

# SÜRDÜRÜLEBİLİR KAYNAKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

## “ÇELİK ÜRETİMİNDE TUFAL KULLANIMI”

### EVALUATION OF SUSTAINABLE RESOURCES

### “THE USING SCALE IN STEEL PRODUCTION”

Uğur Cengiz<sup>1</sup>, Oğuzhan Sakarya<sup>1</sup>, Burak Ekin<sup>1</sup>, Muammer Bilgiç<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik San. Tic. A.Ş, Türkiye

*Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir üretim, tufal, metalizasyon, indüksiyon ocağı, pota ocağı, cüruf*

#### Özet

Hammadde ve enerji kullanımı ile atık üretimi yoğun bir sektör olan demir - çelik sektöründe, sürdürülebilir çelik üretimi için, gerekli tüm önlemlerin alınarak, enerji ve malzeme tasarrufu çalışmalarının yapılması ve çevresel etkilerin minimum değere indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte; döngüsel bir ekonominin kritik öneme sahip bileşenlerinden biri, proses çıktısı malzemelerin işletme içerisinde ve işletmeler arasında yeniden kullanılmasıdır. Bunun temelinde de geleneksel geri dönüşüm çözümlerinin ötesinde, farklı malzeme türlerinin değerlendirilerek yeniden kullanıldığı alanların belirlenmesi yatmaktadır.

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak yarı ürünün hava ile temas ettiği tüm süreçlerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında ve haddeleme sürecinde, çeliğin tüm yüksek sıcaklık altında yapılan işlemlerinde, çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ve %70-76 oranında demir içeren ve Tufal olarak adlandırılan küçük pulcuklu demir oksit tabakası uzun yıllardır demir – çelik tesislerinde atık olarak düşünülüp satılmıştır.

Bilecik Demir Çelik A.Ş'nin çelikhane ve haddehanesinden çıkarılan Tufal direkt olarak indüksiyon ocaklarında, herhangi bir pirometalurjik işlemle geçmeden hurda ile birlikte şarj kompozisyonunda % 7-10 oranında kullanılmıştır. İndüksiyon

ocaklarında, ergitme işlemi sonunda, 20 farklı dökümden alınan cüruf numunelerinin kütlece Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği % 9-39 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda bu tespit ve gözlemler tufalin çelik yapımında kullanılabilirliği açısından irdelenmektedir.

#### Giriş

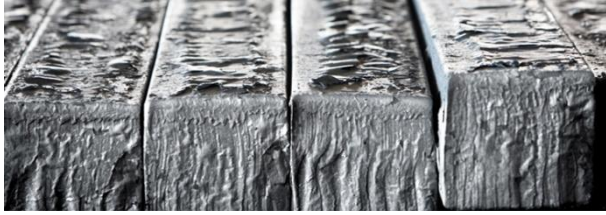
Sürdürülebilirlik, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunun Brundtland Raporunda (1987), “*Gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasından ödün vermeden bugünkü neslin ihtiyaçlarının karşılanmasıdır.*” şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Sürdürülebilir üretim ise, temelde sınırsız insan ihtiyaçlarının sınırlı kaynaklarla nasıl karşılanacağı sorusuna dayanmakta, tüketim ve üretim ilişkisinin sürdürülebilirlik bakış açısıyla ele alınmasını sağlamaktadır. Bu bakış açısı, 20.yüzyılın sonlarından itibaren daha sıklıkla konuşulmaya başlanan; sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma ile birlikte sürdürülebilir üretim yöntemleri gibi kavramların ihtiyaçların karşılanabilirliğinin devamı için yaşamsal önem taşıdığı gerçeğiyle giderek daha fazla öne çıkmaktadır [2].

Sürdürülebilir kaynak kullanımı ve temiz üretim yöntemleri, atık oluşumunu azaltmayı, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla üretim süreçlerinde çevre performansını artırmayı ve maliyetleri düşürmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Ülkemizde 1990’lı yılların sonlarında başlamış olan temiz üretim ve sürdürülebilir kaynak kullanımı çalışmaları işletmeler bazında sürmekte olup, bu kapsamda demir – çelik endüstrisinin çeşitli alt sektörlerinde temiz üretim

teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamaların yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır [3].

