

**YÜKSEK FIRIN BACA TOZUNUN GERİ
DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

FURKAN ÖZKAN

YÜKSEK FIRIN BACA TOZUNUN GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ

FURKAN ÖZKAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

2019

Furkan ÖZKAN tarafından hazırlanan “YÜKSEK FIRIN BACA TOZUNUN GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/06/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fikret KABAKCI (BEÜN)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK (KBÜ)

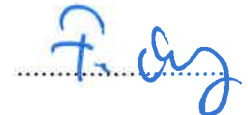


...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Furkan ÖZKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK FIRIN BACA TOZUNUN GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ

Furkan ÖZKAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK

Haziran 2019, 73 sayfa

Bu tez çalışmasında, entegre demir çelik tesisleri katı atıklarından olan yüksek fırın baca tozuyla ile haddehane tufalinin geri dönüşümü incelenmiştir. Yüksek fırın baca tozu ve haddehane tufali belirli oranlarda harmanlanarak peletlenmiş ve bu peletlerden demir tanesi elde edilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda yüksek fırın baca tozunu sinter harmanına karıştırılarak yüksek fırın baca tozunun geri kazanımı araştırılmıştır. Fakat yüksek fırın baca tozunun içerdiği alkali elementlerin yüksek fırın prosesinde verim kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı yüksek fırın baca tozunun düşük bir kısmı sinter harmanında kullanılmakta geri kalan kısmı ise düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır. Bu atık tozlar yıllar içerisinde çevresel sorunların yanı sıra depolamadan kaynaklı alan ve maliyet sorunlarına da yol açmaktadır. Bu çalışmada demir içerikli, entegre demir çelik tesisi katı atıklarından olan baca tozu ve haddehane tufali karışımlarından kompozit pellet eldesi ve bu peletlerden demir tanesi elde ederek bu atıkların geri kazanımı hedeflenmiştir. Ayrıca elde edilecek demir tanelerinin, elektrik ark ocaklarına ve çelik konvertörlerine beslenerek hurda yerine kullanılabilirliği

araştırılmıştır. Bu alışmada, Kardemir A.ř. yüksek fırın baca tozunun haddehane tufali ile harmanlanmasıyla farklı oranlarda konsantreler hazırlanmıştır. Curuf yapıcı olarak saf kalsit, redükleyici eleman olarak Kardemir kok fabrikalarından temin ettiğimiz kok kömürü, bağlayıcı olarak NaCMC kullanılmıştır. Peletleme işlemi Fırat niversitesindeki paydaşlarımız tarafından laboratuvarlarında bulunan pelet tanburu kullanılarak yapılmıştır. Kurutma işleminin sonrasında fiziksel özelliklerin tayini için porozite ve basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak farklı sıcaklıklarda redüklenme testleri uygulanacak ve bu deneyler sonrasında redüklenme derecesinin tayini için XRD ve SEM cihazlarından faydalanılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Entegre demir elik fabrikaları demirli katı atıklar, yüksek fırın baca tozları ve çamurları, redüklenebilirlik.

Bilim Kodu : 915.1.081

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF RECYCLING OF BLAST FURNACE DUST

Furkan ÖZKAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering Education

Thesis Advisor:

Assoc. Dr. Engin ÇEVİK

June 2019, 73 pages

In this study, blast furnace flue dust which is one of the solid wastes of integrated iron and steel plants and recycling of rolling mill scale are investigated. The blast furnace flue dust and rolling mill scales were pelleted by blending in certain proportions and the availability of iron from these pellets was investigated. In these studies, the recovery of blast furnace flue dust was investigated by mixing blast furnace flue dust to sinter blend. However, it has been observed that alkali elements contained in blast furnace flue dust cause loss of yield in blast furnace process. Therefore, a small amount of blast furnace flue dust is used in the sinter blend and the rest is stored in landfills. Over the years, these waste dusts cause environmental problems as well as sourced from the storage area and cost problems. In this study, it is aimed to obtain composite pellets from flue dust and rolling mill scale mixtures, which are iron-containing, integrated iron and steel plant solid wastes, and to recover these wastes by obtaining iron pellets from these pellets. In addition, the iron grains to be obtained were fed to electric arc furnaces and steel converters and their usability instead of scrap was

investigated. In this study, Kardemir A.Ş. blending of blast furnace flue dust with rolling mill scale concentrates were prepared in different ratios. Pure calcite was used as slag builder, coke coal obtained from Kardemir coke factories and NaCMC was used as binder. Pelletizing process was performed by our colleagues at Firat University using the pellet drum found in their laboratories. After drying, porosity and compression tests were performed to determine physical properties. Finally, reduction tests will be applied at different temperatures and after these experiments, XRD and SEM devices are used to determine the degree of reduction.

Key Word : Ferrous wastes from integrated iron and steelmaking, blast furnace flue dust and sludge, reducibility.

Science Code : 915.1.081

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam, Dr. Öğr. Üyesi Engin evik'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam sırasında zorlandığım anlarda bana zaman ayırıp bilgi birikimlerini benimle paylaşan Yük.Müh. Sait ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam boyunca engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakârlıktan kaçınmayarak bana destek olan zorlandığım zamanlarda desteğini esirgemeyen sevgili eşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu alıőma KBÜ-BAP-17-YL-269 no'lu proje kapsamında Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
ÜLKEMİZ DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN GENEL DURUMU.....	4
BÖLÜM 3	7
ENTEĞRE DEMİR ÇELİK TESİS KATI ATIKLARI.....	7
3.1. CURUF.....	7
3.2. BACA TOZU	10
3.3. SINTER TOZSUZLAŞTIRMA TOZLARI (ESP TOZLARI)	14
3.4. BOF ÇAMURU TOZU	15
3.5. TUFAL	17
3.5.1. Haddehane Tufali.....	20
BÖLÜM 4	25
KOMPOZİT PELETLER	25
4.1. SOĞUK BAĞLI KOMPOZİT PELETLER.....	25
BÖLÜM 5	28
DOĞRUDAN REDÜKLENMİŞ DEMİR	28
5.1. DOĞRUDAN REDÜKLENMİŞ DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ	30

	<u>Sayfa</u>
5.1.1. Gaz Redükleyici Kullanılan Yöntemler.....	30
5.1.2. Katı Redükleyici Kullanılan Yöntemler	33
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
6.1. MATERYAL VE METOD	40
6.1.1. Değirmen	40
6.1.2. Elek	41
6.1.3. Etüv	41
6.1.4. Peletleme Cihazı	41
6.1.5. Fırın	42
6.1.6. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	42
6.1.7. XRD analizi	43
6.1.8. Basma Test Cihazı	43
6.2. DENEYLERİN YAPILIŞI	44
6.2.1. Peletlerin Hazırlanması.....	44
6.2.2. Porozite	45
6.2.3. Basma ve Yaş Pelet Düşme Sayısı Testleri	46
6.2.4. Redüklenme Derecesinin Hesaplanması.....	46
6.2.5. XRD Analizleri	46
6.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri.....	46
BÖLÜM 7	47
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	47
7.1. HAMMADDE GİRDİLERİNİN XRF ve XRD İNCELEMELERİ.....	47
7.1.1. Haddehane Tufali.....	47
7.1.2. Yüksek Fırın Baca Tozu	47
7.1.3 Kalsit.....	48
7.1.4. Kömür Analizi	49
7.2. PELETLEME DAVRANIŞI	50
7.3. POROZITE.....	51
7.4. BASMA DAYANIMI	52

	<u>Sayfa</u>
7.5. REDÜKLENEBİLİRLİK	53
7.5. SEM.....	58
7.6. XRD ANALIZI	63
BÖLÜM 8	68
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye çelik üretim tesisleri ve yerleri [2].....	4
Şekil 3.1. Sıcaklık ve sürenin tufalleşmeye etkisi [15].	17
Şekil 3.2. Fırın atmosferinde gazların tufalleşmeye etkisi [15].	18
Şekil 3.3. Tufal yapısı.....	20
Şekil 3.4. Sıcaklık değişimiyle tufaldeki FeO, Fe ₃ O ₄ ve Fe ₂ O ₃ değişimi.	21
Şekil 4.1. %10 jöle, %10 kok tozu ve farklı oranlarda Ca(OH) ₂ 'in manyetit konsantresi karıştırılarak üretilen kompozit peletlerin, 200°C sıcaklıkta 60, 120 ve 180 dakika kurutulmaları sonucunda basma dayanımlarındaki değişim [22].	27
Şekil 5.1. Midrex proses akım şeması [31].	31
Şekil 5.2. HyL-III prosesi akım şeması [29].	33
Şekil 5.3. Fastmet prosesi akım şeması [34].	34
Şekil 5.4. SL/RN prosesi akım şeması [38].....	35
Şekil 5.5. Döner fırın reaksiyonları.	36
Şekil 5.6. Çeşitli DRI üretim yöntemlerinin çalışma sıcaklığı [33].	37
Şekil 5.7. ITmk3 prosesinin akım şeması [32].	39
Şekil 6.1. Deneilerde kullanılan halkalı değirmen.	40
Şekil 6.2. Deneilerde kullanılan titreşimli eleme makinası.	41
Şekil 6.3. Etüv.	41
Şekil 6.4. Peletleme cihazı.	42
Şekil 6.5. Redüksiyon deneylerinde kullanılan fırın.	42
Şekil 6.6. Taramalı elektron mikroskobu.	43
Şekil 6.7. XRD cihazı.....	43
Şekil 6.8. Basma cihazı.	44
Şekil 7.1. Kalsit cevherinin tane boyut analizi.	48
Şekil 7.2. Kalsit cevheri XRD analizi.	49
Şekil 7.3. Elde edilen peletler.....	50
Şekil 7.4. YF. baca tozu kullanımına bağlı porozitenin değişimi.	51

Şekil 7.5. Yüksek fırın baca tozu kullanım oranına bağlı basma mukavemeti.	52
Şekil 7.6. Karışım oranlarına bağlı yaş pelet düşme sayıları.	53
Şekil 7.7. 1400°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.	54
Şekil 7.8. 1300°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.	55
Şekil 7.9. 1200°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.	56
Şekil 7.10. Farklı sıcaklıkta redüklenen peletlerin redüklenme dereceleri.	57
Şekil 7.11. a) 1400°C’, b) 1300°C ve c) 1200°C ‘de 30 dk redüklenen A harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.	58
Şekil 7.12. 1400°C de 30 dk redüklenmiş a) A harmanı, b) C harmanı ve c) E harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.	59
Şekil 7.13. 1200°C de 30 dk redüklenmiş a) A harmanı, b) C harmanı ve c) E harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.	59
Şekil 7.13. A harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C ’de redüklenen peletlerin mikrofotografı ve EDS analizleri.	60
Şekil 7.14. C harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C ’de redüklenen peletlerin mikrofotografı ve EDS analizleri.	61
Şekil 7.15. E harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C’de redüklenen peletlerin mikrofotografı ve EDS analizleri.	62
Şekil 7.16. A harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.	63
Şekil 7.17. B harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.	64
Şekil 7.18. C harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.	65
Şekil 7.19. D harmanından 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.	66
Şekil 7.20. E harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Yüksek Fırın ve B.O.F. cüruf analizleri [5].	8
Çizelge 3.2. Yüksek fırın tozu/çamuru kimyasal analizi.	11
Çizelge 3.3. Değişik ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri [13].	13
Çizelge 3.4. B.O.F' dan yayılan tozların bileşiminin ağırlıkça %' si [5].	16
Çizelge 3.5. Değişik ülkelerde ortaya çıkan BOF toz ve çamurunun bileşimi(%) [8].	16
Çizelge 3.6. Çelik yarı ürünlerin tufalleşme davranışları [18].	23
Çizelge 3.7. Çelik cinslerinin ve fırın atmosferine göre, tufal oluşum mekanizmaları [18].	24
Çizelge 5.1. SL/RN yönteminde elde edilen DRI bileşimi [35].	37
Çizelge 6.1. Harmanları oluşturan hammaddelerin oranları.	45
Çizelge 7.1. Haddehane tufali kimyasal bileşimi.	47
Çizelge 7.2. Yüksek fırın baca tozu kimyasal bileşimi.	47
Çizelge 7.3. Kalsit cevheri XRF analizi.	49
Çizelge 7.4. Kok kömürü analizi.	49
Çizelge 7.5. Kok külü analizi (%).	50
Çizelge 7.6. Elde edilen porozite değerleri.	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al_2O_3	: alumina
$^{\circ}C$: santigrat
cm	: santimetre
C	: karbon
CO	: karbon monoksit
CO ₂	: karbon dioksit
CaO	: kalsiyum oksit
dak.	: dakika
Fe	: demir
Fe ₂ O ₃	: hematit
Fe ₃ O ₄	: manyetit
FeO	: vüstit
H ₂ O	: su
kg	: kilogram
Mn	: manganez
MgO	: magnezyum oksit
Na	: sodyum
K	: potasyum
O	: oksijen
Pb	: kurşun
SiO ₂	: kuvars
Zn	: çinko

KISALTMALAR

BOF : Bazik Oksijen Fırını (Konverter)

DRI : Direkt Redüklenmiş Demir

EAO : Elektrik Ark Ocağı

RHF : Rotary Heart Furnace (Döner Hazneli Fırın-Döner Dairesel Fırın)

Rd (%) : Redüklenme Derecesi

YF : Yüksek Fırın

YFBT : Yüksek Fırın Baca Tozu

HBI : Sıcak Briketlenmiş Demir



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir doğada başta Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2\text{FeO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Siderit (FeCO_3) olmak üzere doğada mineraller halinde bulunmaktadır. Bu mineraller günlük hayatta kullanılabilme için bir takım işlemlere gereksinim duyarlar. Bu gereksinimler sonucunda yüksek fırın prosesleri ortaya çıkmıştır. Yüksek fırın proseslerinin gelişmesi ve çeliğe duyulan gereksinimin artmasıyla üretilen demir çelik miktarı yıldan yıla artmıştır. Üretimin artmasının yanında demir çelik fabrikalarından kaynaklanan atıkların yönetimi ise önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmıştır. Üretime bağlı olarak atık miktarındaki artış, çevresel sorunlar, atıkların depolanma ve bertaraf maliyetlerinin artması bu sorunlara örnek olarak gösterilebilir.

Günümüzde demir çelik üretimi esnasında ton çelik başına 400 kg.'ı aşan çeşitli katı atıklar ortaya çıkmaktadır. Bunların % 70 ile % 80'i curuf formundadır. Geriye kalan kısmını ise tozlar, çamurlar ve tufaller oluşturmaktadır. Curuf haricindeki demir oksit içerikli katı atıklar; hadde ve çelikhane tufali, bazik oksijen fırını baca tozu ve çamuru, yüksek fırın baca tozu ve çamuru, muhtelif tozsuzlaştırma ve elektro filtre tozlarıdır. Ülkemiz entegre demir çelik tesislerinin milyonlarca ton üretimi göz önüne alındığında oluşan atıkların değerlendirilmesi, hem depolama ve çevre problemleri açısından, hem de değer ihtiva eden metallerin geri kazanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Yüksek Fırın baca tozları ve çamurları, entegre demir çelik tesislerinde ortaya çıkan demir oksit içerikli atıkların başında gelmektedir. Yüksek fırın baca tozu ve çamuru, ton sıvı ham demir başına 10- 20 kg arasında değişebilen miktarlarda üretim sırasında ortaya çıkmaktadır. Geleneksel olarak yüksek fırın baca tozları ve çamurları, yüksek fırınlara hammadde hazırlayan sinter prosesinde sinterlik harmana belli bir oranda karıştırılarak değerlendirilmekte ya da

depolanmaktadır. Bu atıklar yapılarında ortalama % 30-50 demir oksit ve % 15-47 karbon içermelerine rağmen, yüksek fırınlara bilinen zararları (refrakteri aşındırması, skaffold oluşumu, geçirgenlikte azalma, tüyer yanmalarının hızlanması, yakıt miktarında artma, üretim kaybı vb.) ve içerisinde alkali, çinko ve kurşun gibi empürüteleri de yüksek miktarlarda içermesi nedeniyle sinter üretiminde değerlendirilmesi oldukça düşük düzeydedir. Alkalilerin ve çinkonun sinterin bünyesinde kalarak tekrar yüksek fırınlara girmesine ve yüksek fırınlar prosesinin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Bu olumsuzluklar, yüksek fırın baca tozlarının ve çamurlarının sinterde geri dönüşümüne zaman zaman mani olmakta ve bu durumda depolama problemini zaman içinde ortaya çıkarmaktadır. Baca tozunda yüksek alkali ve çinko olması, sinter demir cevheri harmanında kullanım miktarını sınırlayan en önemli faktördür. Yüksek fırın işletmesinde yüksek alkali içerikli hammaddelerin kullanılması, yüksek fırınların çalışma rejimini bozmakta ve yüksek fırın içinde skaffold oluşumuna neden olarak yüksek fırın çalışma hacmini azaltmaktadır. Bu olumsuzlukların meydana gelmesiyle birlikte sıvı ham demir üretim maliyetini belirleyen ana unsur olan yakıt tüketimi artmaktadır. Yüksek fırınlar girdi malzemesinde alkalinin ton pik başına 1 kg artması, yüksek fırınlar metalurjik kok tüketimini 15 kg artırmaktadır [1]. Yüksek fırın baca tozunun sinterde kullanımı bu açıdan bakıldığında yüksek fırınlarda girdi malzemenin empürite içeriğinin artmasına yol açmaktadır.

Gün geçtikçe demir çelik sektörüne olan talebin artmasına karşın yüksek tenorlu cevherlerin azalması üreticileri yeni arayışlar içerisine sevk etmiştir. Bu arayışlar neticesinde düşük tenorlu cevherlerin, entegre tesislerin oksitli katı atıklarının değerlendirilebileceği sünger demir prosesleri ortaya çıkmıştır. Sünger demir üretim prosesleri, atık tozların, düşük tenörlü demir cevherlerin ve oksitli katı atıların değerlendirilmesinde artık ticari olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu atıkların tekrar yüksek fırınlarda kullanılamaması ülkemiz demir çelik sektörünün %75 ini oluşturan ark ocaklı tesislerde kullanılabilirliği üzerinde yapılacak olan çalışmaları akla getirmektedir. Bu bağlamda entegre demir tesisleri atıklarının doğrudan redüklenmiş demir (DRI) olarak değerlendirilebilirliği ön plana çıkmaktadır.

