



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

BAZIK OKSİJEN FIRINI için KÜLÇE ALÜMİNYUM BESLEME SİSTEMİ
TASARIMI ve OPTİMİZASYONU

Ahmet KAYRAK

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
NİSAN-2016



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

**BAZIK OKSİJEN FIRINI için KÜLÇE ALÜMİNYUM BESLEME SİSTEMİ
TASARIMI ve OPTİMİZASYONU**

Ahmet KAYRAK

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
NİSAN-2016**

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


BAZİK OKSİJEN FIRINI için KÜLÇE ALÜMİNYUM BESLEME SİSTEMİ
TASARIMI ve OPTİMİZASYONU

AHMET KAYRAK

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA danışmanlığında hazırlanan bu tez 07/04/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

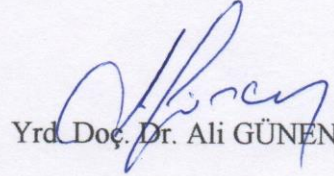


Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA
Başkan



Doç. Dr. Akif KÜTÜK

Üye



Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN

Üye

Kod No: 08

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.

07/04/2016

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.

Ahmet KAYRAK

ÖZET

BAZİK OKSİJEN FIRINI için KÜLÇE ALÜMİNYUM BESLEME SİSTEMİ TASARIMI ve OPTİMİZASYONU

Demir çelik ürünleri, dayanıklı tüketim malları, yapı malzemeleri ve otomotiv sanayinin temel girdisidir. Bu sebeple bir ülkenin demir çelik ürünlerini tüketim düzeyi, o ülkedeki refahın ve gelişmişliğin en temel göstergelerinden biri olarak kabul edilir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde demir çelik tüketimi giderek artmakta ve tüketim hızını karşılayabilecek üretim kapasiteleri oluşturulmaktadır. Ancak çelik üretiminde kullanılan hammadde, flaks ve deoksidant fiyatları günden güne artmakta bu da çelik üretim maliyetini artırarak karlılığı düşürmektedir. Maliyeti artıran bu malzemelerin biri de deoksidasyon ve alaşımlama amaçlı kullanılan alüminyumdur.

Ergimiş metalden oksijeni alma metodu olan deoksidasyon, Bazik Oksijen Fırını (BOF) ile yapılan çelik üretimin son aşamasıdır. BOF ile çelik üretimi yapılan tesislerde deoksidasyon işlemi, yaklaşık 5 kg ağırlığındaki alüminyum külçelerin çalışanlar tarafından el ile atılması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde yapılan besleme prosesinde personel kaynaklı kalite ve verim problemleri yaşanabilmektedir. Yapılan çalışmada daha önce tamamen manuel olarak gerçekleştirilen külçe alüminyum besleme işlemi otomatikleştirilmiştir. Bununla birlikte prosesin daha kontrollü ve kararlı bir hal alması sağlanarak kalite ve performans süreçlerinde önemli kazanımlar elde edilmiştir. Alüminyum besleme sistemi öncesi ve sonrası verilerden tablolar hazırlanıp, karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak, konvertörden sıvı çeliğin potaya boşaltılması sırasında alüminyum besleme sistemi kullanımının maliyet düşürücü bir uygulama olduğu gösterilmiştir. Bu maliyet düşürücü uygulama sayesinde tasarrufun yılda yaklaşık 91.176 \$ olabileceği anlaşılmıştır.

Aynı zamanda yapılan çalışma sonucunda daha önce tamamen manuel olarak gerçekleştirilen ve birçok iş güvenliği riski taşıyan külçe alüminyum besleme işleminin otomatik besleme sistemi ile yapılması sonrası iş güvenliği noktasında ortaya çıkabilecek tehlikeler ortadan kaldırılmıştır.

2016, 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bazik oksijen fırını, külçe alüminyum, deoksidasyon, otomatik besleme

ABSTRACT

ALUMINUM INGOT FEEDING SYSTEM DESIGN and OPTIMIZATION for BASIC OXYGEN FURNACE

Iron and steel products are the primary input of durable consumer goods, construction materials and automotive industry. Thence, elevation of iron and steel product consumption is the most important pointer of development and prosperity for a country. Developing countries as Turkey, iron and steel product consumption increases constantly and also production capacity can be formed to respond consumption. However, the prices of raw materials, fluxes and deoxidants which are used in steel making process, increase day by day due to steel making cost increases and the profitability decreases. Also aluminium which is used for deoxidation and alloying, increases the cost.

Deoxidation is the method of removing oxygen from molten metal and it is the last part of the steel making process with Basic Oxygen Furnace (BOF). Steel making process with BOF, aluminum ingots that have 5 kg nominal weight are feeding manually in a ladle. This situation can lead to some problems such as quality error and loss of efficiency. The problem was solved by designing automatic aluminum ingot feeding system. Hereby feeding system performance variables had improved considerably. In this studies the tables which are derived from using aluminium feeding system before and after datas are prepared and their comparison is made. Finally, this study showed us that aluminium deoxidation with aluminium ingot feeding system is useful application for cost saving. With using this feeding system in deoxidation process saving approximately 91.176 \$ was achieved.

Meanwhile, automatic feeding system is rolled out instead of manual feeding system that has injury risk previously. Hereby risks caused by occupational health and safety aspects have been eliminated.

2016, 44 pages

Key Words: Basic oxygen furnace, aluminum ingot, deoxidation, automatic feeding

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 Çelikhane Müdürü Bekir Burak YAMANOĐLU'na, Konvertör İşletme Başmühendisi Turan Görkem ESKİYURT'a, Etüt Proje Başmühendisi Mesut TUTAL'a ve deneysel çalışmaların yapılması sırasında emeği geçen tüm Çelikhane Müdürlüğü personelleri ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteklerini ve sabrını esirgemeyen Hatice İŐLEK'e ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

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.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1 Materyal.....	7
3.1.1. Bazık Oksijen Fırını	7
3.1.1.1. Hurda ve Sıvı Ham Demir (SHD) Şarjı	8
3.1.1.2. Oksijen Üfleme	8
3.1.1.3. Numune Alma	14
3.1.1.4. Çelik Boşaltma	15
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Alüminyum Besleme Sistemi.....	16
3.1.2.1. Alüminyum Bunkeri	17
3.1.2.2. Tartım ve Şarj Vibro Besleyicisi.....	17
3.1.2.3. Kontrol Ünitesi.....	20
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler	20
3.1.3.1. Çalışmada Kullanılan Külçe Alüminyumlar.....	20
3.1.4 Deneysel Test ve Ölçü Cihazları.....	24
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Külçe Alüminyum Besleme İçin İzlenecek Yol	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	30
4.1. Optimizasyon Çalışmaları	30
4.1.1. Ağırlık Ölçümü Optimizasyonu	30
4.1.2. Şarj Vibro Besleyici Optimizasyonu	31
4.1.3. Külçe Alüminyum Besleme Sistemi Saha Kurulumu	33
4.2. Deneysel Çalışmalar	33
4.2.1. Besleme Sistemi Öncesi ve Sonrası Alüminyum Değerleri.....	33
4.2.2. Teorik Deoksidasyon Hesabı	35
4.3. Deneysel Verilerinin Karşılaştırılması	38
5. SONUÇ	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Bazık oksijen fırını genel görünümü	7
Şekil 3.2.	Konvertör hurda ve shd şarj işlemleri.....	8
Şekil 3.3.	Üstten üfleli BOF oksijen üfleme işlemi	9
Şekil 3.4.	Sıvı ham demir içerisinde C – O dengesi	10
Şekil 3.5.	1 atm CO basıncı ve 1600°C sıcaklık için C – O dengesi	12
Şekil 3.6.	Konvertör alttan karıştıma	13
Şekil 3.7.	Konvertör sublance sistemi.....	15
Şekil 3.8.	Çelik boşaltma işlemi.....	15
Şekil 3.9.	Külçe alüminum besleme sistemi	16
Şekil 3.10.	Külçe alüminum bunkerı	17
Şekil 3.11.	Besleyici vibro motor.....	18
Şekil 3.12.	Tartım vibro besleyicisi.	18
Şekil 3.13.	Şarj besleyicisi hareket redüktörü.....	19
Şekil 3.14.	Tartım ve şarj vibro besleyicisi önden ve arkadan görünüm	19
Şekil 3.15 .	1538 °C ve 1600 °C Sıcaklıklar için alüminyum deoksidasyonu denge eğrileri.....	21
Şekil 3.16.	Alüminyum deoksidasyonu denge grafikleri	22
Şekil 3.17.	Külçe alüminyum paleti.....	23
Şekil 3.18.	Külçe alüminyumlar	23
Şekil 3.19.	Tavan vinç kantarı	24
Şekil 3.20.	Pnömatik numune alma/gönderme hattı	24
Şekil 3.21.	Bant zımpara ve numune parlatma cihazı.....	25
Şekil 3.22.	Optik emisyon spektrometresi (ARL 4460 OES)	25
Şekil 3.23.	N-O cihazı Leco THC600.....	26
Şekil 3.24.	Külçe alüminyum besleme sistemi akış şeması.....	27
Şekil 3.25.	Külçe alüminyum besleme proses şeması.....	28
Şekil 4.1.	Prototip külçe alüminyum besleme sistemi	30
Şekil 4.2.	Külçe alüminyum besleme sistemi montaj aşamaları.....	33
Şekil 4.3.	Manuel külçe al besleme prosesi	34
Şekil 4.4.	C ile giderilen O ve toplam O karşılaştırma grafiği.....	37
Şekil 4.5.	Üfleme sonu O ppm değerleri.....	38
Şekil 4.6.	Deoksidasyon için C ve Al tüketimi	39
Şekil 4.7.	Makine öncesi ve makine sonrası alüminyum verimleri	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Külçe alüminyum fiziksel ebatlar.....	23
Çizelge 3.2.	Külçe alüminyum kimyasal bileşimi.....	23
Çizelge 4.1.	Ağırlık doğrulama testi sonuçları.....	31
Çizelge 4.2.	200 kg. ile yapılan şarj vibro besleyici Off-Set testleri.....	32
Çizelge 4.3.	%80 hızda vibro besleyici test sonuçları.....	32
Çizelge 4.4.	St22 kimyasal spesifikasyonu.....	34
Çizelge 4.5.	C ile deokside olmuş O frekans dağılımı.....	37
Çizelge 4.6.	Makine öncesi ve sonrası değerler.....	38



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: Aktivite
dk	: Dakika
gr	: Gram
f	: Konstantrasyon
K	: Denge sabiti
kg	: Kilogram
kcal/Nm ³	: Normal metreküp başına kilo kalori
m	: Metre
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
P	: Kısmi basınç
ppm	: Part per million (milyonda başına birim)
r	: Yarıçap
rpm	: Rounds per minute (dakika başına devir)
sn	: Saniye
t	: Ton
T	: Sıcaklık (°C)
ΔG°	: Gibbs serbest enerjisi

KISALTMALAR

%Al ₂ O ₃	:	Cürufta çözünmüş oksitlenmiş alüminyum
%Fe ₂ O ₃	:	Cürufta çözünmüş oksitlenmiş demir
%MnO	:	Cürufta çözünmüş oksitlenmiş mangan
%SiO ₂	:	Cürufta çözünmüş oksitlenmiş silisyum
%Al	:	Metaldeki alüminyum oranı
%Cu	:	Metaldeki bakır oranı
%Fe	:	Metaldeki demir oranı
%Mn	:	Metaldeki mangan oranı
%P	:	Metaldeki fosfor oranı
%Si	:	Metaldeki silisyum oranı
%Ti	:	Metaldeki titanyum oranı
%V	:	Metaldeki vanadyum oranı
BOF	:	Bazık Oksijen Fırını
CaO	:	Yanmış kireç
CaCO ₃	:	Kalsiyum karbonat (kireç)
CO	:	Karbon mono oksit
CO ₂	:	Karbon di oksit
EAF	:	Elektrik ark fırını
LDSF	:	Kalsiyum alüminat
LF	:	Pota fırını
MTS	:	Malzeme taşıma sistemi
OES	:	Optik emisyon spektrometresi
SHD	:	Sıvı ham demir
ÜUT	:	Üretime uygun tasarım
TSO	:	Temperature, sample, oxygen (Sıcaklık, numune, oksijen)

1. GİRİŞ

Uygarlık tarihi, insanoğlunun yer altında bulup çıkardığı demir cevherini ateşle işlediği andan itibaren müthiş bir hızla ilerlemiştir. Önceleri daha güçlü el aletlerinin üretimi için kullanılan demir ve çelik, çağımızda otomotiv sektöründen beyaz eşya üretimine, uçak sanayinden yapı montaj elemanlarına kadar yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Bulunduğu iş kolu içerisinde ana sanayiye oluşturan demir-çelik sektörü, birçok sektöre girdi sağladığı için sanayinin lokomotifi olma niteliğini sürdürmektedir.

Global olarak demir-çelik ürünlerinin üretimi için kullanılan temel iki sistem bulunmaktadır. İlki demir cevherinden ham demir ve ham demirden çelik üretimi yöntemi, diğeri ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir. Gelişen teknoloji ile birlikte bu iki sistem göz önünde bulundurulduğunda dünya çelik üretiminin yaklaşık %70'i Bazik Oksijen Fırınları (BOF) ile yapılırken geriye kalan kısmı ise girdisi çelik hurdası olan Elektrik Ark Fırınları (EAF) ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada dünya genelinde daha yaygın kullanımı olan ve Konvertör olarak adlandırılan Bazik Oksijen Fırınlardan faydalanılmıştır.

BOF prosesinde çelik üretimine giden yolculuk demir cevherinin yüksek fırınlarda ergitilmesiyle elde edilen sıvı ham demirin Konvertörlere transfer edilmesi ile başlar. Konvertörlerde oksijen üfleme işlemi başta olmak üzere bir dizi aşamadan geçen ham demir çeliğe dönüştürülmüş olur. Ardından sıvı fazdaki nihai çeliğin katı faza geçtiği Sürekli Dökümler tesislerinde istenen özelliğe göre slab ve kütük üretimi yapılır. Slab ve kütük değişik işlemlerden geçirilerek talep edilen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamuller üretilmektedir. Üretilen nihai çelik ürünlerinin sayısız çeşidi ve kullanım alanı vardır. Değişen tüketici ihtiyaçları, teknolojiye kaydedilen ilerlemeler ve rekabet koşulları gibi nedenler demir çelik sektöründeki ürün çeşitliliğini daha da arttırmaktadır.

Çelik üretiminde nihai ürünün istenen mekanik ve metalürjik özellikleri taşıyabilmesi için üretilen sıvı çeliğe, deoksidasyon, rafinasyon ve alaşımlama işlemleri uygulanmaktadır. BOF'ta çeliğe yüksek debide oksijen üflenmesi sonucunda bir miktar oksijen banyo içerisinde çözünerek serbest halde sıvı çeliğe geçer. Banyo içerisinde bulunan bu oksijenin deokside edilmesi (giderilmesi) gerekmektedir. Sıvı çelik içerisindeki serbest oksijenin yeteri kadar deokside edilememesi nihai döküm

proseslerinde poroziteye gibi kusurlara neden olabilmektedir. Bu gibi problemlerin önlenmesi amacı ile sıvı çelik, konvertörden potaya boşaltılması sırasında çeşitli yöntemler ile deokside edilmektedir.

Deoksidasyon amacı ile kullanılan malzemeler deoksidan olarak adlandırılmaktadır. Deoksidanlar; alüminyum (Al), silisyum (Si), karbon (C) ve kalsiyum (Ca) dur (Turkdogan, 1996). Deoksidasyon amacı ile verilen malzemelerin çelik boşaltma sırasında potaya verilmesi ve katkı zamanı çok önemlidir.