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak yarı ürünün hava ile temas ettiği tüm sürelerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında, çeliğin tüm yüksek sıcaklık (1100-1300°C) altında yapılan işlemlerinde, çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan küçük pulcuklu demir oksit tabakasına Tufal denmektedir. Sürekli döküm yarı ürünü olan kütük üzerinde soğuma süresince oluşan Tufal Şekil 1’de ve Şekil 2’de, haddehane Tufal’i ise Şekil 3’de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak %97,16 oranında metalik ve oksijen ile bağlı demir içeren bu malzeme uzun yıllardır demir – çelik tesislerinde atık olarak düşünülüp belli bir sahada biriktirilerek hurda olarak satılmış veya işlem maliyeti sebebiyle üretim sahasından uzaklaştırılmıştır. Türkiye’deki haddehanelerde miktarı tam olarak bilinmemekle birlikte üretilen çeliğin %4-5’i oranında Tufal oluştuğu varsayılmaktadır.



Şekil 1. Kütük üzerinde oluşan tufal tabakası



Şekil 2. Soğuma boyunca kütük üzerinde oluşan tufal tabakası



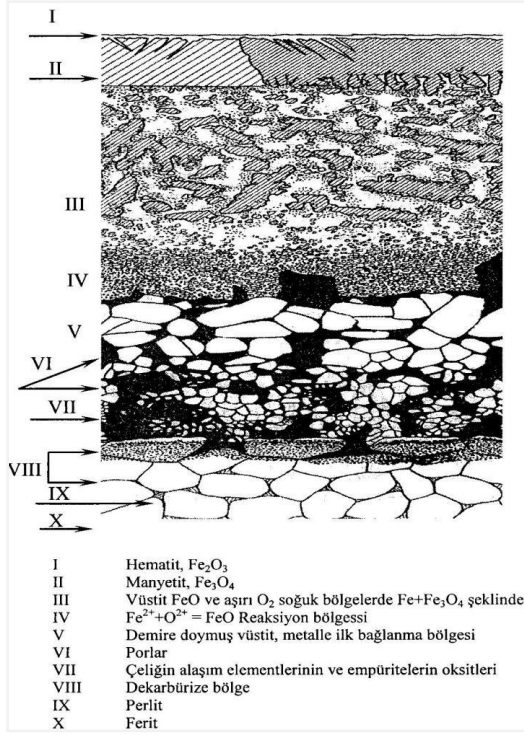
Şekil 3. Haddehane tufali

Tufal tabakası, çelik üzerinde temel olarak üç farklı faz şeklinde bulunur. Bu fazlar hematit ( $Fe_2O_3$ ), manyetit ( $Fe_3O_4$ ) ve wüstit ( $FeO$ ) olarak isimlendirilen katmanlı yapılar sergilerler.

Wüstit ( $FeO$ ), diğer demir oksitlere göre en düşük oksijen miktarına sahiptir ve metale yakın içteki tabakayı oluşturmaktadır. Wüstit, artan sıcaklıkla beraber Tufal’deki miktarı artmaktadır ve çelik sıcaklığı 700°C altına düştüğünde Wüstit Tufal tabakasının % 95’ini oluşturmaktadır.

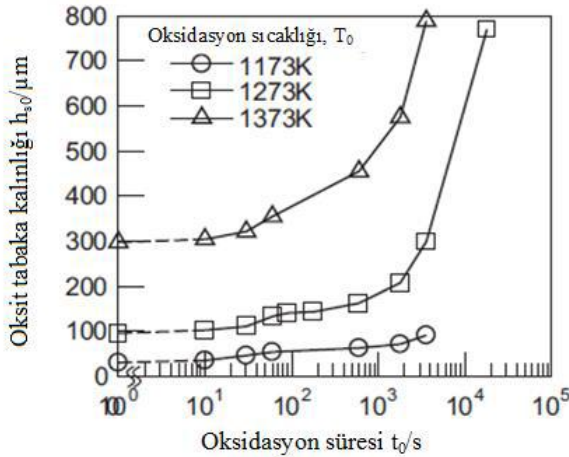
Manyetit ( $Fe_3O_4$ ), Tufal’in orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 500°C altında olduğu ortamda Tufal sadece manyetitten oluşmaktadır. Sıcaklığın 700°C’ye yükselmesiyle manyetitin yerini wüstit almaya başlamaktadır ve daha yüksek sıcaklıklarda manyetit Tufal tabakasının ancak % 4’ünü içermektedir.

