



Aluminum Ingot Feeding System Design for Basic Oxygen Furnace

Ahmet Kayrak

İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Hatay, 31000

Mesut Tatal

Erdemir Mühendislik A.Ş., Proje Baş Mühendisi, Hatay, 31319

Yılmaz Erbil

Secant Teknoloji Geliştirme A.Ş., Genel Müdür, Eskişehir, 26610

Serdar Güzel

Secant Teknoloji Geliştirme A.Ş., Ar-Ge Müdürü, Eskişehir, 26610

Erdoğan Kanca

İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Hatay, 31000

ABSTRACT

Aluminum is usually used for de-oxidation of liquid-steel production in Basic Oxygen Furnaces. For this process, Aluminum ingots that have 5 kg nominal weight are feeding manually in a ladle for this kind of Plant. 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 and also risks caused by occupational health and safety aspects have been eliminated.

Keywords: Basic Oxygen Furnace, Aluminium ingot, De-oxidation, automatic feeding

Bazik Oksijen Fırını için Külçe Alüminyum Besleme Sistemi Tasarımı

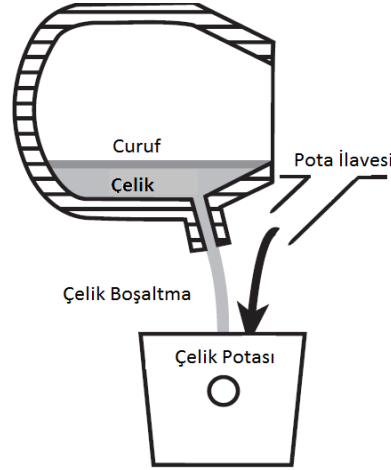
ÖZET

Bazik Oksijen Fırınları ile yapılan sıvı çelik üretiminde deoksidasyon işlemi için genellikle Alüminyum kullanılmaktadır. Bu tesislerde deoksidasyon işlemi için yaklaşık 5 kg ağırlığında Alüminyum külçeler çalışanlar tarafından elle atılmak 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 edilmiş ve is sağlığı ve güvenliği açısından meydana gelebilecek riskler ortadan kaldırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bazik Oksijen Fırını, Külçe Alüminyum, Deoksidasyon, Otomatik besleme

1 GİRİŞ

Bazik Oksijen Fırınları ile yapılan çelik üretiminde, sıvı çeliğin döküm deliğinden potaya akışı sırasında deoksidasyon amacı ile alüminyum beslemesi yapılmaktadır. Alüminyumun yaygın olarak kullanılması etkili bir oksijen giderici element olması, diğer etkili oksijen giderici elementlere göre temininin kolay olması ve çok pahalı olmamasından kaynaklanmaktadır. BOF prosesinde üfleme sonunda proses koşullarına bağlı olarak sıvı çelikte 400-1400 ppm arasında değişen oranlarda serbest oksijen kalmaktadır. Deoksidasyonda alüminyum kullanımı, sıvı çelik içerisinde serbest halde bulunan 400-1400 ppm civarında bulunan oksijenin 5 ppm seviyelerine kadar düşürülebilmesini mümkün kılabilir [1].