Çelik üretiminde deoksidasyon işlemi için genellikle alüminyum kullanılmaktadır. İşletme pratiklerine göre, yapılan bu işlemde ortalama 5 kg ağırlığındaki alüminyum külçeler tercih edilmektedir. Konvertörden çelik boşaltma işlemi sırasında yapılan alüminyumların potaya beslenmesi işi ise çalışanlar tarafından elle atılmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu şekilde yapılan besleme işlemi sırasında personel hatası kaynaklı (eksik verme, fazla verme, erken verme, geç verme v.s.) sebepler neticesinde deoksidasyon ve/veya alaşımlama problemleri ortaya çıkabilmekte bu da üretilen çeliğin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Alüminyumun gereğinden fazla verilmesi, besleme işleminin sıralı ve doğru zamanda yapılamaması beslenen alüminyum verimini düşürerek tüketilen alüminyum miktarını artırabileceğinden üretim maliyetini de artırıcı etkisi olabilmektedir. Diğer taraftan bu işlem sonucunda işi yapan personelde külçeleri kaldırmaya bağlı bel bölgesinde incinme ve alüminyumların personel uzuvlarına düşmesine bağlı ezilme sonuçlu iş kazaları yaşanabilmektedir. Çalışan personellerin iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek risk teşkil eden bu ve benzeri durumların bertaraf edilmesi, işletmelerde insansız yapılabilen yeni teknolojileri kullanmaya yönlendirmiştir. Gerek el ile yapılan alüminyum besleme işleminin kalite ve performans süreçlerinde olan negatif etkileri, gerekse manuel olarak yapılan bu işlemin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk teşkil etmesi neticesinde otomatik özellikli bir besleme sistemi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ortaya konan problemlerin giderilmesine yönelik yapılan çalışmalar sonrasında Külçe Alüminyum Besleme Sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonrası prototip imalata geçilmiş ve sistem üzerinde optimizasyon çalışmaları tamamlanmıştır. Ardından otomatik besleme sisteminin Konvertöre entegrasyonu gerçekleştirilerek performansının ölçülebilmesi için denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerde St22 çelik kalitesinde üretilen 498 adet döküm incelenmiştir Mevcut durum ve deneysel çalışmalar arasındaki farklılıklar belirlenmiş ve grafikler hazırlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür taramasında, manuel ve otomatik besleme sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş, besleme sistemlerinin avantajları ve alüminyum ile yapılan deoksidasyon konuları detaylandırılmıştır. Ayrıca elle manuel olarak yapılan besleme işlemlerinde meydana gelebilecek risklerle ilgili yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur. Külçe/parça şeklinde yapılan Alüminyum Besleme Sistemi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Ulusoy ve ark., (2006) “Üretim Sistemleri Teknolojileri” adlı çalışmada, Avrupa’nın çeşitli ülkelerinde metal sektörünü kapsayan Avrupa İmalat Sanayiinde Yenilik Araştırması sonuçlarına göre, sanayide kullanılan robotlar ve otomatik malzeme manipülasyon sistemlerinin konsorsiyum ülkeleri arasında en az yayılımın Türkiye metal sektöründe olduğu gözlenmiştir. Sanayi robotları ve otomatik taşıma sistemlerine olan yatırımların büyük oranda son yıllarda gerçekleştiği ve bu sistemlerin metal sektöründe önümüzdeki yıllarda daha yaygın olarak kullanılacağı ön görülmüştür.

Delikan (2010), hazırlamış olduğu yüksek lisan tezinde, esnek üretim sistemlerinin etkinliğini ortaya koyan temel unsurlardan biri de malzeme taşıma sistemi olduğunu belirtmiştir. Malzeme taşıma sistemi ile doğru malzemenin, doğru zamanda, doğru sırada, doğru pozisyonda, doğru koşulda, doğru maliyette ve doğru yerde bulunması sağlanabilmektedir. Malzeme taşıma sistemini sağladığı en önemli avantajın ise zaman kaybının önlenmesi ve iş gören ihtiyacını azaltması olarak açıklamıştır. Tam olarak entegre edilmiş malzeme taşıma sistemi ile üretim maliyetleri de büyük ölçüde azalmaktadır. Sistemin başarılı olarak çalışması için sistemin diğer unsurlarıyla uyumlu çalışacak şekilde planlanması gerekmektedir.

Şimşir, (2009) “İnsan-Makine Sistemleri ve Manuel Kontrol Modeli” adlı çalışmada, İnsan – Makine etkileşimi ve bunun sonucunda insan gibi davranan kontrol sistemleri geliştirilmesi çalışmalarına paralel olarak akıllı sistemler ve kontrol kavramının teknolojiye kullanımının önünün açılmışığı belirtilmiştir. Bu sebeple, belli bir karaktere sahip insan hareketlerinin öğretilerek makine davranışının insan hareketlerine benzer şekilde karar verici olması sağlanmaya başlamıştır. İnsanın devre dışı bırakılmadığı uygulamalarda, öngörü yaparak insan kontrol sistemine uyarı geri beslemesi sağlanmasında mümkün olduğu belirtilmiştir.

Üte ve ark, (2010)'da yapmış olduğu çalışmada, yalın üretim prensiplerinin iplik işletmelerine uygunluğunu incelenerek var olan iş akışını yalın üretim bakış açısıyla değerlendirmiş ve daha önce insan ile manuel olarak yapılan işlerin otomatik sistemler ile değiştirilmesinin ardından ciddi verimlilik artışı olduğu belirtilmiştir. Önceleri işçiler tarafından manuel olarak yapılan balya açma, harman hallaç hattına malzeme beslenmesi gibi işlerin otomatik besleme sistemleri ile değiştirilmesi sonrası işçi hatalarından kaynaklanan hatalı beslenmeler ile ekipmanlarda oluşabilecek zedelenmelerin önlenmesi, iş yükü ile maliyetlerinde azalma, daha düşük enerji tüketimi ve daha az işçilik ve işletme maliyetleri elde edildiği belirtilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin aynı zamanda yer tasarrufunu sağlamakta, süreci kısaltmakta ve bazı üretim basamaklarının elimine edilmesi ile müşteri için değer yaratmayan proseslerin kaldırılmasına imkan vererek üretim maliyeti de aşağıya çekilebildiği vurgulanmıştır.

Tuzkaya ve ark. (2011), çalışmalarında, malzeme taşıma sistemlerinin (MTS) seçimi ve değerlendirilmesinin doğru bir şekilde yapıldığında üretim sistemlerinin etkinliğini önemli ölçüde arttırabileceği belirtilmiştir. Bu sistemler çoğu zaman yatırım maliyeti yüksek olan sistemlerdir ve değiştirme kararları oldukça riskli kararlardır. MTS değerlendirme süreçlerinde birden çok kriter etkilidir ve bu kriterler çoğu zaman birbiriyle çelişen yapıdadırlar. Örneğin sistemin kullanım kolaylığı arttırılırken maliyetlerde yükselmeler olabilir. Bu durumda seçim süreçlerinde çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılması uygundur. Ancak MTS değerlendirme sürecinde net rakamlarla ifade edilmeyen ve karşılaştırılması güç olan değerlendirme kriterleri de mevcuttur. Bu durumda karar vericilerden bilgi alma sürecinin kolaylaştırılması için bulanık kümelerden faydalanmak uygundur. Bu amaçla, yapılan çalışmada bulanık PROMETHEE yaklaşımından faydalanılmıştır. Önerilen seçim metodolojisi, gerçek bir uygulama ile örneklendirilerek çalışma tamamlanmıştır.

Ulugergerli (2009), ‘Eşzamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması’ adlı çalışmasında, tasarım sırasında yapılan değişiklikler imalat maliyetlerinin azalmasıyla sonuçlandığı ve alınan bu önlemler de uygun üretimler ile sağlandığı ifade edilmiştir. Maliyet, güvenilirlik ve yasal gereklilikler gibi kısıtlamalar ile birlikte üretimi yapılan ürünün, etkili ve ekonomik olarak en verimli şekilde elde edilebilir biçimde imalatı için tasarımı yapılması gerektiği belirtilmiştir. Üretime Uygun Tasarım (ÜUT) kapsamında geliştirilen ürünün nasıl üretileceği anlayışı ön plana

çıkılmaktadır. Bu aşamada düzenleyici faaliyetlerin meydana getireceği maliyet ve tamamlama süresi, tasarım aşamasındaki revizyonlardan daha fazla olacaktır. Buda gecikme ve ek maliyete sebep olacaktır. Ayrıca üretim aşamasında yanlış malzeme seçimi yapılırsa, hangi tezgah ya da imalat proseslerinin kullanılacağı doğru olarak belirlenmezse bu durum sonucunda ortaya çıkan problemler ek maliyet getirdiği gibi üretim aksamasına da sebep olabilmektedir. Tasarım aşamasında müdahale edilen üretim problemleri sayesinde üretim maliyetleri azaltılarak üretim miktarı arttırılmaktadır.

Stone ve ark., (2006) ‘‘Sensor Esaslı Çelik Üretim Proses Kontrolü ile Çelik Üretiminde Verimlilik Artışı’’ adlı çalışmada, çeliğe alüminyum ilave edilirken, alüminyumun çoğunluğu ya çelikte mevcut serbest oksijenin, cüruf veya dökümden kaynaklanan oksitlerin uzaklaştırılması sırasında oksijenle birleştiği belirtilmiştir. Atmosferik oksijenle olan oksidasyon miktarı çıkarıldığında, geriye kalan alüminyum, çelikte artık alüminyum (Hedef Al) olarak kalır. Düşük karbonlu çelikler dikkate alındığında, alüminyumun yaklaşık %24 kadarı çelikte kalırken %38’i çelikteki serbest oksijeni deokside eder ve alüminyumun yaklaşık %38’i dökümle ilgili veya cüruf redüksiyonundaki kayba gider. Daldırma ölçüm probu ile üfleme sonu karbonu ve tekrar üfleme geçmişinden daha kesin bir banyo oksijeni ölçümü sağlarken, bu ölçüm daha sonra verilen hedef pota alüminyum değerine ulaşmak için ihtiyaç olan miktarda alüminyum ilavesi yapmak için kullanılabilir.

Avrupa işçi sağlığı ve iş güvenliği raporunda (1994) European90 / 269 / CEE kılavuzuna göre manuel malzeme besleme prosesleri bir ve ya daha fazla işçi marifeti ile yapılan kaldırma, indirme, çekme, itme, yükü hareket ettirme ve aktarmayı içeren herhangi yük taşıma ve destekleme faaliyetleri olarak tanımlanmış, ekonomik olumsuzluklar ve yapılan işin sonucu olarak özellikle sırt ve bel bölgelerinde yaralanma riski içerdiği belirtilmiştir.

Riihimaki, (1991) ‘‘Bel Ağrısı, Orjini ve Risk Göstergeleri’’ adlı çalışmada, manuel malzeme besleme işlemlerinde eğilme ve bükülme pozisyonu, vücut titreşimi, araç sürme gibi çeşitli faktörler ile birlikte sırt problemlerinin en bilinen nedeni olduğunu göstermiştir.

Frostick ve ark. (1999)’da yapmış olduğu araştırmalarında; çalışma alanlarında el ile taşıma yapma işleminde meydana gelen yaralanmaların oldukça sık ve benzer tip yaralanmalar olduğu saptanmıştır. Genellikle karşılaşılan çoğu sakatlanmaların risk

seviyesi düşük burkulmalar veya zorlama nedenli geçici sakatlıklar olduğu belirtilmiştir. Fakat ciddi yaralanmalar ve sakatlanmaların da azımsanmayacak derecede olduğu ifade edilmiştir.

Deros ve ark. (2010), yılında yapmış olduğu çalışmaya göre sürekli olarak eğilmek, bükülmek ve kalçanın bükülmesinin iskelet-kas sistemi üzerinde ciddi bozukluklara yol açtığı görülmektedir. Bu problemin temel kaynağı uzun süreli tekrar tekrar yapılan statik yük taşıma işlemindeki beden duruş biçimidir. Bu durum eklemlere ve tendonlara kayda değer bir yük bindirilmesine ortam hazırlamaktadır.

Lortie ve ark. (1996), ‘‘Manuel Besleme Aktivitelerindeki Vakalar’’ adlı çalışmada, ortalama olarak her 7 hareketten bir tanesi kaza ile sonuçlandığı gösterilmiştir. Bu kazaların %71’inin çevre %29’unun ise aktiviteye bağlı hareketlerden dolayı olduğu istatistiksel olarak gözlemlenmiştir. Aktivitelere bağlı olaylar sonuç bakımından daha fazla risk taşıırken bu tür olayların çoğu manuel yükleme proseslerinde gerçekleşmektedir. Elle yapılan beslemelerde meydana gelen vukuatlar yapılan işin ayrılmaz bir parçasıdır. Meydana gelen vakaların analizleri yapıldığında sadece manuel besleme aktivitelerinin değil işin bu şekilde yönetilmesinin tercihi de riskleri teşvik ettiği anlaşılmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bazik Oksijen Fırını

Bazik Oksijen Fırınları prosesi, gereksinim duyduğu enerjiyi proses esnasında meydana gelen ekzotermik reaksiyonlar sonucu üretebilmektedir. BOF'ta kullanılan hammaddeler %80-85 oranında yüksek fırınlardan gelen sıvı ham demir ile %15-20 oranında demir-çelik hurdasıdır. BOF prosesinde önce hurda daha sonrada yüksek fırınlardan gelen sıvı ham demir şarjı sırası ile şarj edilir ardından %99,9 saflıkta oksijen lans adı verilen boru ile yüksek basınçta üflenerek reaksiyonlar başlatılmış olur (Şekil 3.1). Üfleme sırasında önce Silis ardından Karbon yanmaya başlayarak ısı açığa çıkartılır (Sezer, 2008). Ergimiş metal içerisinde bulunan ve çeliğin özelliklerini olumsuz yönde etkileyen elementlerse; kireç, karbon ve oksijen yardımıyla çelik yapısından uzaklaşarak cürufa geçerler.

Bazik Oksijen Fırınlarında üretim dört basamakta gerçekleştirilir. Bunlar: hurda ve sıvı ham demir şarjı, oksijen üfleme, numune alma ve çelik boşaltma olarak sıralanabilir.

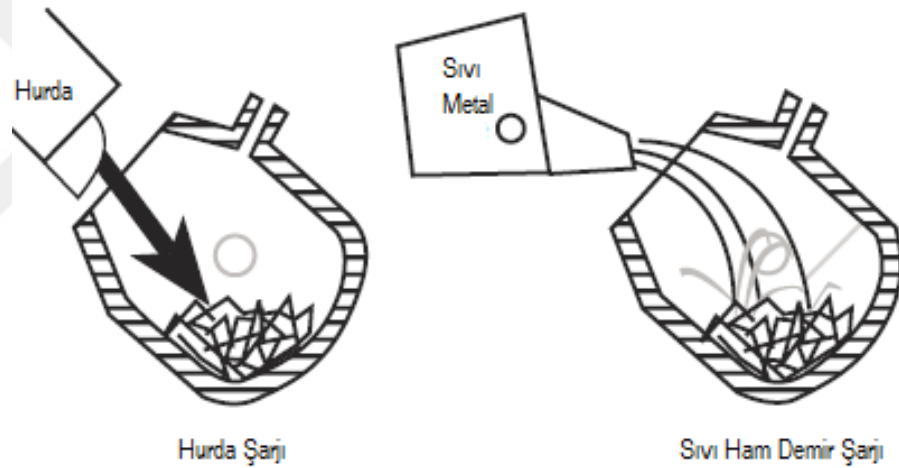


Şekil 3.1. Bazik Oksijen Fırını genel görünümü (Anonymous, 2010)

3.1.1.1. Hurda ve Sıvı Ham Demir (SHD) Şarjı

BOF prosesi hurda şarjı ile başlamaktadır. Yaklaşık %15-20 oranında hurda muhtelif kalitelere hurda kovalarına yüklenerek BOF'a şarj etmek üzere hazır hale getirilir. Hurdalar doldurulurken hafif hurdalar öne (kırpıntı, tel, levha vb.), ağır hurdalar (slab, kütük, bobin vb.) ise kovanın arka kısmında olacak şekilde hazırlanır. Bu sayede hurdanın BOF'a girişi sırasında önce dökülen hafif hurdalar yastık görevi görecek ve ilk çarpmanın meydana geldiği refrakter bölgesinde koruma sağlayacaktır.

