık %20 azaltacak teknik potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır. Ki bu oranın küresel CO2 emisyonunun %26'sından sorumlu olduğu düşünülürse, daha temiz, yaşanabilir ve sürdürülebilir bir çevre için enerji yönetimi konusunun önemi daha net anlaşılmaktadır. (Steel data , 2018).

ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı, "Planla-Yap-Kontrol Et-Eyleme Geç" süreçlerini içerir,

Söz konusu Enerji Yönetim Sisteminin uygulanması şirketlerin daha verimli enerji politikaları geliştirmelerini, enerji verimlilik süreçlerini iyileştirerek böylelikle genel işletme verimliliği ve üretim verimliliğini arttırmalarını, ilgili sonuçları irdeleyebilmelerini, enerji verimliliği süreçlerini iyileştirebilmelerini sağlamaktadır.

Enerji tüketim değerlerinin yüksek olduğu üniteler için yüksek fırın, kok fabrikaları, ark ocağı, tav fırınında, ocağı besleyen enerji sistemlerinde, toz tutma ve soğutma suyu sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak amaçlı çalışmalar sürdürülmektedir. [7]

Demir - Çelik sektörü ele alındığında enerjinin maliyetlerinin payının , hammadde maliyetinden hemen sonra yer aldığını ve %15-25 civarında yüksek bir orana sahip bulunduğunu görmekteyiz.

2.3. Demir Çelik Üretimi

Demir çelik, demir cevherinin çıkartılmasından başlar, sonrasında demir ve çelik için uygulanan dökme, dövme, haddeleme, çekme proseslerini esas alan bir endüstri kolu haline gelir. Demir ve çelik endüstrisinin ; inşaat, otomotiv, demiryolu ve tüm cihaz ve eşya üretimine katkısı bulunmaktadır. [8]

2.4 Elektrik ile Çelik Üretimi

Elektrik ile çelik üretimde gerekli olan ısı ve ergitme için ihtiyaç duyulan enerji, elektrik enerjisiyle elde edilir. Elektrik enerjisinin ısıya çeviren endüstriyel teçhizatlar, genel olarak elektrik ark ocakları ve indüksiyon ocakları olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik ile üretilen çeliğin %90'dan fazlası ark ocaklarında , ısı kaynağı olarak arkın oluşturulması ile üretilir. Elektrik ile çelik üretiminde iki ocak arasında belli başlı farklar vardır. Alternatif akımlı ark ocağı(AC-EAO) Üç adet grafit elektrot vardır. Her biri elektrik akımının sıvı metalin bir diğer elektroda gelen fazın zamanlamasına göre iletir. Doğru akımlı ark ocağı ise (DC- EAO) tek elektrot vardır. Bu elektrot katot görevini görür. Elektrik gücünü taban bakırı denilen anotla arasında kalan hurda ve sonrasındaki sıvı metal sayesinde arkı gerçekleştirir. Bu ark 3500°C'ye kadar ulaşır. Elektrik ark fırını (EAO), bu yüzden alaşımli çeliklerin üretimine çok uygundur. Bazı oksijen fırınlarında bu açıdan, pahalı alaşım elementlerinin cüruftan kısmen de olsa absorbe edilmesi sakıncaları vardır. Yüksek enerji tüketimi ve limitli maliyet verimlilikleri yüzünden, ark ocakları yıllardır sadece yüksek alaşımli çelikler için kullanılmaktadır. Artan döküm miktarları (şarj hacmi), ayrıca enerji, grafit elektrot ve refrakter malzeme maliyetlerindeki önemli orandaki düşüşler bu durumu değiştirmiştir. Günümüzde, elektrik ark ocakları hurda metalürjisi ve ikinci metalürji ile birleştirilip, çok değişik çelik cinslerinin imalatında kullanılır. [9]

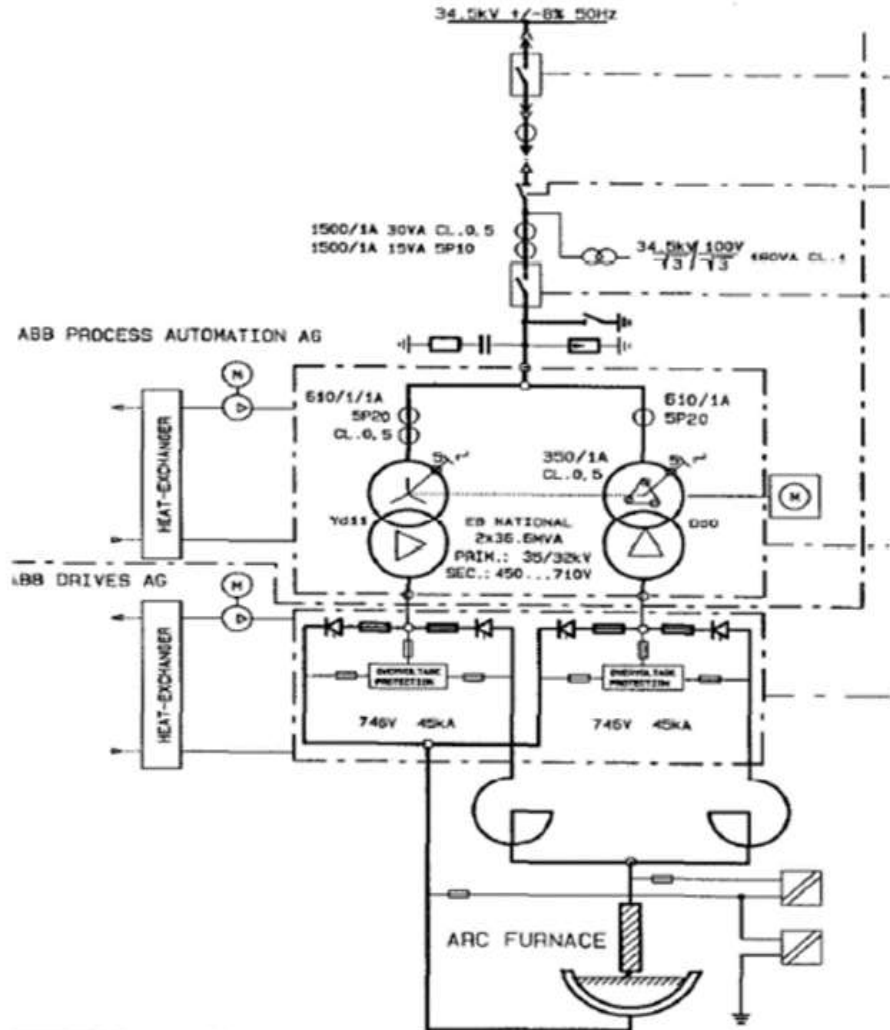
Yüksek enerji tüketimi ve limitli maliyet verimlilikleri yüzünden, ark ocakları yıllardır sadece yüksek alaşımli çelikler için kullanılmaktadır. Artan döküm miktarları (şarj hacmi), ayrıca enerji, grafit elektrot ve refrakter malzeme maliyetlerindeki önemli orandaki düşüşler bu durumu değiştirmiştir. Günümüzde, elektrik ark ocakları hurda metalürjisi ve ikinci metalürji ile birleştirilip, çok değişik çelik cinslerinin imalatında kullanılır.