Çelik üretiminin %75'ni ark ocaklı tesislerde gerçekleştiren ülkemizde hurda

ithalatındaki zorluklar, hurdanın son çelik kalitesine olan etkisi düşünüldüğünde doğrudan redüklenmiş demir üretimi daha da önem arz etmektedir. Sonuç olarak 1990'lı yıllardan sonra ark ocaklı tesislerle yakalanan çelik üretimindeki ivme maalesef Türkiye'nin çelik üretimini dışa bağımlılığa sürüklemiştir. Bu sorunun DRI üretimiyle aşılabilmesi yönündeki çalışmalara hız kazandırılmalıdır.

DRI denildiğinde ise akla ilk gelen kompozit peletler olmaktadır. Bu prosesler için hazırlanan peletlerin geleneksel peletler kadar mukavemet sağlamasına gerek olmaması sebebiyle inorganik bağlayıcılara göre çok daha düşük safsızlık içeren organik bağlayıcılarla hazırlanması yönünde çalışmalar hız kazanmıştır. Kompozit peletlerden istenilen basma dayanımı ve porozite gibi fiziksel özelliklerin yanında redüklenebilirlik üzerinde yapılan çalışmaların zenginleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; atık madde olan yüksek fırın baca tozunu ve haddehane tufalini dolaylı olarak tekrar yüksek fırınlara vermek yerine direk BOF'a, EAO'na veya döner hazneli bir fırına beslenebilecek bir yarı hammaddeye dönüştürebilmek, sonuç olarak buna katkı sağlayacak bir araştırma sunmaktır. Yüksek fırın baca tozunun ve haddehane tufalinin alternatif bir değerlendirme alanı olan sünger demir üretiminde kullanılabilirliğinin araştırmasını yapmaktır.

Bu çalışmanın iki aşamada yürütülmesi planlanmıştır. İlk olarak haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu, katı redükleyici ve curuf yapıcılar kullanılarak direkt redüklenebilecek soğuk bağlı pelet üretimi hedeflenmektedir. Ardından, üretilen soğuk bağlı peletler belirlenen sıcaklıklarda ve sürelerde redüklenerek sonuçları incelenecektir. Soğuk bağlı pelet üretiminde yüksek fırın baca tozu kullanım miktarlarının soğuk bağlı peletin basma dayanımına etkileri ve optimum kullanım aralığı araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

ÜLKEMİZ DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN GENEL DURUMU

Ülkemizde demir çelik üretimi ilk defa 1928 yılında, savunma sanayisinin çelik ihtiyacını karşılamak amacıyla, şu anda MKEK olarak bilinen tesiste, Kırıkkale’de başlamıştır. Türkiye’ nin ilk entegre demir çelik tesisi olan Karabük Demir Çelik Fabrikaları (Kardemir), 1937 yılında işletmeye açılmıştır. Türkiye’nin yassı ürün talebini karşılamak için, ikinci entegre tesisi olan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (Erdemir), 1965 yılında üretime başlamıştır. 1977 yılında, uzun ürün ve yarı mamul talebini karşılayabilmek amacıyla, Türkiye’ nin üçüncü entegre tesisi, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İsdemir) işletmeye açılmıştır. Şekil 2.1’de Türkiye çelik üretim tesisleri ve yerleri gösterilmektedir [2].



Şekil 2.1. Türkiye çelik üretim tesisleri ve yerleri [2].

Demir çelik sektörü ülke ekonomisi ve sanayileşmesinde lokomotif sektör olma özelliğine sahiptir. Demir çelik sektörünü başta inşaat malzemeleri olmak üzere otomotiv, gemi, uçak, demiryolu, makina imalatı vb. gibi birçok sektörde yakından ilgilendirmektedir. Ülkemizdeki toplam ham çelik üretiminin yaklaşık 3/4'ü elektrikli ark ocaklı tesislerde, 1/4'ü ise entegre tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir [2]. Sektörün ağırlıklı bir şekilde ark ocaklı tesislere yönelmesi, ark ocaklı tesis yatırımlarının entegre tesis yatırımlarına kıyasla çok daha küçük ölçekte finansman gerektirmesinden ve Türkiye'de entegre tesislerde kullanıma uygun tenörlü demir cevheri yataklarının az olmasından kaynaklanmıştır. Demir-çelik ana sanayindeki olumlu gelişmeler demir-çelik eşya ve malzeme sektörünün de gelişmesinde etkili olmuştur. Bugün demir-çelik eşya sektöründe faaliyet gösteren yaklaşık 31 bin işyerinde 150 bin kişi istihdam edilmektedir. Demir-çelik eşya sektöründe döküm ürünleri önemli bir yer tutmaktadır. Türk döküm sektörünün gerek Avrupa'da, gerekse Dünya'da önemli bir yeri vardır. Üretim yapan 1.200 döküm atölyesinin büyük çoğunluğu küçük ve orta ölçekli işletmeler olup, bu işletmeler çevrelerinin taleplerine cevap vermektedirler. Sayıları 50 civarında olan büyük ölçekli işletmeler ise, Türkiye'deki otomotiv, beyaz eşya ve makine sanayicilerine parça üretmenin yanında, yurt dışı firmalara doğrudan satış da yapmaktadır. Altyapı sorunlarını çözmüş gelişmiş ülkelerde demir-çelik sanayinin nisbi öneminin azaldığı, buna karşılık gelişmekte olan ülkelerde özellikle yüksek vasıflı demir-çelik tüketiminin hızla arttığı görülmektedir.

2011 yılında % 17'lik büyüme ile 34,1 milyon tona düzeyine ulaşan ham çelik üretimimiz, 2012 yılında % 5'lik bir artışla 35,9 milyon tona seviyesine ulaşmış, 2013 yılında ise %2,8 azalarak 26,2 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. 2013 dönemindeki söz konusu düşüşte ark ocaklı kuruluşların rekabet güçlerinin gerilemesi, İsdemir grevi, enerji kesintileri ve küresel piyasalardaki daralma etkili olmuştur. Diğer taraftan, yassı ürünler (slab) üretimi % 5,3 oranında düşüş göstermiştir. 2014 yılında 34 milyon ton ham çelik üreten sektörümüz 2015 yılında ülkemiz üretiminde %7,4'lık bir azalma gerçekleşerek 31,52 milyon ton ham çelik üretimi yapılmış ve dünya sıralamasında ise Brezilyanın ardından 9. Sırada gelmektedir [2].

Bugün demir-çelik sektöründe üretim, yüksek fırına dayalı üretim yapan entegre tesisler ve elektrik ark ocaklı tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. Hurda

fiyatlarındaki dalgalanmaların ve entegre tesislerin hammaddesi olan cevher fiyatlarındaki dramatik düşüş sonucu hurda ile cevher fiyatları arasındaki makasın açılmasının etkisi ile elektrik ark ocaklı tesislerin ham çelik üretimi 2015 yılında %13,8 düşüşle 20.48 milyon tona gerilerken, entegre tesislerin ham çelik üretimi %7,3 artışla 11.03 milyon tona ulaşmıştır. 2015 yılında yüzde 7,4 gibi ciddi oranda düşüş gösteren Türkiye'nin ham çelik üretim kapasitesi 50 milyon ton civarında bulunmaktadır. 2015 yılında % 70 seviyesinde bulunan dünya çelik sektöründeki kapasite kullanım oranına rağmen ülkemiz kapasite kullanım oranı %63 seviyesindedir. 1980 sonrasında, uzun ürünleri girdi olarak kullanan inşaat sektörüne yönelik teşvikler ile uzun ürünlerde iç tüketimin çok üstünde bir kapasite oluşmuş, yassı ürün kapasitesi dünya ölçeklerinin gerisinde kalmıştır. Gelişmiş demir çelik üreticisi ülkelerde toplam çelik üretiminde yassı ürün oranı % 60, uzun ürün oranı % 40 civarındadır. Ancak, son yıllarda özellikle İsdemir bünyesinde yassı çelik üretimine yönelik yatırımların artması ile sektördeki yassı ürün açığının azalarak demir çelik sektöründeki yapısal bozukluğun düzelme yolunda ilerlediği görülmektedir. 2008 yılında gerçekleşen kapasite artırımları ve yeni yatırımlarla toplam ham çelik üretimi içerisinde yassı ürün oranı bir önceki yıl % 14 iken, 2008 yılında % 28'e yükselmiş, uzun ürün oranı ise % 84'ten % 70'e gerilemiştir. 2015 yılında demir çelik üretiminde yassı ürünün oranı ise % 26,3 olarak gerçekleşmiştir [2].

BÖLÜM 3

ENTEĞRE DEMİR ÇELİK TESİS KATI ATIKLARI

Entegre demir çelik tesislerinde cevher, kok vb.ham maddeler çeşitli üretim teknikleri ile işlenerek yarı mamül yada nihai mamül elde edilmektedir.Üretim esnasında veya daha sonrasında istenilen ürünün yanında yan ürünler veya atıklar oluşabilmektedir. Entegre demir çelik tesisinde;

- Curuf
- Baca tozu
- Sinter Tozsuzlaştırma Tozları
- BOF Çamuru Tozu
- Tufal

gibi başlıca katı atıklar ortaya çıkmaktadır.

3.1. CURUF

Curuflar, metallerin üretimi sırasında meydana gelen bünyesinde çeşitli metal oksitler, silikatlar, alüminatlar ya da boratlar gibi safsızlıklar barındıran yapılardır. Demir çelik tesislerinde oluşan curufların temel görevi kükürt, fosfor vb.safsızlıkları bünyesinde toplayarak sıvı metal içerisinden uzaklaştırmaktır. Curuflar bu özelliğinin yanı sıra, sıvı metalin yüzeyini kaplayarak sıvı metal ile bulunduğu ortam arasında bir bariyer oluşturur. Bu da sıvı metalin kirlenmesini engelleyerek ve termal bir örtü gibi davranarak sıvı metalin ısı kaybını önler. Aynı zamanda, ilave edilen katkıları sıvı metale iletir. Curufun kimyasal yapısı ve özellikleri, üretim yöntemine göre ve üretilmek istenilen çeliğin kimyasal bileşimine göre farklılıklar gösterebilir. Genel olarak curuflar bazı ortak özelliklere sahiptirler. Metalin üretiminde oluşan curufun, sıvı metale göre düşük ergime sıcaklığına ve daha düşük bir spesifik

yoğunluğa sahip olması beklenmektedir. Düşük ergime sıcaklığı sebebi ile yeterli akışkanlığa sahip olan curuf sıvı metalin yüzeyini kaplayarak sıvı metal üzerinde gerekli arayüzeyi oluşturur. Aynı zamanda curuf hacminin en düşük seviyede olması beklenmektedir. Çünkü curuf hacminin artması ile, üretim için gerekli ısı ve enerji tüketiminde artış meydana gelir. Böyle bir curufta metalin curufa kaçma riski artar. Bu durum ise üretimde kayıp yaşanmasına ve üretim veriminin düşmesine sebep olur [3]. Global çelik endüstrisinde üretilen her ton çelik başına 400kg'dan daha fazla katı atık ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu atıkların %70-80'i curuf formundadır. Günümüzde curufların geri kazanımı üzerine çalışmalar sürmekte curuflar büyük oranlarda çimento sanayinde değerlendirilmekte olup, bundan sonraki araştırmalar curufların özellikle yol ve inşaat yapılarında değerlendirilmeleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Metalurjik katı atıkların en önemli olanı curuf, çeşitli silikatlardan oluşan karmaşık yapıdadırlar. Kimyası ve morfolojisi, üretilen metale ve katılma prosesine bağlıdır. Cüruflar, demir (demir/çelik) ve demir dışı (bakır, kurşun/çinko) olarak kategorize edilirler [4]. Genellikle cüruflar eriyik metal ile karışmamaktadır. En önemli cüruf yapıcı katı maddeleri silis, dolomit, magnezit, kalker ve kalsiyum florür'dür. Cüruflar asidik ve bazik karakterde olup siyah kahverengi ve koyu yeşil renklerde bulunur. Renkler, kompozisyondaki demir oksitlerden meydana gelir. Özgül ağırlıkları metalin özgül ağırlığından daha azdır [5]. Entegre demir çelik üretiminde iki farklı karakterde curuf yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri Yüksek Fırın curufu diğeri ise Çelikhane Curufu (Bazik Oksijen Fırını Curufu)'dur. Çizelge 3.1'de Tipik Yüksek Fırın ve B.O.F. cüruf analizleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yüksek Fırın ve B.O.F. cüruf analizleri [5].

Curuf İçeriği	Yüksek Fırın Curufu	BOF Curufu
%SiO ₂	36,80	26,60
%Al ₂ O ₃	11,70	2,70
%Fe ₂ O ₃	3,40	10,50
%TiO ₂	0,50	-
%CaO	43,40	49,60
%MgO	2,50	3,70
%MnO	0,80	4,70
%K ₂ O+%Na ₂ O	0,60	-

Yüksek fırından çıktığında yaklaşık 1400-1600°C’de eriyik durumda bulunan cüruf havada yavaş soğutulmaya bırakıldığında gri, kristal yapılı, taş gibi bir malzeme haline dönüşmektedir [6]. Ergitici malzemeler (flux), metal filizi kalıntıları ve yakıt külünün birleşmesinden oluşan cüruf, ergimiş metalin üstünde yüzer halde bulunur ve zaman zaman boşaltılıp işlenir. Soğutma işlemine göre cüruflar;

- Havada soğutulmuş cüruf,
- Köpürtülmüş cüruf,
- Havada atomize edilmiş cüruf,
- Suda granüle edilmiş cüruf,
- Peletleştirilmiş cüruf elde edilir.

Yüksek fırından eriyik halinde çıkartılan cüruf soğutma hızına ve yöntemine bağlı olarak değişik karakteristik özellikler gösterir. Önce normal atmosferik koşullarda sonrasında su ile soğutulan cüruflara ‘‘havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu’’, su, basınçlı hava ve buharla soğutulanlar ‘‘granüle yüksek fırın cürufu’’ olarak adlandırılmaktadır [5]. Kontrollü miktarlarda su ile soğutularak içerisinde buhar hapis olması sağlanan cüruf genişletilmiş veya köpürtülmüş duruma getirilmekte ve bu tür cüruflar ponza taşları gibi hafif ve gözenekli yapıya sahip olmaktadır. Bol suda aniden soğutma işlemine tabi tutulan cüruflar ise granüle duruma getirilmekte ve bu tür cüruflarda camsı (amorf) yapı oluşturmaktadır. Silisli ve alüminyumlu yapıya sahip olan yüksek fırın cürufları granüle cüruf olarak amorf yapıya sahip şekilde üretildiklerinden bu malzemeler ince taneli duruma getirildiklerinde doğal puzolanlar veya uçucu kül gibi puzolanik özellik göstermektedirler. Yani kalsiyum hidroksit ve su ile bir araya getirildiklerinde hidrotasyon sonucu bağlayıcı özelliğe sahip CaO-SiO₂-H₂O jellerinin oluşmasını sağlamaktadırlar. Öğütülmüş durumdaki granüle yüksek fırın cürufları içerdikleri kireçten dolayı kendi başlarına bir miktar bağlayıcılık özelliğine sahip malzemelerdir [5].

Cürufun hidrolik bağlayıcılığı;

- Su verme sırasında oluşan camsı madde miktarına (soğutma hızı)
- Kimyasal bileşimine

- Mineral bileşimine
- Petrolojik yapısına veya camsı yapıli bileşeninini reaktivitesine
- Öğütölmüş cürufun inceliğine bağılıdır.

Yüksek fırın cürufları kireç, silis, alüminyum, demir, magnezit, mangan oksit ve kükürt gibi maddelerden oluşmaktadır. Bu maddelerin cüruf içindeki yüzdeleri kullanılan hammadde miktarına göre değışmektedir. Yüksek Fırın cürufları granüle edildikten sonra çimento fabrikalarına satılarak portlant çimento üretiminde kullanılmaktadır. Tarih boyunca, alan doldurma malzemesi olarak kullanılmış, fakat günümüzde çimento üretiminde ve uzun ömürlü kaldırım-parke malzemeleri üretiminde kullanılır. Ayrıca, dayanıklılığı nedeniyle demiryolu balastı oluşturmak için kullanılırken kayma direncinden ötürü ağır yük taşıyan asfalt yollar oluşturmak içinde yararlanır. Ayrıca cüruflar bünyelerinde demir oksit ve karbon gibi ekonomik değeri olan bileşikleri bulundurmaktadırlar. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda bu bileşiklerin demir çelik sektöründe geri kazanımını sağlamak için sinter harmanına karıştırılmıştır. Fakat kimyasal bileşiminde bulunan istenmeyen empüritelerin (K_2O , Na_2O , Zn, vb.) yüksek olması cürufların sinter prosesinde kullanımını sınırlandırmıştır. Metalurjik katı atıkların rastgele çevreye atılması veya belli bir yerde biriktirilmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu atıklar toksit etkili ağır metaller ve bileşikleri içermekte olup bunlar yağmur ve kar sularının da etkisi ile toparağa ve çevre sularına karışmakta, bitki örtüsünü, insan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir [7]. Bu sebeplere bağılı olarak atıkların ortaya çıkış hızlarında geridönüşümü sağlanamadığından dolayı; bu atıkların fabrika içlerinde depolanmaları boş alan sıkıntısından dolayı zorlaşmakta ve hatta güngeçtikçe fabrika içi depolama yerlerinden fabrika dışına başka alanlar taşınması, çevre kanunları baskılarından dolayı zorlaşmaktadır. Tüm bu taşıma maliyetleri de ayrıca işletmelerin omzuna ayrı bir mali yük getirmektedir.