Hurda şarjının ardından yüksek fırınlarda üretilen Sıvı Ham Demir BOF'a şarj edilir. Şarj işlemleri fırının ortalama 45° açıda yatması ile yapılmaktadır (Şekil 3.2). Şarj işlemleri tamamlandıktan sonra BOF dik konuma alınarak Oksijen üfleme işlemi başlatılır.

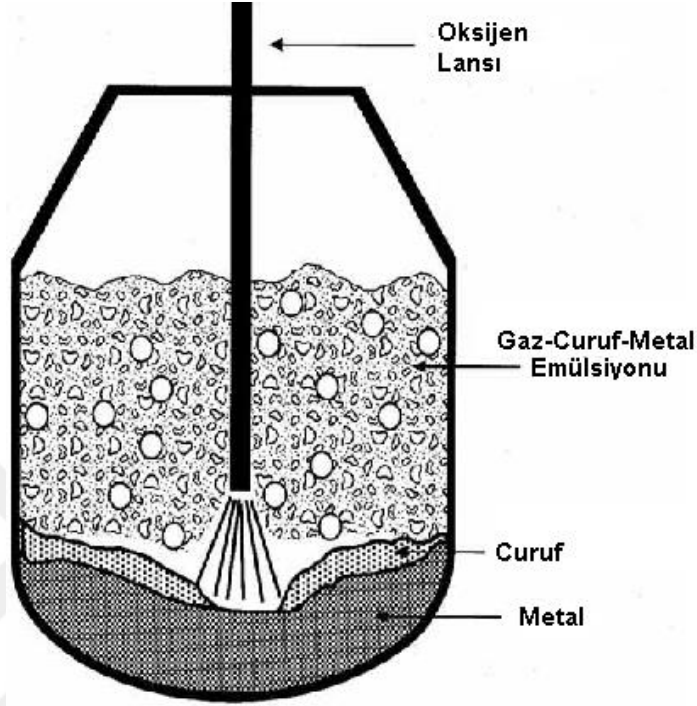


Şekil 3.2. Konvertör hurda ve shd şarj işlemleri (Karagöl, 2004)

3.1.1.2. Oksijen Üfleme

BOF üretim kapasitesi ve üfleme debisi dikkate alındığında tesise göre değişkenlik gösteren üfleme süresi ortalama 13-18 dakikadır. Hurda ve Sıvı Ham Demir (SHD) şarjı tamamlanan BOF dik konuma alınarak işleme hazır hale getirilir. Lans olarak adlandırılan saf oksijen üfleme borusu fırına daldırılır. Bu lansın alt ucu ergimiş ham demir yüzeyinin yaklaşık 2 m üzerinde olacak şekilde ayarlanır. Saf oksijen jeti yardımıyla lanstan yüksek basınçta oksijen ortalama 13-18 dakika süre ile üflenerek karışımın yüzeyinde yanma ve ısınma meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Lansı konvertör

içerisindeki yüksek ısıdan korumak için su ceketli sistemle lans soğutması yapılır (Miller, 1998). Fazla C sıvı çelikten yakılarak uzaklaşır; Si, Mn ve P gibi elementler ise oksitlenerek cürufa geçer.



Şekil 3.3. Üstten üflelemeli BOF oksijen üfleme işlemi (Miller,1998)

BOF'ta oksijen üfleme esnasında gerçekleşen temel reaksiyonlar aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir.



reaksiyonu uyarınca sıvı metale oksijen sağlanır. Bu şekilde sağlanan oksijen metaldeki karbon ile birleşerek



reaksiyonu ile CO gazı oluşturur. Çelik üretiminde temel reaksiyon olan karbonun oksitlenme reaksiyonu (3.2) no'lu aşağıdaki denklemde gösterilmektedir. Verilen denklemdeki reaksiyonun denge sabiti ise;

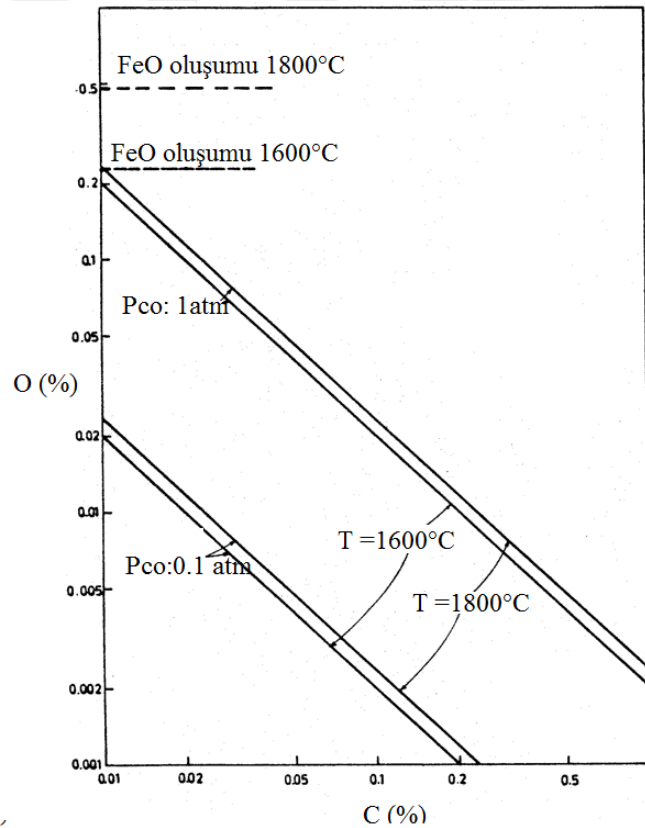
$$K = \frac{P_{CO}}{a_C \cdot a_O} = \frac{P_{CO}}{f_C \cdot f_O \cdot \%C \cdot \%O} \quad (3.3)$$

$$\log K = \frac{1168}{T} + 2.07 \quad (3.4)$$

olarak belirtilmektedir. (3.3) no'lu eşitlikten muayyen bir sıcaklık ve CO basıncındaki metal içerisinde aktivitesi belli C ile dengede olan O aktivitesi ise;

$$a_O = \frac{P_{CO}}{K_{65} \cdot a_C} \quad (3.5)$$

şeklindedir. Sıvı metal içerisinde bulunan O aktivitesi (3.5) no'lu eşitlik ile belirlenmiş denge oksijen aktivitesinden fazla ise C oksitlenecek, az ise oksitlenmeyecektir. O aktivitesi eşitliğinden de anlaşıldığı üzere C nin oksitlenmesi için gereken minimum oksijen aktivitesi CO basıncına, sıcaklığa ve C aktivitesine bağlıdır. 1600°C ve 1800°C sıcaklıklarda 0.1 atm ve 1 atm CO basınçları arasında SHD içerisindeki oksijen aktivite değeri Şekil 3.4'te gösterilmektedir (Sevinç, 1995).

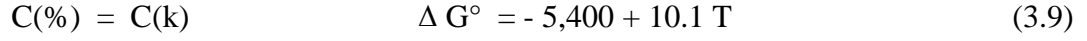
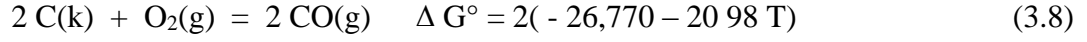
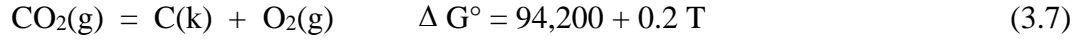


Şekil 3.4. Sıvı ham demir içerisinde C – O dengesi (Sevinç, 1995)

Karbonun oksitlenme reaksiyonunda CO ile beraber CO₂ de oluşmaktadır. Oluşan gazın ihtiva eden CO₂ miktarı;



reaksiyonu ile hesaplanmaktadır.



reaksiyonlarının toplamından (3.6) numaralı reaksiyonun ΔG° değeri $\Delta G^\circ = 35,260 - 31.6 T$ olarak bulunur. Bu reaksiyonun denge katsayısı ise

$$\log K = \frac{-\Delta G^\circ}{1.987(\ln 10)T} = \frac{-7,707}{T} + 6.91 \quad (3.10)$$

olarak bulunmaktadır. 1600°C sıcaklık için $K = 624$ olarak hesaplanmaktadır.

$$K = \frac{P_{\text{CO}}^2}{P_{\text{CO}_2} \cdot a_{\text{C}}} \quad (3.11)$$

olması sebebi ile $P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2} = 1$ atm olarak alınır ise oluşan gazın CO yüzdesi karbon aktivitesine bağlı olarak hesaplanabilir. $a_{\text{C}} = 0.01, 0.1,$ ve 1 değerleri için hesaplanan CO yüzdeleri, sırasıyla % 87.98, % 98.45, ve % 99.84'dir.

Karbon aktiviteleri %C olarak düşünülürse çok düşük miktarlardaki karbon seviyelerine inilmediği sürece atmosfere açık ($P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2} = 1$ atm.) bir çelik fırınında oluşan gazın hepsi CO olarak düşünülüp $P_{\text{CO}} = 1$ atm alınabilir. (3.11) numaralı eşitlikten

$$\log K = \log P_{\text{CO}} - \log f_{\text{C}} - \log f_{\text{O}} - \log \% \underline{\text{C}} - \log \% \underline{\text{O}} \quad (3.12)$$

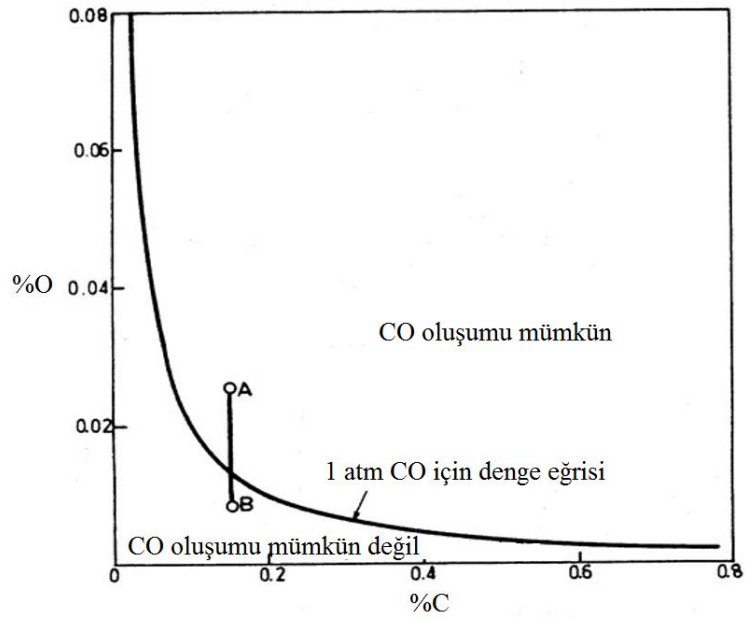
yazılabilir. SHD banyosu içerisinde karbon ve oksijenden başka element olmadığı düşünürse $\log f_{\text{C}} = e_{\text{C}}^{\text{C}} \cdot \% \underline{\text{C}} + e_{\text{C}}^{\text{O}} \cdot \% \underline{\text{O}}$ ve $\log f_{\text{O}} = e_{\text{O}}^{\text{O}} \cdot \% \underline{\text{O}} + e_{\text{O}}^{\text{C}} \cdot \% \underline{\text{C}}$ eşitlikleri yazılabilir. Bu şekilde (3.11) no'lu eşitlik 1600°C sıcaklık ve 1 atm CO basıncı için

$$\left(e_{\text{C}}^{\text{C}} + e_{\text{O}}^{\text{C}} \right) \% \underline{\text{C}} + \left(e_{\text{O}}^{\text{O}} + e_{\text{C}}^{\text{O}} \right) \% \underline{\text{O}} + \log \% \underline{\text{C}} + \log \% \underline{\text{O}} = -2.6936 \quad (3.13)$$

şeklini alır. Verilen etkileşim katsayıları (3.12) numaralı denkleme yerleştirilirse

$$\log \%O - 0.54.\%O = -2.6936 + 0.23.\%C - \log \%C \quad (3.14)$$

denkliği bulunur. Buradan karbon seviyesi belli bir Fe-C-O sistemindeki denge oksijen derişimleri hesaplanabilir. Farklı karbon yüzdeleri için (3.13) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmış oksijen yüzdeleri karbon yüzdesine bağlı olarak Şekil 3.5 de gösterilmektedir. Bu şekildeki eğri metal içerisinde çözünmüş karbon ile oksijenin 1 atm CO basıncı ile dengede olduğu bileşimleri vermektedir (Sevinç, 1995).



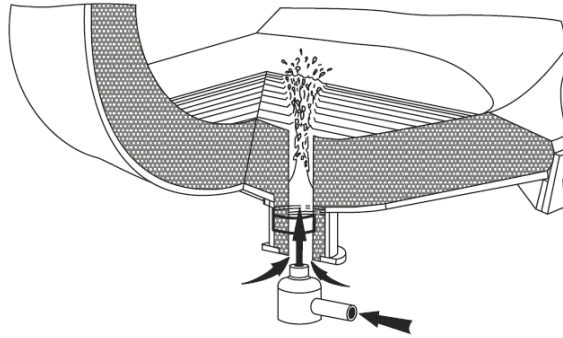
Şekil 3.5. 1 atm CO basıncı ve 1600°C sıcaklık için C – O dengesi (Sevinç, 1995)

Yüksek fırından gelen sıvı metal karbona doymuş ve içerisinde Si, Mn, P, S gibi elementleri bulunduran bir bileşime sahiptir. Çelik üretiminde bu safsızlıkların metalden giderilmesi gerekir. Kükürt dışındaki diğer elementlerin konsantrasyonlarının azaltılması bu elementlerin oksitlenmeleri ve cürufa alınmaları ile sağlanır. Böylece Si, Mn, P v.b. elementler oksitlenip SiO₂, MnO, P₂O₅ v.b. bileşikler oluşturarak curufa geçer (Erdemir, 2005).