Hematit ( $Fe_2O_3$ ), Tufal’in en dıştaki atmosfere açık tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 800°C altında olduğu ortamda oluşmaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda Tufal tabakasının ancak % 1’ini oluşturmaktadır. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan Tufal’in şematik yapısı Şekil 4’de gösterilmiştir [4].



**Şekil 4.** Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitli tabakaların (tufalin) şematik yapısı

Tufal tabakasının kalınlığı sıcaklık ve süreye bağlı olarak artmaktadır. Farklı sıcaklık ve sürelerde Tufal kalınlığındaki artışlar grafik olarak Şekil 5’de verilmiştir [5].



**Şekil 5.** Çelik yüzeyinde oluşan Tufal’ın kalınlığının sıcaklık ve oksidasyon süresine bağlı olarak değişimi

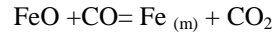
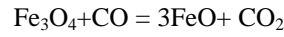
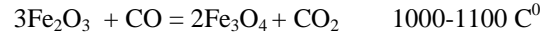
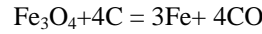
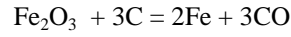
Türkiye’de uzun yıllar dikkate alınmayan ve sadece bir atık olarak değerlendirilen Tufal, geri kazanımı için entegre tesislerde bir takım uygulamalar dışında herhangi bir projenin yürütülmediği bir yan üründür. Söz konusu malzemeler hep bir ikincil ürün değil atık olarak değerlendirildiği için elleçleme maliyeti nedeniyle neredeyse bedelsiz olarak sistem dışına

çıkarılmıştır. Son yıllarda değişen bakış açıları nedeni ile yurt dışında talepler oluşmaya başlamıştır.

BDC: çelik yapım prosesinin en önemli hedeflerinden biri olarak metalik verimliliği öne çıkarması nedeniyle, genelde atık olarak değerlendirilen tüm malzemeleri bir fırsat olarak görmektedir. Tufal, bu nedenle direkt olarak ergitme ünitelerinde herhangi bir ön ısıl veya pirometalurjik işlemde geçmeden yüksek metalizasyon değeri ile kullanılmaya çalışılmış ve bu uygulama İndüksiyon ocağı prosesinin temel adımlarından biri olmuştur.

### 1. İndirgeme Reaksiyonları;

İndüksiyon ocaklarında tufalin ergimesinde ve indirgenmesinde basitçe aşağıdaki reaksiyon adımları söz konusudur. 20-650 C<sup>0</sup> kurutma, nem giderme >650-700 C<sup>0</sup> reaksiyon başlar,



Belirtilen reaksiyonlar sürecinde tüketilen enerji

$$\Delta H = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1953} \Delta c_p$$

Formülü ile hesaplanabilir,  $\Delta H_{298}$  bağ enerjisi,  $\Delta c_p$  ise spesifik ısı kapasitesidir.

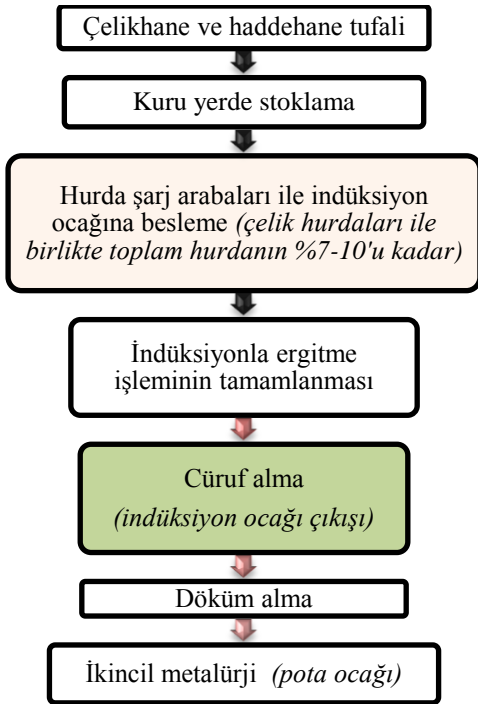
Her ne kadar yukarıda sadece Karbonun indirgeme etkisi vurgulanmış olsa da diğer indirgeyicilerin etkisini de unutmamak gerekir, ancak konuyu karmaşık hale getirmemek için diğer elementlerden söz edilmemektedir. Fe oksit indirgeme reaksiyonları endotermiktir.