3.2. BACA TOZU

Metalurjik yöntemlerde toz iki değışik mekanizmayla ortaya çıkmaktadır. İlk mekanizmada yüksek buhar basıncına sahip bileşenlerin buharlaşmasının ardından gaz sisteminde düşük sıcaklıklarda kondensasyonla toz ortaya çıkmaktadır ve bu tür toz

“kimyasal olarak ortaya çıkan toz” olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal olarak tozun ortaya çıkması yöntemin sıcaklığına, kondense olan fazın bileşimine, gaz bileşimine ve gazın soğuma hızına bağlıdır. İkinci mekanizmada, şarj malzemelerinin yöntem gazıyla taşınmasıyla toz ortaya çıkmaktadır ve bu tür toz “mekanik olarak ortaya çıkan toz” olarak adlandırılmaktadır. Mekanik olarak tozun ortaya çıkması şarj malzemelerinin tane boyutu dağılımına, şarj sistemine ve fırın dizaynına bağlıdır. Ortaya çıkan toz yararlı hammadde kaynaklarından demir oksitleri, kireci, silikatları ve karbon içermektedir. Yüksek fırın gazıyla fırını terk eden toz kısmen indirgenirken kısmen de oksitlenerek değişik türde bileşikler oluşturmaktadır. Yüksek fırın gazının kok fabrikasında kok kamaralarının ve sıcak haddehanede slab fırınlarının ısıtılmasında ve kuvvet santralinde enerji üretimi için kullanılabilmesi amacıyla tozundan arındırılması gerekmektedir. Genelde yüksek fırında bu amaçla iki tip gaz temizleme sistemi kullanılmaktadır [8].

- Torbalı filtrelerle kuru ayırıştırma ve ardından siklonla yağ ayırıştırma
- Elektrostatik toz tutucularla veya Venturi tipi ayırıştırıcının üstünde yüksek basınç uygulayarak yağ ayırıştırma dır. Yüksek fırın gazıyla taşınan tozun kuru yöntemlerle ayırıştırılmasından "Yüksek fırın tozu", yağ yöntemlerle arındırılmasından ise "Yüksek fırın çamuru" ortaya çıkmaktadır. İki sebepten dolayı demir çelik üretiminde ortaya çıkan tozların ve diğer atıkların geri dönüşümü bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu tozların yüksek miktarlarda demir oksit içermeleri çelik üretimi için değerli bir hammadde olmalarını sağlamaktadır. Sıkı çevre yasaları bu tozların atık sahalarından imhalarını daha pahalı hale getirmektedir. Çelik üretimin çeşitli adımlarında ortaya çıkan toz boyutundaki bu atıklar, demir içermelerinin yanında karbon ve çinko, kurşun ve hidrokarbonlar gibi ağır metalleri de içermektedir. Yüksek fırın tozu/çamuru kimyasal analizi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yüksek fırın tozu/çamuru kimyasal analizi.

Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	MnO	C	S
%48,5	%2,63	%7,96	%4,63	%0,92	%0,32	%0,39	%0,85	%0,83	%32,2	%0,41

Bu yapıların varlığından dolayı bu tozlara özel bir işlem yapılmaksızın proseste geri dönüşümleri ve atık sahalarından imhaları oldukça güç olmaktadır [9]. Çelik üretimi sırasında ton ürün başına 50-70 kg arasında yaklaşık demir içerikli tozlar ortaya çıkmaktadır [10]. Tozların içindeki zararlı yapıların uzaklaştırılması ve proseste geri dönüşümünün sağlanması ile ilgili hem teorik hem de pratik yaklaşımlar mevcuttur. Ayrıca bu atık tozların içerdiği olumlu ya da olumsuz içeriklerin yanında boyut fraksiyonlarının da toz boyutunda olması farklı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [11]. Bu açıdan en problemlili atık toz yüksek fırın ve oksijen konverter tozlarıdır. Avrupa Yüksek Fırınlarında göreceli olarak daha kaba boyutta olan toz tutucularda tutulan tozlar ile daha ince boyutta olan elektrostatik çökeltme sonucunda tutulan toz ve çamurların çıkış miktarları, ton sıcak metal başına 6-17 kg ve 3-5 kg arasında değişebilmektedir. Yine Avrupa'da çelikhane kaynaklı BOF tozları ise ton çelik başına 3-12 ve 9-15 kg gibi değişik oranlarda ortaya çıkmaktadır [11]. Yüksek fırın ve bazik oksijen fırın gazlarından tozlar iki adımda ayrıştırılır. Kaba fraksiyondaki tozlar toz tutucu siklonlarında ince fraksiyondaki tozlar ise elektrostatik filtrelerde veya sulu gaz temizleme sistemlerinde ayrıştırılmaktadır. Çinko, kurşun, klor, flor gibi yüksek uçuculu bileşenler, yüksek hidrokarbonlar ve siyanürler çoğunlukla siklona geçerler ve sulu gaz temizleme sistemlerinde veya elektrostatik filtrelerde gazdan ayrılırlar. Zararlı bileşiklerin az olduğu, ince boyutlu yüksek fırın tozları aynı zamanda yüksek miktarlarda bazı bileşikleri de içerirler. Bu zararlı bileşiklerin tozlardan ayrılmasını sağlayan özel bir işlem uygulanmadan tozlar ne bir arazide dolgu malzemesi olarak ne de bir başka proseste (sinter, yüksek fırın, bazik oksijen fırını) geri dönüşümü kabul edilebilir olmaktadır. Tozların içinde yüksek miktarlarda demir oksit bulunmasına rağmen içindeki zararlı olan veya olmayan unsurların miktarları, demir çelik üretim safhalarında kullanılan hammadde veya hurda kompozisyonlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [11]. Düşük veya yüksek sıcaklık işlemleriyle toz ve çamurlardan demir olmayan bileşikleri ve zararlı yapıları ayırarak çelik üretiminde geri kazanılması kolaylıkla mümkün olan temiz katı malzemeler üretmek teknik olarak mümkündür. Yüksek fırında gazın kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından m³ gaz başına ortalama 30- 40 gr veya bir ton ham demir başına ortalama 20-30 kg toz ortaya çıkmaktadır. Geçmiş yıllarda genellikle sinter tesisinde kullanılan toz, son yıllarda çevre kanunlarıyla emisyon değerlerinin çok düşük seviyelerde tutulmasından ve içerdiği alkali ve ağır metallerin (Zn ve Pb) YF'da yarattığı problemlerden dolayı

sinter tesislerinde kullanılmamaktadır [12]. Yüksek fırında gazın kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından sonra ikincil toz ayrıştırma yaşı yöntemlerle gerçekleştirilmekte ve ayrıştırma sonunda yüksek fırın çamuru ortaya çıkmaktadır. Izgara tipi yıkayıcılardan bir ton ham demir başına ortalama 8-10 kg yüksek fırın çamuru ortaya çıkarken, bu miktar Ventüri tipi ince toz ayrıştırıcıda 3 kg daha artmaktadır. Yüksek fırın çamuru bünyesindeki %15-18 içerdiği nemden dolayı sinter yatağının gaz geçirgenliğini azaltmasına, nemin uzaklaştırılması için yakıt tüketiminin arttırmasına ve içerdiği alkali ve ağır metallere (Zn ve Pb) dolayı sinter tesislerinde kullanılmamaktadır [8]. Farklı ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Değişik ülkelerde ortaya çıkan yüksek fırın tozu ve çamurunun kimyasal içerikleri [13].

Ülke	Atıklar	%Fe	%SiO ₂	%CaO	% Al ₂ O ₃	%Pb	%Zn	%C
Almanya	Toz	34,4	6,3	6,3	2	0,07	0,2	28,9
	Çamur	25,7	9,2	5,4	4,6	0,2	4,2	23,1
A.B.D	Toz	17-54	5,2-13	1,8-11	0,8-7,6	0,01-2	0,01-2	4-54
	Çamur	22-43	6,2-9,3	2,8-8,2	0,3-4,7	0,04-1	0,04-2,6	18-41
Avustralya	Toz	27,9	7,1	4,2	2,8	-	0,1	49,9
	Çamur	22	6,7	1,5	2,2	-	10,5	19,1
Brezilya	Toz	19-31	5,8-9,6	0,5-5	1,5-6,2	0,02-0,04	0,01-4,1	30-56,9
	Çamur	25-35,7	5,3-23,3	1-8,2	1-8,2	0,3-0,7	0,1-0,8	18-45
Fransa	Toz	20-35	5-10	4-6	-	0,05	0,1-0,2	30-45
	Çamur	25-35,7	5-10	3-5	-	1-2		20-45
G.Afrika	Toz	23,6	8,4	5,3	2,7	-	-	43,2
	Çamur							
Japonya	Toz	28,2	6,2	3,2	2,8	-	0,3	44,8
	Çamur	36,6	6,1	3,9	2,8	-	2,1	27
İngiltere	Toz	27,5	7,4	4,1	2,5	0,02	0,2	33,1
	Çamur	26,3	6,8	4	2,9	0,4	1,9	38
İtalya	Toz	31,4	6,7	4,9	2,3	0,003	0,1	36,6
	Çamur	43,5	7,2	4,2	2,7	0,6	1,3	29,8

Yüksek fırınlarda alkali girdisinin ton pik başına 1 kg artması, metalurjik kok tüketimini ton başına 15 kg. artırmaktadır. Bu durum düşünülduğünde yüksek fırınlar hammaddesinin empüritelerinin azaltılmasını kapsayan tüm çalışmalar fırın verimliliğini arttıracaktır. Bu açıdan bakıldığında yüksek alkali ve çinkolu baca

tozlarının sinterde kullanımına alternatif bir değerlendirme alanı bulunarak, bu durumun önüne geçmek oldukça önem arz etmektedir [1]. YF baca tozları içerdiği zararlı empüritelere (Zn,Pb,vb.) nedeniyle sinter harmanında kullanılmadığında çıkan toz atık depolama tesislerinde depolanmaktadır. Günlük üretim değerleri düşünüldüğünde ortaya çıkan atık toz hiçte küçümsenecek bir boyutta değildir. Bu atık toz beraberinde depolama ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Artan depolama maliyetleri işletmeleri zarara uğratmaktadır. Bu durum her geçen gün işletmeleri atıkların geri kazanımı konusunda çalışmaya sevk etmektedir.

3.3. SINTER TOZSUZLAŞTIRMA TOZLARI (ESP TOZLARI)

Çelik yapım endüstrisinde yüksek fırın, üretken oluşu ve verimli çalışmasından dolayı esas fırın olma özelliğini korumaktadır. Demir çelik sanayinin gelişimine paralel olarak, demir aglomerasyon teknolojisi de hızla gelişmiş ve özellikle sinterleme ve peletleme bu sanayi kolunda önemli bir yer bulmuştur. 19. yüzyılda metal endüstrisinde kesikli bir işlem olarak ortaya çıkan sinterleme demir cevherlerinin yanı sıra bakır ve kurşun cevherleri içinde kullanılmıştır. Sinterleme toz cevherlerin şekillendirilip, ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta kısmi ergimeler vasıtasıyla birbirine bağlanmasıdır. Bu yöntem ile toz cevherler yüksek fırınlarda kullanılabilinecek tane boyutuna, gaz geçirgenliğine ve mukavemete getirilebilir. Bu şekilde yapılan topaklama işlemi sonucunda gözenekli, büyük ve sert parçalar elde edilir. Sinterleme, partiküllerin atomlarının, ısının etkisi sonucu oluşan kısmi ergime ile temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları, yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların birbirlerine yapışmaları ve büyümesi işlemi olarak da tanımlanabilir. Bu işlemler toz cevherlerle belirli oranda karıştırılmış olan kok tozunun yanması sırasında oluşan ısı etkisiyle meydana gelmekte ve bu işlem sabit veya hareketli sinter makineleriyle yapılmaktadır [14]. Sinterleme sıcaklığının artması ile pudra kütlelerinin sertliği artarken elektriksel direnci ve gözenekliliği azalır. Tane yapısında da bazı değişiklikler olur ve yeniden kristallenme ile tane büyümesi meydana gelir [14]. Demir cevheri, yüksek fırına belirli bir tane boyutu aralığında verilir. Bu boyut aralığının üzerinde olan parçalar kırılır. Bu kırma, taşıma doldurma, boşaltma esnasında da belirli oranlarda toz açığa çıkar. Bu açığa çıkan tozların ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için hemen hemen her entegre demir çelik tesisinde bir de

sinterleme tesisi bulunmaktadır. Sinterin tonu başına ortalama 20 pound (9.07 kg) toz oluşur. Bir sinter tesisinin bacasındaki toz konsantrasyonu sinter yatağına doğru çekilen hava miktarı ile değişir. Tozun kimyasal kompozisyonu tesiste prosese sokulan malzeme tipleri ile de değişmektedir. Tozun demir oksitler bakımından zengin olması beklenir. Bu toz atıkların boyutları genellikle şu şekildedir [5].

- % 3,7'si 420 mikrondan büyük
- % 26,3'ü 178 mikrondan büyük
- % 63,1'i 76 mikrondan büyük
- % 36,9'u 76 mikrondan küçük

Başka bir araştırmacı ise toz atıklarının boyutlarını şöyle belirlemiştir [5].

- % 87-95 arası 1000 mikrondan küçük
- % 38-65 arası 100 mikrondan küçük
- % 4-19 arası 10 mikrondan küçük
- % 0,3-4 arası 2 mikrondan küçük

Sinter yatağından gelen hava gazları bacaya göndermeden toz kontrol ekipmanlarının içinden geçirilir. Siklonlar, minyatür siklon birleştiricileri, elektro statik çöktürücüler, torbalı toz tutucuları ve difüzyon tutucular kullanılırlar [5].

3.4. BOF ÇAMURU TOZU

Bu metot oksijen üfleyerek çelik yapma metodu olarak bilinir. Empüriteler 20-25 dakikalık izabe neticesinde giderilmiş olur. Fırın çalışmaya başladığı zaman fırın ağzından gaz ve toz çıkışı olur. Bu gazlar ve parçacıklar emisyonla toplanıp soğutulur ve nemlendirilir ondan sonra toz toplama cihazlarına çekilir. Bazik oksijen fırınında oluşan toz ve duman muhtelif toz toplama metotları ile kontrol edilir. Elektrostatik çöktürücüler, yüksek enerjili ventüri yıkayıcılar ve torba filtreleri kullanılır. Fırın ağzındaki toz konsantrasyonu $45,9 \text{ gr/m}^3$ 'den daha fazla olabilir. Tatbik edilen toplayıcıların verimi % 95 den büyüktür. Nemlilik oranı elektrostatik çöktürücüler için önemli bir faktördür. Çizelge 3.4'te B.O.F' dan yayılan tozların bileşim %' si

verilmiştir [5].

Çizelge 3.4. B.O.F' dan yayılan tozların bileşiminin ağırlıkça %' si [5].

Toplam	FeO	Fe ₃ O ₄	Metalik Fe	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO
71,7	51,4	27,1	7,6	6,6	1,5	4,1	1,5
83,1	1,5	-	-	90	1,25	4,1	0,4

Bazık oksijen fırınında (BOF) bir ton ham çelik başına kuru bazda ~10-18 kg toz ve çamur ortaya çıkmaktadır. Gaz temizleme sistemine bağlı olarak tozun %15-40'ı kaba toz veya çamur ve %5-10'u ikincil gaz temizleme sisteminde ve geri kalan %50-80'lik kısım ise ince toz veya çamur olarak ayrıştırılmaktadır [8]. Çizelge 3.5'te değişik ülkelerde ortaya çıkan BOF toz ve çamurunun bileşimi gösterilmiştir. Ortaya çıkan tozun yüksek metalik demir içermesi durumunda, bu tip tozların yeniden kullanılması için kuru temizleme sistemi kullanılması gerekmektedir. Toz ve çamurdaki Zn ve Pb miktarı kullanılan hürdanın bileşimine, gaz temizleme sistemine ve tozun tane boyutuna göre değişmektedir [8].

Çizelge 3.5. Değişik ülkelerde ortaya çıkan BOF toz ve çamurunun bileşimi(%) [8].

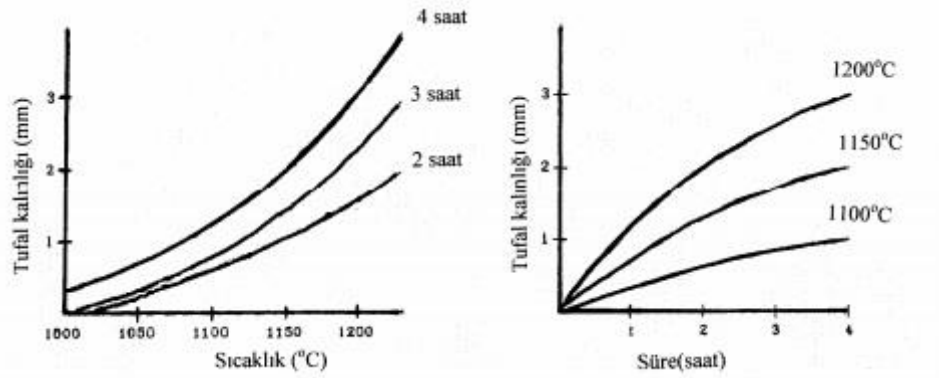
Ülke	Atıklar	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Pb	Zn	S
Almanya	Kaba Çamur	55-72	1-2	0,3-0,4	8-21	0,1-0,22	0,01-0,9	0,04-0,06
	İnce Çamur	54-62	0,8-1,3	0,1-0,2	8-11	0,2-1	1,4-3,2	0,07-0,3
	Toz	65	12	0,1	2,9	0,18	0,18	0,32
Brezilya	Toz Çamur	62-66	1,4-13	0,4	6-8	0,05-0,15	0,15-0,2	0,15-0,2
Fransa	Toz Çamur	45,62	1-9	0,5	4-25	0,005-0,5	0,05-4	-
Japonya	Toz Çamur	64-8	1,7	1,3-1,4	0,4	-	0,2	0,15-0,2
İngiltere	Toz Çamur	59,8	2,1	-	8,7	0,28	1,2	0,4
İtalya	Toz Çamur	62,3	6,1	-	8,4	0,05	0,02	0,25

3.5. TUFAL

Haddehanelerde, sürekli döküm tesislerinde, kütük veya slab yüzeyinde sıcaklığın etkisiyle meydana gelen oksitlenme neticesinde oluşan demir oksit tabakası tufal olarak isimlendirilmektedir. Tufal oluşum hızını etkileyen 3 temel etmen vardır. Bunlar sıcaklık, süre ve fırın atmosferidir. Ayrıca çeliğin fiziksel yapısı ve bileşimi tufalleşme miktarını etkilemektedir [15]. Tufal oluşum hızı, yüzey sıcaklığının artmasıyla, artmaktadır. Yüzey sıcaklığı 1100°C'ye ulaştığında tufal oluşum hızı en yüksek değere erişir. Çelik yarı ürünün fırında kalma süresindeki artış ile aşırı tufalleşme görünmektedir. Fakat uzun süre sıcaklığa maruz kalan çelik yarı mamüllerde aşağıdaki nedenlerden ötürü tufalleşme hızı azalmaktadır [15].