Üfleme sırasında cüruf yapıcı olarak bir miktar CaO, MgO, demir cevheri de eklenmektedir. Dolayısıyla çelik cürufları FeO - Fe₂O₃ - CaO - MgO - SiO₂ - MnO - P₂O₅ v.b. birçok oksidin oluşturduğu karmaşık bir sistemdir (Erdemir, 2005). MgO ve CaO dışındaki bütün oksitler sıvı pik ve hurda kaynaklı olarak oluşmaktadır. CaO'ın kaynağı curuf yapıcılar ve MgO'nun kaynağı ise ilave edilen curuf yapıcılar yada fırının magnezit karbon olan çalışma astarıdır (Taşel ve ark., 2005). BOF cürufunun kimyasal kompozisyonu ve miktarı; şarj edilen hurda ve SHD, üretilecek olan çelik kalitesi ve işletme pratiklerine göre değişiklik gösterir. Örneğin yüksek fosforlu sıcak metal kullanımında % 8-12 SiO₂ bulunurken, düşük fosforlu çalışmada yaklaşık % 15-20 SiO₂ bulunur. Cüruf içerisinde bulunan silisyum miktarının artışı yanmış kireç (CaO) kullanımını da artırır. MnO miktarının artışı, curuf akışkanlığını ve curuf hacmini artırır; buna bağlı olarak aktif ve akışkan cüruf ile çalışılması fırın taşması kaynaklı verim kaybına neden olur. (Atlan, 2001)

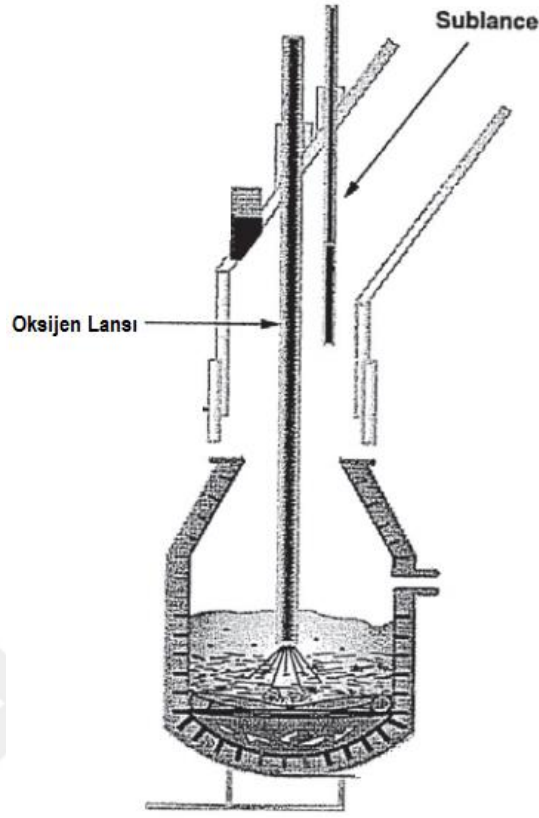
Konvertörde, oksijen üfleme sırasında, banyo içinde uygun bir karıştırmanın olmaması nedeni ile kimyasal kompozisyon ve sıcaklık yönünden homojen olmayan bölgeler oluşur. Azot ve argon gazları gibi asal gazları kullanan alttan karıştırma pratikleri, BOF'da karıştırma şartlarının iyileştirilmesi için geniş ölçüde kullanılmaktadır (Şekil 3.6). Asal gazlar fırının tabanından, geçirgen elamanlar veya tüyerler vasıtası ile enjekte edilir. Tipik pratikte, tüyerlerden veya geçirgen elemanlardan oksijen üfleminin ilk %20-25'inde azot gazı enjekte edilir, üfleminin son %75-80'inde ise enjeksiyon gazı argona çevrilir. Alttan gaz üfleminin ve bunun sonucu olan iyileştirilmiş karıştırmanın, cürufta daha az FeO miktarı, metalde daha az çözülmüş oksijen, desülfürizasyon ve defosforizasyonda veriminde artış gibi pozitif etkileri bulunmaktadır (Sezer, 2008).



Şekil 3.6. Konvertör alttan karıştırma (Barker, 1998)

3.1.1.3. Numune Alma

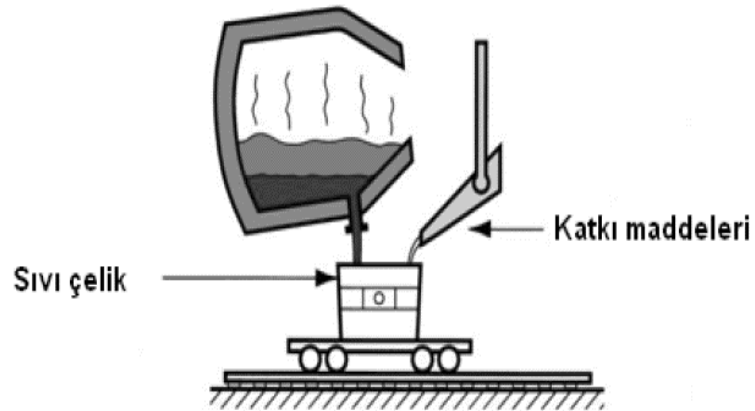
BOF prosesinde, üfleminin gidişatının kontrolü ve kalite bazlı hedef değerlerin yakalanabilmesi için üfleminin %75'i tamamlandığında numune almak için sublans adı verilen boru konvertöre daldırılarak numune alınır ve havalı sistemle laboratuvara gönderilir (Şekil 3.7). Konvertörde sublans ölçümü kullanımında en çok tercih edilen yol her döküm başına iki sublans ölçümü almaktır. Konvertörde yapılan ilk ölçüm, üfleme sırasında yapılan ölçüm olarak adlandırılır. Bu ölçüm genel olarak oksijen üfleminin %70-75'i tamamlandığında önce alınır. Üfleme sırasında yapılan ölçüm için genellikle "Sıcaklık-Numune-Karbon" tipi prob kullanılır. Üfleme sırasında yapılan ölçüm, üfleme sonunda hedeflenen sıcaklık ve karbon miktarının eşzamanlı olarak tutturulabilmesi için üfleme modelinde bir düzeltmeye yönlendirir. İkinci sublans ölçümü oksijen üfleminin sonrasında alınır. Bu son nokta ölçümü standart olarak bir TSO (Temperature, Sample, Oxygen) probu ile gerçekleştirilir. Bu prob çeliğin sıcaklığını ve çeliğin aktif oksijenini ölçer ve aynı zamanda çeliğin nihai kompozisyonunu kontrol etmek için bir laboratuvar numunesinde sağlar. Oksijen ölçümü saniyeler içinde çeliğin gerçek karbon değerini de sağlamış olur. Buna ilave olarak, döküm sırasında gerekecek deoksidant (Alüminyum) miktarının ön-hesaplamasında verilebilir. Üfleme esnasındaki numunenin analizi ile birleştirildiğinde, sıcaklık ölçümü ve oksijen/karbon ölçümü hızlı döküme geçme kararına yönlendirebilir (Hubbeling, 2003).



Şekil 3.7. Konvertör sublance sistemi (Millmann, 2001)

3.1.1.4. Çelik Boşaltma

Üfleme işlemi tamamlandığında sıcaklığı 1640-1680°C, belirli kimyasal analize sahip çelik elde edilir. Bu ürün BOF döküm tarafına eğilerek döküm deliğinden ısıtılmış transfer potasına boşaltılır.

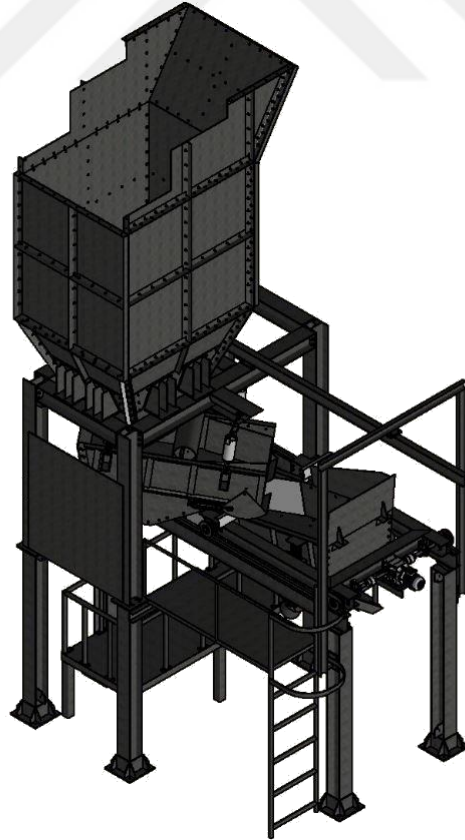


Şekil 3.8. Çelik boşaltma işlemi (Yıldız, 2012)

Konvertörden potaya çelik boşaltma işlemi başladığında katkı malzemeleri olarak deoksidanlar, ferro-alyajlar ve cüruf düzenleyiciler ilave edilmektedir (Şekil 3.8). Çelik üretim pratiklerinde, alaşımların çoğu potaya ilave edilir. Bunun yanı sıra, nikel, molibden, bakır gibi büyük miktardaki oksitlenmeyen alaşımlar, üfleme sırasında okside olmadıklarından genel olarak hurda ile birlikte şarj edilirler. Bu pratik sayesinde potada sıcaklık düşmesi önlenmiş olur. Alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerde, çelik içerisinde 500-1000 ppm civarında bulunan oksijen 5 ppm seviyelerine kadar düşürülebilmektedir (Sezer, 2008).

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Alüminyum Besleme Sistemi

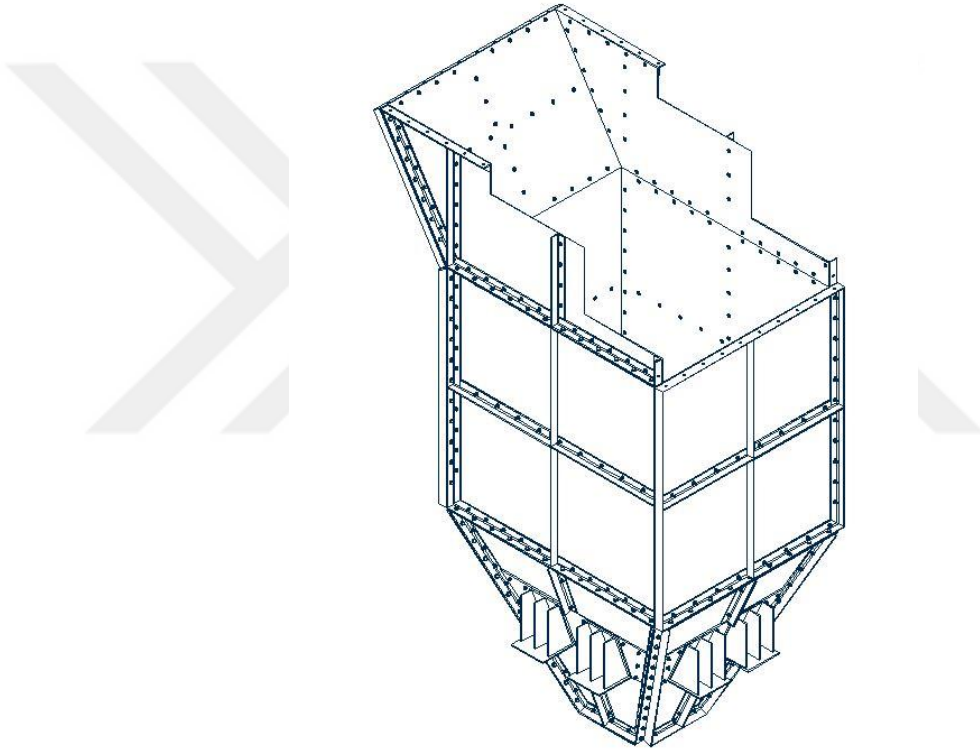
Çalışmada prototip bir alüminyum besleme sistemi tasarlanmıştır. Oksijen ppm'i ve kaliteye bağlı olarak 200 kg ila 800 kg arası değişen alüminyumlar 4 dakika içerisinde 5 kg külçeler halinde otomatik olarak potaya beslenecektir. Sistem genel itibarı ile Şekil 3.9'da şematik olarak gösterilen Alüminyum Bunkeri, Tartım ve Şarj Vibro-Besleyicisi ve Kontrol Ünitesi olmak üzere 3 kısımdan oluşacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.9. Külçe alüminyum besleme sistemi

3.1.2.1. Alüminyum Bunkeri

Alüminyum külçelerin tartım öncesi toplu olarak depolandığı alt sistemdir. Alüminyum külçelerin tartım ünitesine kontrollü şekilde aktarılmasına imkân verir. Besleme Bunkeri St37-2 malzemeden imal edilmiştir. Külçe Alüminyum Bunkeri, toplam yüksekliğinin %75 yüksekliğe kadar iç kısımlarının düz ve açılı yüzeyleri aşınma ve darbeye dayanıklı HARDOX 400 malzemeden imal edilmiş ve aşınma plakası ile kaplanmıştır. Aşınma plakalarının tasarımı modüler, kolay değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Külçe alüminyum bunkeri

3.1.2.2. Tartım ve Şarj Vibro Besleyicisi

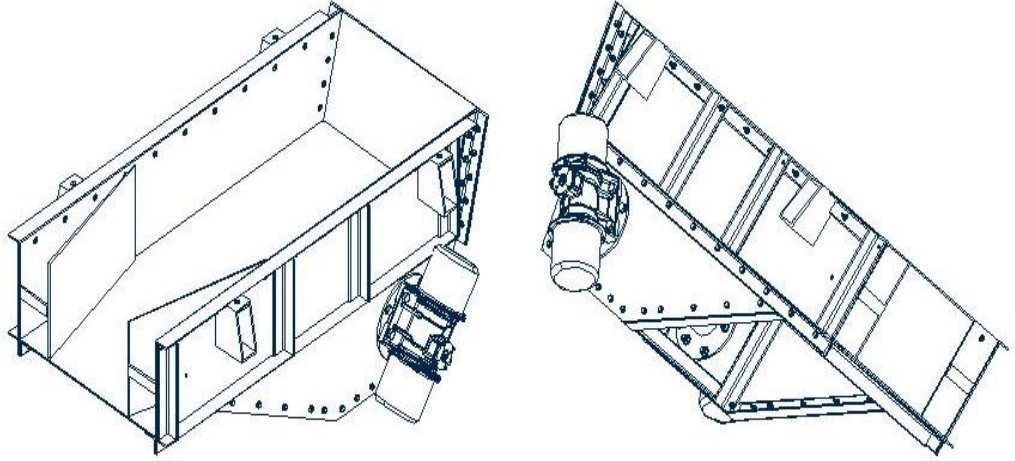
Tartım ve Boşaltım Ünitesi üzerinde tartım sistemi ve boşaltım mekanizması entegre bir şekilde çalışmaktadır. Kontrol sisteminden gelen talimatla üzerinde bulunan malzemeyi tartarak sorunsuz şekilde mevcut oluğa aktarmaktadır. Aktarma işlemi her bir besleyici için iki adet bulunan vibromotorlar yardımıyla sağlanmaktadır (Şekil 3.11).

Dinamik gerilmeye dayanıklı olan vibromotorlar elektrik motoru olup, milin her iki tarafına eksantrik ağırlıklar monte edilmiştir.



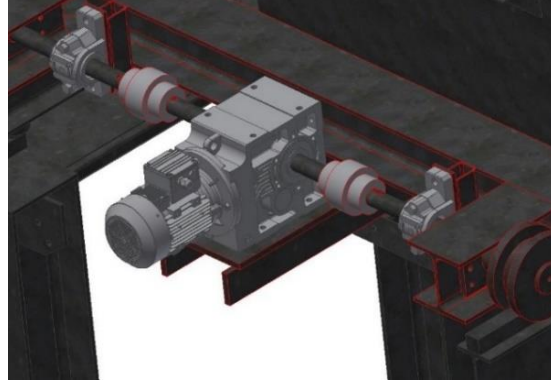
Şekil 3.11. Besleyici vibro motor

Tartım sistemi; yük hücreleri, orijinal montaj aparatları, tartım indikatörü ve bağlantı kutusundan oluşmaktadır (Şekil 3.12). Tartım platformunun yan ve dikey yüklerden etkilenmemesi ve devrilmemesi için mekanik stoperler konumlandırılmıştır. Tartım sistemi, bunkerden homojen şekilde dökülen külçe alüminyumları tartarak kontrol sistemine akışını sağlar.



