

Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Manyetit Konsantresi Peletleme İşlemlerinde Bağlayıcı Olarak Kullanılması

Selçuk KARATAŞ¹, Emrah ÇELİK², Mustafa BOYRAZLI^{3*}, Elif Arancı ÖZTÜRK⁴, Gökhan DOĞANTEPE⁵, Canan Aksu CANBAY⁶

^{1, 2, 3} Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/Türkiye

⁴ Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Makine Metal Teknolojileri Bölümü, Balıkesir/Türkiye

⁵ Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ, Karabük /Türkiye

⁶ Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119, Elazığ/Türkiye

¹ skaratas@firat.edu.tr, ² emrahcelik@firat.edu.tr, ³ mboyrazli@firat.edu.tr, ⁴ elif.ozturk@balikesir.edu.tr

⁵ gokhandogantepe@hotmail.com, ⁶ caksu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19/08/2022;

Kabul/Accepted: 12/09/2022)

Öz: Demir cevherlerinden pik demir üretimi için yaygın olarak kullanılan fırın yüksek fırınlardır. Yüksek fırınlarda pik demir üretimi için; tenörünün uygun olması durumunda parça cevher, pelet, sinter gibi hammaddelerin yanı sıra cüruf yapıcılar ve redükleyiciler kullanılmaktadır. Pelet oluştururken en önemli malzemelerden biri toz malzemelerin bir araya gelip topaklanmasını sağlayan bağlayıcılardır. Bu çalışmada, granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) bağlayıcı olarak kullanılması durumunda pelet mukavemeti ve pelet porozitesi üzerine olan etkisi incelenmiştir. Manyetit konsantresine %0.5, %1, %2, %4 ve %8 oranlarında GYFC ilave edilmiş ve bu karışımlar 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C ve 1280 °C sıcaklıklarda 1 saat pişirilmiştir. Pişirilen peletlerin mukavemet değerlerinde en uygun sonuca 1280 °C sıcaklıkta işlem gören peletlerde ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Pik demir üretimi, granüle yüksek fırın cürufu, pelet bağlayıcı, yüksek fırın, mukavemet, porozite.

Use of Granulated Blast Furnace Slag as Binder in Magnetite Concentrate Pelletizing Processes

Abstract: Blast furnaces are widely used for producing pig iron from iron ores. For pig iron production in blast furnaces; If the grade is sufficient, slag makers and reducers are used as well as raw materials such as lump ore, pellets, and sinter. One of the most important materials when forming pellets is the binders that allow the powder materials to come together and become agglomerated. This study investigated the effect of granulated blast furnace slag (GBFS) on pellet strength and porosity when it is used as binder. 0.5%, 1%, 2%, 4%, and 8% GBFS were added to the magnetite concentrate in order to form pellets, and these pellets were fired at 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C and 1280 °C for 1 hour. After the pellets were fired, the most suitable result with regard to the strength values was obtained at 1280 °C.

Key words: Pig iron production, granulated blast furnace slag, pellet binder, blast furnace, strength, porosity.

1. Giriş

Geleneksel metotla pik demir üretimi, cevher, pelet, sinter gibi demir oksitli malzemelerin, bir redükleyici ve ısı kaynağı olarak kullanılan kok ve cüruf yapıcı (flaks) ile birlikte yüksek fırınlara beslenmesi ile yapılır [1,2].

Demir cevheri konsantrelerinin peletleme işlemlerinde kullanılan bağlayıcı malzemelerde dikkate alınan husus, yüksek kalitede ve düşük maliyette pelet üretilebilmesi olup, aynı zamanda minimum kirletici özelliği olan ve minimum proses güçlüğü ile çalışılabilen özellikte olmalarıdır. Bu amaçla konsantrelerin peletlenmesinde yaygın olarak kullanılan bağlayıcı türü bentonit olmakla birlikte, bununla rekabet edebilecek hem organik hem de inorganik birçok bağlayıcı türü bulunmaktadır [3-6].

Yüksek fırında kullanılacak peletlerin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi için pelet numuneleri bazı testlerden geçirilir. Bu testlerden önemlileri, ham pelet mukavemet testleri, ürün pelet basma dayanımı, ürün pelet gözeneklilik testi, yük altında indirgenme testi, şişme indeksi testi vb. sayılabilir [6,7].

Standartlara göre, ham pelet basma dayanımları 1 kg/pelet'ten fazla olması gerekir. Ürün pelet basma dayanımının en az 250 kg/pelet olması, pelet gözenekliliğinin ise %20-35 arasında olması istenir[8].