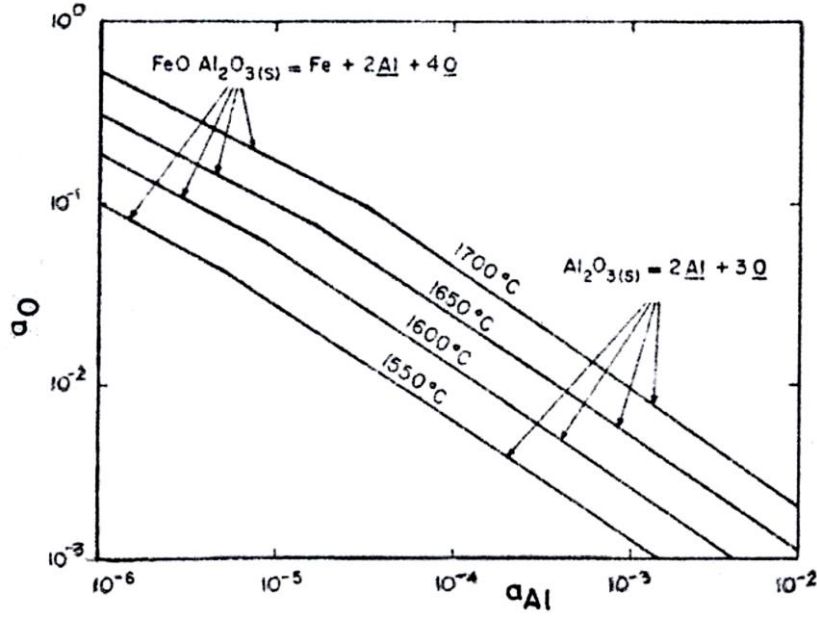


Şekil 1: Çelik Boşaltma Prosesi[2]

Potaya alüminyum katkısı genellikle külçe, piramit ya da granüle şeklinde olan alüminyum çeşitlerinin sıvı çelik içerisine ilavesi ile sağlanmaktadır (Şekil 1). Pratikte uygulama şekli açısından çelik üretim tesislerindeki alüminyum ilave sistemleri, piramit ve granüle alüminyumlarda malzeme manipülasyon sistemleri ile yapılmasına rağmen külçe şeklinde olanları ilave prosesi büyük çoğunluğunda elle besleme şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, deoksidasyon amacı ile potaya verilen 5 kg ağırlığındaki külçe alüminyumların, otomatik besleme sistemi prosesi ve manuel (elle) besleme prosesleri açısından verim ve maliyet analizleri incelenmiş diğer bir taraftan ise devreye alınacak otomatik besleme sistemi ile külçelerin elle beslenmesi sürecinde meydana gelebilecek iş kazası risklerinin sıfıra indirilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Literatür

Çeliğin dökülebilmesi ve sıcak işlenebilmesi ve ürünün istenen metalürjik ve mekanik özellikleri taşıyabilmesi için sıvı çeliğin içerisinde bulunan oksijeninin döküm potasında giderilmesi gerekir. Bu amaçla kullanılan oksijen gidericiler FeSi veya Alüminyumdur [3]. Ellingham diyagramına göre oksijen afinitesi en yüksek (en güçlü deoksidant) element ise alüminyumdur [4]. Sıvı ham demir içerisinde alüminyum ve oksijenin reaksiyonu sonucu ortaya çıkan kararlı faz çok düşük alüminyum konsantrasyonlarında FeO. Al_2O_3 bileşiği, daha yüksek alüminyum konsantrasyonların da ise Al_2O_3 bileşiğidir. Belli bir sıcaklıkta FeO. Al_2O_3 bileşiğinin oluşumunu belirleyen çizgi ile Al_2O_3 bileşiğinin oluşumunu belirleyen çizginin kesim noktasında demir içerisinde çözülmüş halde bulunan alüminyum ve oksijen hem FeO. Al_2O_3 hem de Al_2O_3 fazlar, ile denge halindedir (Şekil 2).



Şekil 2: Alüminyum Deoksidasyonu Denge Eğrisi [1]

Denge şartlarında, 1600°C sıcaklıkta % 0.058 den daha fazla oksijen içeren bir demir banyosuna alüminyumun eklenmesi halinde ilk deoksidasyon ürünü FeO.Al₂O₃ olacaktır [5].

