

Araştırma Makalesi / Research Article

Entegre Demir Çelik Fabrikasında Pulverize Kömür Enjeksiyon (PCI) Uygulaması

Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI^{1*}

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8862-009X>, osaltuk.bolukbasi@iste.edu.tr

Geliş/ Recieved: 17.07.2020;

Kabul / Accepted: 17.08.2020

ÖZET: Pulverize kömür (PC), metalurjik kok kömürü ile birlikte yüksek fırına şarj edilmekte ancak tamamı ile metalurjik kok kömürü yerine kullanılamamaktadır. Metalurjik kok kömürü yüksek fırın içinde sadece yakıt olarak değil, aynı zamanda fırının gaz geçirgenliğini düzenleme, demir cevheri ve flaks malzemelerinin fırın içinde düzgün dağılmasını sağlama ve termal stresleri azaltma gibi işlevleri de yerine getirmektedir. Pulverize kömür enjeksiyon (PCI) sisteminin de yüksek fırına, pozitif ve negatif bazı etkileri vardır. Olumsuz etkileri yok etmek veya en az seviyeye indirmek, olumlu etkilerinden de en iyi şekilde yararlanmak gerekmektedir. PCI'unun yüksek verimle kullanabilmesi, yüksek fırındaki tüm parametrelerin optimizasyonunun sağlanması ile mümkündür. Pulverize kömür enjeksiyonu süresince optimize edilmesi gereken tüm faktörlerin ve proses parametrelerinin optimum bir değer aralığında olması gerekmektedir. Bu çalışmada, bir entegre demir çelik fabrikasında yakıt olarak PCI kullanımından önce ve sonra elde edilen kalite değerlerinin yüksek fırın performansına etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pulverize kömür, Enjeksiyon, Yüksek fırın, Metalurjik kok, Yakıt.

^{1*}Sorumlu yazar / Corresponding author: osaltuk.bolukbasi@iste.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Bölükbaşı, Ö.S. (2020). Entegre Demir Çelik Fabrikasında Pulverize Kömür Enjeksiyon (PCI) Uygulaması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(2), 55-65.

Pulverized Coal Injection (PCI) Application in Integrated Iron and Steel Factory

ABSTRACT: Pulverized coal (PC) is charged to the blast furnace along with metallurgical coke, but it cannot be used as a substitute for metallurgical coke completely. Metallurgical coke not only serves as fuel in the blast furnace, but also performs functions such as regulating the gas permeability of the furnace, ensuring uniform distribution of iron ore and flux materials in the furnace and reducing thermal stresses. Pulverized coal injection (PCI) system also has some positive and negative effects on the blast furnace. It is necessary to eliminate or minimize the negative effects and make the most of the positive effects. Using PCI with high efficiency is possible by optimizing all parameters in the blast furnace. All factors and process parameters that need to be optimized during pulverized coal injection must be within an optimum range of values. In this study, the effects of quality values obtained before and after the use of PCI as fuel in an integrated iron and steel factory on blast furnace performance were investigated.

Keywords: Pulverized coal, Injection, Blast furnace, Metallurgical coke, Fuel.

1. GİRİŞ

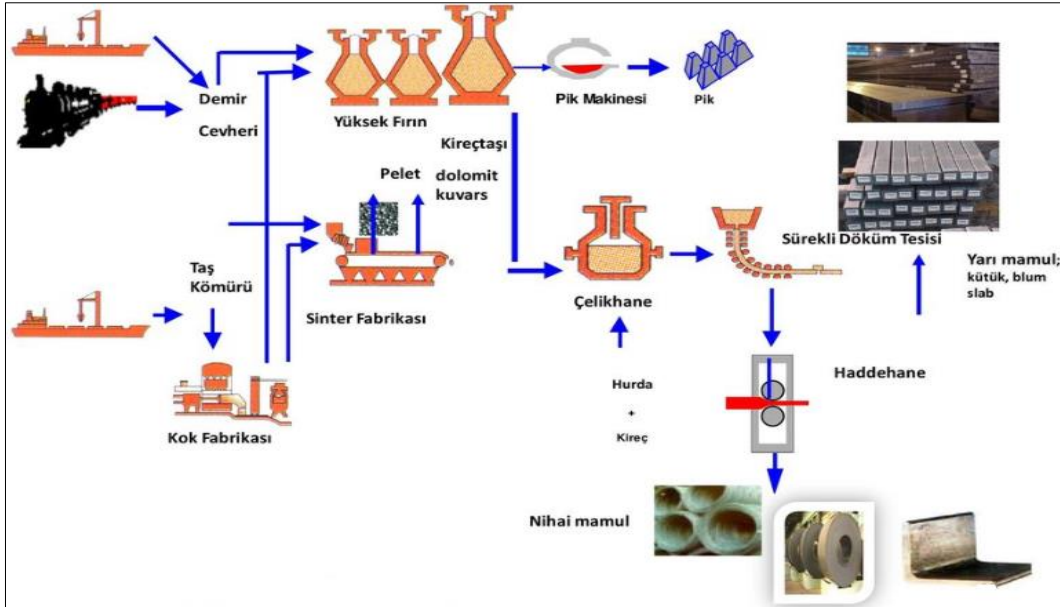
Demir çelik sektörü dünya ve Türkiye açısından büyük önem arz etmektedir. 2019 yılı itibariyle dünyanın toplam çelik üretimi 1.869 milyar ton civarında olup; bu miktarın yaklaşık %2 kadarı Avrupa çelik üretiminde 2. sırada olan Türkiye tarafından üretilmektedir. 2019 yılında Türkiye’de 20,3 milyon ton uzun, 13,4 milyon ton yassı olmak üzere 33,7 milyon ton seviyelerinde çelik üretimi gerçekleşmiştir (İnt.Ky.1).