Tufal miktarının artmasıyla çelik yüzeyinde izolasyon tabakası oluşur ve tufal/metal ara yüzeyinde sıcaklığın düşmesi sebebiyle tufalleşme hızının yavaşlamasına neden olur.

Tufal tabakasının kalınlığı artarken tufal/metal ara yüzeyinde oksijen difüzyon hızı düşmekte ve tufalleşme hızı çok küçük değerlere erişmektedir. Çeliklerde sıcaklık ve sürenin tufalleşmeye etkisi Şekil 3.1' de verilmiştir [15].



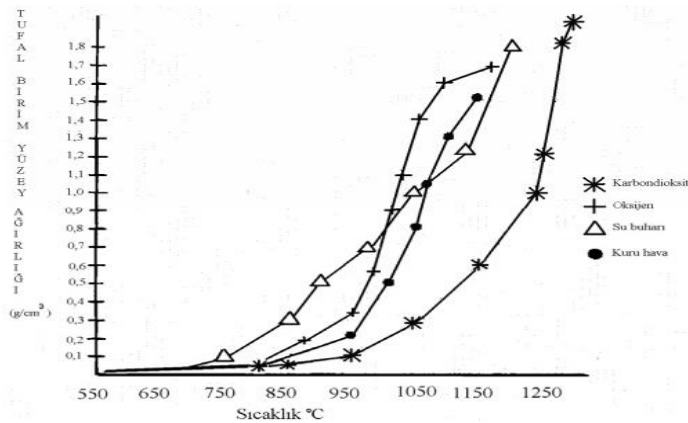
Şekil 3.1. Sıcaklık ve sürenin tufalleşmeye etkisi [15].

Tav fırınlarının atmosferi kullanılan yakıtın türüne göre değişen miktarlarda aşağıdaki gaz gruplarından oluşur [15].

- Oksitleyici gazlar : O₂, CO₂, H₂O ve SO₂
- Redükleyici gazlar : CO ve H₂ Demirin oksitlenme reaksiyonları tersinirdir ve aşağıdaki reaksiyonlarla izah edilir.



Oksitleyici atmosferin yanında redükleyici atmosferin de tufal oluşumuna sebep olduğu bilinmektedir. İndirgeyici atmosferde oluşan tufal metal yüzeyine sıkıca bağlı iken oksitleyici atmosferde oluşan tufal ise yüzeyinden kolayca ayrılır. Redükleyici atmosferde oluşan tufal ince yapılı ve tufalleşme hızı çok yavaştır. Düşük karbonlu çeliklerin oksijen, kuru hava, karbondioksit ve su buharı atmosferinde tufalleşme hızı Şekil 3.2 'de gösterilmiştir. Burada tufalleşme hızının su buharı ve karbondioksit atmosferinde arttığı, oksijen ve kuru havada artış hızının kesintiye uğradığı belirtilmiştir [15].



Şekil 3.2. Fırın atmosferinde gazların tufalleşmeye etkisi [15].

Fırın atmosferindeki gaz çeşitlerinin tufalleşme üzerindeki etkisi aşağıda özetlenmiştir.

- Karbondioksit: Fırın atmosferindeki oksitleyici gazlardan CO₂' in mevcudiyeti tufalleşmeyi arttırmaktadır. Fakat CO₂' in tufalleşmeyi artırma etkisi, su buharından daha fazladır.
- Su Buharı: Fırın atmosferinde su buharının bulunması tufal büyümesini hızlandırmaktadır. 700°C de ve karbon çeliklerinde su buharının fırın atmosferinde oksidasyonu arttırdığı tespit edilmiştir.
- Kükürt dioksit: Fırın atmosferinde önemli oranda aşındırıcı özelliğe sahiptir. Kükürt dioksit çelik yüzeyinde metal sülfür fazı oluşur. Bu durum tufalleşmeyi arttırmaktadır. Minimum tufalleşme indirgeyici fırın atmosferinde sağlanır. Fırın atmosferinde % 0,1-0,2 SO₂ bulunması oksitleyici ve indirgeyici ortama bakılmaksızın tufalleşme miktarında büyük artış getirmektedir [15].

Çeliğe ilave edilen alaşım elementleri tufalleşme hızını etkilemektedir. Elementlerin tufalleşme üzerindeki etkisi aşağıda özetlenmiştir [15].

- Karbonun Etkisi: Çelikteki karbon miktarı % 0.07'den % 0.49 'a kadar artarken tufal miktarı azalmaktadır. Çelik yüzeyinde oluşan CO oksitleyici gazların yüzeydeki konsantrasyonunu azaltarak çeliğin oksidasyonunu engellemektedir. Çeliğin karbon miktarı %0, 49'un üzerinde artarken tufalleşme miktarı artmaktadır. Metal-tufal ara bölgesinde oluşan gazlardan dolayı tufal kırılmakta ve atmosferdeki oksitleyici gazlar metalle daha yoğun olarak temas haline geçip ve metalin oksitlenmesi artmaktadır.
- Manganez Etkisi: % 1,75 manganez miktarına kadar ve sıcaklığın artmasıyla tufalleşme artmakta ve kalın bir tufal tabakası oluşmaktadır.
- Krom Etkisi: % 1,45 kroma kadar çelikte ve özellikle yüksek sıcaklıklardaki tavlama tufalleşme engellenmektedir. Kromun diğer elementlerle olan bileşikleri çelikte tufalleşmeyi artırmaktadır.
- Silisyumun Etkisi: Oksidasyon esnasında metal-oksit ara yüzeyinde yayılan oksijen çelik içerisinde SiO₂. taneciklerinin oluşmasına sebep olmaktadır. SiO₂'nin oluşturduğu fayalit (Fe₂SiO₄) fazı tufalleşme hızını arttırmaktadır. Bu durum ise tufalin çeliğe yapışmasına sebep olarak tufalleşmeyi artırma yönünde etki yaparlar.

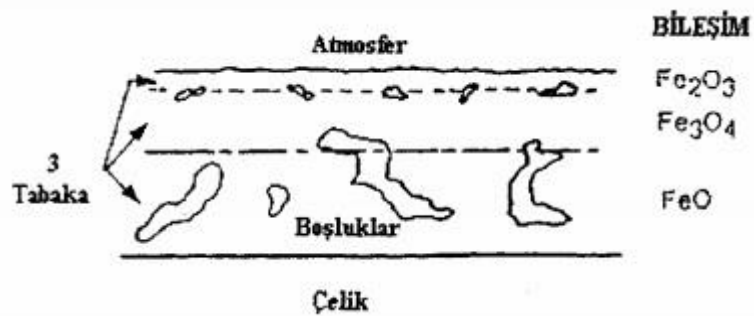
- Nikelin Etkisi: Nikelin demir içindeki difüzyonu çok yavaştır. Çelik içerisinde oluşan ince nikel tabakaları tufalleşme hızını azaltır. Fakat % 5'e varan konsantrasyonlarındaki nikel tufalleşmeyi ve tufal kalınlığını arttırmaktadır.
- Bakırın Etkisi: % 0,21'e kadar bakır ihtiva eden çelik alaşımlarında tufal miktarı azalmaktadır. Bakırın diğer elementlerle yaptığı bileşikler tufal büyümesine sebep olmaktadır.
- Alüminyumun Etkisi: Çelikteki alüminyum elementi yüzeyde sert Al_2O_3 tabakası oluşturarak tufalleşme hızını azaltmaktadır.
- Fosforun Etkisi: Fosfor çelikte en fazla % 0,11'e kadar bulunabilir. Fosforun tufalleşme üzerindeki etkisi tam olarak bilinmemektedir.

3.5.1. Haddehane Tufali

Yüksek sıcaklıkta metal yüzeyinde oksidasyon ürünü olarak oluşan tabakalar hadde tufali olarak adlandırılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde üç tip demir oksidi içeren tufal tabakası bulunmaktadır.

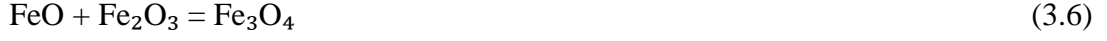
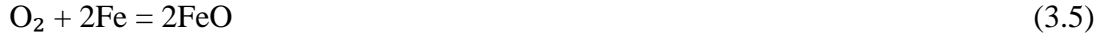
Bunlar ;[16]

- Wüstit (FeO)
- Manyetit (Fe_3O_4)
- Hematit (Fe_2O_3) dir. Sıcak haddeleme sonucunda tufal çukurlarında biriktirilen yaklaşık 3500 ton / yıl tufal sinter girdisi olarak geri dönmektedir [17]. Şekil 3.3 'te tufalin yapısı gösterilmektedir [16].

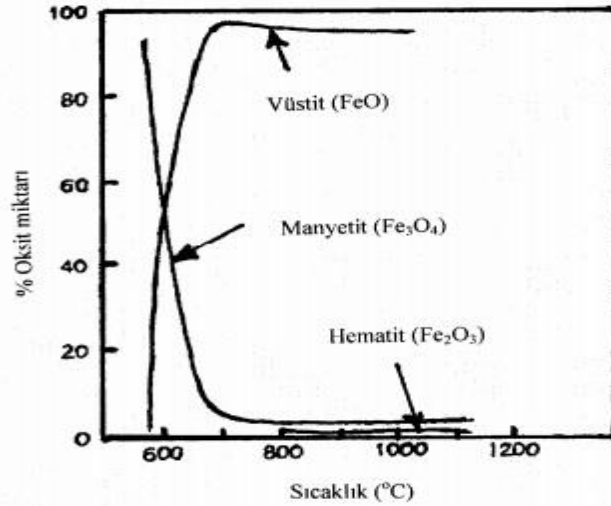


Şekil 3.3. Tufal yapısı.

Yukarıdaki demir oksitler aşağıdaki reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır.



Wüstit (FeO) içerisinde diğer demir oksitlere nazaran daha düşük oksijen ihtiva etmektedir. Wüstit çelik içerisinde metale en yakın olan içteki tabakayı oluşturmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla beraber wüstit miktarında artmakta ve sıcaklık 700°C altına düştüğünde ise tufal tabakasının % 95'ni oluşturmaktadır. Wüstit diğer demir oksitlere nazaran daha düşük sıcaklıklarda ergimektedir. Bu tabakanın ergimesiyle tufalleşme hızı artmakta, tavlama fırınlarında yakıt tüketimi artmakta ve tane sınırlarına penetrasyonun artmasıyla da verim düşmektedir [16].



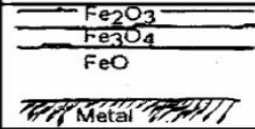




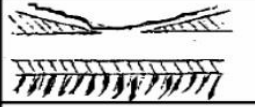
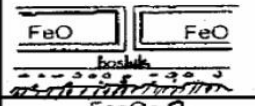
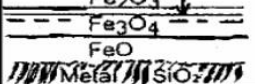
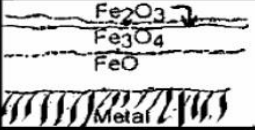
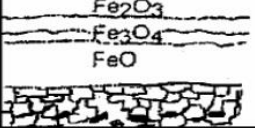
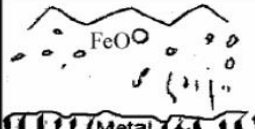
Şekil 3.4. Sıcaklık değişimiyle tufaldeki FeO, Fe₃O₄ ve Fe₂O₃ değişimi.

Şekil 3.4' te görüldüğü gibi manyetit (Fe₃O₄) tufalin orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 500°C altında olduğu durumda tufal içerisinde sadece manyetit ihtiva etmektedir. Sıcaklık 700°C'ye yükseldiğinde manyetit yerini wüstite bırakmaktadır. Sıcaklığın yükselmesiyle manyetit tufal tabakasının ancak % 4'ünü oluşturduğu gözlemlenmiştir [16]. Hematit tufalin atmosfere açık olan dıştaki

tabakasını oluşturur. Sıcaklığın 800°C altında olduğu ortamda olduğu gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda da olduğu bilinmesine rağmen 800°C üzerindeki sıcaklıklarda tufal tabakasının ancak % 1'ni oluşturmaktadır. Hematit de manyetit gibi sert ve aşındırıcı özellikler göstermektedir [16]. Sürekli dökümde sıcak yarı mamülün soğutulması ve atmosfer şartları nedeniyle metal yüzeyinde oluşan tufal tabakası yüksek basınçlı su ile temizlenmektedir [18]. Haddehane tufali ise, kütüklerin hadde tesislerindeki haddeleme işlemi esnasında kırılarak dağılmakta ve küçük yassı pulcuklar halinde kütük yüzeyinden ayrılmaktadır [19]. Tufal % 73-73,5 oranlarında Fe ihtiva etmekte olup, fiziksel özellikleri +3,15mm % 35-40, -0,15mm % 9-12 arasındadır [20]. Tufaller yüksek oranda demir içerdiklerinden ve aynı zamanda zararlı empürüte içermediklerinden dolayı entegre demir çelik tesislerinde sinter fabrikasında çok rahat kullanılmaktadır hatta dışarıdan satın alınmaktadır [20]. Tehlikeli atıklar içerisinde en büyük hacme sahip sürekli dökümler ve sıcak haddehaneler su resirkülasyon tesislerinden açığa çıkan yağlı tufal, sinter tesisinde kullanılmamaktadır [20].

Sürekli döküm ve sıcak haddelemeden sonra çelik yarı mamül yüzeyinden temizlenen tufal, tufal çukurlarına toplanır. Daha sonra bu toplanan tufal hadde yağından arındırılmak amacıyla yıkama havuzlarına gönderilir. İlk yıkama havuzunda kaba tufal temizlenerek sinter tesisine gönderilir. 2. yıkama havuzundaki ince tufaller ters yıkama havuzuna verilmektedir ve burada yağlı olan ince tufalin dibe çökmesi sağlanmaktadır [18]. Haddehane tav fırınlarında çelik yarı ürünlerin tufalleşme davranışları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7 'de özetlenmiştir. Bu tablodan saf demirin oksijenli bir ortamda parabolik hızda oksitlenmesi ile tarif edilen klasik sistemden sapmalar görülmektedir. Sıvı ve gaz yakıtların belli bir orandan fazla miktarı ile sağlanan yanma havası ortamında ticari çeliklerin oksidasyonu ideal parabolik hızdan uzaklaşarak daha düşük bir hızda ve tufal kristal yapısı içinde boşluk difüzyon mekanizması ile oluşmaktadır. Ticari çeliklerde gerçek oksidasyon hızı oksitlenmenin başlama özelliğine, ısı farklılığından dolayı tufalin yüzeyde kırılma, dökülmesine ve aynı zamanda tufalde metal sülfür ve silikat fazlarının oluşumuna bağlıdır [18].

Çizelge 3.6. Çelik yarı ürünlerin tufalleşme davranışları [18].

TUFAL OLUŞUMU MEKANİZMA ADI	YAPI	KİNETİK	MEKANİZMA
(1) KLASİK		PARABOLİK	DEMİR İYONLARININ WÜSTİT İÇİNDE DİFÜZYONU
(2) BOŞLUK OLUŞUMU		PARABOLİK PARBOLİKTEN DÜŞÜK HIZ	DEMİR İYONLARININ WÜSTİT İÇİNDE DİFÜZYONU VE DEVAMINDA FeO NUN YÜKSEK DEĞERLİKLİ OKSİTLERE DÖNÜŞÜMÜ
(3) YÜZEY REAKSİYONU		LINEER PARABOLİK	FAZ ARA BÖLGE DİFÜZYONU İLE ARA BÖLGE ŞARTLARININ DEĞİŞİMİ
(4) PSEDOKLASİK		PARABOLİK	DEMİR İYON DİFÜZYONU
(5) GAZ FAZI HAREKETİ		PARABOLİK	DEMİR İYON DİFÜZYONU VE OKSİJENİN METAL İÇİNDE HAREKETİ
(6) KIRIK VE BOŞLUKLAR		PARABOLİK	KARBON İHTİVA EDEN GAZLARIN HAREKETİ
(7) BOŞLUK, YARIK VE KIRIK		PARABOLİK	TUFALIN YARILMASI, DEMİR İYON DİFÜZYONUNDAN UZAKLAŞMA, OKSİJENİN METALE DOĞRU HAREKETİ
(8) FAYALİT TABAKASI		PARABOLİK	YAVAŞ DİFÜZYON
(9) İÇ OKSİDASYON		LINEER PARABOLİK	DARALMIŞ KESİTTE DİFÜZYON
(10) ERİMİŞ SİLİKATLAR		PARABOLİK	SİNİN TUFAL-METAL ARABÖLGESİNDE TOPLANMASI İLE DÜŞÜK ERGİME SICAKLIĞINDAKİSİLİKATLARIN OLUŞUMU
(11) KUVVETLENDİRME KARIŞTIRMA		PARABOLİK	DEMİR İYON DİFÜZYONU NI İLE ZENGİN BÖLGENİN OLUŞUMU

Çizelge 3.7. Çelik cinslerinin ve fırın atmosferine göre, tufal oluşum mekanizmaları [18].