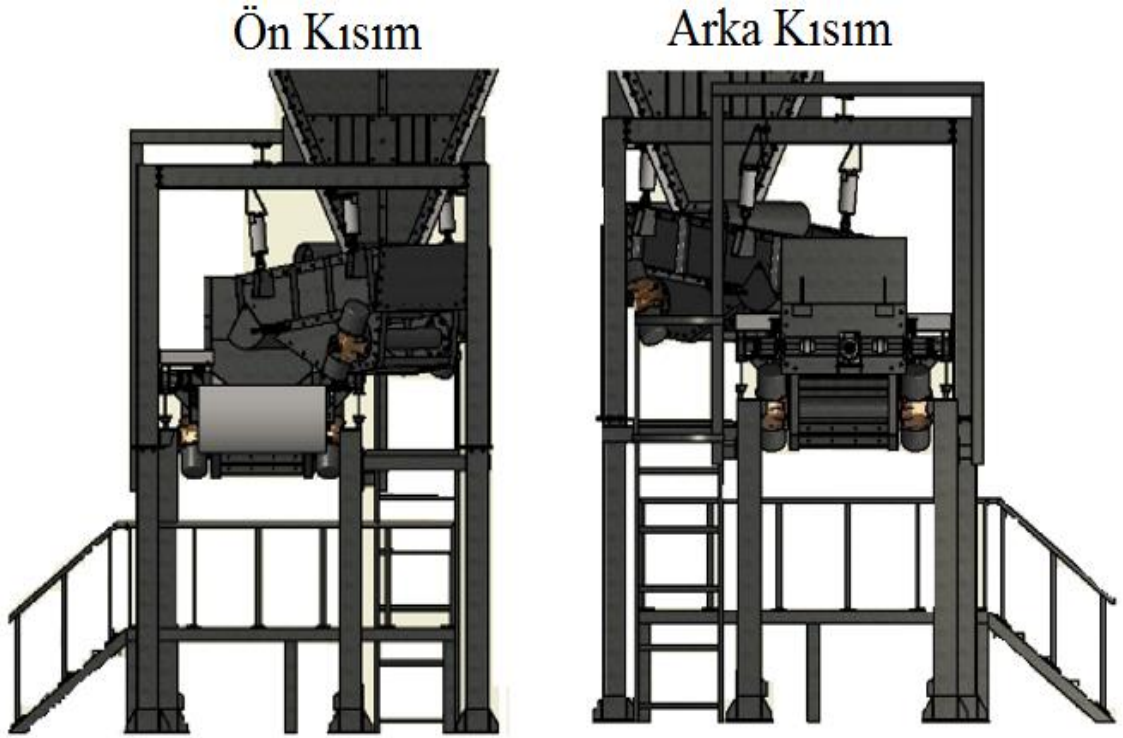
Şekil 3.12. Tartım vibro besleyicisi

Şarj Mekanizması ise kontrol sisteminden gelen sinyal ile üzerinde bulunan alüminyumları düzenli bir şekilde malzeme oluşuna aktarmaktadır. Sistemin arıza durumlarında, hareketli olarak dizayn edilen şarj mekanizması, şekil 3.13'de verilen redüktör ile geriye çekilerek elle beslemeye müsaade edebilmektedir.



Şekil 3.13. Şarj besleyicisi hareket redüktörü

Şarj mekanizması minimum 50 kg /dk, maksimum 200 kg/dk kapasitesi ile sürekli olarak çalışacak özelliktedir. Tartım ve şarj vibro besleyicisi önden ve arkadan görünümü Şekil 3.14'deki gibidir.



Şekil 3.14. Tartım ve şarj vibro besleyicisi önden ve arkadan görünüm

3.1.2.3. Kontrol Ünitesi

Sistem üzerinde alüminyum besleme prosesinin otomatik ya da bir pano üzerinden manuel olarak kontrol edilebilmesine imkân sağlayan bir kontrol ünitesi bulunmaktadır.

- Sistem, otomatik moda iken, alüminyum miktarını otomasyon sisteminden alarak, orantılı bir şekilde konvertör yanındaki oluklara besleme yapmakta ve şarj sonrası reel alüminyum miktarını sisteme tekrar bildirmektedir.
- Manuel moda ise operatör tarafından kullanıcı panelinden girilen miktarda malzemeyi maksimum +/-10 kg hata ile konvertör yanındaki oluklara beslenmekte ve şarj sonrası reel alüminyum miktarını sisteme tekrar bildirmektedir.

Sistemin arıza vermesi durumunda, kontrol ünitesi, arıza sebebini belirleyebilecek ve kullanıcıya arızayı tanımlayacak şekilde hata mesajları vermektedir. Sistem, her ne şartta olursa olsun ön görülen maksimum +/-10 kg hata limit toleransında çalışarak bu miktardan eksik veya fazla besleme yapılmasını önlemektedir. Kullanıcı girişleri, sistemin başında bulunan ekrandan, uzak bir terminalden veya otomasyon sisteminden yapılmaya uygun yapıdadır.

Sistemin prototip imalatı yapılmış ve bu prototip üzerinden farklı yükleme senaryolarına göre sistem etkinliğinin ölçüldüğü test faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu noktada yapılan son değerlendirme sonrasında mekanik ve otomasyon sistemine ilişkin gerekli görülen noktalarda optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

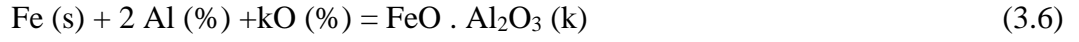
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada hammadde olarak en az %97 safiyette çelik yapımında alaşımlama ve deoksidasyon amaçlı kullanılan olan Külçe Alüminyumlar kullanılmıştır.

3.1.3.1. Çalışmada Kullanılan Külçe Alüminyumlar

Alüminyum, çelik üretiminde etkili bir oksijen giderici ve diğer etkili oksijen giderici elementlere göre teminin kolay olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı çelik içerisinde alüminyum ile deoksidasyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkacak kararlı faz çok düşük alüminyum derişiminde $FeO \cdot Al_2O_3$ bileşîği, daha yüksek

alüminyum derişiminde ise Al_2O_3 bileşigidir. Bu reaksiyonlar ve denge sabitleri aşğıdaki gibidir (Sevinç, 1995).

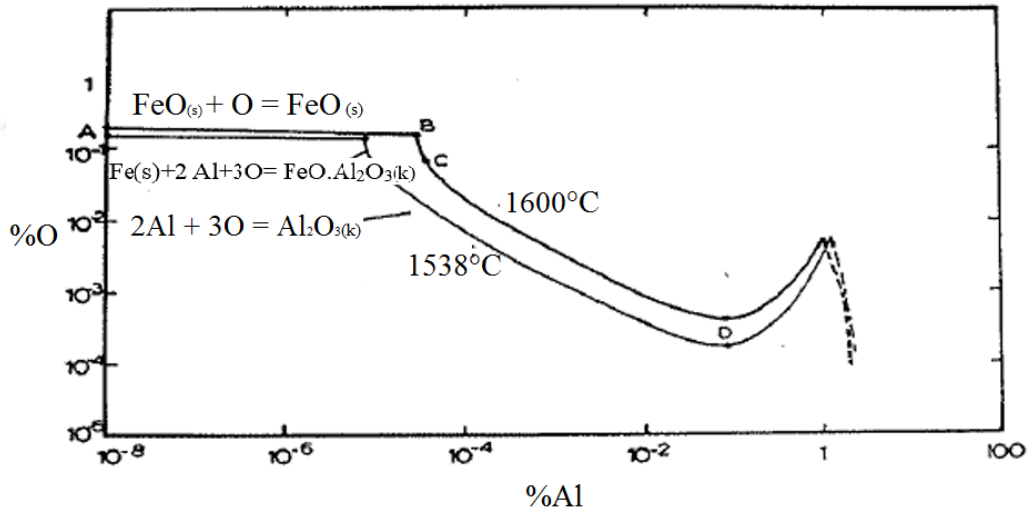


$$\log K_{49} = \frac{71600}{T} - 23.28 \quad (3.7)$$



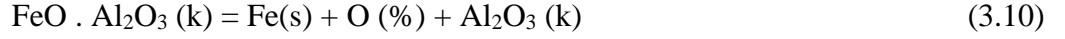
$$\log K_{51} = \frac{62780}{T} - 20.41 \quad (3.9)$$

1600°C ve 1538°C sıcaklıkları için aşğıdaki grafikte alüminyum deoksidasyonu denge-eğrileri gösterilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi 1600°C sıcaklıkta alüminyum ile sıvı çeliğin oksijen konsantrasyonunu 5 ppm mertebelerine kadar indirmek mümkündür (Şekil 3.15).

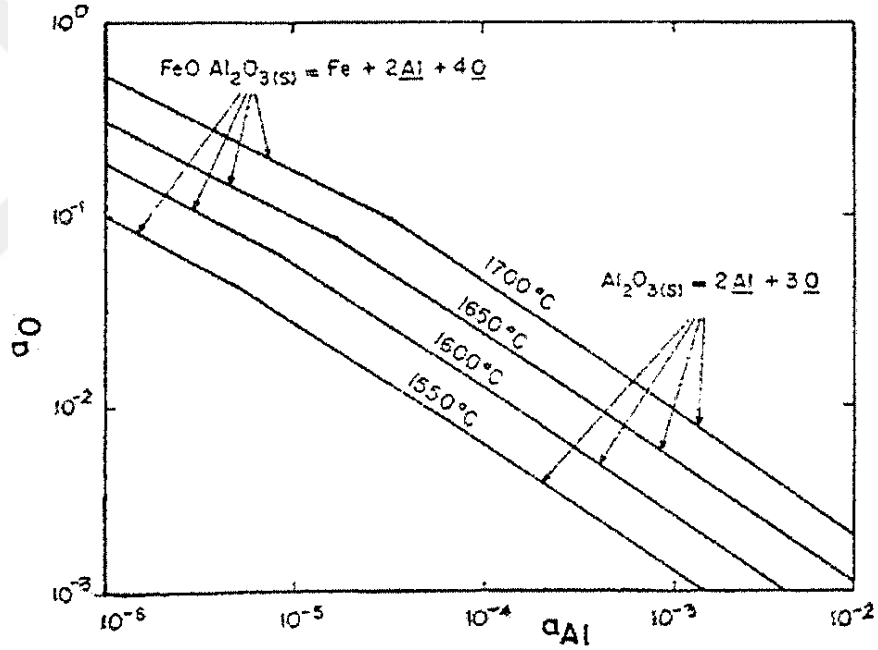


Şekil 3.15. 1538 °C ve 1600 °C Sıcaklıklar için alüminyum deoksidasyonu denge eğrileri (Braun, 1974)

Aşğıdaki grafikte 1550°C ile 1700°C arasındaki sıcaklıklar için alüminyum deoksidasyonuna ilişkin denge şartları gösterilmektedir (Şekil 3.16). Belli bir sıcaklıkta $FeO \cdot Al_2O_3$ bileşiginin oluşumunu belirleyen çizgi ile Al_2O_3 bileşiginin oluşumunu belirleyen çizginin kesim noktasında demir içerisinde çözülmüş halde bulunan alüminyum ve oksijen hem $FeO \cdot Al_2O_3$ hem de Al_2O_3 fazlar ile denge halindedir. Bu denge;



reaksiyonu ile belirlenir. Şekil 3.14'de görüldüğü gibi bu dengenin sağlanması için belli bir sıcaklıkta kritik bir oksijen konsantrasyonu vardır; bu değer 1600°C sıcaklık için % 0.058 dir (McLean, 1968). Denge şartlarında, 1600°C sıcaklıkta % 0.058 den daha fazla oksijen içeren bir demir banyosuna alüminyumun eklenmesi halinde ilk deoksidasyon ürünü olan FeO . Al₂O₃ olacaktır. FeO.Al₂O₃ bileşiğinin (3.6) numaralı reaksiyon ile oluşumu oksijen konsantrasyonu % 0.058 değerine düşene dek devam edecek ve bu değere ulaşıldıktan sonra kararlı deoksidasyon ürünü Al₂O₃ olacaktır. Kritik oksijen konsantrasyonu azalan sıcaklıkla azalmaktadır. Buradan FeO.Al₂O₃ bileşiğinin oluşumu için düşük sıcaklıkların termodinamik yönden daha uygun şartlar yarattığı anlaşılmaktadır (Sevinç, 1995)



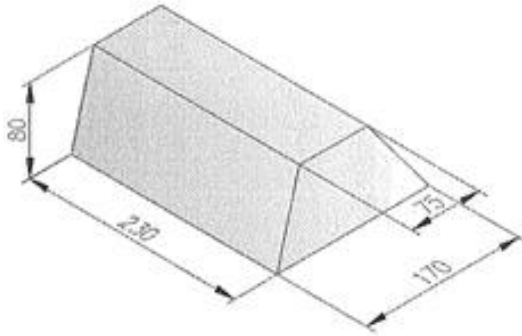
Şekil 3.16. Alüminyum deoksidasyonu denge grafikleri (McLean, 1968)

Yapılan çalışmada işletmelerde mevcut durumda kullanılan ticari Külçe Alüminyumlar kullanılmıştır. Malzemeler, Şekil 3.17'te gösterildiği gibi ortalama 1 ton ağırlığında, paletli ambalajlar şeklinde tedarik edilmektedir. Kullanılan tüm Külçe Alüminyumlar en az %97 safiyette ve 5 kg. ağırlığındadır. Külçeler orantılı derinlik ve boyutlarda çentikle bölünmüş olarak 2 ya da 3 blok halinde ve sıcakta yapışmayı önlemek için üzerinde kanal mevcuttur (Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Külçe alüminyum paleti

Külçeler açık parlak gümüş renkli ve ağırlık toleransı +/- 0,5 kg. olup tolerans harici malzemeler çalışmada kullanılmamıştır.



Şekil 3.18. Külçe alüminyumlar

Külçe Alüminyum fiziksel ve kimyasal spesifikasyonu Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2. de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Külçe alüminyum fiziksel ebatlar

	Min	Max
Alt Uzunluk	220 (mm)	240 (mm)
Alt Genişlik	150 (mm)	180 (mm)
Üst Genişlik	70 (mm)	80 (mm)
Yükseklik	75 (mm)	85 (mm)

Çizelge 3.2. Külçe alüminyum kimyasal bileşimi

Malzeme	%Al	%Mn	%Fe	%Ti	%Si	%V	%Cu	%Diğer
Külçe Alüminyum	97,28	0,0121	2,28	0,0104	0,393	0,0159	0.12	0,0086

3.1.4. Deneysel Test ve Ölçü Cihazları

Boşaltım vibro besleyicisinden boşaltılan alüminyumların tartım doğrulamasını yapmak amacı ile tavan vinç kantarı kullanılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Tavan vinç kantarı

Çelik üretim prosesinde sublanse sistemleri ile otomatik olarak alınan numuneler pnömatik hatlar ile kimyasal analiz laboratuvarına gönderilmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Pnömatik numune alma/gönderme hattı

Sıvı çelikten alınan numuneler pnömatik hat üzerinden alınarak zımpara işlemine tabi tutulmaktadır. Bant zımpara makinesi çelikhanededen gelen numunelerin kaba olarak kirlerinden arındırılması için kullanılır. Numune parlatma cihazı kimyasal analize girecek olan numunenin yüzeyinin düz olması için kullanılan ince zımparalama cihazıdır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Bant zımpara ve numune parlatma cihazı

Zımparalanan metalik numuneler optik emisyon spektrometre cihazı kullanılarak kimyasal içeriklerinin belirlenmektedir (Şekil 3.22). OES, elementlerin bir elektrik arkına maruz bırakıldıklarında farklı karakteristiklerde ışınlar yapmaları ile elementin kendine özgü yaydığı ışınları kullanarak kimyasal analiz yapabilen ve numunedeki elementlerin miktarları belirleyebilen bir sistemdir (Nosheen, 2013).