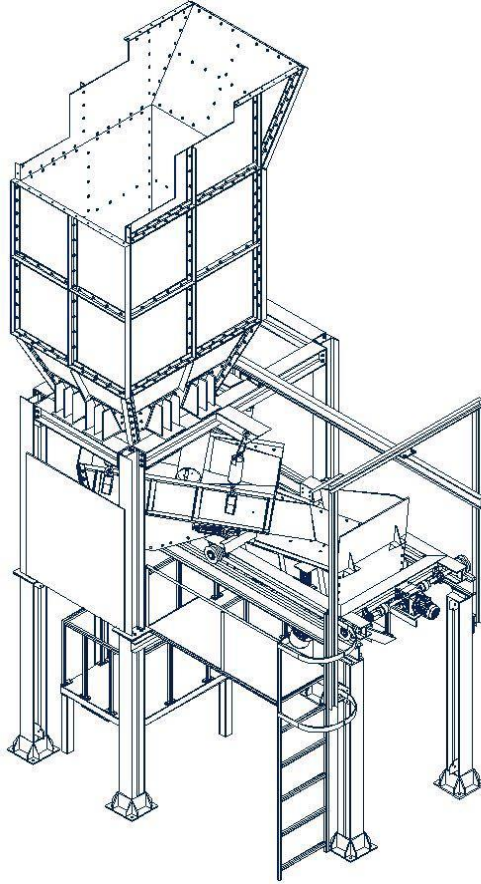
Külçe alüminyumların elle (manuel) besleme sırasında meydana gelebilecek bir takım riskler bulunmaktadır, Manuel malzeme besleme işlemlerini sırasında maruz kalınan eğilme ve bükülme ile vücut titreşimi gibi diğer etkenlerin sırt bölgesinde problemlere neden olduğu bilinmektedir [6]. İş aktivitelerinde gerçekleşen kazaların %71'ini çevre oluştururken %29'unu ise aktiviteye bağlı hareketlerden olduğu istatistiksel olarak gözlemlenmiştir. Manuel yükleme proseslerinde gerçekleştirilen aktiviteler ise kaza ile sonuçlanabilen en yüksek risk gurubunu oluşturmaktadır [7]. Çalışma alanlarında elle taşıma marifeti ile yapılan işlerde yaralanmaların çok sık ve benzer şekilde yaralanmalar olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak çoğu sakatlanmanın risk seviyesi düşük olan burkulma veya zorlamaya bağlı olan geçici sakatlıklar olduğu vurgulanmaktadır [8].

2. MATERYAL ve METOD

Yapılan çalışmada Alüminyum Külçe Besleme Sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu noktada aşağıda özetlenen adımlar izlenmiştir:

- Öncelikli olarak gerekli tüm birimlerin görüş ve önerilerinin alınması ile birlikte ortaya çıkan ihtiyaçlar temelinde gereksinim analizi yapılarak tasarımın genel çerçevesi çizilmiştir.
- Sistem genel olarak otomatik bir transfer sistemi ihtiva edeceği için bu konu ile ilgili literatür ve benzer mekanizma incelemeleri ile sunulan çözümler ve faydaları karşılaştırılmıştır.
- İhtiyaçların göz önünde bulundurulduğu genel çerçeve içerisinde kalarak prototip modelin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi faaliyetlerini içeren ön tasarım çalışması yapılmıştır.
- Ön tasarımın değerlendirilmesi sonrası bağlantı arayüzleri, transfer/tartma mekanizmaları ve bunların kontrolüne ilişkin daha önce ortaya konan konseptler detaylandırılarak nihai tasarım tamamlanmıştır (Şekil 3).