Pulverize kömür enjeksiyonu, ham kömürün PCI ünitesinde boyut küçültme ve kurutma işlemlerinden sonra, boyutunun 80 mikron, nem oranının ise %1’in altına düşürülerek yüksek fırınlara tüyerlerden şarj edilmesi işlemidir (Poos ve Pongis, 1990; Babich, 2017). Dünya çelik sektöründe, giderek yoğunlaşan rekabet koşullarında firmaların başarılı olabilmeleri ancak rakiplerine karşı rekabet avantajı sağlayabilecek tedbirleri alabilmeleri ile mümkün olmaktadır (Yongning, 1995; Ahmed, 2018). Bu bağlamda, modern üretim anlayışı çerçevesinde maliyet düşürücü ve kapasite arttırıcı yatırımların firmalar tarafından gerçekleştirilebilmesi önem arz etmektedir (Babich ve Senk, 2019; Isao ve Morimasa, 2004). Günümüzde birçok modern ve teknolojik yüksek fırınlarda özellikle enerji ve maliyet tasarrufu sağlamak, fırın hacminden daha fazla faydalanmak ve dolayısıyla birim zamanda üretim artışı elde etmek için Pulverize Kömür Enjeksiyon (PCI) Sistemleri kullanılmaktadır (Peters ve ark., 1990; Ishii, 2000). Bilindiği üzere yüksek fırınlarında mevcut durumda metalürjik koka ilave olarak herhangi bir yakıt (doğalgaz, katran, fuel oil vs.) PCI sistemi kadar etkin kullanılamamaktadır. Günümüz çelik sektöründe pazardaki rekabet koşulları büyük oranda fiyat politikalarına dayalı olarak gelişmektedir. Entegre demir çelik tesislerinde, ton sıvı ham demir başına (TSHD) yüksek fırına şarj edilmesi hedeflenen PC miktarı 100-150 kg/ton arasında değişmektedir (Du, 2015; Yan ve ark., 2014).

2. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

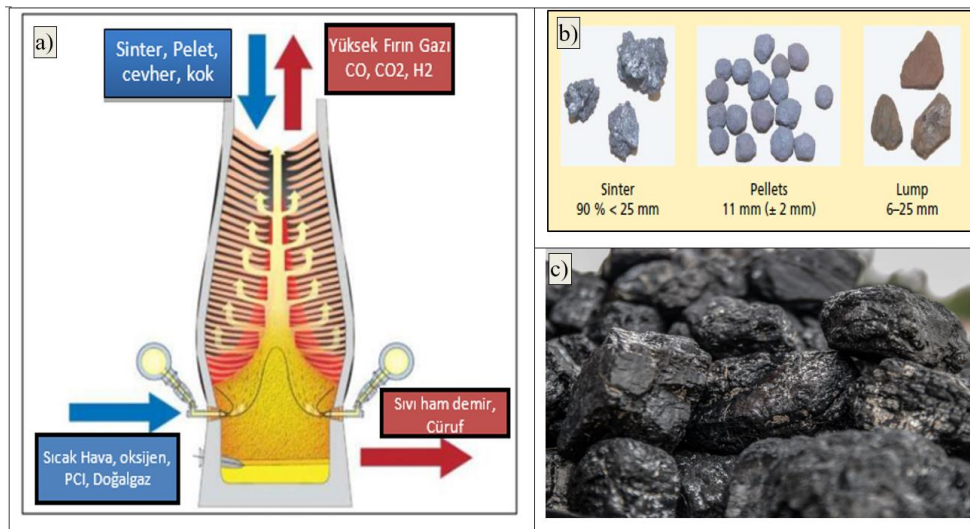
Çelik üretiminde iki farklı metot kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek fırın, diğeri elektrik ark fırın metodudur. Bu iki metot birbirlerinden hem kullanılan hammadde hem de üretilen malzeme açısından farklılık göstermektedir. Yüksek fırın prosesi genel olarak yassı ürünler üretimi ile öne çıkarken, elektrik ark fırın prosesi ise daha çok uzun ürünlerde ön plana çıkmaktadır (Yeh ve ark, 2012). Birincil üretim olan yüksek fırın prosesi kok ve kömürü redükleyici kaynak olarak

kullanarak; sinter, pelet ve parça cevherden çelik üretimi yaparken; ikincil üretim olan elektrik ark fırın prosesi elektrik enerjisi ile hurda ergitme işlemi yapmaktadır (Maki ve ark., 1996). Günümüzdeki ark fırınlarının da yassı üretim yapabilme kapasiteleri bulunmaktadır. Fakat yüksek fırın ve çelikhane metodu hala dünyada öncelikli çelik üretim şekli olarak yerini korumaktadır (Peacy ve Davenport, 2016). Şekil 1’de tipik bir entegre demir çelik tesisi üretim akım şeması görülmektedir.