Malzeme	Fırın atmosferi	Tufal oluşum mekanizma adı		
		Başlangıçta	Kısa sürede	Uzun sürede
1 Saf demir	Oksijen	Yüksek sıcaklıkta vuku bulmaz yüzey oksidasyonu(3)	Klasik(1)	Boşluk oluşumu(2)
	Hava			
	CO ₂		Psedo Klasik(4)	Gaz faz hareketi(5)
	H ₂ O			
2 Karbon çeliği	Oksijen	Saf demir gibi	Klasik saf demir gibi Fakat bazen kırık ve boşluklar(6)	Boşluk oluşumu(2)
	Hava	Saf demir gibi		Boşluk kırık ve yarık(7)
	CO ₂	Yüzey Oksidasyonu(3)	Gaz faz hareketi(5)	Gaz faz hareketi(5)
	H ₂ O			
3Alaşımli çelik	Oksijen	Fayalit tabakası	Erimiş silikatlar(10)	Ni kuvetlendirme karışma(11)
	Hava			Kaba karışma(11)
	CO ₂		Erimiş silikatlar(10)	
	H ₂ O	İç oksidasyon(9)		

BÖLÜM 4

KOMPOZIT PELETLER

Kompozit pelet terimi genel olarak ince taneli demir oksit ve kömür, kok vb. karbonlu maddelerden oluşan peletler için kullanılır. Bunlar nakliye ve kullanım esnasında oluşabilecek kuvvetlere mukavemet gösterebilen ve bu mukavemetin oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda kazandırıldığı peletlerdir. Ayrıca bu peletler redüksiyon esnasında oluşan kuvvetlere karşı yeterli mukavemet göstermelidir. Redükleyici olarak kömür ilave edilerek hazırlanan kompozit peletler kolayca yapılabilir. Soğuk bağlı peletleme metodu, diğer peletleme yöntemlerindeki gibi mukavemeti arttırmak için sıcaklık gereksinimini ortadan kaldırmaktadır.

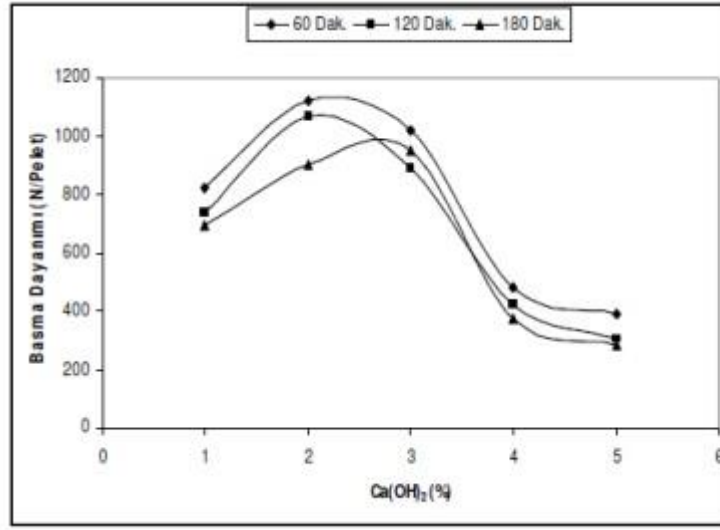
4.1. SOĞUK BAĞLI KOMPOZIT PELETLER

Soğuk bağlı peletleme yönteminde istenen mukavemet değerini elde etmek için atmosfer koşullarında 3-4 gün beklemek yada peletlere kurutma işlemi uygulamak yeterli olmaktadır. Soğuk bağlı kompozit peletler yüksek reaksiyon hızına sahiptir ve koklaşmamış kömür ve odun kömürü gibi tozların kullanılabilmesine olanak sağlar. Bu şarj maddeleri yüksek fırın dışında alternatif demir üretim teknolojileri sunmaktadır [21]. Soğuk bağlı kompozit peletlerin avantajları: Aşağıda listelenen avantajları sebebi ile kompozit peletlere ilgi 1980'lerden bu yana artarak devam etmektedir.

- Maliyeti ucuz kaynaklar (kömür tozu ve atık demir tozları gibi) kullanılabilmekte ve böylece çevre kirliliği kontrol edilebilmektedir.
- İndirgeyici ve demir oksit parçacıkları arasındaki yakın temas sebebi ile hızlı redüklenme gerçekleşir.
- Soğuk bağlı peletler pişirme işlemine gerek duymadığından enerji tasarrufu sağlamaktadırlar.

- Daha az sermaye ile küçük ölçekte demir yapımı umut ediliyor.
- Uniform ve düzgün bir şekle sahip olmaları fırına şarjındaki kolaylıklarının yanında yüksek üretilebilirlik sağlamaktadır.
- Kimyasal bileşim olarak kompozit peletlerde ürün kalitesi değişmez [22].

Soğuk bağlı kompozit peletlerin üretiminde önemli olan pelet mukavemetinin yanında diğer bir parametre ise peletlerin fırına şarjı ve nakliyesi esnasında dayanım ve fırın içersinde tam redüklenebilmenin sağlanmasında maksimum rol oynayan porozitedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu iki parametrenin optimizasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Agrawal vd. demir peletleri için fırındaki indirgenme koşulları sırasındaki mukavemeti için en uygun tane boyut dağılımı -325 mesh olarak tespit etmişlerdir [23]. Takano vd. 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada soğuk bağlı peletler için istenen mukavemeti yaklaşık 300 N/pelet olarak belirlemişlerdir [24]. Arol vd. Divriği demir cevheri konsantresinin peletlenmesinde bentonitin yerine geçebilecek Peridur, karboksimetilselüloz (CMC), sülfite likörü, melas ve nişasta gibi organik bağlayıcılar denemişler fakat sadece peridur ve CMC kullanarak yaptıkları çalışmalarda peletlenebilirliği sağlayabilmişlerdir. Peridur ile elde ettikleri peletlerde kurutma işlemi sonrası basma dayanımı 390 N/pelet elde edilirken CMC ile yapılan denemelerde maksimum 110 N/pelet seviyelerinde kalmıştır [25]. Sah ve Dutta yaptıkları çalışmada bağlayıcı olarak sönmüş kireç ve dekstroz kullanarak farklı Fe/C oranlarında kompozit peletler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit peletlere uyguladıkları basma testi sonrasında Fe/C oranı arttıkça basma dayanımının arttığı bununla birlikte porozitenin düştüğünü tespit etmişlerdir. Elde edilen basma dayanımı 360 N/pelet seviyelerindeki iken porozite % 13,5 olarak ölçülmüştür [22]. Benkli vd. 2009 yılında yaptıkları çalışmada Divriği A kafa manyetit konsantresi ile bağlayıcı olarak önce sadece jöle kullanılarak yürüttükleri çalışmalarda, 200 °C'de 90 dakika kurutulan peletlerin basma dayanımı 353 N/Pelet olarak ölçülmüşlerdir. % 10 jöle, % 10 kok tozu ve % 2 sönmüş kireçle karıştırılarak üretilen kompozit peletlerin, 200 °C sıcaklıkta 60 dakika kurutulması sonucunda mukavemet değeri 1100 N/Pelet olarak elde edilmiştir. Üretilen kompozit peletlerin gözeneklilik oranı % 25-%31 arasında değiştiği gözlenmiştir. Farklı kurutma sürelerinin basma dayanımı üzerindeki etkisi şekil 4.1'de görülmektedir [26].



Şekil 4.1. %10 jöle, %10 kok tozu ve farklı oranlarda Ca(OH)₂'in manyetit konsantrisi karıştırılarak üretilen kompozit peletlerin, 200°C sıcaklıkta 60, 120 ve 180 dakika kurutulmaları sonucunda basma dayanımlarındaki değişim [22].

Guanzhou QIU vd. yapmış olduğu çalışmada bağlayıcı olarak organik bir bağlayıcı olan funa ve bentonit kullanılarak ürettikleri soğuk bağlı peletler arasında mukayese yapmışlardır. Funa kullanılarak üretilen peletlerde kuru mukavemet 2900 N/pelet seviyelerinde iken bentonit kullanılarak elde edilen peletlerde 600 N/pelet civarındadır [27].

BÖLÜM 5

DOĞRUDAN REDÜKLENMİŞ DEMİR

Entegre Demir - Çelik tesislerinin yatırım sürelerinin ve maliyetlerinin yüksek olması, kok üretimine uygun kömürlerin miktar ve kalitesindeki azalma ham madde fiyatlarının yükselmesi, hurda kalitesindeki düşüşün gün geçtikçe artması; hurda fiyatlarının artması, hurda bulmadaki sorunların artması, kaliteli çelik üretimi sonucu çeliklerin hurdaya geri ayrılma dönüş süresinin uzaması gibi sorunlar demir çelik sektörünü yeni arayışlar içerisine itmiştir. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca demir çelik sanayiinin üzerinde en çok araştırma geliştirme çalışması yaptığı alan, yüksek fırın teknolojisine alternatif olabilecek demir ve çelik teknolojilerinin geliştirilmesi olmuştur. Yüksek fırınlarda kullanımı uygun olamayan cevherleri ve kömürleri kullanıma uygun hale getirebilmek için bir takım deneyler yapılmıştır. Bunlar çalışmalar arasında en dikkat çeken teknoloji; Doğrudan İndirgenmiş Demir teknolojisidir. Bu proses sonucu üretilen ürün olan DRI ve briketlenmiş biçimi olan HBI'ın elektrik ark ocaklarında çelik üretimi esnasında hurdaya ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. DRI, demir cevherinin uygun bir redükleyici atmosferde döner veya şaft fırında ergime sıcaklığının altında (950-1100°C'da) ergime olmaksızın metalik demire indirgenmesi sonucu elde edilen ürünün adıdır [28]. DRI yapısında yüksek oranlarda metalik demir bulundurmasına karşın içerisinde az miktar kömür ve cevherden gelen gang bileşenler içerebilir. Kimyasal yapısında yüksek metalik demir içermesi, kimyasal bileşiminin hurdaya nazaran daha sabit olması ve daha az emprüte içermesi başlıca avantajlarındandır. Ayrıca DRI üretimi düşük tenorlu demir cevherlerinde kullanımına olanak sağlamaktadır. İlk DRI üretimi için kurulan tesis, 1873 yılında İngiltere'de kurulmuştur, dört yıllık bir çalışmanın ardından üretim maliyetlerinin yüksek olduğu gösterilerek tesisin çalışmasına son verilmiştir [29]. Henry Jones 1896 yılında DRI üretimi ile ilgili ilk endüstriyel patenti almıştır. Henry demir cevherini kömür ile harmanlayarak bir karışım hazırlamış ve hazırlamış olduğu bu karışımı dışardan ısıtılan damıtma hazneleri olan bir fırında redüklemiş ve

zenginleştirilmiş cevheri hava ile soğutarak dışarı almıştır [29]. Jones'dan sonra DRI üretim teknolojisi ile ilgili çeşitli patentler alınmış olsada bu konuya olan rağbet 1970'lerde gitgide artmaya başlamıştır. Bu yıllarda DRI üretim teknolojisi alanında önemli gelişmeler kaydedilmiştir [29].

Demir oksitlerin, H₂/H₂O veya CO/CO₂ karışımları ile reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibi gerçekleştiği ön görülmektedir [30].



Redüksiyon



Reaksiyon (5.1; 5.2) sonucu oluşan serbest demir, soğuma esnasında ortamda bulunmakta olan karbon ve karbonlu bileşikleri reaksiyona uğrayarak Fe₃C (demirkarbür) oluşmaktadır.



Karbüroluşumu



Bu reaksiyonlar (5.3; 5.4) sonucunda açığa çıkan Fe-Fe₃C karışımıyla demir oksit karışımı sonucu oluşan ürüne, DRI denilmektedir.

Bu proses sonucu elde edilen DRI, Elektrik Ark Ocaklarında hurdanın yerine ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. DRI'nın elektrik ark fırınlarında, bazik oksijen fırınlarında, dökümhaneler gibi birçok alanda kullanılabileceğinin anlaşılmasından sonra DRI'ya olan ilgi gittikçe artmaktadır.

Aşağıda DRI'ya ait başlıca özellikler sıralanmaktadır;

- Yapı itibari ile poroz bir yapıdadır.
- Yoğunluğu beslenen oksidin yoğunluğundan daha düşük, özgül yüzeyi ise daha fazladır.
- Yoğunluğu 1,5–4 g/cm³, izafi yoğunluğu 1,5-1,9 t/m³ tür.

- Özgül yüzey alanı 0,4–0,5m²/g'dır.
- Dağılmaya karşı mukavemeti 50 – 110 kg/cm² mertebelerindedir.
- Metalizasyon derecesi % 85 – 95 arasındadeğişmektedir.
- Kararlı bir yapıya sahiptir.
- Hurda içerisinde bulunan istenmeyen elementlerini yapısında bulundurmaz. Daha temiz çelik eldesine olanak sağlar.
- Yığın ağırlığı yüksek olduğundan depolanması kolaydır.
- Yapısında bulunan karbon % 1-2,5 arasında değişmektedir.
- Gang içeriği % 2-4 arasında değişir.
- Hurdaya nazaran daha hızlı ergidiği için işletme verimliliğini artırır.

DRI'nın tek dezavantajı reaksiyona girme eğilimleri yüksek olduğundan atmosfer koşullarından etkilenmesidir.

5.1. DOĞRUDAN REDÜKLENMİŞ DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

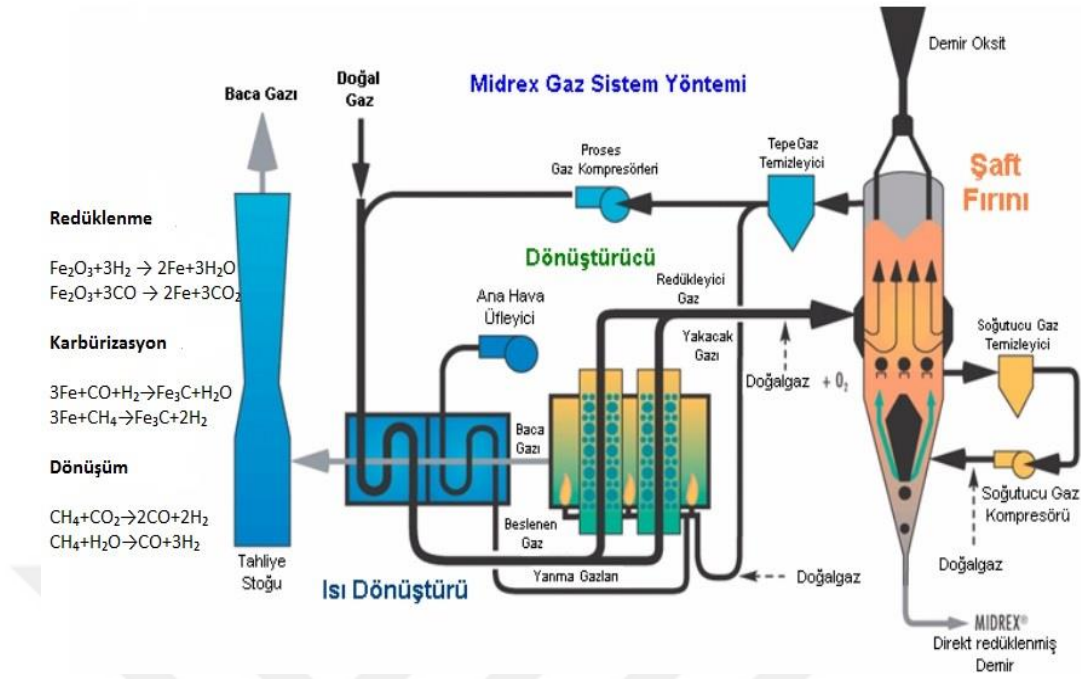
Doğrudan redüklenmiş demir üretim yöntemleri kullanılan redükleyici cinsine göre iki ana gruba ayrılmaktadır;

- Gaz redükleyici kullanılan yöntemler
- Katı redükleyici kullanılan yöntemler.

5.1.1. Gaz Redükleyici Kullanılan Yöntemler

5.1.1.1. Midrex

Ticari açıdan bakıldığında dünyadaki en başarılı DRI üretim yöntemi olan Midrex prosesi gaz redükleyici kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemin başarısının altında yatan temel etmenler, teknik tasarımının iyi olması ve enerji tüketiminin düşük olmasıdır. Şekil 5.1' de Midrex prosesi akım şeması görülmektedir.



Şekil 5.1. Midrex proses akım şeması [31].

Fırının tepe bölgesinden şarj edilen malzeme ön ısıtma, redüksiyon ve soğutma bölgelerinden geçer. Bünyesinde % 95 Hidrojen ve Karbon monoksit gazlarını içeren redüksiyon gazları 760 °C – 927 °C'ye ısıtılarak fırının alt bölgesinden fırına verilir. Fırının üst kısmından kısmen harcanmış redükleyici gaz (yaklaşık % 70 H₂ + CO) çıkar. Oluşan bu gaz daha sonra tekrar sıkıştırılarak, doğal gaz ile zenginleştirilir ve 400°C sıcaklığına ısıtılır. Zenginleştirilmiş olan gaz buradan da reformer'a iletilir. Reformer gaz karışımını ilk haline çevirerek fırın içerisinde yeniden kullanılabilinecek hale dönüştürür. Soğutma bölgesinde soğutucu gazlar ters akım ile ürüne verilerek oluşan ürünün soğuması sağlanır. Midrex prosesinin temelinde düşey şaft fırını kullanılarak ters akım prensibine göre redükleme yatmaktadır. Fırının üst bölgesinden şarj edilen oksitli demir bileşikleri aşağıya doğru inerken yukarı doğru çıkmakta olan sıcak H₂ ve CO içerikli gazlarla temas ederler ve bu esnada redüklenirler. Redüklenmiş olan sıcak ürün fırının alt kısmındaki soğutma ünitesine alınarak soğutulur [31]. Midrex yönteminde kullanılacak hammaddelerin içerdiği empürite miktarının en düşük seviyede olması istenmektedir. Ayrıca iyi redüklenebilirlik, ısıl etmenlere karşı mukavemet ve yumuşama sıcaklığının yeterli düzeyde olması aranan başlıca özelliklerdir.