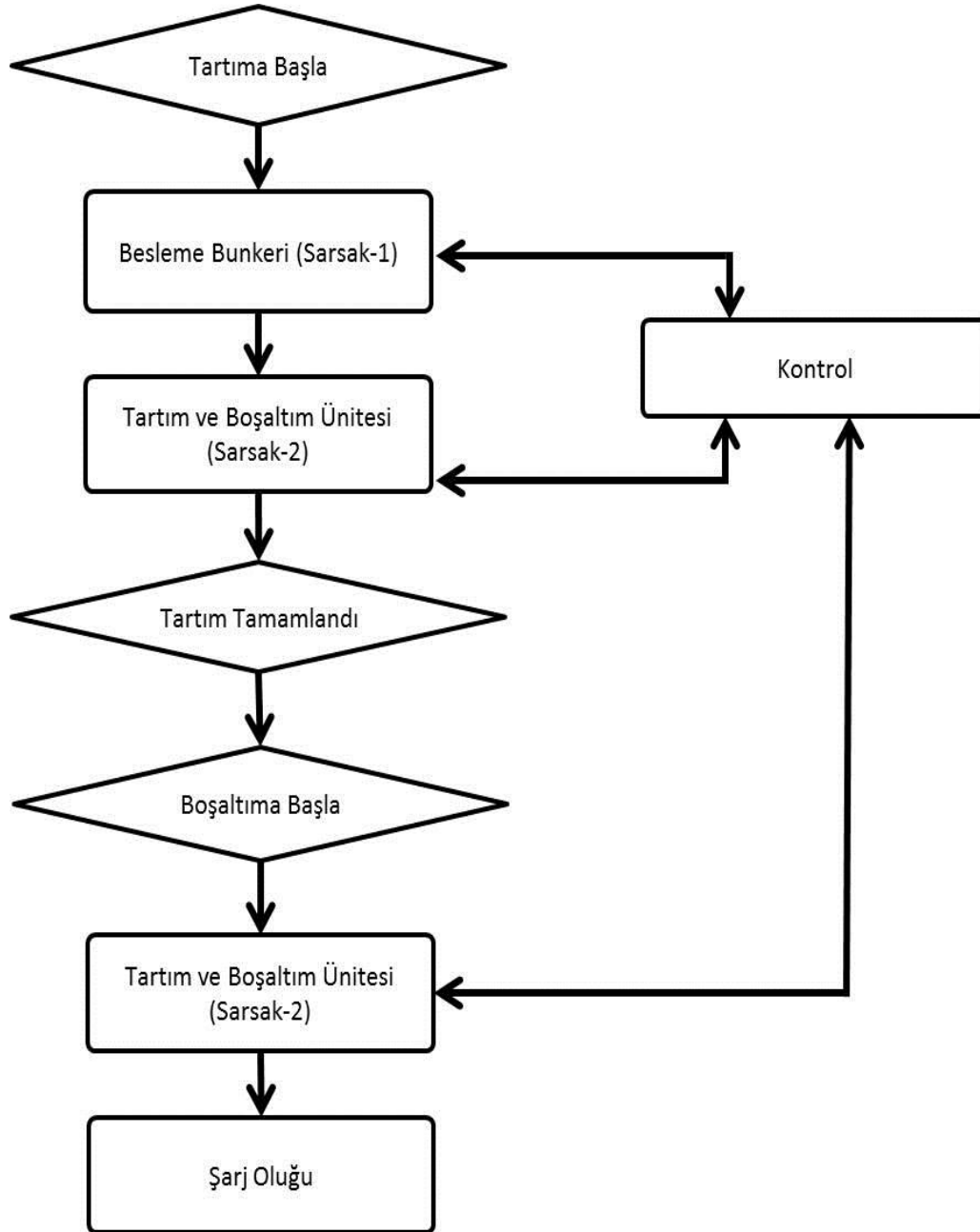
- Sistemin prototip imalatı tamamlanmış ve bu prototip sistem üzerinden farklı yükleme senaryolarına göre mekanizma etkinliğinin ölçüldüğü test faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda yapılan son değerlendirme sonrasında mekanik ve otomasyon sistemine ilişkin gerekli görülen noktalarda optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.
- Nihai sistemin imalatı gerçekleştirilerek saha kurulumu yapılmış ve imalat prosesine entegrasyonu tamamlanmıştır.