Şekil 1. Entegre demir ve çelik tesisi proses akım şeması (Çimen, 2014)

Yüksek fırın, demir içerikli şarj malzemeleri ile fırın altından üflenen sıcak hava arasındaki karşılıklı ısı değişim ve indirgeyici yakıt ile oksijenin cevheri redüklemesiyle kütle transferinin gerçekleştiği ortam olarak düşünülebilir. Fırın içerisinde yük aşağı doğru hareket ederken sıcak gaz yukarı doğru hareket etmektedir (Biswas, 1981). Yüksek fırında hareket yönü ve çıkışı temsili olarak Şekil 2-a’da, kullanılan demir içerikli hammaddeler Şekil 2-b’de, yakıt ve indirgen olarak kullanılan metalurjik kok kömürü Şekil 2-c’de görülmektedir.



Şekil 2-a) Yüksek fırın girdi ve çıktıları (Geerdes ve ark., 2015), 2-b) Yüksek fırın demir içerikli şarj malzemeleri (Geerdes ve ark., 2015, 2-c) Metalurjik kok kömürü (Chaigneau ve ark., 2009)

Tamamen karbondan oluşan, iç yapısındaki kuvvetli bağ yapısı nedeniyle ergimeyen ve indirgen bir özelliğe sahip olan kok, yüksek fırın için olmazsa olmaz bir malzemedir. Kok oksijenle gerçekleştirdiği reaksiyon sonucu cevheri ergitmek için gerekli olan sıcak gaz üretiminde kullanılır. Yüksek fırın prosesinde cevherin ergimesi ve kok tüketimi fırın içerisinde boşluk oluşturur ve bu boşluk da sürekli olarak yukarıdan inen malzeme tarafından doldurulur. Üflenen hava içerisindeki oksijen, karbon monoksit (CO) üretmek için koku gazlaştırır (Suzuki ve ark., 1986; Wozek, 1990). Yüksek fırına gönderilen sıcak hava, fırın içerisindeki kok ve cevher katmanlarından geçerek fırının tepesine ulaşır.

Yüksek fırın prosesinde demir cevheri ve redükleyiciler (kok ve kömür) ergimiş metalin oluşmasını sağlar. Cüruf, demir cevherinin gang minerallerinden, kok ve kömür tozlarından oluşur. Ergimiş metal ve akışkan cüruf birbirleriyle karışmazlar ve yoğunluk farklarından dolayı cüruf üst tarafta kalacak şekilde ergimiş metalin üzerinde yüzer. Böylece döküm esnasında ergimiş demir cüruftan kolaylıkla ayrışır (Schoppa, 1992).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Demir çelik sektöründe maliyet açısından PCI'nun avantajından dolayı çelik sektöründe rekabetin bir ölçüsü olarak, özellikle son 15 yılda yüksek fırınlarda metalurjik kok kömürünün yanında PCI kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır. Laboratuvar çalışmaları, simülasyon denemeleri ve yüksek fırınlarda fiili olarak uygulanan testler ile PCI teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Yüksek fırın işlemi çok karmaşık ve oldukça etkileşimli bir işlem olduğundan, yüksek fırınlarda aktif olarak yapılan çalışmaların sonuçları laboratuvar testleri ve simülasyon denemeleri ile desteklenmektedir. Bu çalışmada, PCI teknolojisine geliştirilmesine yardımcı olmak için, entegre demir çelik fabrikasında PCI uygulamasının yüksek fırın performansı üzerine etkileri araştırılmış ve yorumlanmıştır. Kömür hazırlama sistemi, ham kömürün depolanması, öğütülmesi, kurutulması, filtrelenmesi, Pulverize kömürün depolanması aşamalarını kapsayan işlemler bütünüdür. Deneysel çalışmalar çoğunlukla kömür enjeksiyon oranlarının değiştirilmesi ve işlem üzerindeki etkilerinin gözlenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, enjeksiyon tankları ve enjeksiyon sistemi ile başlamaktadır. Yüksek fırınlara pnömatik olarak kömür transferi ve tüyerlere kömür enjeksiyonu ile sonlanmaktadır. Şekil 3'de çalışmada kullanılan öğütülmüş 80 mikron altı kömür tozu makro fotoğrafı görülmektedir. PCI sistem kömürünün, teknik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de, metalurjik kokun kimyasal analiz değerleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Yüksek fırına şarj edilen demir içerikli sinter, pelet ve parça cevher malzemelerinin kimyasal kompozisyonu da Çizelge 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Pulverize kömür (<80 mikron)

Çizelge 1. Test çalışmalarında kullanılan PCI kömürünün teknik ve kimyasal özellikleri

Kömür Cinsi	Kömür Teknik Özellikleri (%)				Kömür Kimyasal Özellikleri (%)				
	Kül (%)	Uçucu (%)	Karbon (%)	Isı (Cal/Kg)	S	C	H	N	O
1	12,20	34,01	56	6928	0,59	74,01	4,55	1,69	8,52
2	11,10	34,23	57	6889	0,39	79,01	4,81	1,52	2,95
3	8,45	32,09	63	6954	0,45	80,06	4,56	1,77	4,58
4	10,78	24,06	59	7230	0,39	78,32	4,72	1,46	2,93
Ortalama	10,63	31,10	58,75	7000	0,46	77,85	4,66	1,61	4,75

Çizelge 2. Test çalışmalarında kullanılan kokun kimyasal analiz değerleri ve fiziksel özellikleri

% Nem	% Kül	% Uçucu	Karbon (C)	%S	Stabilite	+75mm.	+25mm.	-25mm.
5,21	10,22	0,98	84,98	0,62	57	7	87	6