Şekil 3.22. Optik emisyon spektrometresi (ARL 4460 OES)

Oksijen içeriğinden emin olunmayan bazı numunelerde hassas ölçüm yapabilmek için Leco THC 400 hassas ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.23).

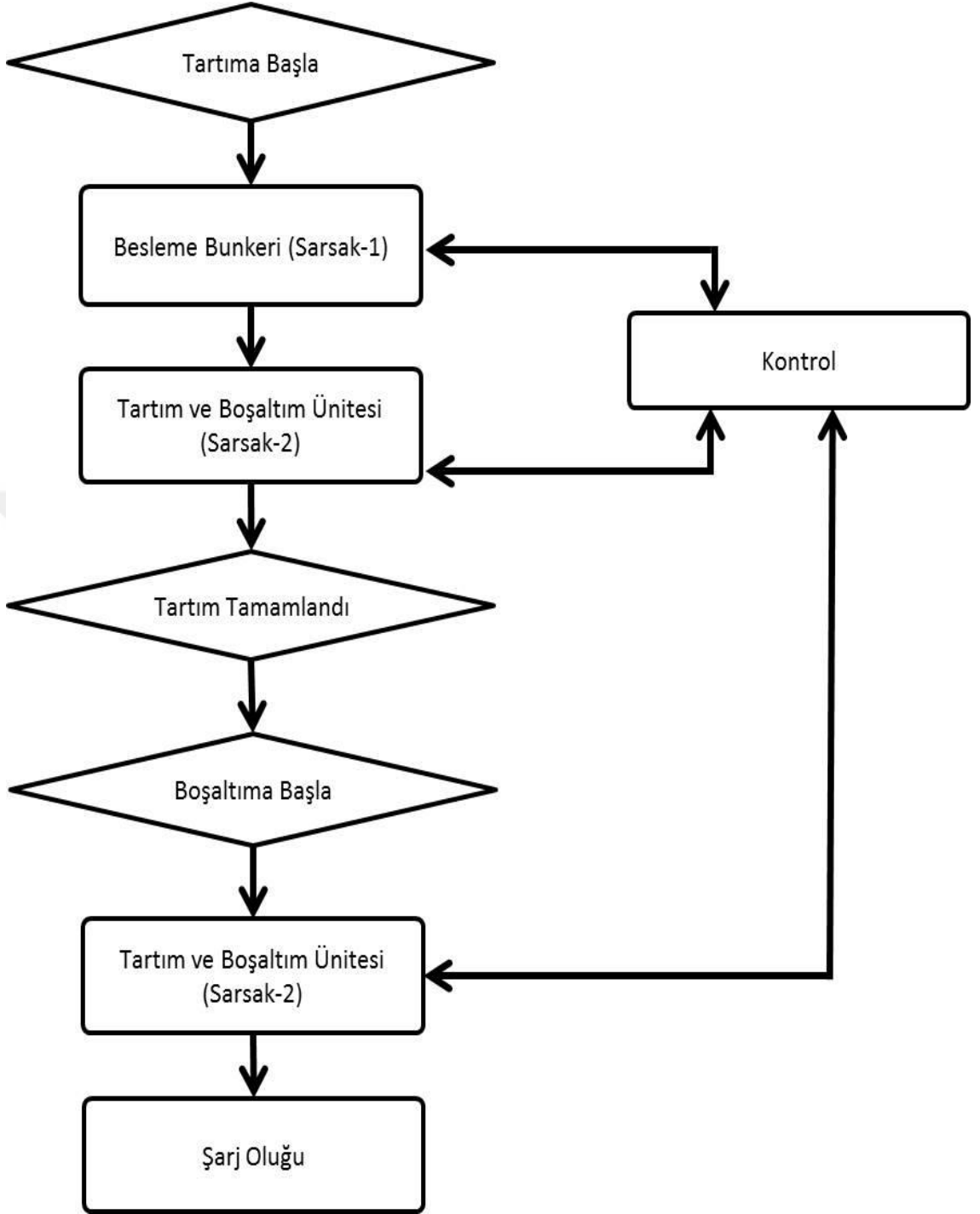


Şekil 3.23. N-O cihazı Leco THC600

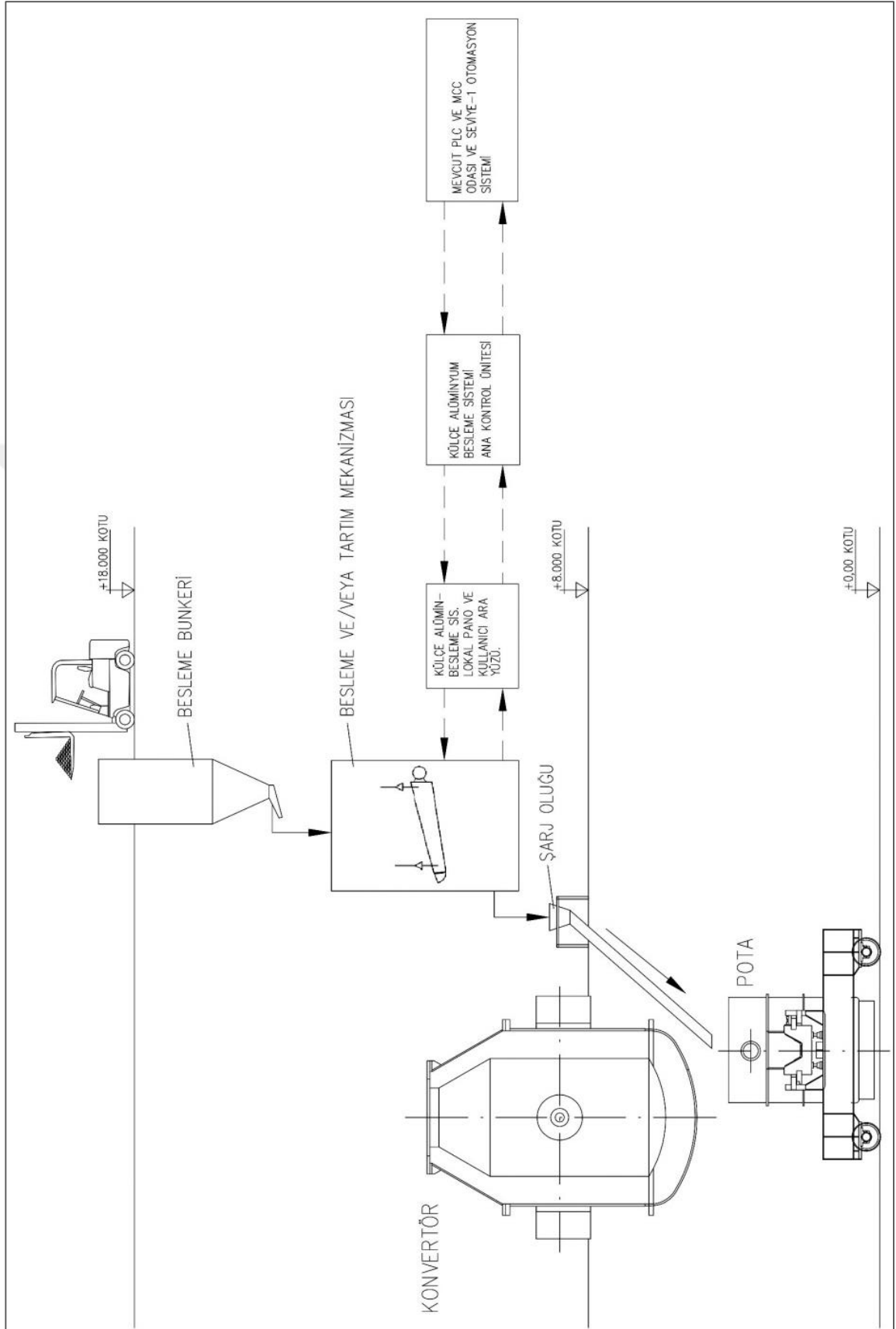
3.2. Yöntem

Çalışmanın amacı, çelik üretim tesislerinde deoksidasyon için potaya elle besleme şeklinde verilen alüminyum külçelerin, yeni bir otomatik besleme sistemi vasıtası ile potaya otomatik beslenmesinin sağlanması ve kurulacak bu sistemin tasarım ve optimizasyonunun yapılmasıdır.

Dizayn edilen Külçe Alüminyum Besleme Sistemi, otomasyon sisteminden otomatik olarak alınan veya operatör tarafından manuel olarak girilecek ağırlık değerine uygun olarak, belirli ve düzgün geometrideki alüminyum külçeleri sıralı verilecek şekilde oluklara 4 dakika içerisinde şarj edecek özelliktedir. Sistemin Alüminyum külçe besleme hızı, her beslemedeki hata limiti maksimum ± 10 kg olmak kaydıyla minimum 50 kg/dk. maksimum 200 kg/dk. arasındadır. Bu nedenle; sistem belirlenen aralıkta tartım, besleme ve mevcut sistemle haberleşme yapabilmektedir. Sistem çalışmasına ait akış ve proses şeması Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te görülebilir.



Şekil 3.24. Külçe alüminyum besleme sistemi akış şeması



Şekil 3.25. Külçe alüminyum besleme proses şeması

Çalışmada otomatik besleme sistemi için; Çelik Kalitesi, Tartım-Şarj Vibro Besleyici Hızı ve Külçe Alüminyum miktarı değişken parametre olarak belirlenmiştir. Kontrol parametreleri olarak ise süre, döküm sonrası İkincil Metalürji sıvı çelik giriş Oksijen ppm'i dir. İmalatçı firmaların kullanmış olduğu ön testlerden yola çıkılarak referans off-set değerlerine değerlere göre denemeler yapılmıştır. Deneyle aşağıdaki sıra izlenerek tamamlanmıştır.

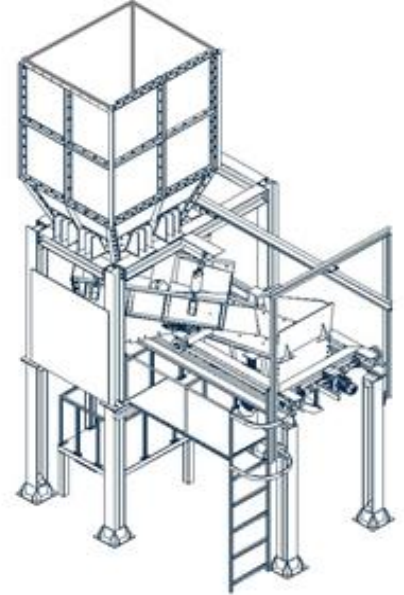
3.2.1. Külçe Alüminyum Besleme İçin İzlenecek Yol

- Yapılacak kalitenin belirlenmesi,
- Kaliteye göre hurda paçalının belirlenmesi,
- Konvertöre hurda şarjının yapılması,
- Konvertöre Sıvı Ham Demir şarjının yapılması,
- Konvertörün dik konuma alınması,
- Lansın Konvertör içine inerek oksijen üfleme işleminin başlaması,
- Üfleme arasında inblow ölçümü alınması,
- Üfleme sonunda endblow ölçümü alınması,
- Üfleme sonu endblow analizinin değerlendirilmesi,
- Analiz Oksijen ppm'ine göre verilecek alüminyum miktarının hesaplanması,
- Hesaplanan alüminyumun skada ekranına girilerek verilecek miktarın tartım vibro-besleyicisine alınması,
- Konvertörün çelik boşaltma tarafına yatırılması,
- Pota dolum seviyesi 1/3'e geldiğinde butona basılarak alüminyum boşaltma işleminin başlatılması,
- Çelik boşaltma işlemi sonrası dökümden numune alınması,
- Alınan numunenin alüminyum ve karbon analizinin irdelenmesi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Optimizasyon Çalışmaları

Çalışmalar için otomatik Külçe Alüminyum Besleme Sisteminin prototip imalatı işletme sahası dışında olan bir atölyede yapılmış ve burada prototip üzerinden farklı yükleme senaryolarına göre sistem etkinliğinin ölçüldüğü test faaliyetleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Bu noktada yapılan değerlendirmeler sonrasında mekanik ve otomasyon sistemine ilişkin gerekli görülen noktalarda optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 4.1. Prototip külçe alüminyum besleme sistemi

4.1.1. Ağırlık Ölçümü Optimizasyonu

Bu çalışmada manuel modda operatör tarafından kullanıcı panelinden girilen miktarda malzemenin maksimum +/-10 kg hata ile tartılması ve tartım sonrası boşaltılan reel alüminyum miktarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Denemeler için toplam 1000 kg. Külçe Alüminyum, alüminyum bunkerine alınmıştır. Testler süresince kullanılan alüminyumlar tekrar bunker üzerine eklenerek sürekli dolu kalması sağlanmıştır. Denemelerde ilk olarak reçete ağırlığında istenen alüminyum miktarı skada ekranına

girilerek tartım onayı verilmiştir. Tartım ünitesinden şarj ünitesine boşaltılan alüminyumların load-cell üzerinde okunan miktarı kayıt altına alınmıştır. Ardından sisteme boşaltım onayı verilerek dökülen alüminyumlar vinç kantarı ile tartılmış fiili ağırlık miktarı ölçülmüştür. Sırası ile 200, 300, 400 ve 500 kg. ağırlıklar ile testler tekrarlanmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan testlere ait sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Ağırlık doğrulama testi sonuçları

Test No	Reçete Ağırlığı (kg)	Load-Cell Üzerinden Ölçülen Ağırlık (kg)	Boşaltımı Yapılan Külçe Adedi	Gerçekleşen Ağırlık (kg)
1	200	276	56	280
2	300	415	85	485
3	400	520	108	540
4	500	540	110	550

Denemelerde sistemdeki load-cell üzerinden ölçülen ağırlık ile fiili gerçekleşen ağırlık arasında istenen toleransın dışında ölçüm farklarının olduğu görülmüştür. Yapılan incelemeler neticesinde aradaki ağırlık farkının, vibro besleyici sisteminin salınımından kaynaklı ataletten oluşan artık ağırlığa bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tartım sisteminde tasarım iyileştirmesi yapılmasını zorunlu kılmıştır. İstenilen reçete ağırlığının belirlenen toleranslar içinde sağlanabilmesi için tartım vibro besleyicisine off-set ayarı yapılmıştır. Bu ayarlamaya göre reçetedeki hedef ağırlığın aktarma vibro besleyicisinden tartım ve şarj vibro besleyicisine malzeme transferi sırasında besleyici belirli bir ağırlığa geldiğinde sistem yavaşlayarak üst pnömomatik kapak otomatik olarak kapanacak ve şarj vibro besleyicisine fazladan alüminyum akışını önlenmiş olacaktır. Yapılan birkaç deneme sonrası istenen ağırlık off-set’i %30 olarak ayarlandığında sistemin başarılı olduğu görülmüş ve denemelere bu off-set değeri ile devam edilmiştir.