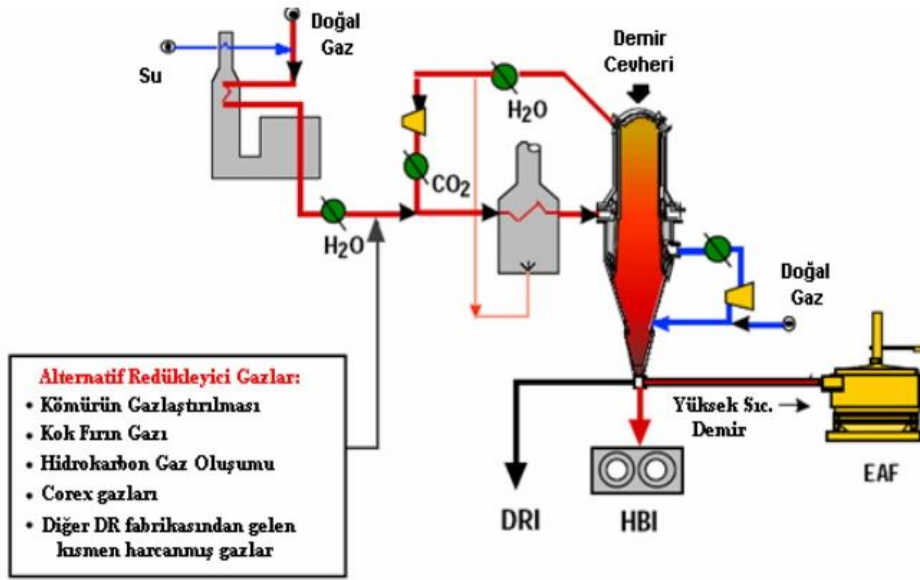
5.1.1.2. HyL Yöntemleri

HyL prosesi, parça cevheri ve peletleri redüklemek için geliştirilmiş bir prosestir. Bu proseste hammadde doğal gaz yardımıyla sabit retort tipi fırınlarda redüklenir. Bu yöntemde doğal gaz buhar ile reformere verilir. Reformerde gaz nikel esaslı katalitiklerden geçirilir daha sonrasında gazın içerisinde bulunan su buharı dinlendirilerek ayrıştırılır. Böylece hidrojen zengin olan redüklenme gazı elde edilir. HyL prosesi redükleme aşamasında 4 reaktörden yararlanır. Bu reaktörde gerçekleşen reaksiyonlar şöyle sıralanabilir.

- Demir cevheri ve peletlerin şarjı.
- Ön indirgeme: Şarjın bir başka reaktörden gelen gazlarla ısıtılması ve kısmen redüklenmesi.
- İndirgeme: Ön redüklemede kısmen redüklenmiş olan güçlü redükleyici gazlarla ileriderece redükleme aşaması.
- Soğutma kademesi.

Bu yöntem % 87'lik bir metalizasyon derecesini mümkün kılmaktadır. Şarj edilen malzemenin indirgenmesi ilk ve ana redüksiyon kısmında gerçekleşmekte olup bu arada soğuma, karbürizasyon ve metalizasyon ayarları üçüncü kısımda gerçekleşmektedir. İndirgeme 980°C'de gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıklar redüklenme verimini artırır. Bu durum ise elde edilen ürünlerin daha kararlı bir yapıya sahip olmasına olanak sağlar. Bu proseste, fırın içerisindeki demir cevheri sabit dururken sıcak redüksiyon gazları demir cevherinin içinden geçerek redüklenmeyi sağlar [29]. Bu proses 1956 yılında ticari olarak hayata geçirilmiş olup, bir çokları tarafından 1975 yılına kadar kullanılmıştır. Fakat 1975 yılından itibaren bu yöntemle üretim yapan tesisler kurulmamıştır. HyL-I den istenilen düzeyde verim alınamaması insanları yeni arayışlara itmiş böylece HyL-III prosesi geliştirilmiştir. HyL-I 'den verim alınamamasının en büyük sebeplerinden bir tanesi de sisteminin kesintili çalışma prensibidir. HyL-III yöntemi; yüksek basınç altında çalışan, gaz prensipli, devamlı olarak katı gaz hareketi olan bir reaktörde DRI üretim yöntemidir. Redükleyici, gaz doğal gaz veya hidrokarbonların ayrıştırılmasıyla elde edilmektedir. Kullanılacak olan redükleyici gazın yüksek reaksiyon hızına sahip olması ve

hidrokarbon içeriğinin fazla olması istenmektedir [30]. Şekil 5.2’de HyL-III prosesi akım şeması verilmiştir. Bu proseste, demir cevherleri, reaktör dolduruncaya kadar şarj edilir ve daha sonra doğal gaz yardımı ile, yüksek basınçta redüklenir. Redüklenen malzeme reaktörün altında soğutulduktan sonra, dışarı alınır.



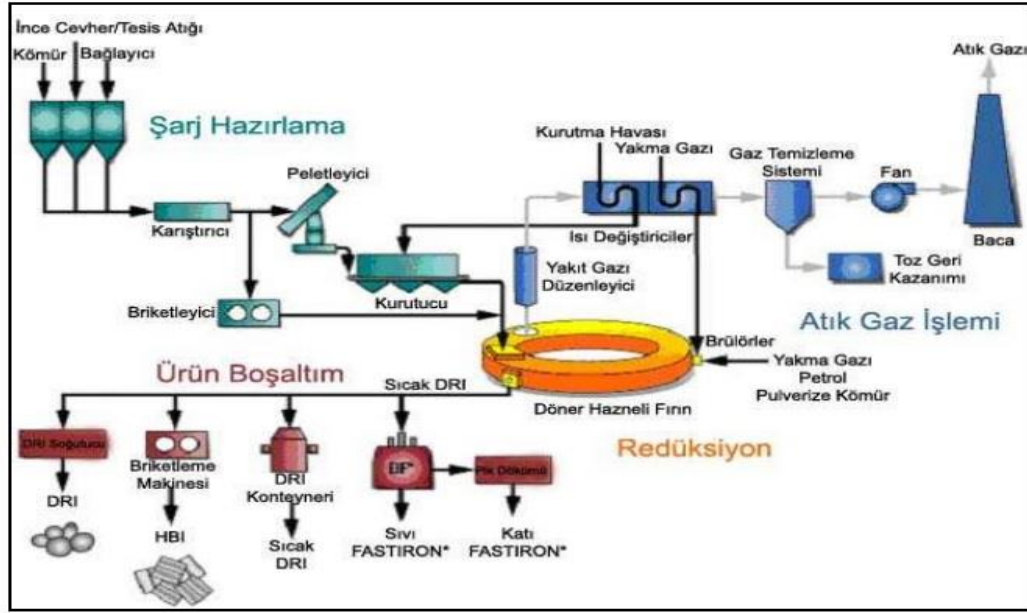
Şekil 5.2. HyL-III prosesi akım şeması [29].

5.1.2. Katı Redükleyici Kullanılan Yöntemler

5.1.2.1. FASTMET Yöntemi

1980’lerde ergitme redüksiyonu gibi yeni prosesler, doğal kaynaklar olarak çok bulunan ince cevher ve kömürü kullanmak için, karbon kompozit demir cevheri kullanarak DRI üreten döner hazneli fırın prosesleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri Kobe Steel Ltd. ve MIDREX tarafından ticari hale getirilen FASTMET prosesidir [32]. FASTMET prosesinde demir cevheri ve karbon içeren redükleyiciler karıştırılarak pelet veya briket haline dönüştürülür. Peletleme işlemine tabi tutulan malzemeler kurutulurken briketleme işleminde geçen şarj malzemeleri ise kurutulmadan döner hazneli fırına şarj edilebilir. Besleme işlemi titreşimi pan sistemiyle sürekli olarak yapılmaktadır. Yaklaşık 10 dk. gibi kısa bir sürede metalizasyon yüzdesi % 85-92 arasında değişen yüksek kalitede DRI ürünleri

üretilebilmektedir [33]. Şekil 5.3' te fastmet prosesi akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Fastmet prosesi akım şeması [34].

Döner hazneli fırın üç farklı reaksiyon bölgesinden oluşur. Birinci bölgede üç burner, ikinci bölgede beş burner ve son bölümde ise iki burner bulunmaktadır. Tüm burnerler ya hava-doğal gaz karışımı ya da oksijen- doğal gaz karışımıyla ısıtılırlar. Peletlerin sıcaklığı hızlıca 1350°C'ye 6-12 dakikada çıkartılır. Üçüncü bölgeden sonra peletler redüklenmiş olurlar. Burada sıcaklıkları 1000°C ila 1200°C arasındadır. Redüklenen ürün sıcak olarak elektrik ark ocağına beslenebileceği gibi su soğutmalı platformda soğutulup daha sonrada da kullanılabilir. Bu proses sonucunda % 85-95 demir oksit, metalik demire redüklenir [34].

Prosesin Avantajları;

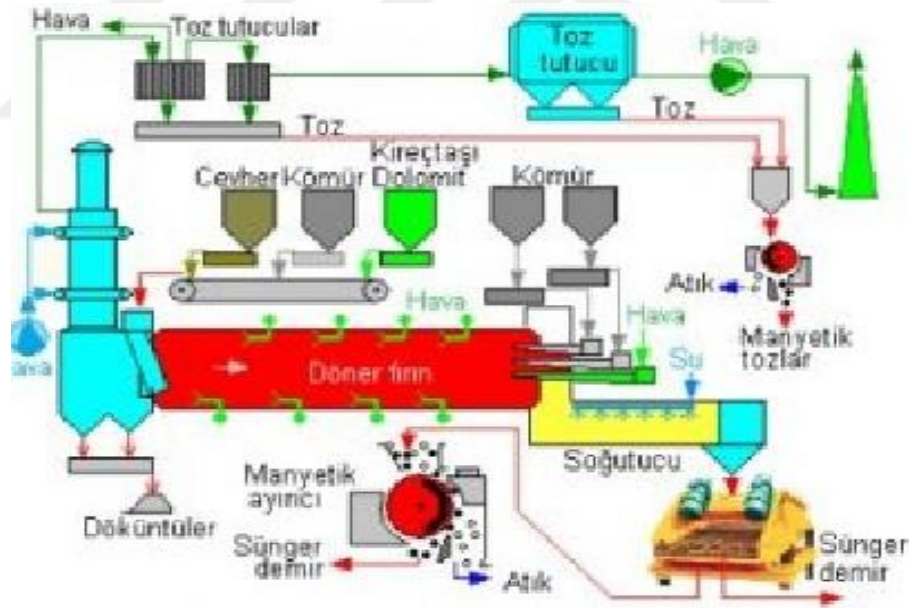
- Demir konsantrisine ilave bir ön işlem gerektirmemesi
- Farklı katı redükleyiciler kullanılabilir olması
- İşlem süresi çok kısa olması (6-12 dakika)
- İşletme ve ilk yatırım maliyeti düşük olması
- Az bir ekipmanla yapılabilir olması

Karbon kompozit peletler döner hazneli fırının sabit fırın haznesine 1 veya en fazla 2

sıra halinde beslenir. Bunun sayesinde peletlerin kırılması minimuma indirilir ve çıkan gazda toz partikülleri düşük seviyelerde tutulur. İşlem sıcaklığında atık tozlardaki metalik çinko ve kurşun buharlaşır ve çıkan gaza geçer. Gaz temizleme işleminde tutulan tozların içinde oksitli hale tekrar dönmüş halde bulunan çinko ve kurşun oksit bulunur. Bu katı çinko ve kurşun oksitler çinko/kurşun geri kazanım proseslerine önemli bir girdi malzeme olarak ortaya çıkmaktadır.

5.2.2.2. SL/RN Yöntemi

SL/RN yöntemi, Steel Company of Canada (S) ve Lurgi GmbH (L) grubu ile RepublicSteelCorp.(R) ve National Lead Company (N)' adlı şirket gruplarının ortak çalışması ile meydana gelen bir prosestir. Bu proseste döner fırın ve katı redükleyiciler kullanılmaktadır. Şekil 5.4'te katı redükleyici kullanılarak DRI üretim prosesinin akım şeması verilmiştir.



Şekil 5.4. SL/RN prosesi akım şeması [38].

Fırına şarj edilen cevher, kömür karışımı ve dolomit fırında kurutma ve ön ısıtma işlemlerine tabi tutulur. Ön ısıtma işlemi ile DRI üretim süresinin kısalması amaçlanmıştır. Ön ısıtma işleminden geçen hammaddeler redüksiyon sıcaklığına çıkarılır. Bu evrede demir oksitler, karbonun yanması sonucunda oluşan karbon

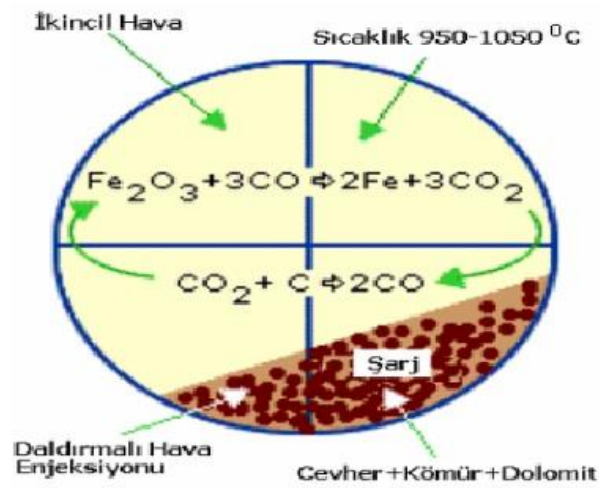
monoksit gazı ile metalik demire indirgenir [35]. Karbonun yanarak karbon monoksite dönüştüğü Boudouard reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Boudouard reaksiyonu sonucunda oluşan karbon monoksitin (CO), demir oksitlerle olan reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Döner fırın içinde gerçekleşen reaksiyonlar Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Döner fırın reaksiyonları.

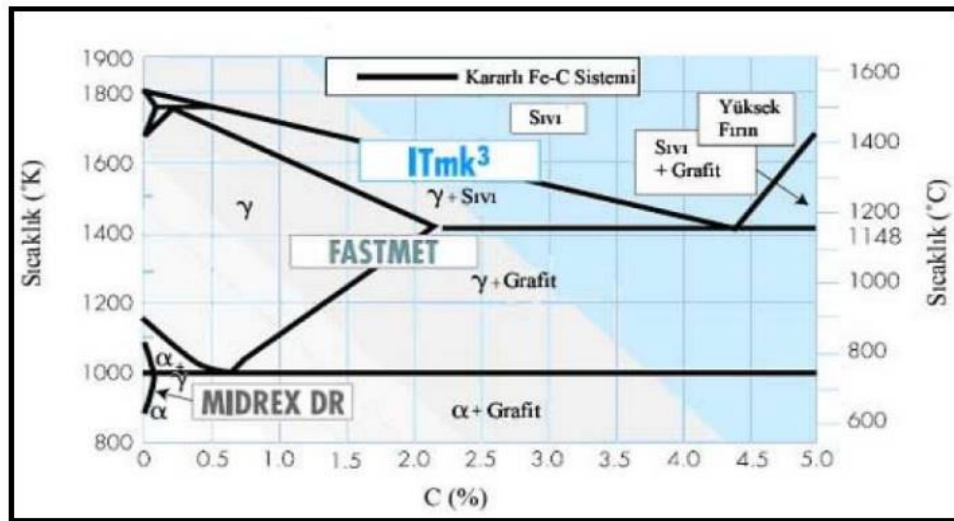
Bu proste cevher, kömür ve dolomit yardımıyla 950 – 1050 °C arasındaki sıcaklıklarda ergime olmaksızın redüklenerek DRI'ya dönüşmektedir. Oluşan sıcak DRI' nin oksitlenmesini önüne geçmek için yanmamış kömür yardımı ile döner soğutucuda soğutma işlemine tabi tutulur. Soğuk DRI ve kömür karışımını birbirinden ayırmak için karışım manyetik ayırıştırıcılardan geçirilir böylece DRI ve yanmamış kömür birbirinden ayrılmış olur. SL/RN yönteminde cevher olarak pelet veya parça cevher, redükleyici olarak linyit ve koklaşmayan kömür kullanılabilineceği saptanmıştır [36]. SL/RN yönteminde elde edilen DRI'nın bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. SL/RN yönteminde elde edilen DRI bileşimi [35].

Bileşim	Yüzde (%)
Fe (Toplam)	90–93
Fe (Metalik)	85–88
Metalizasyon	92–95
Kükürt	0,03 maks.
Fosfor	0,05 maks.
Karbon	0,10 maks.
Gang içeriği	(6–8)

5.2.2.3. ITmk3 Prosesi

Kobe Steel ile Midrex firmaları tarafından geliştirilen ITmk3 teknolojisi döner hazneli fırında demir cevheri, kömür ve bağlayıcılardan oluşan peletleri redükleyerek DRI üretimine olanak sağlar. ITmk3 porosesi sonucunda oluşan ürün yüksek fırın ürünü olan pik demirle benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. ITmk3 Fe-C diyagramında yeni bir yer kaplayan özel bir teknolojidir [37]. FASTMET yönteminin geliştirilmesi esnasında işlem sıcaklığının artışıyla metalin gang minerallerinden hızlı bir şekilde ayrıldığı gözlenmiştir. Bu reaksiyonu temel alarak geliştirilen proses ITmk3 prosesidir [32].



Şekil 5.6. Çeşitli DRI üretim yöntemlerinin çalışma sıcaklığı [33].