Çizelge 3. Test çalışmalarında kullanılan demir içerikli malzemelerin kompozisyonu (%)

Demirli Malzeme	Fe	FeO	SiO ₂	Mn	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	K ₂ O	Na ₂ O
Sinter	56,25	9,01	5,98	0,98	2,11	9,31	2,18	0,02	0,03	0,05
Pelet	62,21	7,50	3,44	1,25	1,67	1,58	1,18	0,01	0,02	0,01
Parça Cevher	58,93	8,10	3,36	1,46	1,22	0,52	0,18	0,07	0,06	0,02

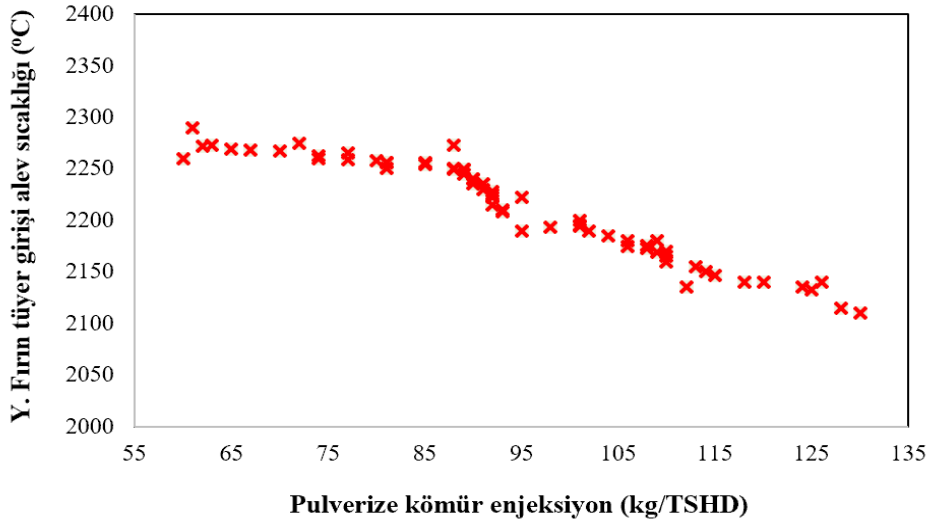
Test çalışmaları PCI kömürü kullanılmadan önce ve kullanıldıktan sonra; yüksek fırına üflenen hava sıcaklığı ve yüksek fırın verimliliği açısından incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada, düşük koklaşma özelliğine sahip bitümlü kömürler, yüksek fırına kömür enjeksiyonu için kullanılmıştır. Yüksek fırın gaz geçirgenliği ve tüyer alev sıcaklığında meydana gelen değişimlerin yüksek fırın prosesinde oluşturduğu değişimler grafikler ile anlatılmıştır. Sıcaklık ölçümleri termokupol ile yapılmış olup, değerler sistem üzerinden günlük ortalama alınarak takip edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Boyutu küçültülmüş PCI'nun yüksek fırın kalitesi üzerindeki etkileri; sistemin yüksek fırınlarda kullanımı esnasında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Yüksek fırın işleminin çok kompleks bir faaliyet olması ve işlemin her aşamasının birebir yansıtılmasının çok zor olması nedeniyle test çalışmalarından elde edilen sonuçları formüle etmek yerine, sürecin etkileri ve eğilimleri ortaya konmuştur. Bu çalışmadan elde edilen veriler yüksek fırının proses özelliklerine, hammaddelerin kalitesine, mevcut teknik sistemlere ve üretim stratejisine göre değişim gösterebilir. Bununla birlikte, genel eğilimler ve etkiler açısından yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar dünyadaki yüksek fırınlardan elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

4.1 PCI Kömür Kullanımının Fırın Tüyer Alev Sıcaklığı Üzerine Etkisi

Yüksek fırınlarda gerçekleştirilen testlerde kullanılan PCI ile tüyer alev sıcaklığı arasındaki ilişki Şekil 4'de görülmektedir. Bu aşamada, Pulverize kömür enjeksiyonunun sadece alev sıcaklığına etkisinin araştırılması amaçlandığı için, diğer proses değişkenleri (hava sıcaklığı, oksijen miktarı, nem, şarj edilen hammadde miktarları) sabit tutulmuş ve PCI miktarı belli oranlarda arttırılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi, PCI kömür kullanımı ton sıvı ham demir başına (TSHD) 60 kg'dan 130 kg'a kadar arttırıldığı zaman tüyer alev sıcaklığı 2250 °C'den 2150 °C'ye düşmüştür.



Şekil 4. PCI kömür kullanım oranı ile tüyer girişi alev sıcaklığı değişimi

Tüyer alev sıcaklığındaki bu düşüş, erime kapasitesinde bir azalma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu da metalurjik kömür kullanımını düşürmeyi hedefleyen PCI uygulaması mantığına terstir. Yüksek fırın ile çelik üretimde tüyer alev sıcaklığının sabit ve optimal bir değerde olması arzu edilir. Tüyer alev sıcaklığının değişkenlik göstermesi, yumuşama-erime bölgesinin (yapışkan bölge) bozulmasına ve yüksek fırın prosesinin kontrol edilememesine neden olur. Bu durum da fırın gövdesinde ısı yükünün artması, fırın içi ısı dengesinin bozulması, iş yükünün artması gibi bazı zorluklara neden olur (Li ve ark., 2013). Yukarıdaki açıklamalarda da anlaşılacağı üzere, ilave enerji kaynağı olarak proste PCI ile kömür kullanım oranı artırılırken, tüyer alev sıcaklığının kontrol edilmesi çok önemlidir. Bu açıdan PCI şarjı yüksek fırınlar için ideal alev sıcaklık aralığı 2100°C-2200°C arasında olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu değer, fırın işlem şartlarına ve fırın özelliklerine göre değişebilir.