2.5. Elektrik Ark Ocaklarında Enerji Gerekisini

Kimyasal enerji girişinin artırılmasıyla elektrik enerjisi tüketiminin azalacağı bilinmektedir. Bunun yanında hurda verimi ve kirliliğinin de bir faktör olduğu bilinmektedir. Ark ocağına şarj edilen hurdanın veriminin düşük olması ve kirliliğinin yüksek olması, elektrik enerjisi tüketimini artıran etkenlerdir. Aynı sıvı çelik kapasitesine ulaşmak için kullanılması gereken daha fazla hurda miktarı, hem ergime süresini artıracak, hem de hurdada bulunan istenmeyen elementlerin fazlalığı nedeniyle ocağına verilmesi gereken cüruftan malzeme miktarının artırılmasına neden olacaktır. Ocağına ilave edilen ortam sıcaklığındaki cüruftan yapıcılarının ergime sıcaklığına kadar yükselmeleri için gerekli olan ısı, sıvı çelikten çekileceği için elektrik enerjisi girdisinin artırılması gerekecektir. Elektrik ark ocaklarında süreç parametrelerinin değişimlerinin, ark ocağı performans değerlerine etkileri Tablo 2 ile , DC-EAO Elektrik bağlantı şeması (Yazıcı Demir Çelik A.Ş. DC-EAO bağlantı şeması) Şekil 1 ile verilmektedir. [10,11]

	Cüruf Yapıcıların Arttırılması	Döküm Sıcaklığının Arttırılması	Brülör Kullanımının Arttırılması	Lans O2 Kullanımının Arttırılması	İleri Yanma Oksijeninin Arttırılması
Elektrik Enerjisi	↑	↑	↓	↓	↓
Kimyasal Enerji	→	→	↑	↑	↑
Elektrot Tüketimi	↑	↑	↓	↓	↓
Üretim Miktarı	↓	↓	↑	↑	↑
Döküm Süresi	↑	↑	↓	↓	↓
Cüruf Miktarı	↑	→	→	↑	→
Atık Gaz Enerjisi	→	↑	↑	→	↓
Soğutma Enerjisi	→	↑	→	→	→

Tablo 2. Elektrik ark ocaklarında süreç parametrelerinin değişimlerinin, ark ocağı performans değerlerine etkileri (Pfeifer ve Kirschen, 2002)



Şekil 1. DC-EAO Elektrik bağlantı şeması (Yazıcı Demir Çelik A.Ş. DC-EAO bağlantı şeması)

Birincil Devre:

- Ortak Bağlantı Noktası
- Ara trafo
- Ocak kesicisi

İkincil Devre:

- Ocak Trafosu ve Kademe şalteri
- Doğrultucu tristörler
- Reaktör
- Çıkış Baraları
- Yüksek Akım Kabloları
- Akım İletken Kollar
- Elektrot Tutucu Penseler
- Elektrot ve taban bakırı

2.6. Elektrot Tüketimi Üzerine Etkiler

Günümüz rekabet koşullarında, elektrot tüketimleri üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler büyük önem kazanmıştır. Elektrot tüketiminde akım seviyesi, enerjili süre, okside olan elektrot yüzey alanı, üretim miktarı gibi parametreler etkili olmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda elektrotların iki biçimde tükendiği belirlenmiştir. Bu iki biçimin toplamı, toplam elektrot tüketimi olarak verilmektedir.

- Uç tükenmeleri
- Oksidasyon tükenmeleri

Elektrot tüketimi incelendiği zaman oksidasyon ile meydana gelen tükenme, ocağın yapısal özelliklerinden kaynaklanan parametrelere bağlı olup bu bölümde bir tasarruf gerçekleştirmek kolay değildir. Uç aşınması sonucu meydana gelen tükenmeler ise, trafonun ikincil akımıyla doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Yani ikincil akımın azaltılmasıyla elektrot tüketiminde de azalma gerçekleşecektir. Ancak sadece ikincil akımın azaltılması, direkt olarak ocağa verilecek aktif gücün azaltılması anlamına gelecektir ki istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle aktif gücün korunması için ikincil gerilimin orantılı bir şekilde artırılması gereklidir. Dikkat edilmesi gereken şudur ki özellikle saflaştırma periyodunda, ocak refrakterini ve panellerini, yüksek gerilimin neden olacağı güçlü ark radyasyonundan koruyacak bir hurda örtüsü bulunmayacaktır. Bu nedenle uygulamanın başarılı olmasının temel şartı, güçlü cüruf köpürtme pratiği uygulamasının yapılmasıdır. (Bowman, 1982).

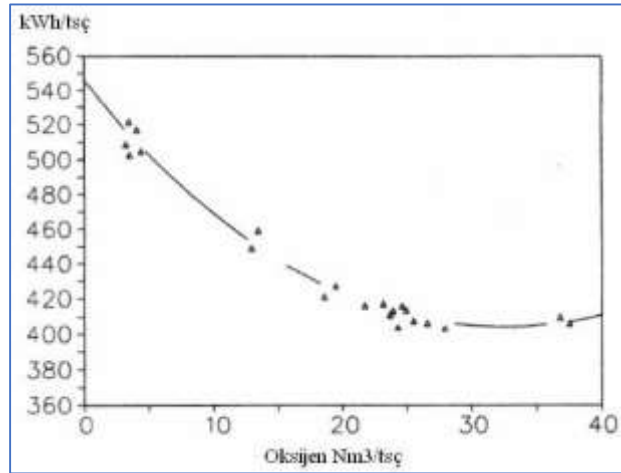
2.7. Kimyasal Gücün Artırılması

Genel olarak ocaklarda kullanılan kimyasal enerji, ocağa verilen oksijenin, ergimiş sıvı metal içerisindeki elementler ile girmiş olduğu ekzotermik reaksiyonlar sonucu elde edilir. Oksijenin reaksiyona girdiği başlıca elementler karbon, silisyum, mangan ve demirdir. Ark ocaklarında gerçekleşen önemli ekzotermik reaksiyonlar ve açığa çıkan enerjiler Tablo 3 ile verilmiştir. 12-14]

Reaksiyon	Açığa Çıkan Enerji
$Mn + 1/2O_2 \rightarrow (MnO)$	-1297 kcal / kg MnO
$Si + O_2 \rightarrow (SiO_2)$	-3596kcal / kg SiO ₂
$2P + 5/2 O_2 \rightarrow (P_2O_5)$	-2749kcal / kg P ₂ O ₅
$2Al + 3/2O_2 \rightarrow (Al_2O_3)$	-7400 kcal / kg Al ₂ O ₃
$Fe + 1/2O_2 \rightarrow (FeO)$	-888kcal / kg FeO
$C + 1/2O_2 \rightarrow (CO)$	-943kcal / kgCO
$C+O_2 \rightarrow (CO_2)$	-2137kcal / kgCO ₂

Tablo 3. Oksitlenme reaksiyonları ve açığa çıkan enerjiler

Ark ocaklarında oksijen ile ilgili en önemli analiz Japon araştırmacı Inegaki tarafından yapılmıştır (Inegaki, 1988). Inegaki Japonya' daki ark ocaklarında yaptığı çalışmada, oksijen tüketimi ve elektrik enerjisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Şekil 2.' de, çalışması sonucu ortaya çıkardığı ilişkinin grafiği görülmektedir. Bu çalışmaya göre her m³ oksijen kullanımı, harcanan elektrik enerjisi üzerinde ciddi azalmalar sağlamaktadır. Örnek vermek gerekirse 5 Nm³/tsç' den 15 Nm³/tsç' ye çıkartılan oksijen miktarı, elektrik enerjisinde 60 kWh/tsç civarında yani 6 kWh/m³ oranında düşüş sağlamıştır. Inegaki' nin tezine göre en yüksek elektrik kazancı, köpüklü cüruf sayesinde, elektrik enerjisinin termal veriminin artmasıyla sağlanmıştır. Bunun yanında ocaklarda kullanılan pik demir yüksek enerji eşdeğeriyle, sadece karbon kullanımına nazaran kimyasal enerjiden daha fazla yararlanılmasını sağlamaktadır. (Inegaki, 1988).