4.1.2. Şarj Vibro Besleyici Optimizasyonu

Yapılan bu testlerde verilecek alüminyum miktarı sabit tutularak Şarj Vibro Besleyici hızının boşaltıma olan etkisi ve cihaz üzerindeki load-cell ölçülen ağırlık değeri ile fiili ağırlık değerlerinin tutarlılığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Önceki yapılan testlerde istenen ağırlık off-set değeri %30 olarak belirlendiğinden bu değer sabit tutulmuş, şarj vibro besleyici boşaltma hızı ise tam verimle çalışacağı %100 değerinden başlamak üzere her seferinde %10 azaltılarak sistemin optimum çalışma hızı değeri tespit edilmeye çalışılmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. 200 kg. ile yapılan şarj vibro besleyici Off-Set testleri

Test No	Reçete Ağırlığı (kg)	Load-Cell Üzerinden Ölçülen Ağırlık (kg)	Gerçek Ağırlık (kg)	Tartım Süresi (sn)	Şarj Süresi (sn)	Şarj Vibro Besleyici Boşaltma Hızı %	İstenen Ağırlık Off-Set Değeri %
1	200	199	204	10	9	100	30
2	200	197	200	11	14	90	30
3	200	203	205	10	20	80	30
4	200	201	203	12	43	70	30
5	200	198	200	11	38	70	30

1 nolu testte (Çizelge 4.2) şarj vibro besleyici motorlarının hızı maksimum seviyede (%100) çalıştırılmıştır. Ancak tam verimle çalışan motorlar hızlı boşaltma sonucu şarj süresi kısalttığından alüminyumlar yığın halinde oluşa akmış ve tıkanmaya sebep olmuştur. Testler aynı ağırlıkla her denemede %10 azaltılmak kaydı ile iki kez daha tekrarlanmıştır. Şarj vibro besleyici hızı %80 olarak belirlendiğinde akış hızına bağlı olarak olukta tıkanma olmamış, alüminyumların besleyiciden oluşa daha sıralı bir şekilde aktığı belirlenmiştir. 4 ve 5 nolu testlerde ise set değeri %70 olarak ayarlanmış fakat bu testlerde malzemenin yeterince hızlı akmamasından kaynaklı zaman kayıpları ve alüminyumların düzensiz sıra ile oluşa girmesi problemi meydana gelmeye başlamıştır.

Çizelge 4.2’de yapılan çalışmada olumlu sonuç veren %80 besleyici hızı ile testlere devam edilmiştir. Testlerde sistemin ağırlık ölçümü doğrulamasını yapmak için skadaya girilen farklı reçete alüminyum değeri ile cihaz üzerinde tartılan ve vinç kantarı kullanılarak yapılan ağırlık değerleri karşılaştırılmış, bu iki değerın tolerans aralık çerçevesinde birbirini karşıladığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. %80 hızda vibro besleyici test sonuçları

Test No	Reçete Ağırlığı (kg)	Load-Cell Üzerinden Ölçülen Ağırlık (kg)	Gerçek Ağırlık (kg)	Tartım Süresi (sn)	Şarj Süresi (sn)	Şarj Vibro Besleyici Boşaltma Hızı %	İstenen Ağırlık Off-Set Değeri %
6	300	315	318	17	25	80	30
7	400	407	410	22	32	80	30
8	500	504	504	36	37	80	30
9	600	603	604	31	41	80	30
10	800	801	802	43	45	80	30
11	250	256	254	34	30	80	30
12	350	345	342	25	31	80	30
13	750	757	758	45	47	80	30
14	450	452	454	32	35	80	30
15	425	425	426	27	36	80	30

4.1.2. Külçe Alüminyum Besleme Sistemi Saha Kurulumu

Sistemin prototipi üzerinde temel iki parametre olan ağırlık ve şarj vibro besleyici hızı üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde hedef değerler yakalanmış, nihai set değerleri tespit edilmiştir. Bu yönde mekanik ve otomasyonel olarak yapılan son optimizasyon ayarları doğrultusunda sistemin imalatı gerçekleştirilmiş ve saha kurulumu yapılarak BOF üretim prosesine entegrasyonu tamamlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Külçe alüminyum besleme sistemi montaj aşamaları

4.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.1. Alüminyum Atma Makinası Öncesi ve Sonrası Alüminyum Değerleri

Deoksidasyon, alaşımlama ve cüruf yapıcı olarak verilen malzemeler çelik boşaltma esnasında malzeme olukları üzerinden çelik potasına beslenmekte çelik boşaltma işlemi tamamlandığında ise istenen kalitenin dökülebilirliği için gerekli olan sıcaklık ve kimyasal analiz hedefinin tutturulması için sıvı çelik potası Pota Metalürji

(LF) kısmına aktarılmaktadır (Türkdoğan, 1996). Mevcut durumda malzeme oluklarından deoksidasyon ve alaşımlama amacı ile verilen külçe alüminyumlar manuel olarak el ile beslenmektedir. Deneysel çalışmalar kapsamında yapılacak dökümlerde makine öncesi ve sonrası alüminyum değerleri incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 4.3. Manuel külçe al besleme prosesi

Karşılaştırma yapılırken çelik boşaltma sırasında pota ilavesi olarak (cüruf yapıcılar dışında) yalnızca Al verilen St22 kalite (DIN-1614-1) çelik tercih edilmiştir. St22 düşük karbonlu çelikler sınıfında yer almaktadır. Analizleri açısından, yapılan denemelere en uygun ve yaygın üretim bandında olmasından dolayı denemeler bu kaliteden seçilmiştir.

Çizelge 4.4. St22 kimyasal spesifikasyonu

Kalite	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Cu
St22	0.020-0.050	0.15 - 0.25	0.018	0.014	0.030	0.020 -0.050	0.12

BOF prosesinde üfleme sonu koşullara bağlı olarak sıvı çelikte 300 ila 1100 ppm arası değişen oranlarda serbest oksijen kalmaktadır. Proses sonunda sıvı çeliğin sıcaklığı 1640-1680°C arasında gerçekleşirken 200 ton sıvı çelik 5-9 dakika süresince döküm deliğinden çelik potasına boşalmaktadır. Bu aşama, çeliğin boşalması sırasında yüksek enerjinin açığa çıkması sebebi ile deoksidasyon ve ferro-alyaj ilaveleri için en uygun safhadır. Deoksidasyon ve alaşımla işlemi sonrasında pota metalürji işlemleri için gereken cürufun oluşturulması amacı ile yanmış kireç (CaO) ve LDSF (CaAl₂O₃) gibi cüruf yapıcılar ilave edilmektedir.

Çelik boşaltma işlemi tamamlandığında pota, hareketli transfer arabası vasıtası ile pota metalürji kısmına götürülmekte ve herhangi bir işlem yapılmadan numune alınmaktadır. Numuneler bir kapsülün içerisinde pnömatik hat ile spesifikasyon laboratuvarına gönderilerek kimyasal analiz yapılmaktadır. Numunelerin kimyasal analizleri mevcut otomasyon sistemi üzerinden bilgisayarlara gönderilerek kayıt altına alınmaktadır. Çalışmada kayıt altına alınan analizler ışığında, sıvı çelik içerisinde serbest halde bulunan çözülmüş oksijenin alüminyum ile reaksiyona girerek uzaklaşmasının, el ile (manuel) beslemedeki verimi ve otomatik sistem ile beslemedeki verimi karşılaştırılmıştır.

4.2.2. Teorik Deoksidasyon Hesabı

Çalışmada Al verim hesabı yapılırken aşağıdaki formulasyonlardan yararlanılmıştır.

$$2 [Al] + 3(O) = (Al_2O_3) \quad (4.1)$$

$$Al \text{ kg} = [2 \times M_{Al} \times O \text{ (ppm)} \times \text{ton çelik}] / [3 \times M_O \times 1000]$$

Bu denkleme göre teorik olarak örneğin üfleme sonu 600 ppm Oksijen ihtiva eden çeliği deokside edebilmek için;

$$= [2 \times 26,98 \times 600 \times 200] / [3 \times 15,99 \times 1000]$$

$$= 135 \text{ kg Külçe Al}$$

ihtiyacı vardır. Konvertörden potaya çelik boşalma sırasında kaçabilecek cüruf miktarı ve şarj edilen alüminyumun bir kısmının cürufa geçmesi de göz önünde bulundurularak hesaplanan miktarın 70- 80 kg üzerinde Al ilavesi yapılması gerekmektedir.

Konvertörden çelik boşaltma işleminin tamamlanmasının ardından Pota Metalürjiye gönderilen sıvı çelikten alınan numunedeki %C değeri ile üfleme sonu %C değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülebilmektedir. Hemen her dökümde karşılaşılan bu durum için, sıvı çelik içerisinde bulunan karbonun bir kısmının da oksijen ile aşağıdaki denklemde belirtildiği oranda deoksidasyona uğradığı söylenebilir.

$$[C] + [O] = CO \quad (4.2)$$

Örneğin, Konvertörde üfleme sonu %C değeri 0,04 iken Pota Metalurjiden işlem öncesi alınan numunenin %C değeri 0,0313 olarak gelmiş ise sıvı çelik içerisinde serbest halde bulunan oksijenin karbon ile reaksiyona girerek %0,0087'lik bir deoksidasyon gerçekleşmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Deox C} &= (200.000 * 0,0087) / 100 \\ &= 17,4 \text{ kg} \end{aligned}$$



$$\begin{array}{ccc} 12,01 \text{ kg} & 15,99 \text{ kg} & 28 \text{ kg} \\ 17,4 \text{ kg} & X \text{ kg} & \end{array}$$

Reaksiyonda 12,01 kg C ile 16 kg O reaksiyona girerek 28 kg CO oluşturur. Buna göre 17,4 kg C reaksiyona girerse;

$$X = (17,4 * 15,99) / 12,01 = 23,17 \text{ kg Oksijen}$$

23,17 kg Oksijen 200 ton sıvı çelikte yüzde olarak;

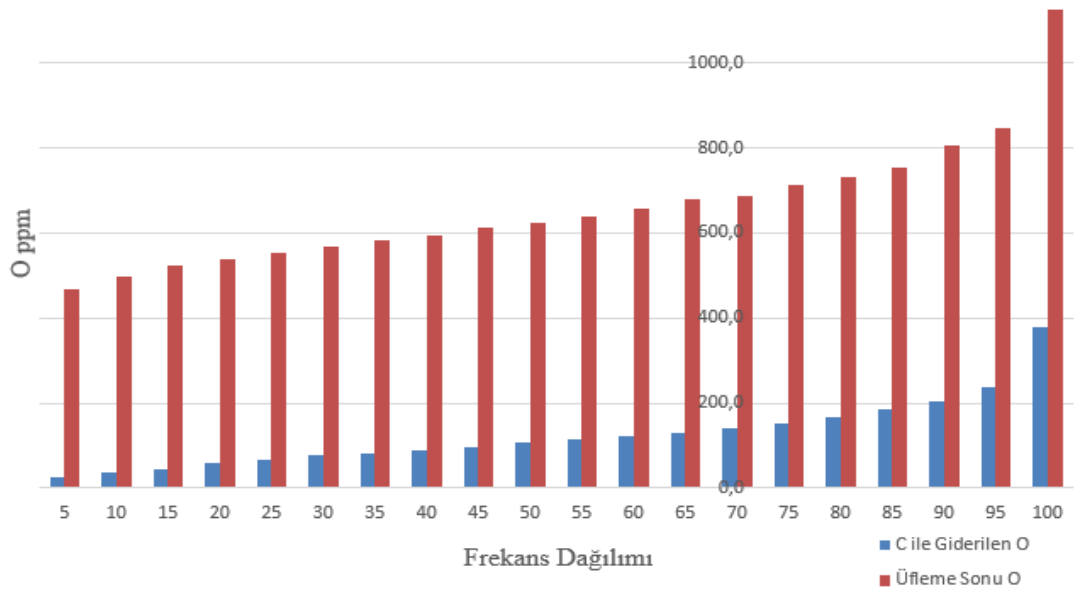
$$23,17 \text{ kg O} = \frac{200.000 \text{ kg} \cdot X}{100} = \% 0,012 = 116 \text{ ppm Oksijen giderilmiştir.}$$

Yapılan deneme dökümlere ait karbon ile deokside olmuş oksijen oranı Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. C ile deokside olmuş O frekans dağılımı

Frekans Dağılımı	C ile Giderilen Oksijen (ppm)	Üfleme Sonu Oksijen (ppm)
5	24	468,9
10	35,9	498
15	45,3	522,6
20	57,2	539
25	66,6	552
30	75,9	570
35	81,2	583
40	89,2	596
45	98,1	611,7
50	107,8	625
55	114,5	640,4
60	122,5	657,2
65	129,1	678
70	139,8	688
75	153,1	713,3
80	165,9	732,6
85	185,1	755,5
90	205	806
95	237,4	848,6
100	379,4	1125

Konvertördeki üfleme sonu oksijen değeri ile sıvı çelik içerisinde bulunan karbon deoksiasyonu arasında doğru orantı bulunmaktadır. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi sıvı çelik içerisindeki oksijen ppm'i arttıkça karbon ile deokside olan oksijen miktarı da artmaktadır.



Şekil 4.4. C ile giderilen O ve toplam O'nin karşılaştırma grafiği

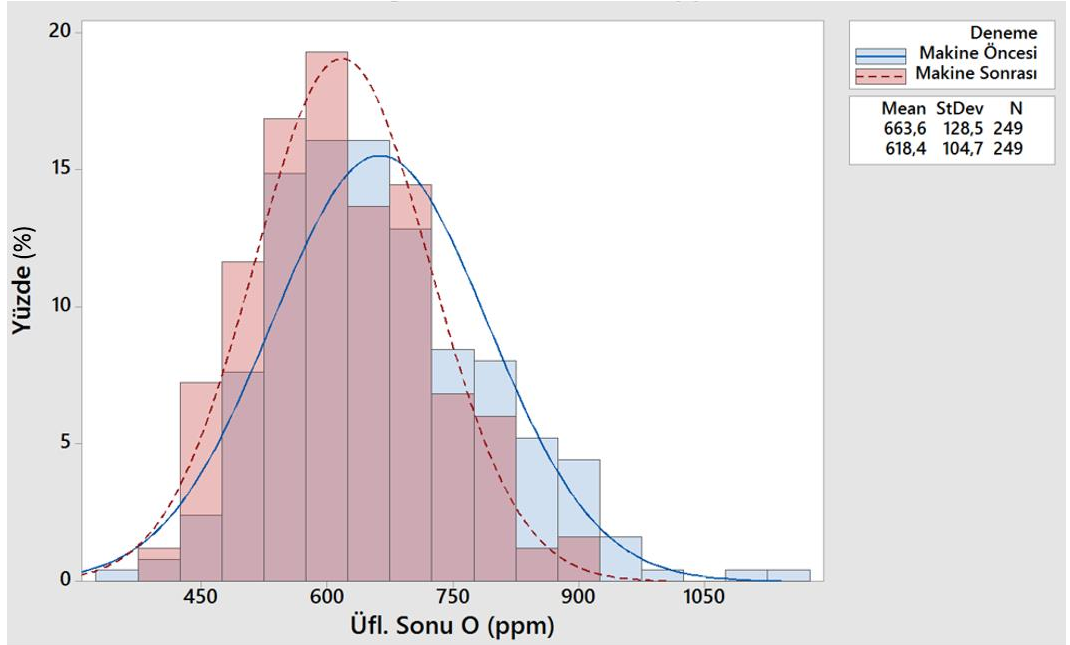
4.3. Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