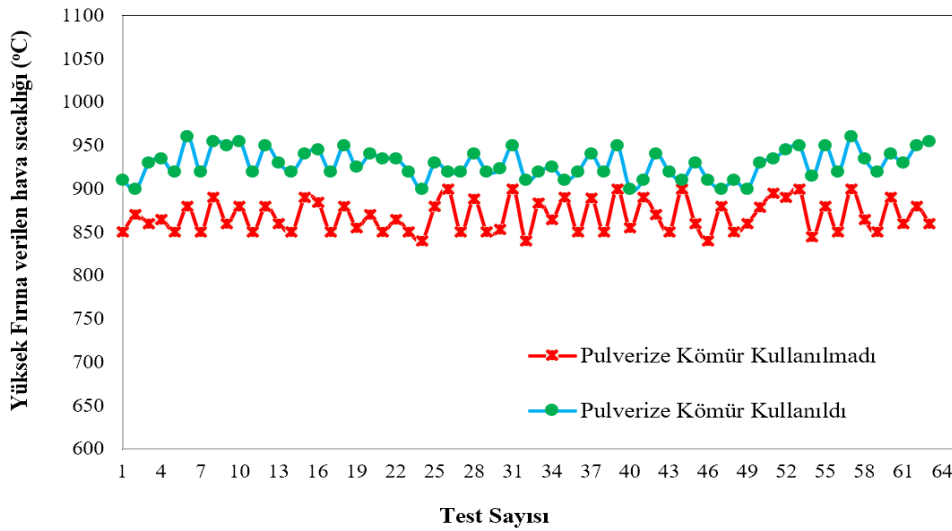
Toz haline getirilmiş kömür kullanımının alev sıcaklığını azaltma etkisinin bir avantaja dönüşmesi durumunda, kullanılan kok miktarı azalır, fırın üretimi artar, sıcak metalin kalitesi artar, işlem kolaylaşır ve maliyetlerde düşüş elde edilir. Toz haline getirilmiş kömür enjeksiyonunun alev sıcaklığını azaltması ancak aşağıdaki durumda avantaja dönüşür. Alev sıcaklığı düştüğünde kömür enjeksiyon miktarı azalır. Tüyer alev sıcaklığının azalmasını önlemek için, verilen oksijen oranı ve üflenen havanın sıcaklığı artırılır ve sıcak havanın nemi düşürülür. Böylece, kanaldaki oksijen yoğunluğu artar ve PCI kömürünün yanma aktivitesi yükselir. Kömürün kanal içindeki reaksiyonlarına göre oksijen miktarındaki artış daha fazla CO üretimi anlamına gelir (3) CO artışı da, demir cevheri (4) olarak kullanılan hematit (Fe_2O_3) miktarının daha hızlı azalması anlamına gelir (Wunning ve Wunning, 1997; Kakiuchi ve ark., 1994).



Kömür enjeksiyonunun yapılmaması halinde, indirgeyici gaz (CO) sadece kok kömürünün yanmasıyla sağlanır. Raceway'in ihtiyaç duyduğu yanma koşullarında, demirli malzemenin redüklenmesi için kullanılan CO'nin bir bölümü toz haline getirilmiş kömürün yanması sayesinde karşılanır ve bu sayede yüksek fırına enerji kaynağı olarak yüklenen kok oranı azalır (Kakiuchi ve ark., 1994).

4.2 PCI Kullanımı ile Fırın Atmosferinin Sıcaklık Değişimi

Yüksek Fırınlara Pulverize kömür enjeksiyonu yapılması halinde tüyerin alev sıcaklığında düşme gözlenir. Alev sıcaklığındaki düşme de yüksek fırın ergitme kapasitesinde azalmaya neden olur. Yüksek fırın tüyer alev sıcaklığının azalmasını önlemek için sıcak hava sıcaklığı yüksek tutularak fırın alev sıcaklığı kontrol edilmektedir. Fırın hava sıcaklığının yükseltilmesi kömürün yanma aktivitesini yükseltmekte ve metalurjik kok kömürünün soğutma özelliğini ortadan kaldırdığı için yakıtın yanma özelliği artmaktadır. Bu uygulamada Pulverize kömür kullanım miktarı artırılarak metalurjik kömür kullanım oranı düşürülebilir. PCI kullanımı ile yüksek fırına verilen havanın sıcaklığı Şekil 5'de görüldüğü gibi artmaktadır.