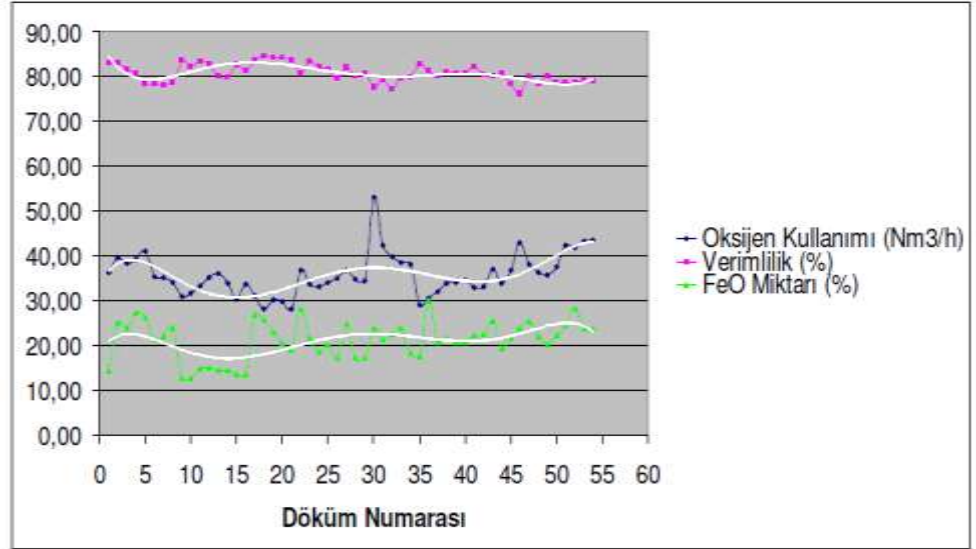


Şekil 2. Elektrik enerjisi tüketiminin oksijen ile değişimi (Inegaki, 1988)

Şekil 2.'de ayrıca 33 Nm³/tsç'nin üzerinde oksijen kullanımında ki enerji artışı açıkça görülebilmektedir. Bunun nedeni olarak ürün kaybı gösterilmektedir. Yüksek oksijen kullanımında, oksitlenen Fe miktarı artmakta ve optimum değerine çıkmaktadır.

Örnek vermek gerekirse 36 m³/t oksijen tüketiminde FeO' nun cüruf içerisindeki değeri yükselmiş ve verim %95' ten %90' a düşmüştür. [16-20]

Oksijen kullanımının cüruf içerisindeki demir oksit miktarına ve hurda verimine olan etkisi ile örnek bir ark ocağı için oksijen kullanımının etkisi Şekil 3 ile gösterilmektedir. Ocağa üflenen oksijen miktarının artırılması, cüruf içerisindeki FeO miktarının artmasına neden olmuş buna bağlı olarak da verimlilik düşmüştür. Çünkü cüruf içerisindeki FeO' nun, karbon ile reaksiyona sokulup sıvı çelik banyosuna Fe geri dönüşümü sağlanmadan, cürufun ocaktan alınması gerekmiştir. Bu Inegaki' nin teziyle örtüşen bir durumdur. Ancak Inegaki' nin tezinde belirttiği, oksijen kullanımının, elektrik enerjisini artırdığı noktayı bulmak için her ocak için ayrı çalışma yapılması gerekmektedir. Çünkü ocağa saflaştırma periyodu sırasında verilebilecek karbonun anlık miktarı, cürufun ocaktan alınmadan içerisindeki FeO seviyesini optimum noktaya çekebilmesinde etkindir. Ayrıca hurdanın karbon içeriğinin, oksijen kullanımının optimum noktası üzerinde etkili olduğu bilinmelidir.

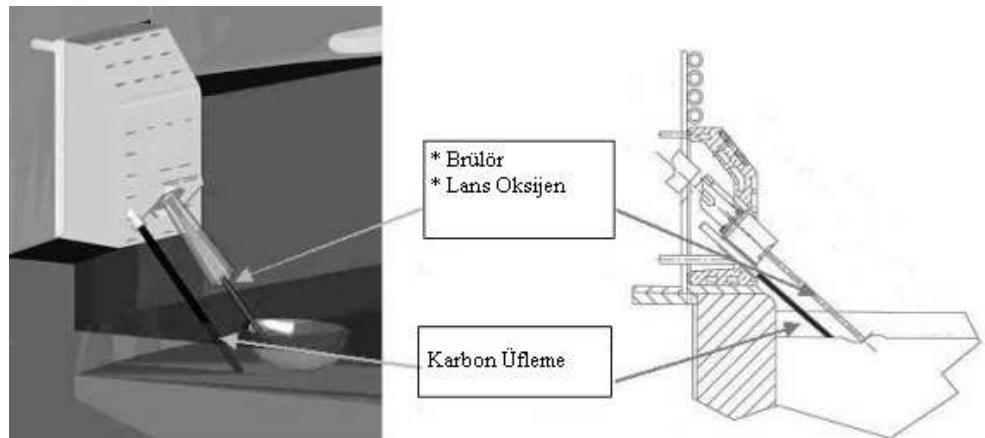


Şekil 3. Örnek bir ark ocağı için oksijen kullanımının etkisi

2.8. Brülörler

Brülörler, EAO' larda soğuk bölgelerde kalan hurdanın ısıtılması ve ergitilmesi için kullanılırlar. Soğuk bölgeye ve cüruf kapısı yanına monte edilirler. Eski brülör sistemleri yakıt olarak motorin kullanırken yeni sistemlerde motorinin yerini LPG ve doğalgaz almıştır. LPG veya doğalgazın, stokiyometrik oranlarda oksijen ile brülör içerisinde karıştırılması sonucu oluşturulan alev, hem büyük hurda parçalarının kesilmesine hem de o bölgede bulunan hurdanın ergimesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca brülör kullanımı ile ani hurda düşmelerinin önüne geçilip, elektrot kırılması riski de azaltılmıştır. Brülörler süre konusunda dikkatli kullanılmalıdır. Özellikle hurda şarjından sonraki ilk on dakikalık bölüm, en etkin kullanıldıkları zamandır. Bu süreçte yaklaşık 20–40 kWh/tsç enerji hurdaya aktarılır. Saflaştırma periyoduna geçileceği zaman ocak içerisindeki hurdanın sıvı çeliğe dönüşümü tamamlanmak üzere olduğundan, brülör kullanımının etkinliği kalmamaktadır. Bu noktadan sonra brülör sistemlerinin kapatılıp, saflaştırma için gerekli oksijenin üflenmesine geçilmesi gerekmektedir. [21-26]

Brülör sistemlerinde yapılan çalışmalar sonucu, hem brülör hem lans olarak kullanılan jet brülör sistemleri geliştirilmiştir. Hurda şarjı sırasında, yakıt-oksijen karışımından elde ettiği alev ile bir brülör olarak çalışan sistem, operasyonun ileriki safhasında sadece oksijen üfleyerek güçlü bir lans olarak kullanılabilir. Lans modunda üflenen oksijenin hızı 2–2,5 Mach civarındadır. Bu sayede sıvı çelik havuzunun derinliklerine ulaşan oksijen, çok daha etkin olarak kullanılabilir (Moares ve ark. 2001). Bu yeni nesil jet brülör sistemleri Şekil 4'de görülmektedir ve cüruf köpürtme için gerekli olan karbon verme işlemini de aynı gövde içerisinde gerçekleştirebilir.



Şekil 4. Yeni nesil jet brülör sistemleri

Yeni nesil jet brülör sistemlerinin faydaları şu şekilde sıralanabilir;

- Sıvı çelik üretiminin artırılması, maliyetin düşürülmesi,
- Oksijen kullanımının artırılarak, dekarbürizasyonun hızlandırılması,
- Daha etkin karbon kullanımı sayesinde cüruf köpürtmenin etkinleştirilmesi,
- Cüruf kapsısının kapatılabilmesi nedeniyle ısı kayıplarının azaltılması,
- Brülör ve lans sisteminin birleştirilmesi sonucu, sistemin basitleştirilmesi.