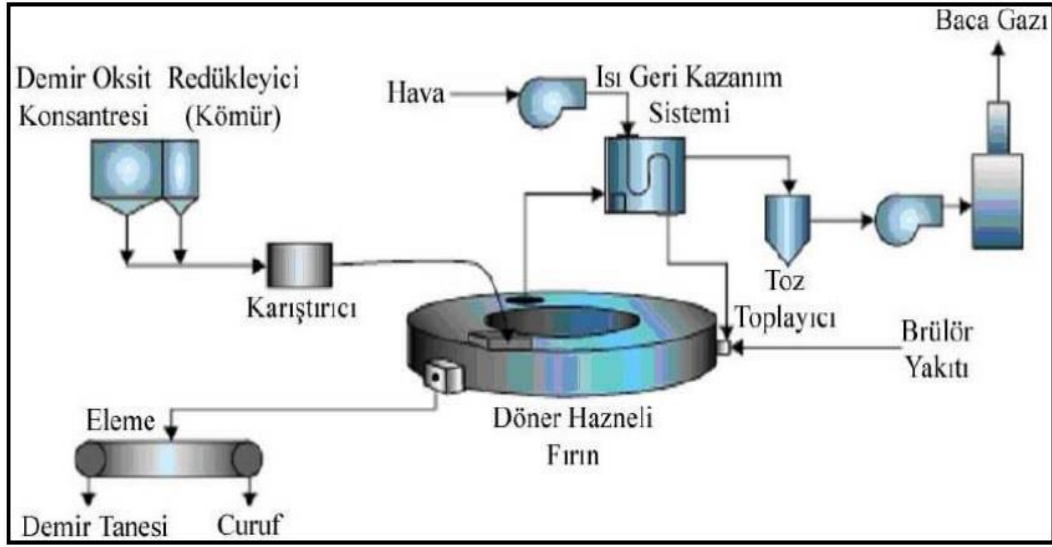
Şekil.5.6'dan da görüldüğü üzere, ITmk3 prosesinin çalışma alanı katı-sıvı geçiş fazında (1350- 1400°C) bulunmakta ve ürün karbon içeriği % 1,5 ile 3,5 arasında geniş bir aralıkta incelenebilmektedir. Bu yöntemde peletler yüksek fırın prosesine nazaran daha hızlı bir şekilde redüklenir ve ergirler. ITmk3 geleneksel demir üretim teknolojilerine nazaran su avantajlara sahiptir:

- Redüksiyon ve curuf ayrımı tek basamakta oluşur.
- Çok yüksek sıcaklıklar gerekmez.
- % 96-97 oranında curufsuz metalik demir taneleri elde edilir.
- CO₂ emisyonu Yüksek Fırınlara ve EAF.'larına göre % 20 daha düşüktür.
- Refrakterde FeO hasarı oluşmaz.
- Curuf metalden kolay ve temiz bir biçimde ayrılır.
- İnce ve düşük kaliteli cevher kullanılabilir.

Bu proste esas amaç, ince cevher ve kömürden direkt olarak tek basamaklı bir prosesle ergimiş demir elde etmektir. Redüksiyon aşamasında pelet içerisinde iki reaksiyon oluşur. Bunlar;



reaksiyonlarıdır. (5.8) reaksiyonu endotermik olup, 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşmaktadır. Redüksiyon 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda en aktif olduğundan, gereken reaksiyon ısısı fırının ısıtma hızı ile dengeye gelir. Böylece pelet sıcaklığı sabit tutulmuş olur. Redüksiyon derecesi % 95 veya üzerine eriştiğinde demirde bir sıcaklık düşmesi görülür. Bu da karbürizasyon ve ergime oluştuğunun kanıtıdır. ITmk3 prosesinin redüksiyon ve curuf ayrımının aynı anda olmasının dışında basit bir proses olması, düşük yatırım maliyeti, düşük işletme maliyeti, çeşitli demir cevheri ve redükleyici seçilebilmesi gibi bir çok avantajı bulunmaktadır. Proses akışı ve ekipman donanımı FASTMET prosesine çok benzemektedir. Şekil 5.7'de ITmk3 prosesinin akım seması görülmektedir.



Sekil 5.7. ITmk3 prosesinin akım seması [32].

Proses kullanılacak cevher tipi konusunda çok geniş sınırlara sahiptir. Proses ince ham cevherler, demirli atıklar vb. maddelerin kullanımına olanak sağlamanın yanı sıra kullanılan karbon açısından da oldukça esnek sınırlara sahiptir. Kömür, kok petrol koku vb. gibi çeşitli karbon redükleyicilerin kullanımına olanak sağlaması prosesin avantajlarından biridir. Bunun yanı sıra katı, sıvı ve gaz redükleyicilerin kullanılmasına da olanak sağlar. Fakat kullanılacak redükleyicinin kükürt miktarının az olması ve düşük kül miktarına sahip olması istenmektedir. ITmk3 Prosesi diğer proseslerle kıyaslandığında çok çeşitli cevher ve redükleyici kullanımına olanak sağlamaktadır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmamızda haddehane atıklarından olan tufalin, yine bir atık olan yüksek fırın baca tozu ile belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen harmanın kok kömürü ile redüklenebilirlik davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda $Fe/C=3$ ve baziklik oranı 0,7 olacak şekilde hazırlanan karışım kompozit peletler şeklinde hazırlanmıştır. Farklı Tufal+baca tozu şeklinde hazırlanan kompozit peletler yaş pellet düşme sayısı, basma, porozite ve 3 farklı sıcaklıkta redüklenebilirlik testlerine tabi tutulmuştur.

6.1. MATERYAL VE METOD

Deneylede kullanılan cihazlara ait genel özellikler aşağıda verilmiştir.

6.1.1. Değirmen

Haddehane tufalini öğütme işleminde halkalı değirmenden faydalanılmıştır. Öğütme işlemi tane boyutu $100\mu m$ altında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de kullanılan halkalı değirmen görülmektedir.



Şekil 6.1. Deneylede kullanılan halkalı değirmen.

6.1.2. Elek

Halkalı değirmen kullanılarak öğütme işlemi yapılan haddehane tufali mühendislik fakültesi laboratuvarında bulunan titreşimli eleme makinası kullanılarak tamamının tane boyutu 100μ olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan titreşimli eleme makinası Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Deneylerde kullanılan titreşimli eleme makinası.

6.1.3. Etüv

Elde edilen kompozit peletlerin kurutulmasında sıcaklık ($0-300\text{ C}^{\circ}$) ve süre ayarı yapılabilen Elektro-mag marka etüv kullanılmıştır.Şekil 6.3’te etüv gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Etüv.

6.1.4. Peletleme Cihazı

Tufal, baca tozu ve kok ile oluşturulan harmanın peletlenmesinde Şekil 6.4’te görülen peletleme cihazı kullanılmıştır. Kullanılan peletleme cihazının eğimi 45° olacak şekilde ayarlanmış, hızı ise 15 devir/dk’da sabitlenmiştir.



Şekil 6.4. Peletleme cihazı.

6.1.5. Fırın

Redüksiyon deneyleri vakumlu tüp fırın kullanılarak inert gaz ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5' te görüldüğü üzere deneylerin gerçekleştirilmesinde alumina tüpe sahip max.1600°C çalışma sıcaklığına ulaşabilen atmosfer kontrollü protherm marka fırın kullanılmıştır.



Şekil 6.5.Redüksiyon deneylerinde kullanılan fırın.

6.1.6. Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron Mikroskobu ve EDS çalışmaları Zeiss EVO LS 10 model marka cihazla yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu Şekil 6.6' da gösterilmiştir.



Şekil.6.6. Taramalı elektron mikroskobu.

6.1.7. XRD analizi

Redüklenen kompozit peletlerin ihtiva ettiği fazların belirlenmesinde Rigaku Ultimate IV marka XRD cihazı kullanılmıştır.Şekil 6.7’de XRD cihazı gösterilmektedir.



Şekil 6.7. XRD cihazı.

6.1.8. Basma Test Cihazı

Farklı kompozisyonlarda üretilen peletlerin basma dayanımını tespit etmek için Shimadzu marka basma test cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan basma test cihazı Şekil 6.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Basma cihazı.

6.2. DENEYLERİN YAPILIŞI

6.2.1. Peletlerin Hazırlanması

Farklı oranlarda harmanlanan yüksek fırın baca tozu ve haddehane tufaline flaks olarak kalsit, bağlayıcı olarak CMC ve redüktant olarak kok kömürü ilave ederek peletlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Ortalama partikül çapının ve partikül yüzey alanının reaksiyon hızını çok kuvvetli bir şekilde etkileyeceği düşünülerek peletler hazırlanırken kullanılan tufal, yüksek fırın baca tozu, kok kömürü ve kalsitin tane boyutu $-100 \mu\text{m}$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılacak tüm hammaddeler karışımın hazırlanmasından önce etüv fırınında 150°C de 2 saat süreyle kurutulmuştur. Kardemir A.Ş.'den elde edilen haddehane tufali halkalı değirmende öğütülerek elenmiş ve tane boyutu $100\mu\text{m}$ altına indirilmiştir. Elenmiş olan haddehane tufali ile Kardemir A.Ş.'den temin edilen tamamının tane boyutu $100 \mu\text{m}$ altında olan yüksek fırın baca tozundan ağırlıkça $1:0 - 0,75:0,25 - 0,5:0,5 - 0,25:0,75 - 0:1$ oranlarında harmanlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımlara redükleyici olarak Fe/C oranı 3 olacak şekilde kok kömürü ilave edilmiştir.

Elde edilen bu karışımlara bağlayıcı olarak karışım ağırlığının %10'u oranında CMC eklenmiştir. Baziklik oranı 0,7 olacak şekilde kalsit (CaCO₃) eklenmiştir. Karışımın homojen bir hal almasını sağlamak amacıyla karışım 15 dk boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım peletleme cihazında 30-36 devir/dk hızda 45° açıyla peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin bileşimi Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Harmanları oluşturan hammaddelerin oranları.

HARMAN NO.	TUFAL		YFBT		KOK		CaO		CaCO ₃		BAZİKLİK ORANI	BAĞLAYICI MİKTARI	HARMAN AĞIRLIĞI (gr)
	%	Ağırlık	%	Ağırlık	%	Ağırlık	%	Ağırlık	%	Ağırlık			
A	77,415	600	0	0	20,9	162,0	0,9	7,297	1,681	13,03	0,7	77,5	775,0
B	56,849	450	18,9	150	19,64	155,4	2,6	20,24	4,565	36,13	0,7	79,2	791,6
C	37,124	300	37,1	300	18,42	148,9	4,1	33,17	7,331	59,24	0,7	80,8	808,1
D	18,19	150	54,6	450	17,25	142,3	5,6	46,11	9,986	82,34	0,7	82,5	824,6
E	0	0	71,3	600	16,13	135,7	7	59,05	12,54	105,4	0,7	84,1	841,1

6.2.2. Porozite

Peletlerin redüklenebilirlik derecesinin yüksek olabilmesi için katı-gaz reaksiyonlarının en üst mertebede olması gereklidir. Bu durum ise porozitenin en yüksek olduğu durumlarda söz konusudur. Peletlerin porozitesi hesaplanırken ilk olarak her harmandan alınan 6 peletin kuru ağırlıkları tartılmıştır. Ardından peletler 24 saat süreyle metil alkol içerisinde bırakıldıktan sonra askıdaki ağırlıkları tartılmış sonrasında ise peletlerin yüzeyindeki ıslaklık giderildikten sonra yaş ağırlığı ölçülmüştür. Porozite miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Porozite} = \frac{W-D}{W-S} \times 100 \quad (6.1)$$

Burada; W =Yaş Ağırlık D = Kuru Ağırlık S = Askıda Ağırlık

6.2.3. Basma ve Yaş Pelet Düşme Sayısı Testleri

Üretilen peletlerin yaş dayanımlarını tespit etmek için 50 cm yükseklikten çelik bir levha üzerine serbest düşmeye bırakılmış ve kırıldığı ana kadar tekrar edilmiştir. Peletin kırıldığı serbest düşme sayısı not edilerek ortalaması alınmıştır. Peletler 2 saatlik kurutma işlemine tabi tutulmuş ardından 50 kN'luk Shimadzu marka çekme cihazının basma aparatı kullanılarak minimum 5 adet numuneye 5 mm/dk hızla basma testi uygulanmıştır. Teste tabi tutulan numunelerin aynı boyutlarda olmasına özen gösterilmiştir.

6.2.4. Redüklenme Derecesinin Hesaplanması

Farklı karışım oranlarına sahip olan peletlerin ilk ağırlıkları hassas terazi yardımı ile tespit edilmiştir. Kimyasal analizlerinden yola çıkılarak içerdikleri oksijen miktarı belirlenmiştir ve daha sonra bu peletler 3 farklı sıcaklıkta (1200°C, 1300°C ve 1400°C) inert gaz ortamında redüklenmiştir. Farklı sıcaklıkta redüklenen peletlerin redüksiyon işlemi sonucunda tekrar ağırlıkları ölçülmüştür. Kızdırma kaybı hesaba katılarak son oksijen içeriği belirlenmiştir. Redüklenme derecesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\%R = \frac{(\text{Başlangıç oksijen içeriği} - \text{Son oksijen içeriği})}{\text{Toplam oksijen içeriği}} \times 100 \quad (6.2)$$

6.2.5. XRD Analizleri

Hazırlanan peletler farklı sıcaklıklarda redüklenmiş ve redüksiyon işlemi sonrasında içerdikleri fazların tayininde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan RİGAKU - Ultima IV marka XRD cihazı kullanılmıştır.

6.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri

Redüklenme işleminden sonra peletlerin yapısında meydana gelen değişimleri saptamak amacıyla EDX donanımlı taramalı elektron mikroskobundan faydalanılmıştır.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

7.1. HAMMADDE GİRDİLERİNİN XRF ve XRD İNCELEMELERİ

7.1.1. Haddehane Tufali

Yapılan XRF analizi sonucu yapıdaki bileşenler Çizelge 7.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Haddehane tufali kimyasal bileşimi.

Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	S	K ₂ O	Na ₂ O	P	Zn	Cu	As	Pb	TiO ₂
69,06	0,01	0,03	0,07	0,07	0,55	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03

Yapılan incelemeler sonucunda haddehane tufalinin yapısında yüksek oranda demir oksit bileşiklerinin yanı sıra düşük miktarlarda safsızlıkları da ihtiva ettiği görülmektedir.

7.1.2. Yüksek Fırın Baca Tozu

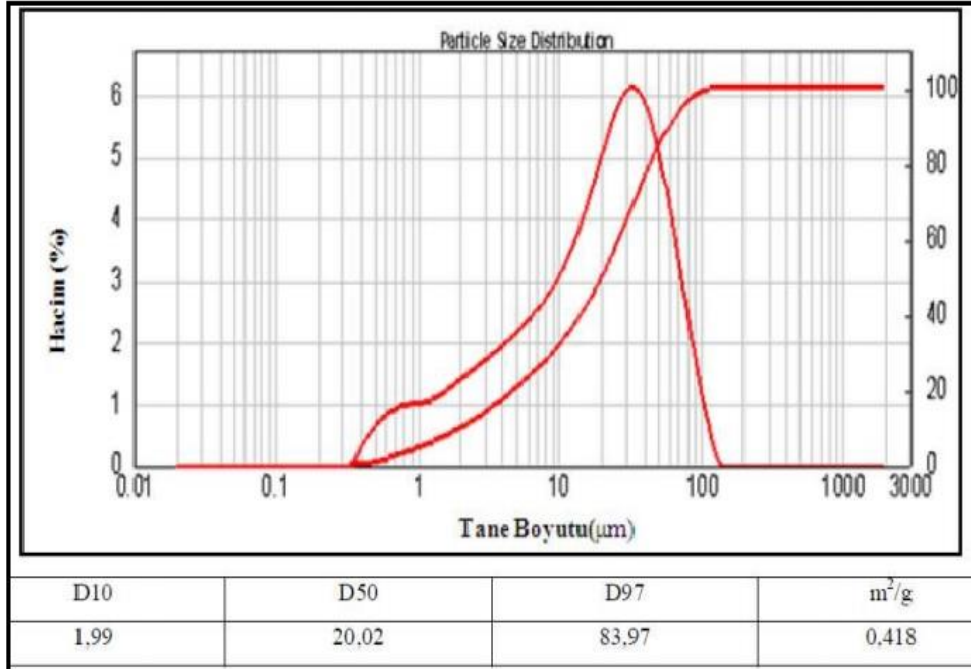
Baca tozuna yapılan XRF sonucunda görüldüğü gibi yüksek fırın baca tozu yüksek demir ve karbon içermesinin yanında, alkali (K₂O ve Na₂O) ve çinko (Zn) gibi safsızlıklarını bünyesinde barındırmaktadır. Yüksek fırın baca tozunun kimyasal bileşimi Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Yüksek fırın baca tozu kimyasal bileşimi.

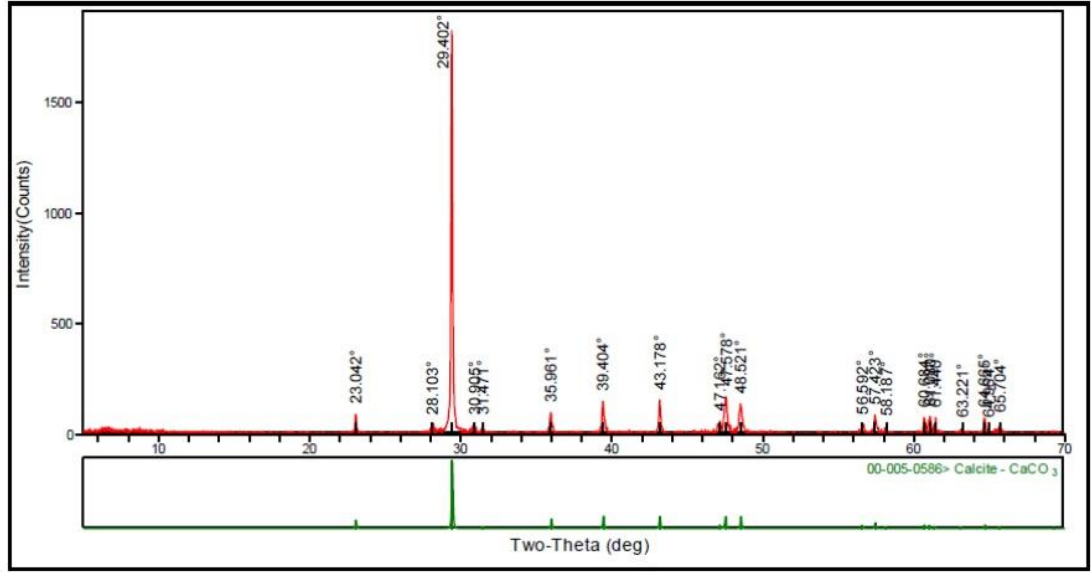
Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	K ₂ O	Na ₂ O	C	ZnO
48.5	7.96	4.63	2.63	0.92	0.83	0.41	0.39	0.32	32.2	0.85

7.1.3 Kalsit

Deneyleerde kullanılan kalsit cevherinin tane boyut analizi Şekil 7.1’de, XRD ve XRF analizleri Şekil 7.2 ve Çizelge 7.3’te gösterilmiştir. XRD ve XRF sonuçları incelendiğinde sonuçların birebir örtüştüğü gözlemlenmiştir. Tane boyutu 100 µm nin altında olan kalsit tozunun % 99,07 si CaCO₃ ve yaklaşık % 1’lik kısmında MgO, Fe₂O₃, SiO₂ ve Al₂O₃ bulunmaktadır. Mastersizer analizinden elde edilen kümülatif eğrisine baktığımızda kalsit mineralinin tamamının tane boyutunun -100µ altında olduğu görülmektedir.