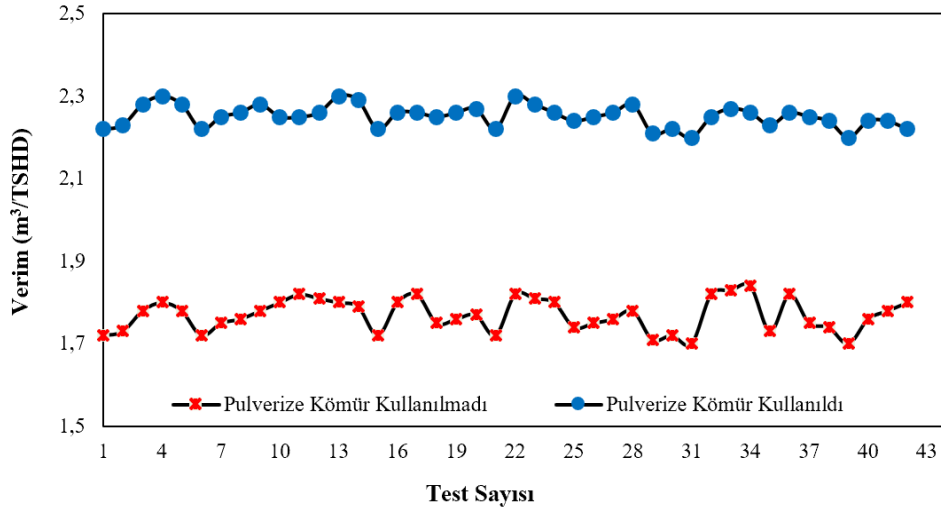
Şekil 5. Pulverize kömür kullanımı ve kullanılmaması durumunda yüksek fırına verilen hava sıcaklığı değişimi

Kömürün sağlayacağı enerji, kok'dan daha düşük enerjiye sahip olan enjeksiyon kömürü tarafından sağlanmaktadır. Kömür enjeksiyonunun miktarı artarken, fırın sıcaklık potansiyelinde değişiklikler gözlenmiş ve bu değişiklikler göz önünde bulundurularak proses değişkenleri ayarlanmıştır. PCI enjeksiyonunun miktarı artırılırken metalurjik kok kullanım oranını düşürmek için, enjekte edilen PCI kömürünün yüksek fırın prosesi üzerindeki etkisi gözlenmiştir. PCI işlemi; fırın işletme koşullarını bozmadan fırın sıcaklığını arttırıcı bir etkiye sahip olduğundan, enjeksiyon miktarı arttırılırken kok oranı azaltılır (Lundgren ve ark., 2012; Yongning, 1995).

4.3 PCI Kullanımına Bağlı Fırın Verimliliği Değişimi

Pulverize kömür enjeksiyon miktarındaki artışla birlikte alev sıcaklığı azalır. Alev sıcaklığındaki bu azalma, yüksek fırına verilen havanın oksijen ve sıcaklığını arttırmaya, hava nemini düşürmeye, aynı zamanda metalurjik kok oranını azaltmaya ve yüksek fırın verimliliğini arttırmaya yönelik bir avantaj sağlar. Yüksek fırın alev sıcaklığı sabit tutulmaya çalışılmalı ve değişkenlik göstermesine izin verilmemelidir. Yüksek fırınların üretim performansını belirleyen önemli parametrelerden biri de yüksek fırın verimliliğidir. Yüksek fırın verimliliği, fırının kullanılan birim

iç hacmine karşılık gelen sıvı ham demir üretim miktarıdır ($m^3/TSHD$). Verimliliği artırmanın en temel kuralı yüksek fırına giren oksijen miktarının artırılmasıdır. Bu nedenle fırınlarda PCI uygulaması aynı zamanda oksijeni de zenginleştirdiğinden, fırın içi hava sıcaklığının artırılmasının en uygun yolu olarak görülmektedir. PCI kullanımıyla, kömürün yanması sonucu oluşan indirgeyici gaz miktarındaki artışla beraber daha fazla cevher eritme fırsatı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca PCI uygulamasında, oksijenin zenginleştirilmesinin sağlanması ile yüksek fırının kullanılan iç hacminin artması ve bunun sonucu olarak üretim kapasitesinin de artması sağlanmaktadır. Pulverize kömür enjeksiyon miktarındaki artış ile fırın verimliliğinde ortaya çıkan artış Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Pulverize kömür kullanımı ve kullanılmaması durumunda yüksek fırın verimliliği değişimi

4.4 PCI Enjeksiyonunun Fırın Geçirgenlik Üzerine Etkisi

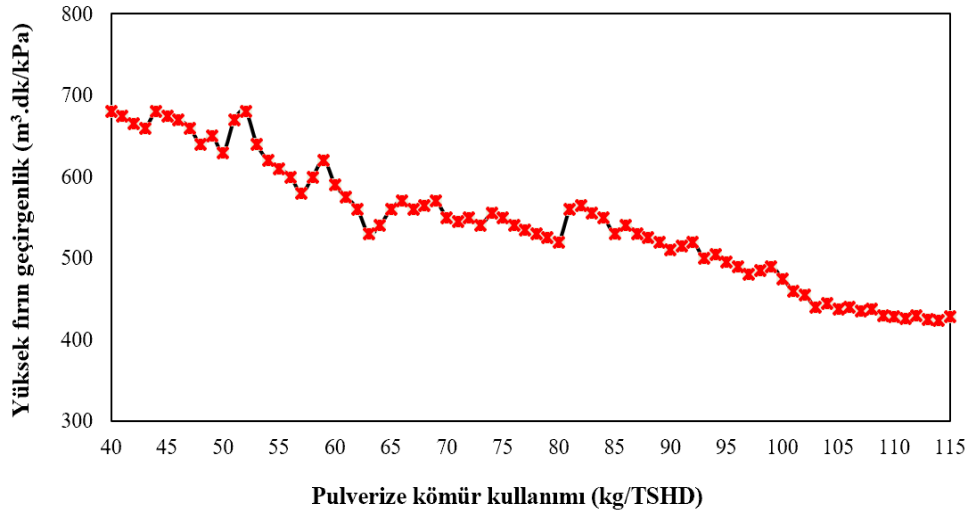
Pulverize kömür enjeksiyonu yüksek fırınlarda; kok kullanım oranını düşürmek, süreç takibini kolaylaştırmak, üretim performansını artırmak ve enerji maliyetini azaltmak amacı ile uygulanan ilave bir yakıt besleme prosesidir. Tüm proses parametreleri sabit tutularak PCI kullanım miktarı 40 kg/TSHD değerinden başlayarak düzenli olarak 115 kg/TSHD seviyesine kadar artırılmış ve bu değişimin proses parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Yüksek fırınlarda geçirgenlik aşağıdaki formül ile takip edilmektedir.