Brülör sisteminin yararlarını incelemek gerekirse aşağıdaki veriler ark ocağında brülör sistemi olmadan önceki enerji miktarıyla sistemin kurulduktan sonraki enerji tüketim miktarlarını aşağıdaki tablodan inceleyebiliriz.[27]

2.9. Kimyasal Enerji Girdisi

Birim tonajdaki sıvı çelik eldesi için gerekli toplam enerji yaklaşık olarak 590 kWh/tsç civarındadır. Kimyasal enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılmasıyla yaklaşık 200 kWh/tsç enerji, bu yol ile karşılanabilmektedir. Elektrik enerjisinin pahalı, oksijen kullanımının ucuz olduğu ülkelerde, kimyasal enerjinin maksimum seviyede kullanılmasıyla elektrik enerjisinden %25'lere varan oranlarda tasarruf edilebileceği açık bir şekilde görülebilmektedir. [28,29]

2.10. Enerji Geri Kazanım Sistemleri

Elektrik ark ocaklarında genel yapı çeliği üretimi için sıvı çeliğe verilmesi gereken enerjinin bir bölümü elektrik enerjisinden karşılanırken bir bölümü de kimyasal enerji girdisi olarak ocağa verilmektedir. EAO' ya giren enerjinin tamamı sıvı çeliğe aktarılamamakta ve bazı kayıplar gerçekleşmektedir.

Bu kayıplar nedeniyle, kullanılan elektrik enerjisi miktarı artmaktadır. EAO' lar için enerji balansı yapıldığı zaman en büyük enerji kaybının, ocaktan çıkan gazların ihtiva ettiği enerji olduğu görülmektedir. Bu enerjinin geri kazanımı için iki farklı yöntem geliştirilmiştir.

- İleri yanma sistemi
- Hurda ön ısıtma sistemleri

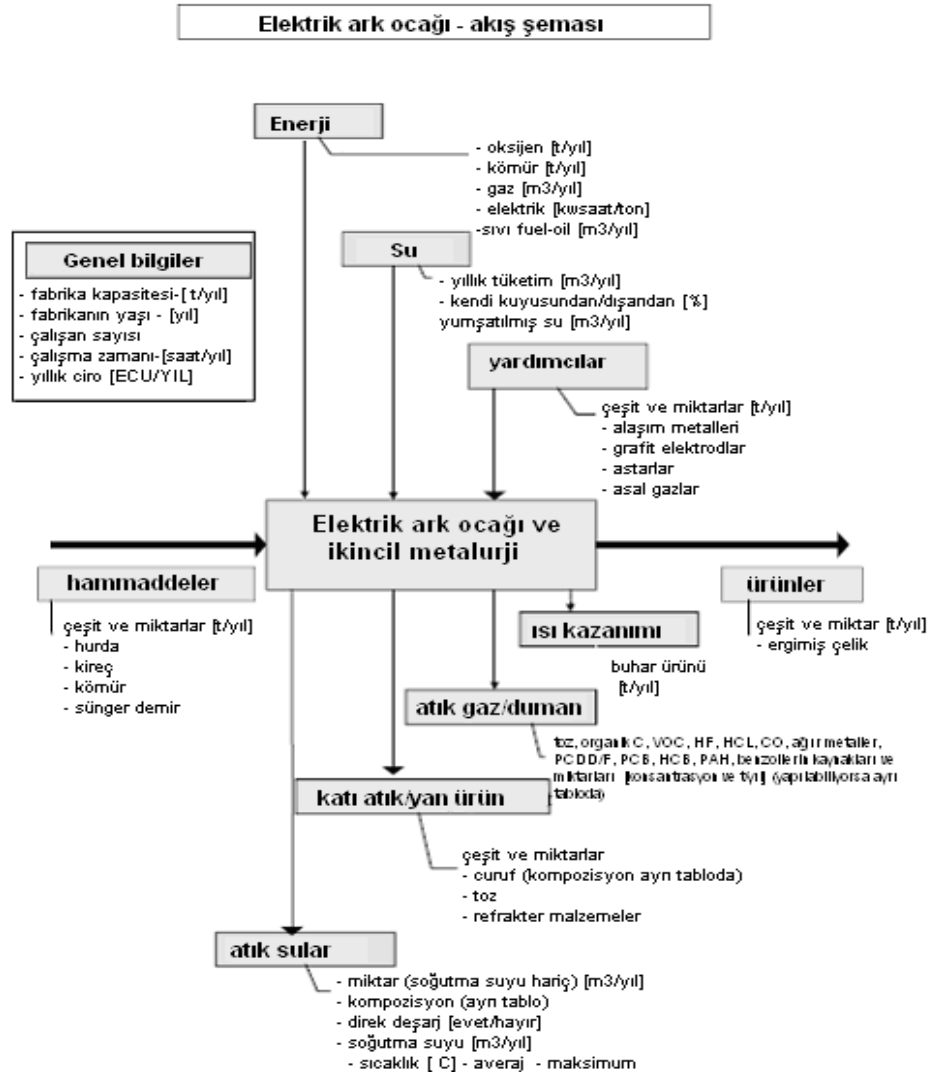
Elektrik ark ocaklarında atık gazlardan sonraki en önemli kayıp, gövde ve kapak panellerinin soğutulmasında kullanılan suya geçen ısıdır. Giren enerjinin bir kısmı burada kaybedilir. Bu kaybın azaltılabilmesi için teorik olarak ısı iletim katsayısının düşürülmesi yani panellerin yalıtılması gerekmektedir. Bu yalıtımın sağlanmasında da cüruftan yararlanılmaktadır. Panellerin iç yüzeylerine, cürufun panel yüzeyine yapışması ve bir cüruf tabakası oluşturması için cüruf tutucular kaynatılır. Bu sayede hem panellerin yüksek ark radyasyonundan korunması sağlanır, hem de panellerden olan ısı transferi azaltılmış olur.

2.11. İleri Yanma Sistemi

İleri yanma sistemleri, hurdanın ergitilmesi esnasında açığa çıkan CO ve H₂' nin, ergitme prosesine ek kimyasal enerji girdisi sağlayabilmek için ocak içerisinde yakılması esasına dayanır. EAO operasyonları sırasında bu gazlardan önemli bir oranda açığa çıkmaktadır. Klasik sistemlerde bu gaz, toz tutma sistemine giderken, ocak dışında yanma odası denilen bir bölümde yakılır. İleri yanma sistemlerinde ise amaç, ergitme prosesine yardımcı olabilmek için bu gazların oksidasyonu ile elde edilebilecek ısıyı ocağa verebilmektir. Herhangi bir ileri yanma sisteminin verimi, EAO' nun operasyon şartlarına direkt bağlıdır. Bu nedenle EAO' ya ileri yanma sisteminden önce ocak operasyonunun şartlarını eksiksiz olarak analiz edebilecek sistemlerin kurulması gerekmektedir(Grant, 2000). İleri yanma sisteminin gereksinimi olan CO ve H₂'nin ocak içerisinde oluşmasının kaynakları şunlardır:

CO oluşma durumları;

- Hurdanın ergitilmesinden kaynaklanan hidrokarbonlar,
- Şarj ve cüruf köpürtme için kullanılan karbonun yanması,
- Lans modunda üflenen oksijen ile karbonun kısmi oksitlenmesi,
- Cüruf köpürtme sırasında FeO' nun indirgenmesi H₂ oluşma durumları:
- Hurdadan kaynaklanan hidrokarbonların parçalanması,
- Panellerdeki kaçaıklardan, elektrotların soğutulmasından ve atmosferden kaynaklanan suyun indirgenmesi.