Bu çalışmada, granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC)), bağlayıcı olarak kullanılması durumunda pelet mukavemeti ve pelet porozitesi üzerine olan etkisi incelenmiştir.

* Sorumlu yazar: mboyrazli@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8693-2487, ² 0000-0001-7443-0351, ³ 0000-0002-2340-6703, ⁴ 0000-0001-8362-7332, ⁵ 0000-0001-5456-0589, ⁶ 0000-0002-5151-4576

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Materyal-Metot

Deneylerde, cevher olarak Sivas Divriği Pelet Tesisi manyetit konsantresi ve bağlayıcı olarak Karabük Demir Çelik'den temin edilen granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Cüruf ve manyetit konsantresinin kimyasal bileşimleri aşağıdaki Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Karabük Demir Çelik'den temin edilen cüruf analizi.

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	Fe	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	KBAZ	BBAZ
38.79	27.43	13.93	11.06	2.62	0.93	0.43	1.31	0.45	2.88	0.707141	0.730083

Tablo 2. Sivas Divriği Pelet Tesisleri'nden temin edilen manyetit konsantresi kimyasal bileşimi.

Bileşen	%	Bileşen	%
Fe	68.03	K ₂ O	0.084
Fe ₃ O ₄	90	Na ₂ O	0.046
SiO ₂	1.66	Mn	0.06
CaO	0.55	P	0.022
Al ₂ O ₃	0.41	TiO ₂	0.059
MgO	0.03		

Deneylerde kullanılan cüruf, bilyeli öğütücüde 30 dakika öğütülüp 63 mikronluk elekten geçirilmiş ve elek altı cüruf tozları etüvde 105 °C' de 4 saat kurutulmuşlardır(Şekil 1 (a) ve (b)). Manyetit konsantresi ile %0.5, 1, 2, 4, 8 oranlarında kurutulmuş cüruf tozları 5 dakika boyunca bir mikser yardımıyla homojen bir şekilde karıştırılarak peletlenecek malzeme hazır hale getirilmiştir. Bu malzeme, laboratuvar ölçekli yatayla 45°'lik açı yapan kendi eksenini etrafındaki dönüş hızı değiştirilebilen küresel pelet tamburuna beslenmiş ve üzerine karışımın %10-15'i olacak şekilde su püskürtülerek pelet yapma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Pelet yapma işlemine 25 devir/dakika hızı ile başlanmış ve bu hızda ilk çekirdekler oluşturulup belirli bir boyuta geldikten sonra (2-3 mm çap) devir hızı 33 dev/dak'e çıkarılarak peletlerin büyümesi sağlanmıştır. Peletler 11-13 mm boyutlarına ulaştığında pelet tamburundan alınarak etüvde 150 °C'de sıcaklıkta 2 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonucu etüvden alınan numuneler 1600 °C sıcaklığa kadar çıkabilen bir kül tipi fırında pişirme (sinterleme) işlemine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 1. (a)Granüle yüksek fırın cürufu b)Granüle yüksek fırın cürufunun -63 µm boyutuna öğütülmüş hali.



Şekil 2. Peletleme Cihazı.

Çapları ölçülen peletler şamot potalar içerisine konularak kül fırına yerleştirilmişlerdir. Kül fırın, 10 dakikada 400 °C'ye çıkacak, 400 °C'de 10 dakika bekleyecek, sonra 15 dakikada 800 °C'ye çıkacak, 800 °C'de 10 dakika bekleyecek daha sonra 15 dakikada istenilen sıcaklığa çıkacak ve bu sıcaklıkta 60 dakika bekleyip soğumaya geçecek şekilde programlanmıştır. Peletlerin pişirilme sıcaklıkları 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C ve 1280 °C olarak seçilmiştir. Fırın, oda sıcaklığına soğutulup peletler fırından çıkarıldıktan sonra mukavemetlerine ve porozitelerine bakılmıştır. Peletler üzerinde; kuru mukavemet, pişmiş pelet mukavemeti ve porozite testleri standartlara uygun bir şekilde yapılmış olup, tüm testler en az 10 pelet üzerinde tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Pişirme sonrası pelet mukavemet değerleri literatürde önerilen 150-300 kg/pelet, porozite ise %22-30 değerlerine göre yorumlanmıştır. Yaş pelet düşme testleri 4-5 pelet üzerinden yapılmıştır. Yaş pelet düşme sayıları, ham peletlerin 45 cm'den çelik bir plaka üzerine kırılıncaya kadar tekrar tekrar düşürülerek hesaplanmıştır. Hem kurutulmuş hem de pişirilmiş peletlerin mukavemetleri Şekil 3'te görülen mukavemet test cihazında yapılmıştır. Poroziteler suda kaynatma tekniği uygulanarak, Archimedes prensibine göre 5 pelet üzerinde yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Peletlerin gözeneklilikleri Ocak 1985 tarihli TS 4380 standardına göre suda kaynatma metodu uygulanarak