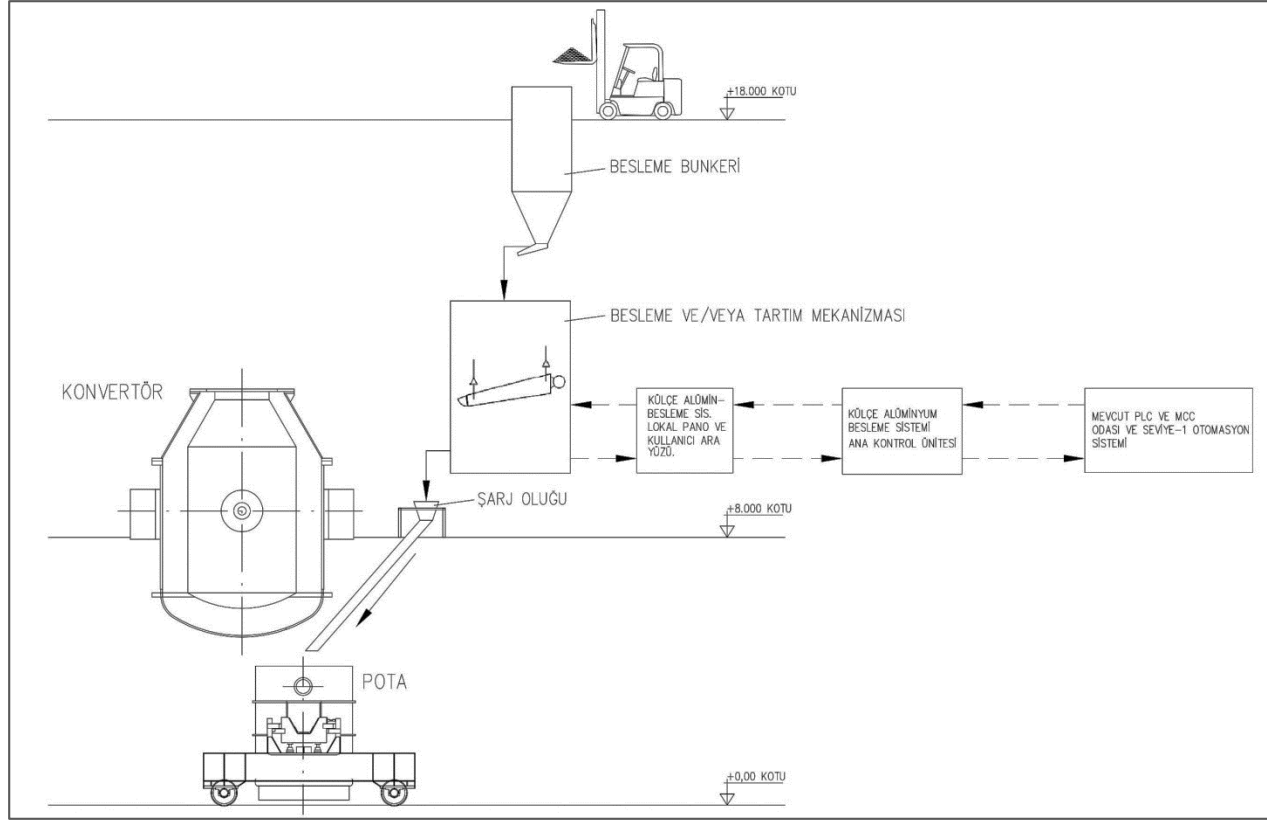
Şekil 3: Alüminyum Külçe Besleme Sistemi

2.1. Sistemin Genel Çalışma Prensibi:

Külçe Alüminyum Besleme Sistemi, kaliteye göre otomasyon sisteminden otomatik olarak alınan veya operatör tarafından manuel olarak girilen ağırlık değerine uygun olarak, belirli ve düzgün geometrideki külçe alüminyumları maksimum 4 dakika içerisinde malzeme oluşuna şarj edecek özelliktedir. Sistemin külçe alüminyum besleme hızı, her beslemedeki hata limiti maksimum ± 10 kg olmak kaydıyla dakikada minimum 50 kg, maksimum 200 kg arasındadır. Bu sebeple; sistem belirlenen aralıkta tartım, besleme ve mevcut sistemle haberleşme yapabilmektedir. Sistem çalışmasına ait blok diyagram Şekil 4'te görülebilir.



Şekil 4: Külçe Alüminyum Besleme Sistemi Akış Diyagramı



Şekil 5: Külçe Alüminyum Besleme Proses Şeması

Sistem 3 temel alt bileşen içermektedir:

1. Alüminyum Besleme Bunkeri
2. Tartım ve Şarj Ünitesi
3. Kontrol Ünitesi

2.2. Sistemin Alt Bileşenleri:

a. Alüminyum Besleme Bunkeri: Alüminyum külçelerin tartım öncesinde depolandığı alt sistemdir. Külçelerin tartım ünitesine kontrollü şekilde aktarılmasına imkân verir. Bunker yaklaşık 9 ton külçe alüminyum kapasitesi olacak şekilde tasarlanmıştır. 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 aşınma plakası ile kaplanmıştır. Aşınma plakaları modüler, kolay değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır.