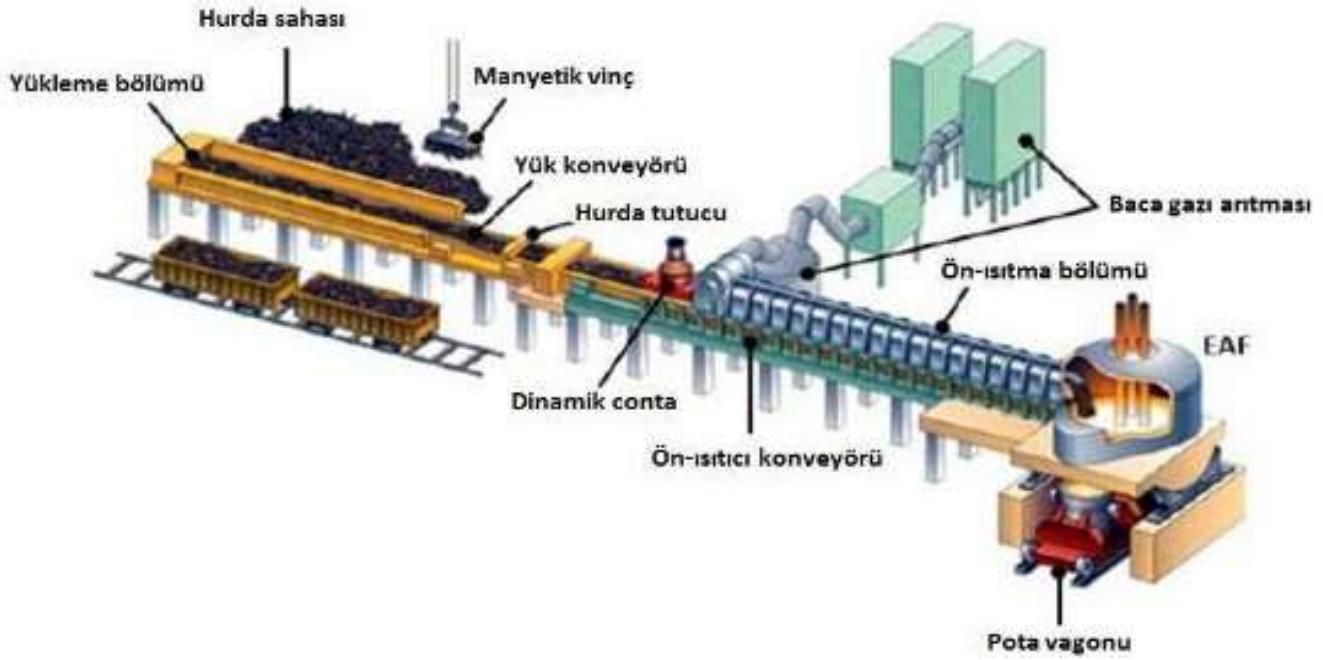
Şekil 5. Elektrik ark ocağına ait temel girdi ve çıktılarının görünüşü.

Şekil 5 Elektrik ark ocağına ait girdi ve çıktıları gösteren genel bir görünüşdür. Elektrik ark ocaklarından genel veriler toplanabilir. [30-32]

2.12. Hurda Ön Isıtma Sistemleri

Hurda ön ısıtma sistemleri baca gazı için gizli ısıdan yararlanmakta olup geçtiğimiz son 40 yıl içinde geliştirilmiştir ve enerji verimliliği bakımından son derece önemlidir. Hurda ön ısıtma sisteminde gizli ısı kullanılmaktadır. EAO' daki eritme prosesi öncesinde hurda için, kesintili sistemlerde yaklaşık olarak 800 - 1000 °C'ye kadar, kesintisiz sistemlerde ise 300 - 400 °C'ye kadar ısıtılabilir, bu değerler enerji tüketim değerini 100 kWh/tsç seviyesine kadar azaltabilir. Bazen ön ısıtma prosesine fosil- bazlı enerji eklenir. [34,35]

COSS teknolojisi bir diğer hurda sürekli besleme ön ısıtma prosesidir. Yüksek verimli, Sürekli Optimize Edilmiş Şaft Ocağı (COSS), CONSTEEL prosesinin avantajlarından ve şaft fırınının daha yüksek hurda ön ısıtma veriminden faydalanmaktadır. Sistem Şekil 6'da görülmektedir. [36-38]



Hurda ön ısıtma sistemlerinin enerji verimliliği açısından yararlarını incelemek gerekirse; her malzemenin sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli olan enerji miktarı farklıdır ve o malzeme için sabittir, bir malzemenin sıcaklığını belli bir değere çıkarmak için gerekli olan enerji miktarı;

$$\text{Faz dönüşümleri dışında } Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{katı, sıvı, gaz})$$

$$\text{Faz dönüşümlerinde } Q = m \cdot L \quad (\text{katı + sıvı, sıvı + gaz}) \quad m = \text{malzemenin kütlesi}$$

c = ısınma ısısı katsayısı (dökme çelik için 0.120 Kcal /kg°C) L = erime ısısı katsayısı

T_2 = hedeflenen sıcaklık T_1 = malzemenin sıcaklığı

Şarj ettiğimiz hurdanın likidüs ortalama sıcaklığını 1515°C kabul edelim, ön ısıtma yapılmamış 90 000 kg hurdayı 30°C lik hava sıcaklığından 1515°C 'ye yükseltmek için gerekli olan enerji miktarı;

$$Q = 90\,000 \cdot 0,120 \cdot (1515 - 30)$$

$$Q = 10\,800 \cdot 1485 = 16\,038\,000 \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

$16\,038\,000 / 860 = 18648 \text{ kWh}$ elektrik enerjisine ihtiyaç vardır, şimdi ön ısıtmaya girmiş aynı hurdayı 200°C 'den 1515°C 'ye yükseltmek için gerekli olan enerjiyi hesaplayalım:

$$Q = 90000 \cdot 0,120 \cdot (1515 - 200)$$

$$Q = 10800 \cdot 1315$$

$$Q = 14\,202\,000 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

$$14\,202\,000 / 860 = 16514 \text{ kWh}$$
 elektrik enerjisine ihtiyaç vardır.

Ön ısıtmaya girmemiş hurdaya göre kazanılan enerji miktarı:

$$18648 - 16514 = 2134 \text{ kWh} / 90 \text{ t hurda}$$

$$1 \text{ ton hurda için } 2134 / 90 = 23,71 \text{ kWh/tsç}$$
 enerji tasarrufu yapılabilecektir.

Şekil 6. CONSTEEL proses akım şeması
(Grasselli, A. and Raggio, C. 2008)

3. UYGULAMA - ARK OCAĞININ ENERJİ TÜKETİMİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde 90 ton çelik üretim kapasitesine sahip bir EAO'nun enerji tüketimlerini ve zaman bakımından performansını inceleyeceğiz, teknik veriler Tablo 4'de mevcuttur.

Özellikler	Kapasite Değerleri
Ocak Çapı	5100 mm
Tonaj	90 ton
Trafo	78 MVA
Döküm deliği	EBT
Max. voltaj	900 V
Güç girdisi	56 – 58 MW
Üretkenlik	100 – 110 ton/saat
Enerji	320 – 360 kWh/ton
Elektrot çapı	500 mm
Elektrot tüketimi	1,6 – 1,7 kg/ton
Oksijen tüketimi	41 – 45 m ³ /ton
Doğalgaz tüketimi	5 – 6 m ³ /ton

Tablo.4. EAO'nun teknik verileri

Ark ocağının enerji hesaplamalarından önce, bir döküm sürecinin hangi parametrelerden oluştuğuna ve süresinin iyileştirme öncesi durumunun ne olduğunun anlaşılmasına yönelik çalışma aşağıda verilen alt başlıklarda incelemesi yapılan şekildedir. [39-41]

Tablo 5.'de görüldüğü üzere Jet-box Doğalgaz brülör sistemi devreye alınmadan önceki ve sonraki ark ocağı enerji tüketim maliyetleri görülmektedir. Jet-Box sistemi devreye alındıktan sonra ocaktaki net Döküm Süresi (dk.) %15, Enerjide Kalma Süresi (dk.), %7,6 Enerji (kWh/ton) %8,7 oranında azalma sağlanmıştır. Aynı zamanda Oksijen tüketimi (Nm³/ton) %27,7 artış meydana gelmiştir.