yapılmıştır. Pişirilmiş peletlerden 5 adet alınıp kuru olarak tartımları yapıldıktan sonra içinde 100ml. saf su olan behere konularak, bir hot plate üzerinde kaynayıncaya kadar ısıtılmıştır. Kaynama başladıktan 20 dakika sonra hot plate üzerinden alınan su dolu beherler oda sıcaklığında soğutulup içinden alınan peletlerin yüzeyindeki ıslaklık giderildikten sonra tartılarak yaş ağırlıkları kayıt edilmiştir. Suyun içinde askıda tartılarak ağırlıkları belirlenen peletlerin aşağıdaki (1) nolu denkleme göre gözeneklilik değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Gözeneklilik (\%)} = \frac{W-D}{W-S} * 100 \quad (1)$$

Semboller;

W = Peletlerin Yaş Ağırlıkları

D = Peletlerin Kuru Ağırlıkları

S = Peletlerin Askıdaki Ağırlıkları



Şekil 3. Pelet mukavemet ölçüm cihazı.

2.2. Deneysel Sonuçlar

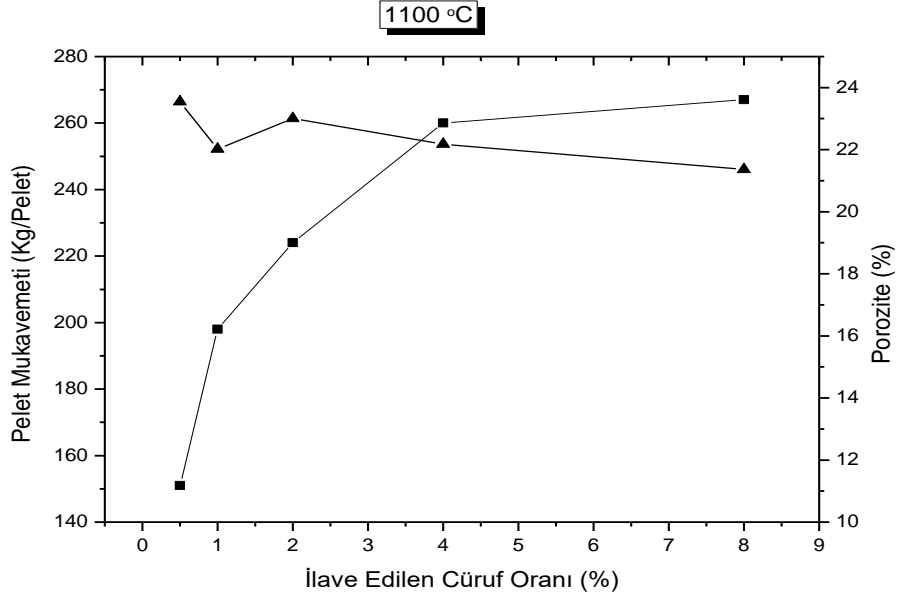
Yüksek fırın cürufu (YFC), demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta alınan yüksek fırın cürufunun (YFC) tahliye edilmesinden sonra uygulanacak soğutma yöntemi, oluşacak ürünün özelliklerini ve kullanım yerini belirler.

YFC atmosferik koşullarda yavaş soğutulduğunda mineralojik olarak iri kristalli bir malzeme oluşur, bazalta benzer mekanik özellikleri vardır. Hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda cüruf elde edilip, granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) olarak adlandırılırlar. YFC kontrollü miktarda su, basınçlı hava ve buhar etkisiyle soğutulduğu takdirde gözenekli yapıda, iri kristal taneli bir daha hafif bir malzeme oluşur.