b. Tartım ve Şarj Ünitesi: Besleme bunkerinden külçe alüminyumların vibro motorlar vasıtası ile hareket etmesini sağlayarak istenen miktarın malzeme oluğuna akmasına olanak sağlamaktadır. Tartım sistemi; yük hücreleri, orijinal montaj aparatları, tartım indikatörü ve bağlantı kutusundan oluşmaktadır. Tartım platformunun yan ve dikey yüklerden etkilenmemesi ve devrilmemesi için mekanik stoperler bulunmaktadır. Tartım sistemi, bunkerden üniform şekilde dökülen külçe alüminyumları tartarak kontrol sistemine iletilmesini sağlar. Besleyicinin sonuna koyulacak klapa sayesinde kontrol sisteminden gelen alüminyum miktarı boşaltıldığında klappenin otomatik kapanarak alüminyum akışının kesilmesini sağlar. Çelik boşaltılmaya başladıktan sonra mekanizmaya verilecek ikinci komut ile vibro-besleyiciler devreye girerek tartımı tamamlanmış olan alüminyum külçelerin malzeme oluğu yönüne akışı sağlanmaktadır.

Sistemin mekanik veya otomasyonel arıza durumlarında ise hareketli olarak dizayn edilen şarj mekanizması, el ile beslemeye olanak sağlayabilmektedir. Besleyici şarj mekanizması dakikada minimum 50 kg, maksimum 200 kg kapasitesi ile sürekli olarak çalışacak özellikte tasarlanmıştır.

c. Kontrol Ünitesi: Sistem üzerinde besleme aşamasının otomatik veya bir pano üzerinden manuel olarak kontrol edilebilmesine imkan sağlayan bir kontrol ünitesi bulunmaktadır.

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

Sistemin herhangi bir arıza vermesi durumunda, kontrol ünitesi, arıza sebebini belirleyebilecek ve kullanıcıya arızayı tanımlayacak şekilde hata mesajları iletebilecektir. Sistem, maksimum +/-10kg hata limit tolerans aralığında çalışarak bu miktardan eksik veya fazla besleme yapılmasını önlemektedir. Kullanıcı girişleri, sistemin başında bulunan ekrandan, uzak bir terminalden veya otomasyon sisteminden yapılmaya uygun yapıdadır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Sistem tasarımı ve prototip üzerinde yapılan optimizasyon çalışmalarının ardından denemelerin yapılması için Bazik Oksijen Fırınına sistem kurulumu yapılarak otomasyonel entegrasyonu tamamlanmıştır. Denemeleri yapmak üzere Konvertör pota ilavesi olarak sadece Alüminyum bulunan düşük karbonlu soğuk ürün grubunda bulunan St22 kalite seçilmiş toplamda 249’ar döküm yapılarak elde edilen sonuçlar manuel alüminyum beslemesi yapılan aynı kalite dökümler ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1: St22 Hedef 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