Ark Ocağı Özellikleri	Kapasite Değerleri					Değişim %
	(Ortalama)					
	jet-box öncesi	jet-box sonrası gözlemler			İyileştirme sonrası ortalamalar	
I.		II.	III.			
Çap (mm)	5100	5100	5100	5100	5100	
Tonaj (ton)	91	90	88	95	91	
Trafo (MVA)	78	78	78	78	78	15,30%
Döküm Süresi (dak)	50	42	43	42	42,33	7,60%
Enerjide Kalma Süresi (dk.)	35	32	32	33	32,33	
Max.voltaj (V)	900	900	900	900	900	
Güç girdisi (MW)	56-58	56-58	56-58	56-58	56-58	13,40%
Üretkenlik (ton/saat)	82	105,3	102,9	95	111,1	8,70%
Enerji (kWh/tşç)	360	330	330	326	328,66	
Elektrot çapı (mm)	500	500	500	500	500	
Elektrot tüketimi (kg/tşç)	1,6-1,7	1,5-1,7	1,3-1,5	1,6-1,7	1,55	
Oksijen tüketimi (Nm ³ /tşç)	3,6	4,6	4,5	4,7	4,6	27,70%
LNG tüketimi (Nm ³ /tşç)	--	3,8	3,9	3,1	3,6	

Tablo 5. Jet-Box Doğalgaz Brülörü öncesi ve sonrası karşılaştırma tablosu

Yukarıdaki hesaplamadan da görüldüğü üzere, iyileştirme öncesi toplam döküm süresi 50 dakika olarak görülmektedir. Teknik özellikleri verilmiş olan ark ocağının üretim kapasitesinin arttırılması Jet-Box brülörün sisteme ilave edilmesinden sonraki enerji verimlilik oranları gösterilmiştir.

3.1. Enerjide Kalma Süresinin Yapılan İyileştirme ile Değişimi

Yapılan düzenleme ile döküm süresinde meydana gelen kısalma enerjide kalma süresinin otomatik olarak düşürmektedir. Bu durum yukarıdaki grafikte (Tablo 5) verildiği üzeredir. Özellikle enerji harcamasının ciddi maliyet unsuru (%50'nin üzeri) olduğu göz önüne alınırsa enerjide kalma süresinin %7,6 oranında kısalmasının karlılık açısından önemi daha açık şekilde görülecektir.

3.2. Üretkenlik Durumunun Yapılan İyileştirme İle Değişimi

Daha kısa sürede daha fazla üretim yapmanın doğal sonucu olarak verimlilik ve bunun sonucu olarak da karlılık artışı sağlanmıştır (Tablo 5). Bu %13,4 üretim artış miktarlarının uzun vadede ciddi rakamlara tekabül ettiği düşünülürse elde edilen sonucun karlılığa etkisinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

3.3. Enerji Sarfiyatının Yapılan İyileştirme İle Değişimi

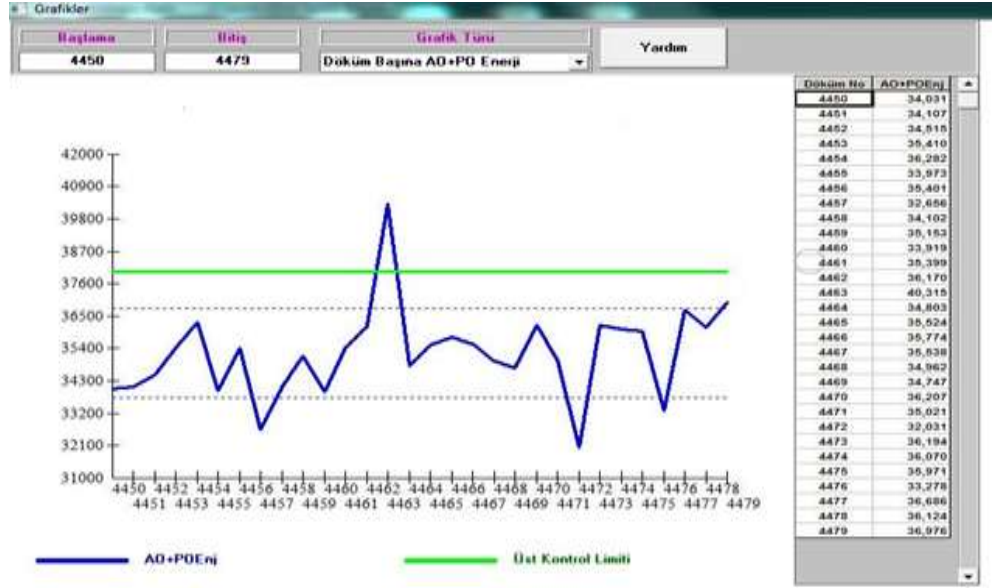
Bir ton çeliği üretmek için gerekli olan enerji miktarının %6,7 oranında 328,6 kWh/tsç'te düşürülmesi ile hem daha hızlı üretim hem de söz konusu üretimin maliyetinin düşük olması sağlanmaktadır. Bu durum verimlilik artışını doğrudan olumlu şekilde etkilemektedir (Tablo 5).

3.4. Oksijen Tüketiminin Yapılan İyileştirme İle Değişimi

Oksijen tüketimi her ne kadar yapılan değişiklik ile artmış ise de, kayıplar ve kazançlar olarak değerlendirildiğinde yapılan değişiklik için harcanan oksijenin maliyetinin önemsiz kaldığı görülmektedir (Tablo 5). 90 Ton Kapasiteli Bir EAO'daki ortalama günlük üretim ve elektrik enerjisi tüketim tablosu Tablo 6'da görülmektedir.

Günlük üretim ve Enerji	1. Vardiya	2. Vardiya	3. Vardiya	Toplam	TEP
Döküm Sayısı	10	10	10	30	
Hurda (Ton)	1.077,50	1.086,17	1.089,82	3.253,49	
Üretim (Ton)	909,94	929,26	941,2	2.780,40	
Verim (%)	84,45	85,55	86,36	85,46	
Ort.Dev.Tnj	90,99	92,93	94,12	92,68	
AO Enj (KWh/tsç)	338,36	331,51	335,2	335	0,02881
PO Enj (KWh/tsç)	20,62	25,1	23,65	23,14	0,02881
TP Enj (KWh/tsç)	358,97	356,61	358,85	358,14	0,0308
Bürüt Süre	451	489	477	1.417	
Duruş Süresi	118	161	142	421	
Net Süre	333	328	335	996	
Bürüt Süre Döküm Ort.	45	49	48	47	
Duruş Süre Döküm Ort.	12	16	14	14	
Net Süre Döküm Ort.	33	33	34	33	

Tablo 6. 90 Ton Kapasiteli Bir EAO'daki ortalama günlük üretim ve elektrik enerjisi tüketim tablosu;



Şekil 7. EAO ve PO 4450 ve 4479'nolu dökümlerin elektrik enerjisi grafiği

EAO ve PO 4450 ve 4479'nolu dökümlerin elektrik enerjisi grafiği Şekil 7'de mevcuttur.

Yıllık üretimi ortalama; 1 175 195 100 ton olan yapısal çelik üreten bir firmanın elektrik enerjisi maliyetleri Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10 ile verilmektedir.