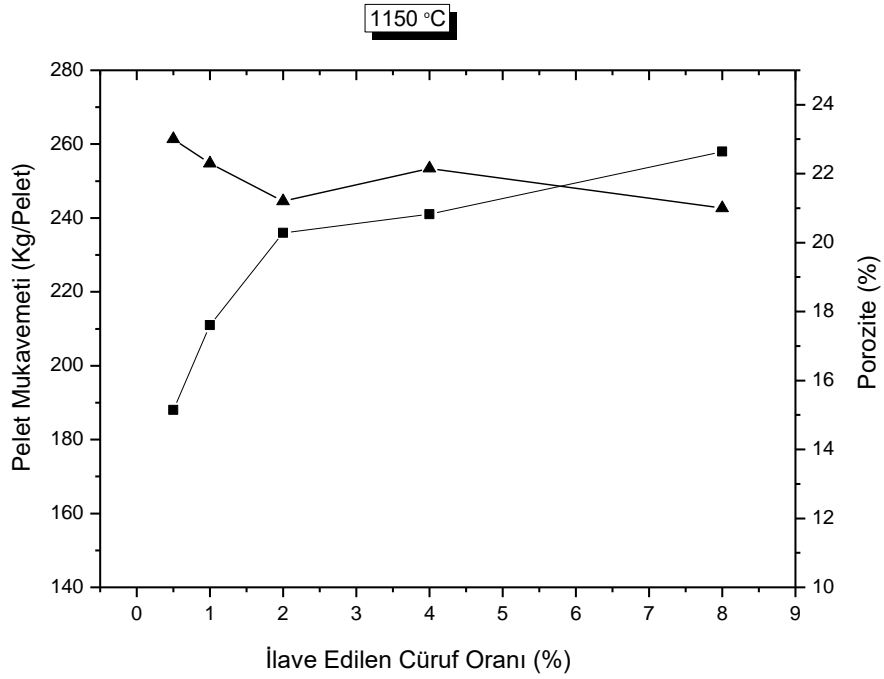
Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan GYFC -45µm tane boyutundaki manyetit konsantresine %0.5, %1, %2, %4 ve %8 oranlarında ilave edilmiştir. Peletler oluşturulup yaş düşme sayısına bakıldığında bağlayıcının artış oranına bağlı olarak 2-14 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek yaş düşme sayısı %8 GYFC ilave edilen peletlerde 14 olarak elde edilmiştir. Yaş peletler etüvde kurutulduktan sonra mukavemet değerlerine bakıldığında yine bağlayıcı oranının artışına bağlı olarak 0.5 kg ile 3 kg arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Manyetit konsantresine % 0.5, %1, %2, %4 ve % 8 oranlarında GYFC ilave edilerek 1100 °C ve 1150 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri Şekil 4'te ve Şekil 5'te verilmektedir.

1200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda GYFC içinde bulunan bileşenlerin birçoğu katı formda bulunur, manyetit tanecikleri oksitleyici atmosferde bu sıcaklıklarda hematite dönüşecektir. Manyetit hematit dönüşümü ekzotermik bir reaksiyon olup ortamın sıcaklığını artırır. Ancak bu sıcaklık halen bağlayıcı bünyesinde bulunan bileşenlerin ergimesi ve cüruf bağlarını tam olarak oluşturması için yeterli değildir. Bu durum Şekil 4 ve Şekil 5'te görülen düşük mukavemet değerlerinin nedenini açıklamaktadır.