$$\text{Geçirgenlik} = V / (\Delta P \times 100) \quad (5)$$

Formülden de anlaşılacağı üzere, birim fark basınçta fırına girebilen hava miktarının artması durumunda geçirgenlik artmaktadır (Furtun, 2013).

PCI'nun verimli olarak kullanılabilmesi için; yanma sistematığı iyi kontrol edilmeli, ihtiyaç duyulan işletme şartları sağlanmalı ve yüksek fırın işletmesine olan yan etkiler azaltılarak iyi bir besleme sistematığı oluşturulmalıdır. Yüksek Fırının PCI ile çalışmasında karşılaşılan en büyük problem, gaz geçirgenliğinin bozulmasıdır. Tüyerde yeteri kadar yanmayan Pulverize kömür partikülleri fırın içinde gaz akışını azaltarak gazın geçirgenliğini düşürür ve fırın geçirgenliğine olumsuz yönde etki yapar. PCI uygulamasının başarılı olabilmesi için gaz geçirgenliğini artıracak tedbirlerin de alınması gerekmektedir.



Şekil 7. Pulverize kömür kullanımının yüksek fırın gaz geçirgenliği üzerine etkisi

Tüm proses değişkenleri sabit tutularak PC miktarının 40 kg/TSHD seviyesinden başlayarak 115 kg/TSHD seviyesine kadar artırılması halinde, yüksek fırın geçirgenliğinde meydana gelen değişim Şekil 7’de görülmektedir. Yüksek Fırına, hammadde ve çalışma parametrelerini olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde PC kullanım miktarı 115 kg/TSHD olarak belirlenmiştir ve bu seviyede kullanım ile fırın proses parametreleri kabul edilebilir seviyede olmuştur. Yüksek fırınlarda PC kullanım miktarını etkileyen birçok parametre vardır. Genel olarak, kömür enjeksiyon miktarının artışı ile fırın iç basıncında yükselme ve fırın gaz geçirgenliğinde azalma gözlenir. Ancak, fırın geçirgenliği ile PC kullanımı arasında diğer parametrelere bakmadan bir bağlantı kurmak zordur. PC şarj miktarını belirlerken genelde; metalurjik kömür katman kalınlığı, enjekte edilecek kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, sinter şarj oranı, döküm alım süresi, CO’in CO₂’e dönüşme oranı, fırın tepe basıncı, kül miktarı gibi parametreler etkili olmaktadır. Bu değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde olmaması halinde fırın geçirgenliği azalmakta ve dolayısı ile PC kullanımını düşürmek gerekmektedir (Ishii ve ark., 2017; Ahmed, 2018; Yakeya ve ark., 2020). Bu durumda PC kullanımı azaltılarak veya tamamen kesilerek fırın normal rejime girene kadar geleneksel metalurjik kömür (on-coal) ile çalıştırılır. Sistem normal çalışma rejimine ulaştığında kademeli olarak PC kullanımını artırılır.