Elektrik Enerjisi Tüketimi Tablosu	Günlük			
	kw/h	TEP/gün	kw/h/ts ç	TEP/ts ç
Ark Ocağı	1 043 387	89,73	331,1	0,0284
Pota Ocağı	73 872	6,35	23,6	0,002
Oksijen Tesisleri	124 155	10,67	39,6	0,0034
Ç.H.Srv.Trafosu	177 897	15,29	56,8	0,0048
Toz Yoplama	95 777	8,23	30,6	0,0026
Su Tesisleri	39 939	3,43	12,8	0,0011
Çelikhane	25 326	2,17	8,1	0,0006
Ön Isıtma	4 661	0,40	1,5	0,0001
Hava Komp.	12 188	1,04	3,9	0,0003
TOPLAM	1 419 311	137,31	453,1	0,0433

Tablo 7. Yapısal çelik üreten bir firmanın günlük elektrik enerjisi tüketimi

Elektrik Enerjisi Tüketimi Tablosu	Aylık			
	kw/h	TEP/ay	kw/h/ts ç	TEP/ts ç
Ark Ocağı	29 439 801	2531,82	339,5	0,0291
Pota Ocağı	2 253 470	193,79	26	0,0022
Oksijen Tesisleri	3 579 097	307,8	41,3	0,0035
Ç.H.Srv.Trafosu	5 366 380	461,5	61,9	0,0053
Toz Yoplama	2 816 057	242,18	32,5	0,0027
Su Tesisleri	1 200 912	103,27	13,9	0,0011
Çelikhane	838 362	72,09	9,7	0,0008
Ön Isıtma	122 573	10,54	1,4	0,0001
Hava Komp.	349 434	30,05	4	3
TOPLAM	40 633 748	3953,04	468,7	3,0448

Tablo 8. Yapısal çelik üreten bir firmanın aylık elektrik enerjisi tüketimi

Elektrik Enerjisi Tüketimi Tablosu	Yıllık			
	kw/h	TEP/yıl	kwh/tsç	TEP/tsç
Ark Ocağı	340 849 200	29313,03	338,1	0,029
Pota Ocağı	25 935 547	2230,45	25,7	0,0022
Oksijen Tesisleri	42 354 432	3642,48	42	0,0036
ÇH.Srv.Trafosu	62 936 416	5412,53	62,4	0,0053
Toz Yoplama	30 958 559	2662,43	30,7	0,0026
Su Tesisleri	14 840 756	1276,3	14,7	0,0012
Çelikhane	10 221 084	879,01	10,1	0,0008
Ön Isıtma	2 135 662	183,66	2,1	0,0001
Hava Komp.	4 186 522	360,04	4,2	0,0003
TOPLAM	478 075 595	45959,9	468,2	0,0451

Tablo 9. Yapısal çelik üreten bir firmanın yıllık elektrik enerjisi tüketimi

Katkı maddeleri Tüketimi Tablosu	TOPLAM	
	Yıl/kg/m3	Tsç/kg/m3
AO Kireç	42 486 080	42,1
PO Kireç	8 617 174	8,5
Toplam Kireç	51 103 254	50,7
AO Toz Karbon	12 521 582	12,4
PO Gra. Karbon	2 203 849	2,2
Toplam Karbon	14 727 731	14,6
FeSi	1 658 189	1,6
FeSiMn	9 613 755	9,5
FeMn		
Toplam Alyaj	11 271 944	11,2
Oksijen	1 616 059	41-45
Doğalgaz	4 384 3800	5,5
Elektrot	218 239	2

Tablo 10. Katkı maddeleri sarfiyatı tsç

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektrik ark ocaklarında birim miktarda sıvı çelik üretimi için gerekli olan elektrik enerjisi miktarının düşürülebilmesi için geliştirilmiş sistemlerin etkinlikleri incelenmiştir. Bu sistemler üç ana bölüme ayrılabilir.

- Elektrik enerjisi girdisinin etkinleştirilmesi için geliştirilen sistemler
- Kimyasal enerjisi girdisinin etkinleştirilmesi için geliştirilen sistemler
- Enerji geri kazanımı için geliştirilen sistemler

Elektrik enerjisi girdisinin etkinleştirilmesi kapsamında, ocakta kararlı bir ark oluşumu, bu arkin sürdürülebilmesi ve en yüksek ark gücü değerine ulaşabilmek için nelerin yapılabileceği araştırılmıştır. 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 artı_ elde edilebilmiştir.

- Ark gücünün, ark akımı ve ark geriliminin fonksiyonu olduğu bilgisinden yararlanılarak yapılan çalışmada, özellikle ark geriliminin artırılmasıyla, ark radyasyonunun artacağı ve bu sayede elektrotlardan uzak bölgelerindeki hurdanın ergitilmesinin kolaylaşacağı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra belirli bir ark gücü değeri için uygulanabilecek yüksek gerilim operasyonunun, aynı ark gücü değerine ulaşabilmek için uygulanabilecek yüksek akım operasyonuna kıyasla elektrot tüketiminde de iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Ancak burada ark kararlılığının korunabilmesi için gerilim-akım oranının belli bir değeri geçmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir.
- Yüksek ark gerilimi nedeniyle oluşacak güçlü ark radyasyonunun, ocak refrakteri ve su soğutmalı paneller üzerindeki olumsuz etkilerini engelleyebilmek için, gövde panellerine yerleştirilen karbon ve oksijen üfleme noktaları sayesinde gerçekleştirilebilen güçlü cüruf köpürtme pratiklerinden, olumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- Elektrik ark ocaklarının darbeleri ve düzensiz çalışmaları nedeniyle sebep oldukları birincil sistemdeki gerilim düşümleri, güç girdisi üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu gerilim düşümünün engellenmesi için yapılan statik VAR düzeltici sistemler sayesinde ocağa olan aktif güç girdisinde ve günlük üretimde %10 oranında artış elde edilebilmektedir. Kısılan dökümden döküme süreler dolayısıyla ısı kayıpları da azaltılmış ve yaklaşık olarak %3.2' lik bir enerji kazancı sağlanmıştır. Kimyasal enerji girdisinin etkinleştirilmesi için ocaklarda brülör sistemleri ve oksijen kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Buna göre;
- Kullanılan güçlü brülör sistemleri ile sıvı çelik üretimi için gerekli enerjinin yaklaşık %15' lik bölümü buradan karşılanmıştır.
- Oksijen kullanımının etkinleştirilmesiyle de gerekli toplam enerjinin %20' lik bölümü ekzotermik reaksiyonlardan elde edilmiştir.

Enerji geri kazanım sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda ise;

- Ocaktan yakılamadan atılan yanabilir gazların, ocak içerisinde etkin şekilde yakılmasını sağlayan ileri yanma sistemleri sayesinde sıvı çelik üretimi için gerekli enerjinin yaklaşık %5–10' luk miktarı bu sistemlerden karşılanabilmiştir. Ayrıca bu sistemler %10 civarında günlük üretim artışı da sağlamıştır.
- Atık gazların sıcaklığından faydalanıp hurdanın ısıtılması prensibine sahip modern hurda ön ısıtma sistemleri sayesinde elektrik enerjisi tüketiminde %18 oranında bir tasarruf sağlanırken, üretimde de %17–20 arasında artış elde edilebilmiştir.
- Bunların yanı sıra ocakta sıvı çelik mayası bırakma, ocağın alttan asal gaz ile karıştırılması ve alttan döküm alma sistemli ocakların kullanımı da yararlı uygulamalar olarak öne çıkmıştır.