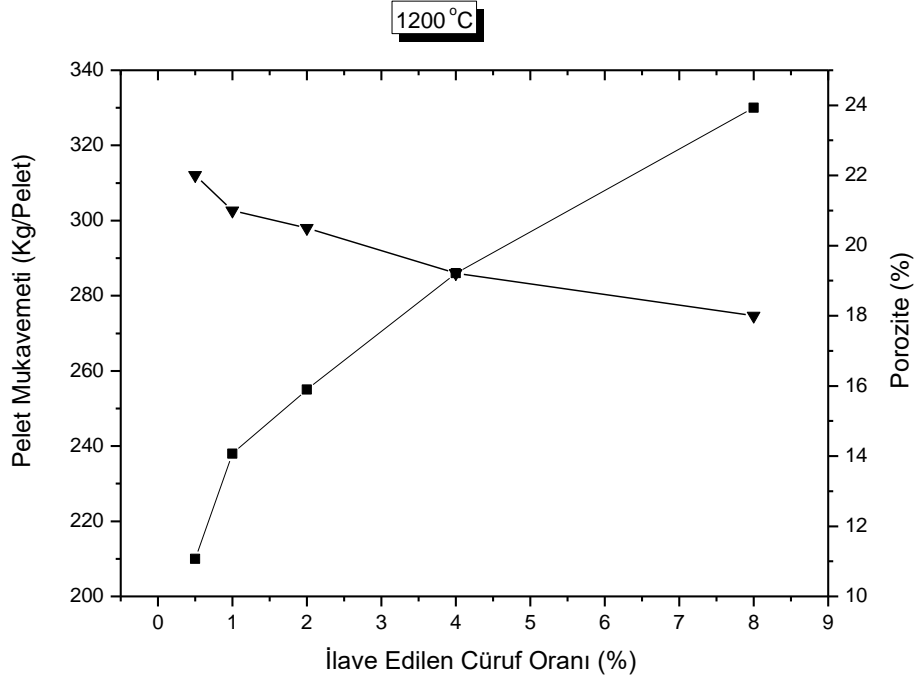


Şekil 4. Farklı oranlarda GYFC ilave edilerek 1100 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri.

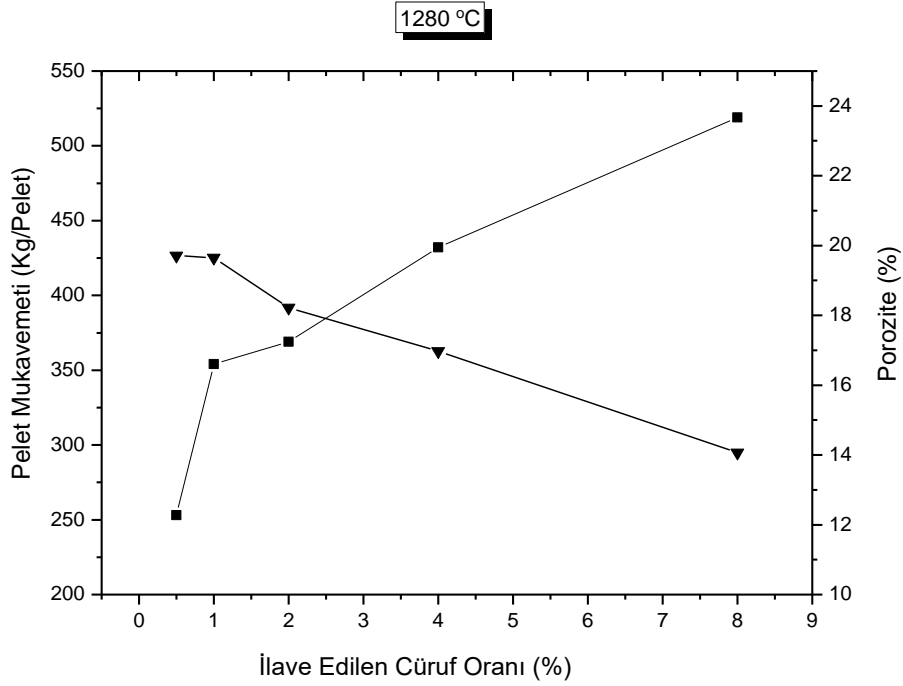


Şekil 5. Farklı oranlarda GYFC ilave edilerek 1150 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri.

Manyetit konsantresine yine aynı oranlarda GYFC ilave edilerek 1200 °C ve 1280 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri Şekil 6'da ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Farklı oranlarda GYFC ilave edilerek 1200 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri.



Şekil 7. Farklı oranlarda GYFC ilave edilerek 1280 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri.

1200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda silikatların, kalsiyum oksit, FeO ve diğer gang minerallerinin varlığında cevher taneciklerinin arasında ergimiş halde bulunan cüruf köprüleri oluşur ve bunlar soğuma sonrası cevher