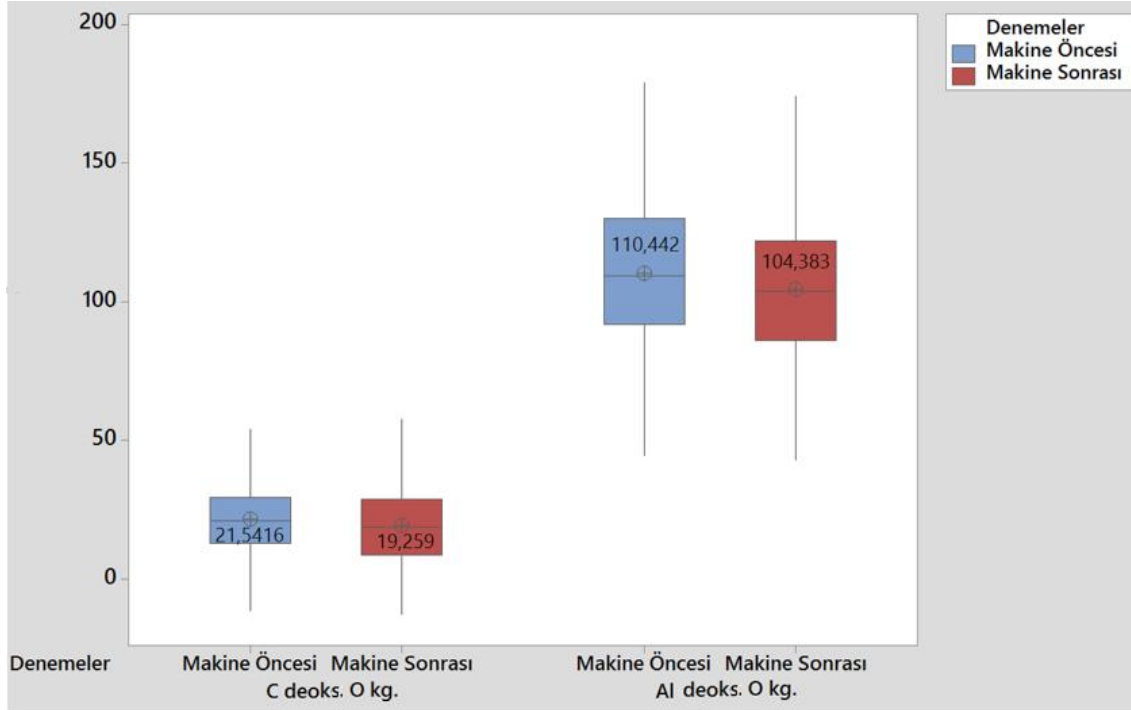
Stokiyometrik olarak sıvı çeliğin içerisindeki oksijenin giderilmesi için gerekli olan alüminyum miktarı 3.1 numaralı reaksiyona göre hesaplanmaktadır.



Ancak pratikte Konvertör üfleme sonu oksijen değerinin, sıvı çelik içerisinde bulunan karbon tarafından da 3.2 numaralı reaksiyonda verilen şekilde deokside edilebileceği bilinmektedir.



Şekil 7’de külçe alüminyum besleme sistemi öncesi ve sonrasına ait konvertör üfleme sonu %C değeri ile Pota Metalurji giriş %C ve %Al değerlerinden faydalanarak 3.1 ve 3.2 numaralı denklemler ile stokiyometrik olarak yapılan hesaplamalar sonucu kg cinsinden alüminyum ve karbon tarafından deokside edilen oksijen miktarları verilmektedir.



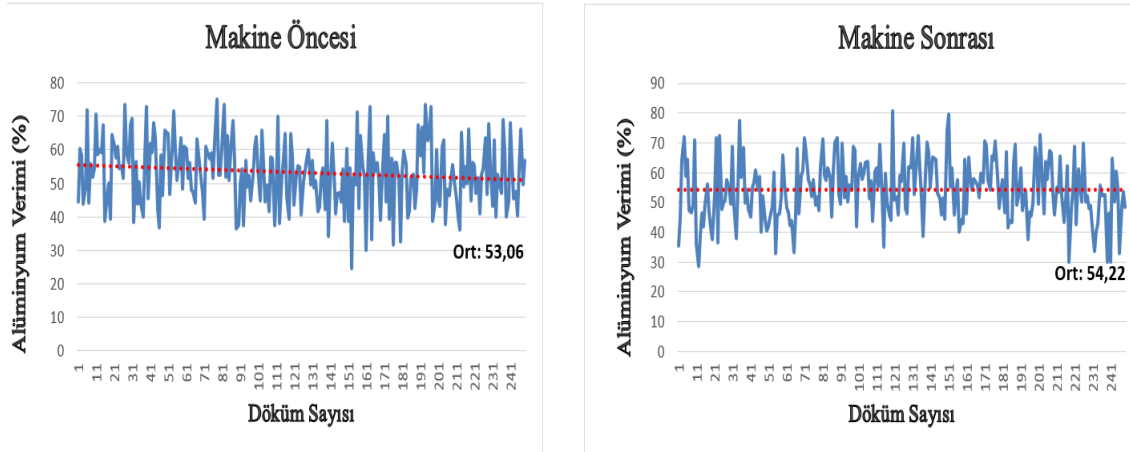
Şekil 6: Makine Öncesi ve Makine Sonrası Deoksida Al ve C Değerleri