5. SONUÇ

PCI uygulamasının amacı, geleneksel olarak kullanılan metalurjik kok miktarını azaltmak ve bunun yerine daha az maliyetli toz haline getirilmiş PC kullanımını arttırmaktır. Yüksek fırınlarda PC kullanım oranı yükseltilirken işletme kalite parametrelerini etkilemeyecek şekilde en az metalurjik kok kullanımı yoluna gidilmelidir. Yüksek fırında yapılan çalışmalar sonucunda, mevcut çalışma koşullarında yüksek fırın kalite parametrelerini bozmadan kullanılacak PC miktarının 115 kg/TSHD olduğu görülmüştür. PC kullanım oranı fırın proses parametreleri ve PC’ın kimyasal ve fiziksel özellikleri irdelenerek tespit edilmiştir. PC kömürünün kül oranının, kükürt (S), fosfor (P) değerlerinin yüksek olması, yanma özelliğinin iyi olmaması, fırın basıncının yükselmesi, kok katmanlarının geçirgenliğinin ve süzme kapasitesinin düşmesi fırın geçirgenliğini azaltan unsurlardır. Bu problemler, yüksek fırında malzeme dağılımının kontrolü, ham madde özelliklerinin iyileştirilmesi ve kömürün yanma verimliliğinin artırılmasıyla aşılabilir. Yüksek fırınlarda PCI beslemesi yapılırken fırın tüyer önü alev sıcaklığının 2150-2250 °C aralığında olmasına dikkat edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmed, H., New trends in the application of carbon-bearing materials in blast furnace iron-making. *Minerals*, 8(12), 561, 2018.
- Babich, A., Application of Reducing Agents. In: Proceedings of the 4th International Vdeh-Seminar Ironmaking. Germany, Cologne, 288-302, 2017.
- Babich, A., Senk, D, Coke in the iron and steel industry. In: New Trends in Coal Conversion. Woodhead Publishing, 367-404, 2019.
- Biswas, A.K., Principles of Blast Furnace Ironmaking, Cootha Publishing House, Brisbane, Australia, 53-66, 1981.
- Chaigneau, R., Vander, T., Wise, J. Modern Blast Furnace Ironmaking: An Introduction (2009); Second Edition, Ios Press: The Netherlands, 182-186, 2009, Amsterdam.
- Du, S. W., Pulverised coal injection into blast furnace: a practical study of an integrated iron and steel works, Doctoral dissertation, University of Newcastle, 2015.
- Furtun, F., Pulverize kömür enjeksiyonunun yüksek fırın prosesine etkileri ve Kardemir 4. Yüksek fırın uygulaması, Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- Geerdes, M., Chaigneau, R., Kurunov, I., Modern Blast Furnace Ironmaking: An Introduction (2015); Ios Press: The Netherlands, 102-105, 2015, Amsterdam.
- İnt.Ky.1. <https://tr.steelorbis.com/celik-fiyatları/celik-istatistikleri/> (Erişim Tarihi: 03.07.2020).
- Isao, O., I. Morimasa, Tetsu-To-Hagane 90(9), 2-10, 2004.
- Ishii, K., “Advanced Pulverized Coal Injection Technology and Blast Furnace Operation”, Research Group of Pulverized Coal Combustion in Blast Furnace, Ironmaking 54th Committee, Japan Society for the Promotion of Science and Technical Division of High-Temperature Processes, 208-210, 2000, Japan.
- Ishii, J., Murai, R., Sumi, I., Yong xiang, Y., Boom, R., “Gas permeability in cohesive zone in the ironmaking blast furnace”. *ISIJ international*, 2017, 57(9), 1531-1536.
- Kakiuchi, K., S. Matsunaga, A. Sakamoto, H. Matsuoka, H. Ueno And K. Yamaguchi: *Camp-ISIJ*, 7, 126, 1994.
- Li, J., Biagini, E., Yang, W., Tognotti, L., Blasiak, W., “Flame Characteristics of Pulverized Torrefied-Biomass Combusted with High-Temperature Air,” *Combustion and Flame*, Vol. 160, No. 11, 2585–2594, 2013.
- Lundgren, M., Okvist, L. S., Hyllander, G., Jansson, B., & Bjorkman, B., High temperature coke characteristics in the blast furnace: evaluation of coke properties in the raceway area. In *International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking: 10-13 June 2012, MEFOS*, Vol. 2, pp. 157-168.
- Maki, A., Sakai, A., Takagaki, N., Mori, K., Ariyama, T., Sato, M. and Murai, R., High rate coal injection of 218 kg/t at Fukuyama No. 4 blast furnace, *ISIJ International*, vol. 36, 650-657, 1996.
- Peacey, J. G., Davenport, W. G., *The iron blast furnace: theory and practice*. Elsevier, 114-118, 2016.
- Peters, K. H., Peters, M., Korthas, B., Mulheims, K., Kreibich, K., Limits of Coal Injection. In *IISC. The Sixth International Iron and Steel Congress*, Vol. 2, Pp. 492-499, October 1990.
- Poos, A., Ponghis, N., Potentials and Problems of High Coal Injection Rates. In *Ironmaking Conference Proceedings*, Vol. 49, Pp. 443-453, Mart 1990.
- Schoppa, R. K., Contours of Revolutionary Change in a Chinese County, 1900-1950. *The Journal of Asian Studies*, 770-796, 1992.
- Suzuki, T., L.D. Smoot, T.H. Fletcher, P.J. Smith, *Combustion Science and Technology*, 88-92, 1986.

- Wozek, J., Zuke, A., “An Integrated Approach To Coal Quality And Its Impact On Primary Operations At Inland Steel Company,” In Ironmaking Conference Proceedings., Vol. 49, 1990, pp.235–242.
- Wunning, J. A., Wunning J. G., “Flameless Oxidation to Reduce Thermal No-Formation,” Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 23, Pp. 81–94, 1997.
- Yan, B. H., Cao, C. X., Cheng, Y., Jin, Y and Cheng, Y., Experimental investigation on coal devolatilization at high temperatures with different heating rates, Fuel, vol. 117, 1215-22, 2014.
- Yeh, C. P. Du, S. W., Tsai, C. H. and Yang, R. J., Numerical analysis of flow and combustion behavior in tuyere and raceway of blast furnace Fueled with pulverized coal and recycled top gas”, Energy, vol. 42, p. 233-240, 2012.
- Yongning, F., Blast Furnace Coke, pp. 56-58, 1995.
- Yakeya, M., Kasai, A., Tadai, R. Nozawa, K. “Gas Permeability Improvement Mechanism at the Blast Furnace Cohesive Zone by Mixed Coke Charging in Ore Layer and Effect of Coke Mixing for Different Cohesive Zone Condition on Gas Permeability”. ISIJ International, 60(7), 1438-1444, 2020.