Yaklaşık olarak; 747,93 kg Tufal’ın, 141 Kg karbon ile indirgenip, 560 kg demir üretmesi ve bu reaksiyonlar için 560 Kwh enerji tüketmesi gerektiğini öngörebiliriz. [6]. BDC örneğinde söz konusu miktarda tufal kullanımı ve takip eden indirgeme reaksiyonları aynı zamanda % 0,5 C giderme anlamına da gelir. BDC özelinde, belirtilen teorik öngörü ile pratikteki görünümeler birbirine paralel olarak kabul edilebilir. Kuşkusuz, endüstriyel koşullardaki ölçüm belirsizlikleri, nem, tozuma, hurda C değerinin değişkenliği, cürufu kalan Fe oksitler, kinetik koşullar, diğer indirgeyiciler vb. değişkenler nedeniyle Tufal nedeni karbon gidermenin ve indirgeme reaksiyonlarının

endüstriyel uygulamadaki verimliliğini hassas bir şekilde tespit etmek çok güçtür. Ancak etkin bir C giderme ve Fe oksit indirgememesinin yapılabildiğini söylemek çok mümkündür. Endüstriyel uygulama sonuçlarına ilişkin güvenilir veri toplama faaliyeti ile belirsizliklerin azaltılması ve tufalin ekonomik bir hammadde kaynağı ve etkin bir karbon giderici olma fonksiyonunu İndüksiyon ocakları için tekrar edilebilir, güvenilir bir metalürjik proses uygulaması hale getirme çabaları BDÇ çelik yapım prosesi dizaynının ana hedeflerindedir.

## 2. Deneysel Çalışmalar;

Bu çalışmada BDÇ'nin haddehane ve çelikhaneinden çıkan Tufal, indüksiyon ile ergitme yapan ocaklara herhangi bir ön ısıl işleminden geçmeden hurda ile birlikte yaklaşık % 7-10 oranında Tablo 1'de belirtildiği gibi ilave edilmiştir. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra cüruf sistemden uzaklaştırılmış olup çelik potaya alınmıştır. Süzülen cüruftan numune alınarak %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri tespit edilmiştir. Pota ocağında Ferro alyaj ilavesi bitmemiş indirgeme reaksiyonlarını dikkate alarak en son aşamada yapılmaktadır.

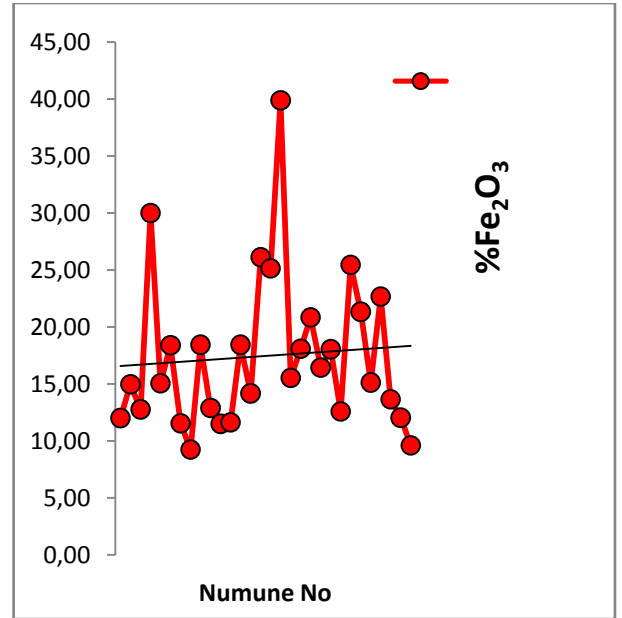


Tablo 1. Tufalin indüksiyon ocağına şarj işlemi

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

BDÇ 'de indüksiyon ocağı ile hurda ergitmesi yapılırken farklı cüruf kimyasal kompozisyonları oluşur. Bu nedenle toplam hurda şarjının kütlece %7-