tanelerini tutarlar. CaO ve Fe₂O₃ arasında oluşan silikat bağı köprüleri yeniden kristalleşme köprülerine göre daha zayıftır. Pişirme sırasında yeterli hava yoksa manyetit kristallerinin rekristalizasyonu oluşacaktır. Kalsiyum oksitin cüruf ergiyik miktarını arttırması dolayısıyla sinterlenmiş pelet mukavemetinde yüksek değerler elde edilirken, pelet gözenekliliğinin ise mukavemetle ters orantılı olarak %14.07'e kadar düştüğü görülmüştür. Oluşan cüruf bağlarının gözeneklerin oluşumunu engellediği ve hatta oluşan gözeneklerin kapanmasına neden olduğu söylenebilir. Pelet mukavemetinin 500 kg/pelet değerinin üzerine çıkması da bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Bu safhadan sonra, bağlayıcı-konsantre harmanı içerisine farklı oranlarda puzzolanik malzeme ya da karbon ilave edilerek bu mukavemet değeri fazla bir değişikliğe uğramadan, porozitede artış sağlanabilir. Yapılan bu çalışma yüksek fırın cüruflarının yine yüksek fırınlara beslenecek bir malzeme olan peletin oluşturulmasında Na-bentonit yerine bağlayıcı olarak kullanılması ve ekonomik bir kazanç sağlaması açısından önemlidir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) bağlayıcı olarak kullanılması durumunda pelet mukavemeti ve pelet porozitesi üzerine olan etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda, manyetit konsantresine %0.5, %1, %2, %4 ve %8 oranlarında GYFC ilave edilerek 1100 °C ve 1150 °C, 1200 °C ve 1280 °C sıcaklıkta 1 saat pişirilen peletlerin mukavemet ve porozite değerleri incelenmiştir.

1200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bağlayıcı bünyesinde bulunan bileşenlerin ergimesi ve cüruf bağlarını tam olarak oluşturması için yeterli olmadığından mukavemet değerleri standartların (250 kg/pelet) altında kalmıştır. 1200 °C ve 1280 °C sıcaklıklarda yapılan pişirme işlemi sonucu mukavemet değerlerinde 500 kg/pelet'den daha yüksek değerler elde edildiği görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak bu sıcaklıklarda pişirilen peletlerin bünyesinde bulunan silikatların, kalsiyum oksit, FeO ve diğer gang minerallerinin varlığında cevher taneciklerinin arasında ergimiş halde bulunan cüruf köprülerini oluşturduğu, bu cüruf bağlarının soğuma sonrası cevher taneciklerinin kendi aralarındaki mikro-nano gözenekleri de kapatarak birbirlerine yapıştıkları söylenebilir.

Bu çalışma yüksek fırında kullanılan peletlerin oluşturulmasında bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlere alternatif bir bağlayıcı geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Yüksek fırın cüruflarının yine yüksek fırınlara beslenecek bir malzeme olan peletin oluşturulmasında Na-bentonit yerine bağlayıcı olarak kullanılabilmesi entegre tesislerimiz için bir tasarruf sağlayacağı söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Boyrazlı M., Öztürk E.A., Benkli Y.E., Çizmecioglu Z., 2015 "Soğukta Sertleşen Pelet Üretiminde Pelet Mukavemetine Na-Bentonit ve Organik Bağlayıcıların Etkilerinin Karşılaştırılması" Metal Dünyası Dergisi Sayı: 262 / Nisan 2015
- [2] Öztürk E.A., Bostancı B., Başgöz Ö., Boyrazlı M., Benkli Y. E., Çizmecioglu Z., 2017, Manyetit Konsantrelerinin Peletlenmesi İşlemlerinde Bağlayıcı Olarak Kemik Tozunun Kullanılması, Metalurji Dergisi, TMMOB, Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Yayın Organı, sayı 183, Mart, 2017, pp:24-27, ISSN:1300-4824
- [3] Davis C.G., McFarlin J.F., and Pratt H.R., (1982), "Direct Reduction Technology and Economics" Ironmaking and Steelmaking, 9 (3): 93-129
- [4] Sarıdede M.N., (1998), "Döner Fırında Sünger Demir Üretimi" Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Benkli, Y.E., Boyrazlı M., Artır R., Çizmecioglu Z., 2012, "Soğuk Bağlı Kompozit Demir Peletlerde Farklı Bağlayıcıların Basma Dayanımı Üzerine Etkilerinin Araştırılması" Teknolojik Araştırmalar, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 9, No: 2, 2012 (15-26)
- [6] Eisele T.C., and Kawatra S.K. (2003), "A Review of Binders in Iron ore Pelletization" Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 24:1-90, 2003.
- [7] Habashi F., (1997), "Handbook of Extractive Metallurgy" Volume I, VCH Verlagsgesellschaft mbH-A, Wiley Company D-69451 Weinheim, Federal Republic of Germany, 35-60
- [8]. ASTM E 279-97, (2005), "Standard Test Method for Determination of Abrasion Resistance of Iron Ore Pellets and Sinter by the Tumbler Test" American Society for Testing and Materials Standards, U.S.A.