Külçe Alüminyum Besleme Sistemi öncesi ve sonrası yapılan deneme dökümlerinin verileri irdelenerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Çizelge 4.6'dan da anlaşıldığı üzere St22 kalite olarak yapılan toplamda 498 deneme dökümden;

Çizelge 4.6. Makine öncesi ve sonrası değerler

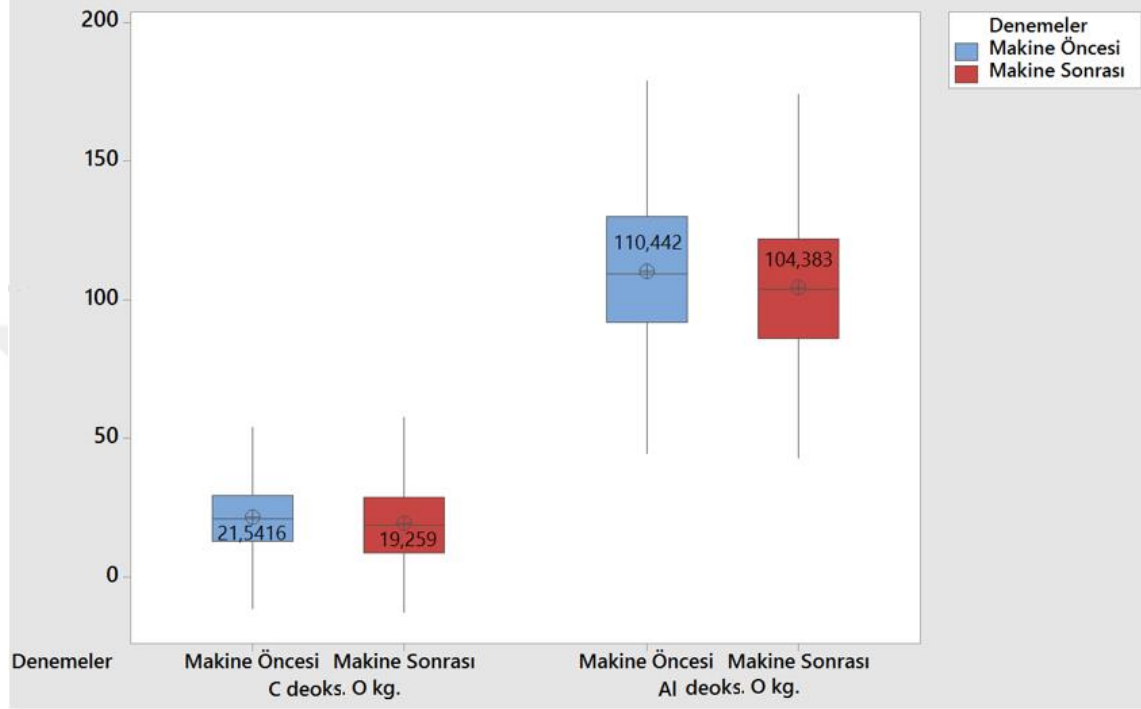
200 Ton Sıvı Çelik	Makine Öncesi	Makine Sonrası
Döküm Sayısı	249	249
Ort. Üfleme Sonu C %	0.035	0.035
Ort. Üfleme Sonu O ppm	663.55	618.43
Ort. Al Tüketimi	405.78	399.17
SMP Al Giriş	0.046	0.05
% Al Verimi	%53,06	%54,22

- Üfleme sonu ortalama %C değerleri makine öncesi ve sonrası aynı olarak tespit edilmiştir.
- Makine öncesi yapılan dökümlerde üfleme sonu O ppm'i 663,55 gerçekleştirirken makine sonrası bu değer 618,43 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.5). Buna bağlı olarak üfleme sonu O ppm'ine göre verilen Al miktarı makine öncesinde makine sonrasına göre ortalama 6,61kg daha fazla tüketilmiştir.



Şekil 4.5. Üfleme sonu O ppm değerleri

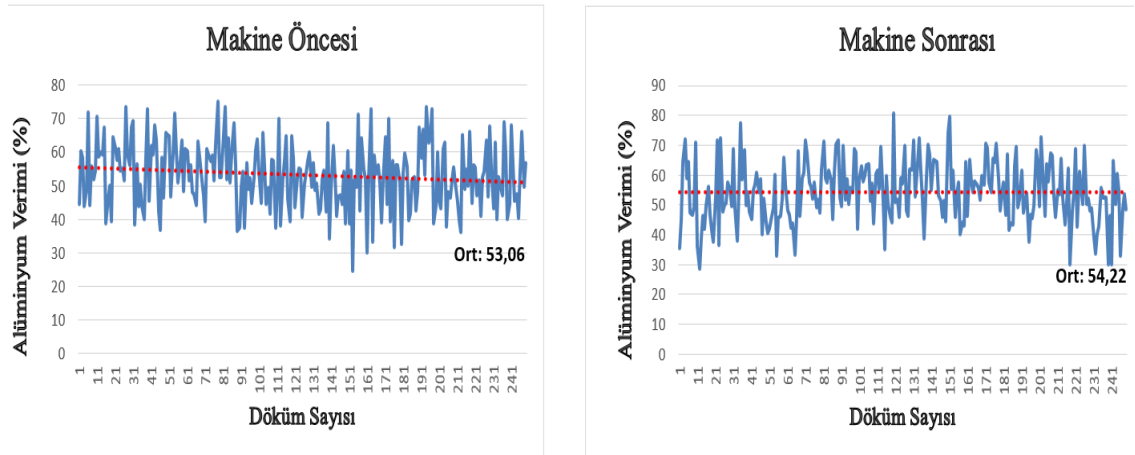
Metalürjik şartlar gereği Konvertör üfleme sonundan Pota Metalürji işlem zamanına kadar geçen süreçte sıvı çelik içerisinde çözünmüş halde bulunan oksijen karbon ve pota ilave olarak verilen alüminyum ile deoksidede olmaktadır. Dökümlerde meydana gelen C ve Al deoksidasyonları kg cinsinden şekil 4.6’da verilmektedir.



Şekil 4.6. Deoksidasyon için C ve Al tüketimi

Buradan da anlaşıldığı gibi mevcut oksijenin %15-18’lik kısmı sıvı çelik içerisinde bulunan C tarafından deoksidede edilirken kalan %80-85 kadarı ise Al tarafından giderilmiştir.

Sıvı çeliğin potaya boşaltılması işlemi sırasında el ile manuel olarak yapılan besleme işleminde personel hatası (eksik verme, fazla verme, düzensiz verme v.s.) kaynaklı problemler yapılan ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Otomatik külçe alüminyum besleme sistemi ile yapılan dökümlerde proses insandan bağımsız hale getirilmiştir. Bu sayede, prosesin daha kontrollü ve kararlı bir hal alması sonucu beslemede el ile manuel olarak yapılan dökümlere göre alüminyum veriminin % 1.16 daha fazla gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 4.7). Denemeler sonucu tespit edilen verim artışı ile çelik üretimi maliyet kalemlerinde büyük bir role sahip olan alaşımlama ve deoksidasyon besleme malzemesi alüminyumdan tasarruf etmek mümkün hale gelmiştir.



Şekil 4.7. Makine öncesi ve makine sonrası alüminyum verimleri

Makine öncesi ve sonrası incelenen deneme dökümlerin Al verim sonuçları ışığında elde edilebilecek tasarruf miktarı hesaplamak istenirse aşağıda verilen sonuçlara ulaşabilmek mümkün olacaktır. Güncel alüminyum ton fiyatı 1572 dolardır (Anonymous,2016). Buradan yola çıkarak maliyet hesabı yapılacak olursa, yıllık ortalama 5.000 ton alüminyum kullanan bir demir çelik tesisinin otomatik külçe alüminyum besleme sistemi kullandığı düşünüldüğünde meydana gelecek maliyet avantajı,

$$\text{Tasarruf Miktarı} = 5.000 \text{ ton} * 0,0116$$

$$= 58 \text{ ton}$$

$$1 \text{ dolar} = 2,95 \text{ TL (23.02.2016)}$$

$$\text{Maliyet avantajı} = 58 * 1572\$$$

$$= 91.176 \text{ dolar (=91.176*2,95 = 268.969 TL)}$$

olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak otomatik besleme sistemi ile verilen külçe alüminyumların veriminin, elle manuel olarak yapılan besleme prosesine göre daha yüksek olması neticesinde ihtiyaç duyulan alüminyum miktarındaki azalmaya bağlı olarak sıvı çelik üretimde maliyet düşürücü bir etkisi olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Bazik Oksijen Fırınlarına entegre bir şekilde kullanılabilen otomatik Külçe Alüminyum Besleme Sistemi tasarım, imalat ve optimizasyonu yapılarak Konvertörden çelik boşaltma sırasında yapılan alüminyum besleme prosesinin daha kontrollü ve kararlı bir hal alması sağlanmıştır.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda Çizelge 4.3'te gösterilen Şarj Vibro Besleyici Boşaltma Hızı ve İstenen Ağırlık % Off-Set Değerleri belirlenmiş, bu değerler ile yapılan denemeler neticesinde de otomatik alüminyum beslemede sistem için gerekli olan optimum koşulların sağlandığı görülmüştür.

Çalışmalarda, otomatik besleme sistemi öncesi ve sonrası metalürjik verileri karşılaştırmak için, Konvertörden yapılan çelik boşaltma işleminde pota katkı malzemesi olarak yalnızca alüminyumun beslendiği, piyasada yaygın olarak kullanılan St22 kalite 498 adet deneme döküm yapılmıştır. Yapılan deneme dökümlerde, çelik üretim maliyet kalemleri içerisinde önemli bir role sahip olan alüminyumun, sistem ile yapılan besleme işleminin daha hızlı ve kararlı yapılması neticesinde deoksidasyon veriminin el ile yapılan besleme işlemine göre %1,16 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. El ile beslemeye göre verim avantajı dikkate alınarak yapılan maliyet hesabı neticesinde yıllık ortalama 5.000 ton alüminyum kullanan bir demir çelik tesisi için otomatik besleme sistemi sonrası yıllık 91.176 dolar tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır.

Aynı zamanda kurulan yeni otomatik besleme sistem vasıtası ile daha önce tamamen manuel olarak gerçekleştirilen ve birçok iş güvenliği riski taşıyan külçe alüminyum besleme prosesi otomatikleştirilmiştir. Böylelikle iş sağlığı ve güvenliği noktasında ortaya çıkabilecek tehlikeler ortadan kaldırılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2010.
http://www.smssiemag.com/download/H2_301E_Futureoriented_oxygen_steel_production.pdf Erişim Tarihi: 23.01.2016
- Anonymous, 2015. <https://www.rosehulman.edumodern%20steelmaking.pdf>
Erişim Tarihi: 15.02.2016
- Anonymous, 2016. <http://www.lme.com/metals/non-ferrous/aluminium>
Erişim Tarihi: 23.02.2016
- Altan, E., 2001. Çelikhane Cürufu İçerisindeki Hurdaların Değerlendirilmesi. **I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi**, Zonguldak.
- Barker, K.J., Paules J.R., Rymarchyk N., Jancosko R.M., 1998. **Oxygen Steelmaking Furnace Mechanical Description and Maintenance Considerations**. The AIST Steel Foundation, 431-474, Pittsburgh.
- Braun, T., 1974. **Doktora Tezi**. Cambridge.
- Delikan, H., 2010. **Esnek Üretim Sistemleri Ve Üretim İşletmelerinde Uygulanması İle İlgili Alan Araştırması**. Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Deros, B.M., Daruis, D.I., Basir, I.M., 2015. **A Study on Ergonomic Awareness among Workers Performing Manual Material Handling Activities**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 1666-1673.
- Erdemir, 2005. **Çelik Üretiminin Fizikokimyasal Esasları**. Seminer Notları, Ereğli.
- European Commission, 1994. **Europe for Safety and Health at Work 3/93**. Social Europe, DGV, 345.
- Frostick, S.P., Davies, J.C., Kemp, G.J., Manning, D.P., 1999. **Manual Handling Injuries to Workers Attending the Royal Liverpool University Hospital**. HSE Contract Research Report CRR 213, HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK
- Hubbeling, P.D., Oostermeijer, G.A., 2003. **Substance Control, Substance and Dynamic Control: The Ultimate Tool in Steelmaking**. Iron and Steel Exposition.
- Karagöl, R., 2004. **Entegre Demir Çelik Fabrikaları Üretim Tesisleri Tanıtım Kitapçığı**. (Yayınlanmamış Rapor).
- Lortie, M., Pelletier, R., 1996. **Incidents In Manual Handling Activities**. *Safety Science*, 21(3), 223-237
- McLean, A., 1968. **Journal of Metals**. Sayı 3, 96.
- Miller, T.W., Jimenez J., Sharan A., Goldstein D.A., 1998. **Oxygen Steelmaking Processes**. The AISE Steel Foundation, 475-524, Pittsburgh.
- Millman, M.S., Baath, L., Malmberg, D., Price, E., 2001. Radio Wave Interferometry for BOS Slag Control. **2nd International Congress on the Science & Technology of Steelmaking**, University of Wales, Swansea.
- Nosheen, S., Alam, S., Irfan, M., Qureshi, M., Ahmad, S., 2013., Optical Emission Spectrometer, Principle and Latest Industrial Applications. **International Journal of Material Science (IJMSCI)**, Volume 3, Issue 4.
- Riihimaki, H., 1991. Low Back Pain: Its Origin And Risk Indi-Cators. **Scandinavian Journal of Work, Environment and Health** 17, 81-90.
- Sezer, A., 2007. **BOF Teknoloji El Kitabı**. İskenderun Demir Çelik A.Ş., İskenderun.
- Sezer, A., 2008. **Çelik Üretim Prensipleri**. İskenderun Demir Çelik A.Ş., İskenderun.
- Sevinç, N., 1995. **Chemical Metallurgy of Steel Lecture Notes**. ODTÜ, Ankara.

- Stone, R.P., Figas, R.M., Branion R.V., 2006. **Productivity Improvements İn Steelmaking via Sensor-Based Steelmaking Process Control, Iron & Steel Technology**. AISTech, Vol. 3, No: 1, 31
- Şimşir, U., 2009. İnsan-Makine Sistemleri ve Manuel Kontrol Modeli. **Journal of Naval Science and Engineering**, Vol. 5 , No.3, 91-103.
- Taşel, M., Çelik, D., Eren, A., Nurlu, M., 2005. Erdemir’de Konvertör Astar Ömürlerinin Arttırılması. **3.Demir Çelik Kongresi**, Zonguldak.
- Turkdogan, E.T.,1996. **Fundamentals of Steelmaking**, The Institute of Materials, London
- Tuzkaya, G., Özgen D., Gülsün B., 2011. **Malzeme Taşıma Sistemi Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Bulanık-Promethee Yaklaşımı**. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 12 (1) 2011, 144-155.
- Ulugergerli, M., 2009. **Eşzamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması**. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Ulusoy, G., Çetindamar, D., Akın, H.B., Bulut, Ç., Yeğenoğlu, H., 2006. Üretim Sistemleri Teknolojileri. **TÜSİAD Rekabet Forumu**, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- Üte , B.T., Güner M., 2010. İplik İşletmelerine “Yalın” Yaklaşım. **Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi**, Cilt: 4, No: 1, 11-24.
- Yıldız, K., 2012. **Demir Çelik Metalurjisi Ders Notları**. Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1989 yılında Mersin - Tarsus'ta doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Tarsus'ta tamamladı. 2008-2013 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim gördü. 2013 Nisan ayında İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.' de Çelikhane İşletme Mühendisi olarak işe başladı ve halen bu pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.