Buradan anlaşılacağı üzere yapılan denemelerdeki Konvertör üfleme sonu oksijenin %15-18 kadarı C ile deoksida olurken % 82-85'I Al ile deoksida edilmiştir. Denemelerde yapılan toplam 498 döküme ait özet tablo aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir (Çizelge 2.)

Çizelge 2: Deneme Özet Tablo

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
Pota Metalurji Al Giriş	0.046	0.05
% Al Verimi	%53,06	%54,22

El ile yapılan besleme işleminde personel hatası kaynaklı problemler kaliteyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Otomatik külçe alüminyum besleme sistemi ile yapılan dökümlerde prosesin insandan bağımsız hale getirilmesi sebebi ile prosesin daha kontrollü ve kararlı bir hal alması sonucu el ile manuel olarak yapılan dökümlere göre alüminyum verimi % 1.16 daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 7). Denemeler sonucu tespit edilen verim artışı neticesinde çelik üretim maliyet kalemlerinde büyük bir role sahip alaşımlama ve deoksidasyon besleme malzemesi olan alüminyumdan tasarruf etmek mümkün hale gelmiştir.



Şekil 7. Makine Öncesi ve Makine Sonrası Alüminyum Verimleri

Güncel alüminyum ton fiyatı 1513 dolardır [9]. Buradan yola çıkarak maliyet hesabı yapılacak olursa, yıllık ortalama 5.000 ton alüminyum kullanan bir demir çelik tesisi düşünüldüğünde,

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Miktarı} &= 5.000 \text{ ton} * 0,0116 \\ &= 58 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$1 \text{ dolar} = 2,82 \text{ TL (13.04.2016)}$$

$$\begin{aligned} \text{Maliyet avantajı} &= 58 * 1513\$ \\ &= 87.754 \text{ dolar (=87.754*2,82 = 247.466 TL)} \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Bazik Oksijen Fırınlarına entegre bir şekilde kullanılabilir Küçük Alüminyum Besleme Sistemi tasarımı ile prosesin daha kontrollü ve kararlı bir hal alması sağlanmıştır. El ile yapılan besleme prosesine göre verimlilik ve maliyet açısından avantajlı bir uygulama olduğu yapılan istatistiksel incelemeler ile desteklenmiştir.

Aynı zamanda yapılan çalışmada daha önce tamamen manuel olarak gerçekleştirilen ve birçok iş güvenliği riski taşıyan alüminyum külçe besleme prosesi otomatikleştirilmiştir. Böylelikle iş güvenliği noktasında ortaya çıkabilecek tehlikeler ortadan kaldırılmıştır.

REFERANSLAR

- [1] Sevinç, N., 1995. Chemical Metallurgy of Steel Lecture Notes. ODTÜ, Ankara.
- [2] Miller, T.W., Jimenez J., Sharan A., Goldstein D.A., 1998. Oxygen Steelmaking Processes. The AISE Steel Foundation, 475-524, Pittsburgh.
- [3] Türkdoğan, E.T., 1996. Fundamentals of Steelmaking, London.
- [4] Kloppers, C., Fedotova, T., 2001. Primary De-Oxidation Of Basic Oxygen Furnace Steel By Means Of Carbon, South Africa.
- [5] Tetik, Y., 2015. Alüminyum Tüketimini Azaltmak İçin Kok İle Ön Deoksidasyon İşlemi ve Prensibi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- [6] Riihimäki, H., 1991. Low “Back Pain: Its Origin and Risk Indicators” Scandinavian Journal of Work, Environment and Health 17, 81-90.
- [7] Lortie, M., Pelletier, R., 1996. Incidents In Manual Handling Activities", Safety Science, 21(3), pp. 223-237
- [8] 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.
- [9] <https://www.lme.com/en-gb/metals/non-ferrous/aluminium/>