EAO Parametreleri	Enerjili Süre	Döküm Süresi	Elektrik Enerjisi	Döküm Sayısı	Oksijen Kullanımı	Elektrot Tüketimi
Reaktans Arttırımı	↓	↓	↓	↑	→	↓
Yüksek Gerilim Operasyonu	↓	↓	↓	↑	→	↓
Statik VAR Düzeltmesi	↓	↓	↓	↑	→	↓
Çelik Mayası Bırakma	↓	↓	↓	↑	→	↓
Cüruf Köpürtme	↓	↓	↓	↑	↑	↑
Brülör Kullanımı	↓	↓	↓	↑	↑	↓
Oksijen Kullanımı	↓	↓	↓	↑	↑	↓
Banyonun Karıştırılması	↓	↓	↓	↑	→	↓
İleri Yanma Sistemleri	↓	↓	↓	↑	↑	↓
Ön Isıtma Sistemleri	↓	↓	↓	↑	→	↓
Altın Döküm Alma Sistemi	→	↓	→	↑	→	→

Tablo 11. Elektrik ark ocaklarında uygulanabilen sistemlerin, ocak parametreleri üzerindeki etkileri.

Tablo 11.'de, elektrik ark ocaklarında uygulanabilen sistemlerin, ocak parametreleri üzerindeki etkileri verilmiştir.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 2018a. Yapısal demir çelik üretimi yapan bir işletmenin tsç enerji miktarı, 2018
- BANDIN, E., 2001. Yeşilyurt Electrical Measurement Report Arc Furnace. SGL Carbon AG Technical Service, 45 s, Germany.
- BLISS, N.G, 2002. "Improvements in Arc Furnace Electrical Efficiency". ISS 60.Electric Furnace Conference, Texas/USA.
- BOWMAN, B., 1982. "Optimum Use of Electrodes in Arc Furnaces. Stahl und Eisen", Vol 102, 1153 – 1157, Germany.
- BOWMAN, B., 1982. Optimum Use of Electrodes in Arc Furnaces. Stahl und Eisen Vol 102, 1153 – 1157, Germany.
- BOWMAN, B., 1993. "Development of AC Arc Furnace. Xi'an Symposium on Electric Steelmaking Installations", Germany.
- ÇŞB, 2012. Elektrik Ark Ocaklı Demir Çelik Tesisleri İçin MET Kılavuzu, Proje TR-2008-IB-EN-03 Görev no: 2.1.4.c.3, S:150-153
- DOĞAN H. ve YILANKIRAN N.,2015. "Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C 3(1):375-383, 2015
- ERSÖZ. F, ERSÖZ T, ERKMEN,İ. 2016 "Dünyada ve Türkiye'de Ham Çelik Üretimine Bakış", Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 32, Sayı 2, 2016
- ERSÖZ.T, DÜĞENCİ.M, ÜNVER.M , EYİOL.B, 2015 "Demir Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış ve Beş Milyon Ton Üstü Demir Çelik İhracatı Yapan Ülkelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi" DOI: 10.17100/nevbiltek.210941 URL: <http://dx.doi.org/10.17100/nevbiltek.210941>
- ETKB,2010. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı "2010–2014 Stratejik Planı", Ankara, 2010
- ETKB,2014. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Mevzuat/Enerji Verimliliği Strateji Belgesi" 2014
- GRANT, M., KAISER, K. and CANTACUZENE, S., 2005. Optimization of Steelmaking in Non-Conventional EAF Operations. AISTech, 2005, Proceedings, Vol 1, 559 s, USA.

- Hasan Tamsöz, Çelik Üretiminde Elektrik Ark Ocaklarında Enerji Maliyetlerinin ve Enerji Verimlilik Faktörlerinin Araştırılması, Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Anabilim Dalı, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Emin Taner ELMAS, 2018
- HOLM, H., 2003. "Benefits of Static VAR Compensator at DC-EAF Steel Plant.Nokian Capacitors", 10 s, Finland.
- INEGAKI, K., 1988. Development of EAF Steelmaking Technology in Japan – Past,Present, Future. 6th Int. Iron and Steel Congress, ISIJ, 72 – 81, Nagoya.
- KARA, A. ve YALÇINÖZ, T., 2005. "Esnek AC iletim Sisteminde Kullanılan Cihazlar ve TCR, SVC, TSR Yapılı Paralel Kompanzatorlerin Yük Gerilimine Etkisinin Matlab Ortamında İncelenmesi. 2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi", 10 s, İstanbul.
- KLEIN, K. and PAUL, G., 1989. "Reflections on the Possibilities an Limitations of Cost Saving in Steel Productions in EAF". Metallurgical Plant and Technology, Vol1, 125 s, England, 1989
- KOÇAK, H. VE KURT, R. "Çelik Rehperi". Stahleisen VDEh Çelik Enstitüsü 2017 62-63,2018
- MARTIG, M., 1996. Electric Ark Furnace Phase Balance. Steel Works Session, 34 s,Spain.
- MATİL, 2018, "2017 Yılı Türkiye Ham Çelik Üretimi Değerlendirmesi" <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/2017-yili-turkiye-ham-celik-uretimi-degerlendirmesi-1155.html>, 2018
- MOARES, G.C., FILHO, A.W., GRANT, M., and SHIFRIN, V., 2001. Implementation of Pyrejet Technology in EAO at Siderurgica Barra Massa. Brazil.
- MTA, 2017. Dünyada ve Türkiye'de demir raporu, Maden Tektik Arama, Fizibilite etütleri daire başkanlığı, 2017
- ORHON, M.K., 1986. "Ark Ocakları Elektriği". Asilçelik Teknik Yayını, 221 s, Türkiye
- PFEIFER, H. and KIRSCHEN, M. 2002. "Thermodynamic Analysis of EAF Energy Efficiency and Comparison with a Statistical Model of Electric Energy Demand. Institute of Industrial Furnaces and Heat Engineering in Metallurgy, RWTH Aachen, 16 s, Germany.
- RESMİ GAZETE,2014. "Onuncu Kalkınma Planı",2014.
- SCHMITT, R. 1997. "Electric Arc Furnace Scrap Preheating". Electric Power Research Institute, 4 s, USA,
- STEEL DATA, 2018. "Çelik Sektöründe Enerji Yönetim Sistemleri Ve Enerji Tasarrufu" <http://www.steel-data.com/m/9>, 2018
- STEEL DATA, 2018." World Steel İn Figures 2017", <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/2017-yili-turkiye-ham-celik-uretimi-degerlendirmesi-1155.html>
- TÇÜD, 2018. "Demir Çelik Ve Enerji Verimliliği" <http://celik.org.tr/cemtas-celik-makina-sanayi-ve-ticaret-a-s/>, 2018
- TIMM, K. and PFEILER, T., 1992. Optimizing the operation of an AC Arc Furnace. Elektrowarme International, Vol 50, 199 – 205, Germany.
- TKEB, 2014. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Sektör Raporu http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TETAS_2013.pdf . 2014
- TMMOB, 1997."Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu" Tmmob Elektrik Mühendisleri Odası Bilgi Belge Merkezi,1997
- TMMOB, 2012. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, "Enerji Verimliliği Raporu", Ankara, 36, 63, 2012
- TOBB, 2016. Türkiye demir ve demir dışı metalleri meclisi raporu, 2016 TOBB Yayın No: 2017/300 (2017), 8-9
- TSKB,2014. Türkiye Sınayi Kalkınma Bankası, "Enerji Verimliliği", <http://www.tskbenerjiverimliliği.com/enerjiverimliliği-ve-tskb/tskbnin-enerjiverimlilikivizyonu.aspx>, 2014
- TÜİK, 1997. "Enerji Teknolojileri Politikası" Tübitak TtgV Bilim Teknoloji Sanayi Tartışmaları, 1997
- TÜİK,2012. "Türkiye'nin demografik yapısı ve geleceği", 2010-2050, Sayı: 13140,2012,<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13140>

WORLD BANK, 2013. Dünya Bankası, “Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak”, <http://siteresources.worldbank.org/TURKEYEXT> N/Resources/361711-1294661147811/TurkeyEEtr.pdf, 2013

WORLD STEEL, 2018. “World Steel İn Figures 2017”, <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/world-steel-in-figures-2018-now-available-1213.html>, Erişim tarihi: 05.61.2018

WORLD STEEL, 2018. “World Steel İn Figures 2018” raporu, 2018