10'u kadar tufal ( 1.96-2.0 ton/ döküm) ilavesi yapılsa da, hurda kompozisyonu farkı, düşük tartım hassasiyeti ve değişen kinetik ve termodinamik koşullar gereği ergitme sonunda ocaktan cüruf kimyasal kompozisyonundaki %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri Şekil 6'da belirtildiği gibi dökümden döküme ciddi farklılıklar görülmektedir. Bu değerlendirmede ergitme sürecinde meydana gelen indirgeme dikkate alınmış ve ergitme işleminin sonundaki cüruf %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri aşağıda verilmektedir. Döküm başına yaklaşık yaş bazda 1960 Kg Tufal yüklemesi ile, hurda ergitme süreci sonunda ortalama % 96 metalik hurda verimliliği ile oluşan 1120 Kg cürufta % 17 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~ 168 kg kadar hala indirgenememiş Fe oksit olarak kalmaktadır. Hurda kompozisyonuna ilave edilen Tufal'ın % 85 inin ergitme sürecinde indirgendiği söylenebilir. Bu sonucun bir çok değişkene bağlı olduğu açıktır.



Şekil 6. İndüksiyon ocağı ve pota ocağı cüruf numunesi %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri

BDÇ 'nin haddehane ve çelikhaneinden çıkan tufal toplam üretimin %2.3'ü kadardır ve bu tufal'ın kimyasal bileşimi Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tufal Bileşen Miktarı (kütlece %)	
Fe (metalik + oksit)	96,91 - 97,18
Fe metalik	70 - 76
SiO <sub>2</sub>	0,92 - 1,16
CaO	0,71 - 0,83
MgO	0,46 - 0,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16 - 0,32

Tablo 2. Tufalin %kimyasal bileşimi

## 5. Sonuç

Günümüzde önemi gittikçe artan sürdürülebilir kaynakların değerlendirilmesine bir örnek olarak yüksek hammadde ve enerji maliyeti ile atık yoğun bir sektör olan demir çelik sektöründe Tufal'in ekonomik kullanımına ait bir yaklaşım niteliği taşıyan bu çalışma yukarıda kısaca özetlenmiştir.

İndüksiyon ocaklarına şarj edilen toplam hurdanın kütlece %7-10'u kadar ilave edilen haddehane ve çelikhane Tufal' inin ergitme süreci içerisinde meydana gelen indirgeme reaksiyonları ve yaklaşık verimlilikleri irdelenmiştir. Çelik üretim sektöründe sürdürülebilir gelişmenin temel koşulu tüm proses çıktılarını ekonomik bir değere dönüştürmektir, Tufal bunlar arasında en önemlisidir. Kuşkusuz, metalürjik gerekçeler, ekonomik değerlendirmeler konunun diğer önemli noktalarıdır ve her işletme kendi optimizasyon anlayışı ile konuyu kendi açılarından irdeleyecektir.

## Referanslar

- [1] Schaefer A. ve Crane A. (2005), Addressing Sustainability and Consumption, Journal of Macromarketing, Vol:25, Pages: 76-92.
- [2] Topoyan M., (2005), Yeniden Üretim Sistemleri İçin Sürdürülebilir Ürün Tasarımlarının Oluşturulması, V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi , İstanbul 259-264.
- [3] Sanayide temiz üretim olanaklarının ve uygulanabilirliğinin belirlenmesi projesi – TUBİTAK 2017
- [4] Önkibar, G. (2006). Entegre Demir Çelik Tesisi Tufalinden Doğrudan Redükleme Yöntemi ile Ham Demir Üretimi (yüksek lisans tezi). SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] R. Matsumoto, Y. Osumib, H. Utsunomiya. (2014). Reduction of friction of steel covered with oxide scale in hot forging, Toyonaka, Japan.
- [6] S.Saberifar, F. Jafari, H. Kardi, M.A.Jafarzadeh, S.A. Mousavi ( 2014 ) Recycling Evaluation of Mill Scale in EAF. Journal of Advanced Material and Processing Vol. 2 No: 3 2014 73-78