Şekil 7.1. Kalsit cevherinin tane boyut analizi.



Şekil 7.2. Kalsit cevheri XRD analizi.

Çizelge 7.3. Kalsit cevheri XRF analizi.

CaCO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	HCl'de çözünmeyen	CO ₂	Al ₂ O ₃	Kızdırma kaybı
99,07	0,43	0,03	0,02	0,02	42,4	0,03	43,23

7.1.4. Kömür Analizi

İndirgeyici olarak kullanılan kok kömürü analizi Çizelge 7.4'te kok külünün kimyasal bileşimi ise Çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Kok kömürü analizi.

Toplam nem (%)	Kül (%)	Uçucu madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kükürt (%)	Kalori kcal/kg
4,07	14,16	0,59	85,25	0,57	6789

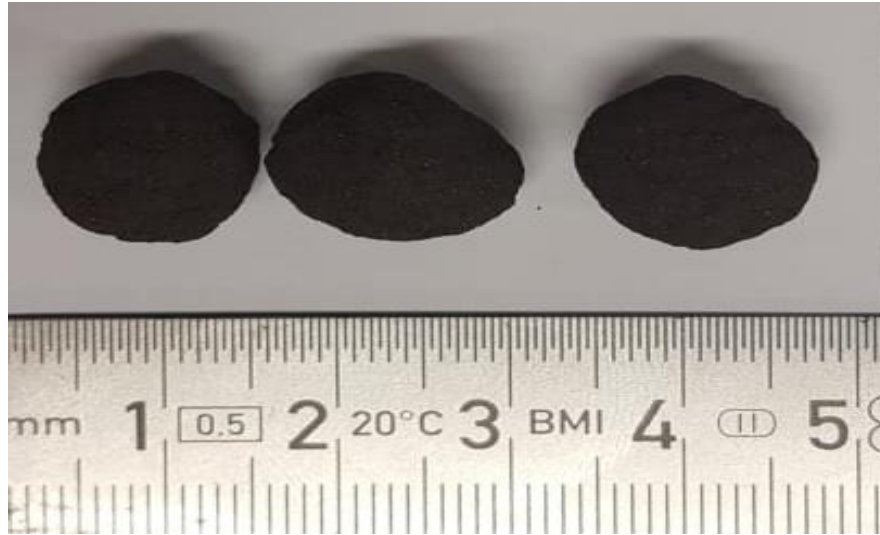
XRF analizine baktığımızda kok kömürünün sabit karbon içeriğinin %85,25 olduğu ve %14,16 kül içerdiği görülmektedir. Yapılan kül analizine göre kok kömürü külünün %80'inin SiO₂, CaO, ve Al₂O₃ bileşiklerinden oluştuğu %12,03 oranında Fe₂O₃ içerdiği belirlenmiştir.

Çizelge 7.5. Kok külü analizi (%).

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
50,98	3,90	25,06	1,36	0,43	12,03	1,98	1,44	1,09	1014

7.2. PELETLEME DAVRANIŞI

Deneyleerde Fe/C oranı 3, bazıklık oranı 0.7 olan ağırlıkça %100 haddehane tufali, %75 haddehane tufali ve %25 yüksek fırın baca tozu, %50 haddehane tufali ve %50 yüksek fırın baca tozu, %25 haddehane tufali ve %75 yüksek fırın baca tozu, %100 yüksek fırın baca tozu içeren karışımlara ağırlıkça %10 oranında CMC eklenerek karışımlar peletlenmiştir. Peletler oluşturulurken reaksiyon hızı düşünülerek kullanılan her bileşenin tane boyutunun -100µm olmasına dikkat edilmiştir. Yüksek fırın baca tozu içerisinde yüksek oranda karbon içermektedir. Harman içerisindeki baca tozu miktarının artması ile karbon miktarıda artmaktadır. Karbon miktarının artması peletlerdeki küreselleşme davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 7.3'te gösterilmektedir.



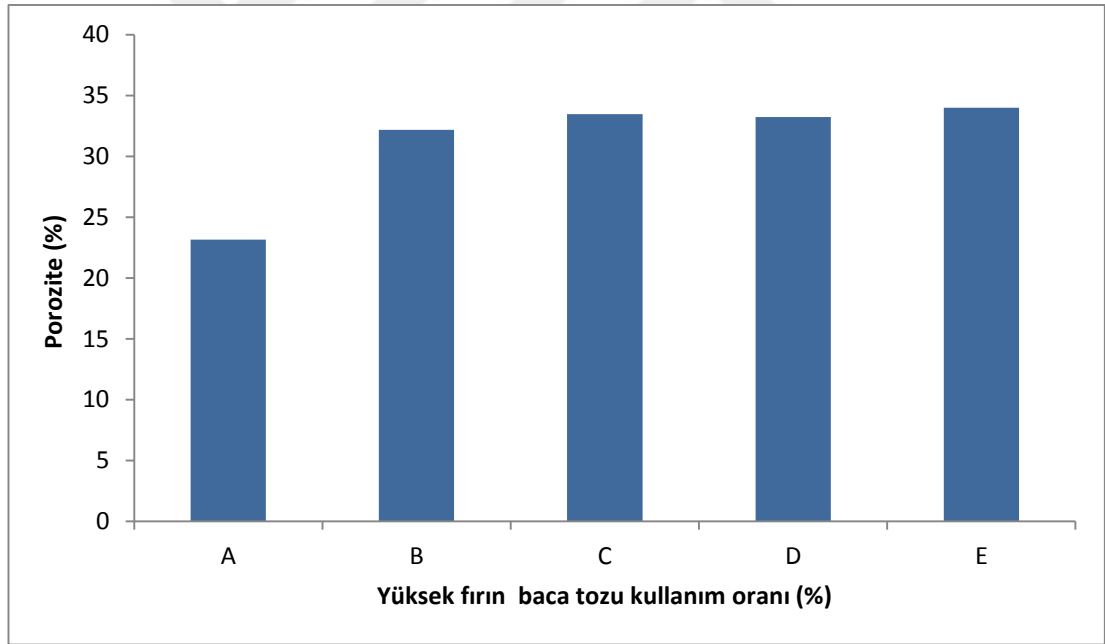
Şekil 7.3. Elde edilen peletler.

7.3. POROZITE

İyi bir redüklenme için peletlerde istenilen porozite miktarı %22-30 arasında olmalıdır [38]. Elde edilen 5 farklı bileşime sahip her bir karışımdan 6'şar adet pelet alınarak porozite testine tabi tutulmuştur. Elde edilen porozite verileri Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Elde edilen porozite değerleri.

Harman No	Tufal	Y.F.Baca tozu	Porozite (%)
A	%100	-	23,14
B	%75	%25	32,19
C	%50	%50	33,46
D	%25	%75	33,23
E	-	%100	34

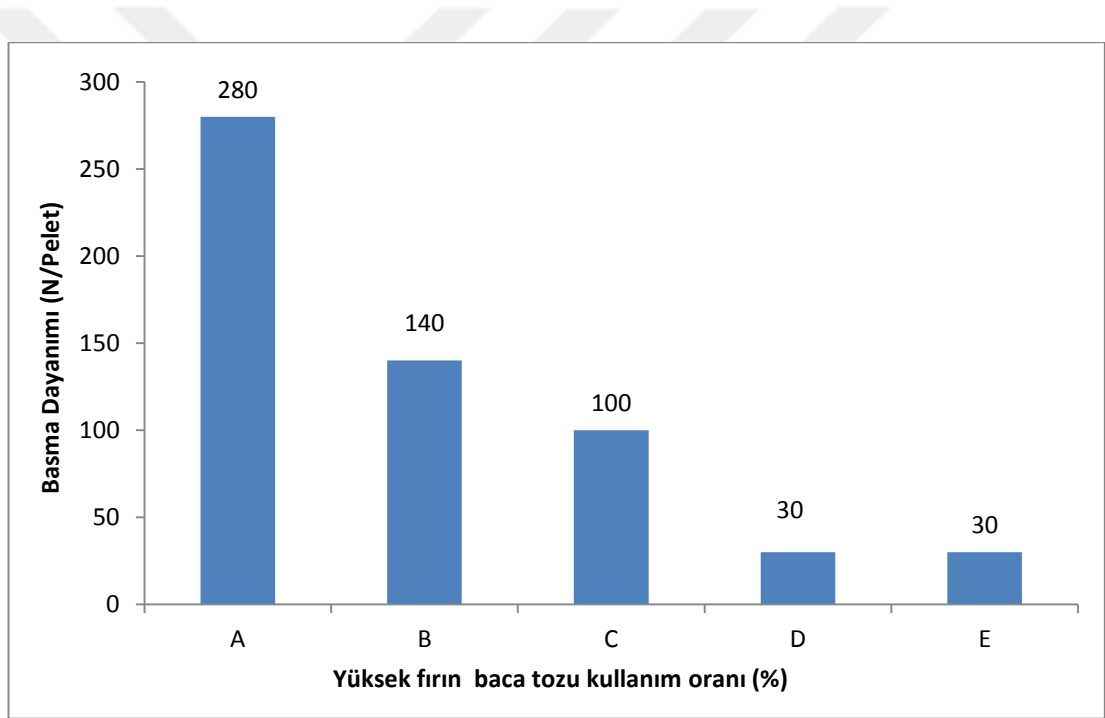


Şekil 7.4. YF. baca tozu kullanımına bağlı porozitenin değişimi.

Yüksek fırın baca tozuna bağlı porozite değişimi Şekil 7.4'te verilmiştir. %100 haddehane tufalinden oluşan karışımda porozite en düşükken harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu miktarının artmasıyla porozitede artmaktadır. Porozite miktarındaki bu artışa yüksek fırın baca tozu ilavesiyle artan karbonun ıslatılabilirliği olumsuz yönde etkilemesinin sebep olduğu düşünülmektedir.

7.4. BASMA DAYANIMI

Peletlerin nakliye, depolama ve üretimde fırına şarj edilirken belirli bir dayanıma sahip olması istenmektedir. Aksi takdirde gaz geçirgenliğinde azalma, dağılma gibi sorunlar görülmektedir. Bu tür durumların önüne geçmek için yüksek fırınlarda kullanılacak peletlerin 2500 N/pelet mukavete sahip olması istenmektedir. DRI üretim proseslerinde ise yüksek fırınlara nazaran şarj yüksekliğinin düşük olması nedeniyle kullanılacak olan peletlerin 300 N/pelet dayanımına sahip olması yeterli olmaktadır [24]. Farklı oranlarda harmanlanan Yüksek fırın baca tozu ile haddehane tufalinden oluşan peletlerin basma mukavemeti Şekil 7.5’te verilmiştir.

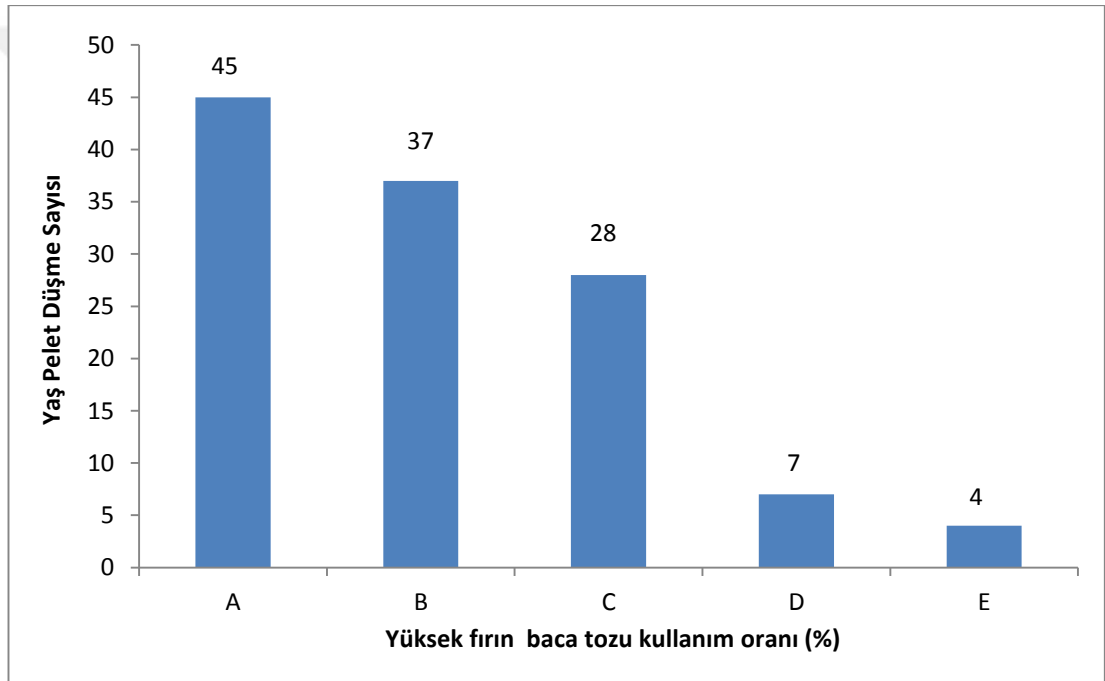


Şekil 7.5. Yüksek fırın baca tozu kullanım oranına bağlı basma mukavemeti.

Ağırlıkça %100 haddehane tufali (A), %75 haddehane tufali ve %25 yüksek fırın baca tozu (B), %50 haddehane tufali ve %50 yüksek fırın baca tozu(C), %25 haddehane tufali ve %75 yüksek fırın baca tozu (D), %100 yüksek fırın baca tozu (E) içeren karışımlardan hazırlanan peletlere basma testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde yüksek fırın baca tozu kullanımı arttıkça basma dayanımı lineer olarak düşmüştür. Bunun sebebi olarak yüksek fırın baca tozunun yüksek miktarlarda C içermesi ve pelet içerisindeki C'nun ıslatılabilirliği olumsuz yönde etkilemesi

gösterilebilir. Bu durum porozite değerlerinde artış sağlarken peletlerin basma dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. A harmanından oluşan peletin basma mukavemeti 280 N/pelet ile maksimum seviyede iken E harmanından oluşan peletin basma mukavemeti 30 N/pelet ile minimum seviyede olduğu ölçülmüştür.

Yapılan yaş pelet düşme sayısı testlerinde basma mukavemetinde olduğu gibi harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu oranı arttıkça yaş pelet düşme sayısı da azalmaktadır. Karışım oranlarına bağlı yaş pelet düşme sayıları Şekil 7.6’ da verilmiştir.



Şekil 7.6. Karışım oranlarına bağlı yaş pelet düşme sayıları.

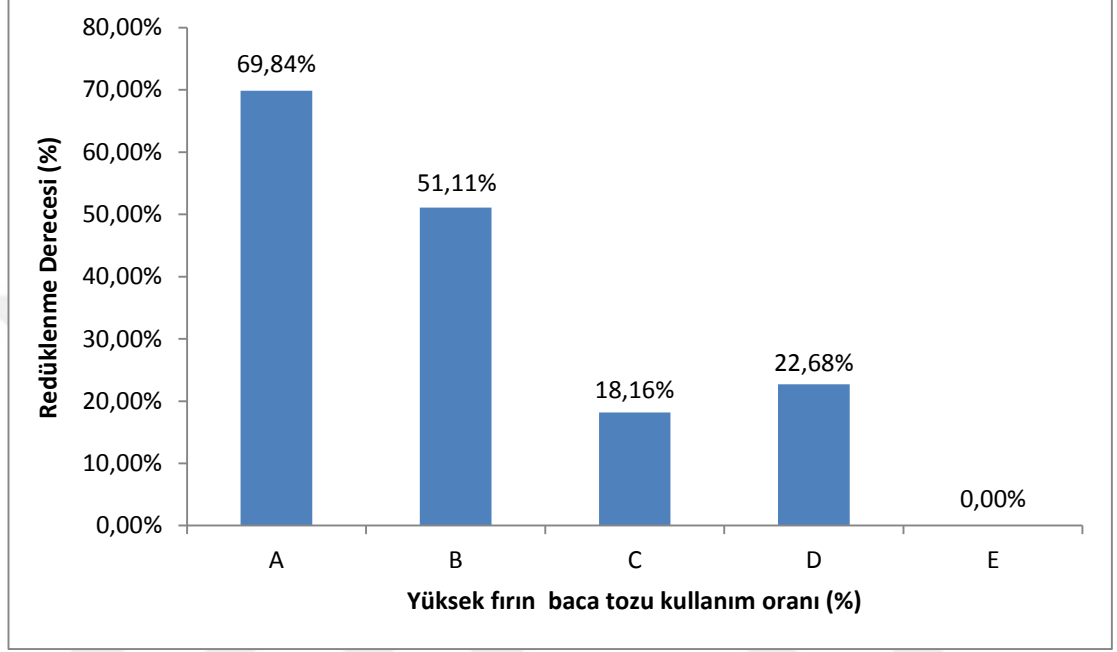
Harman içerisindeki yüksek fırın baca tozunun artmasıyla yaş pelet düşme sayısının azalmasının nedeni yüksek fırın baca tozunun içerisindeki C’un ıslatılabilirliği ve buna bağlı yapışmayı olumsuz yönde etkilemesi olarak gösterilebilir.

7.5. REDÜKLENEBİLİRLİK

1400°C, 1300°C ve 1200°C’de 30 dakika redüklenmiş Fe/C oranı 3 , baziklik derecesi 0.7 olan farklı oranlarda haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren

peletlerin redüklenme dereceleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

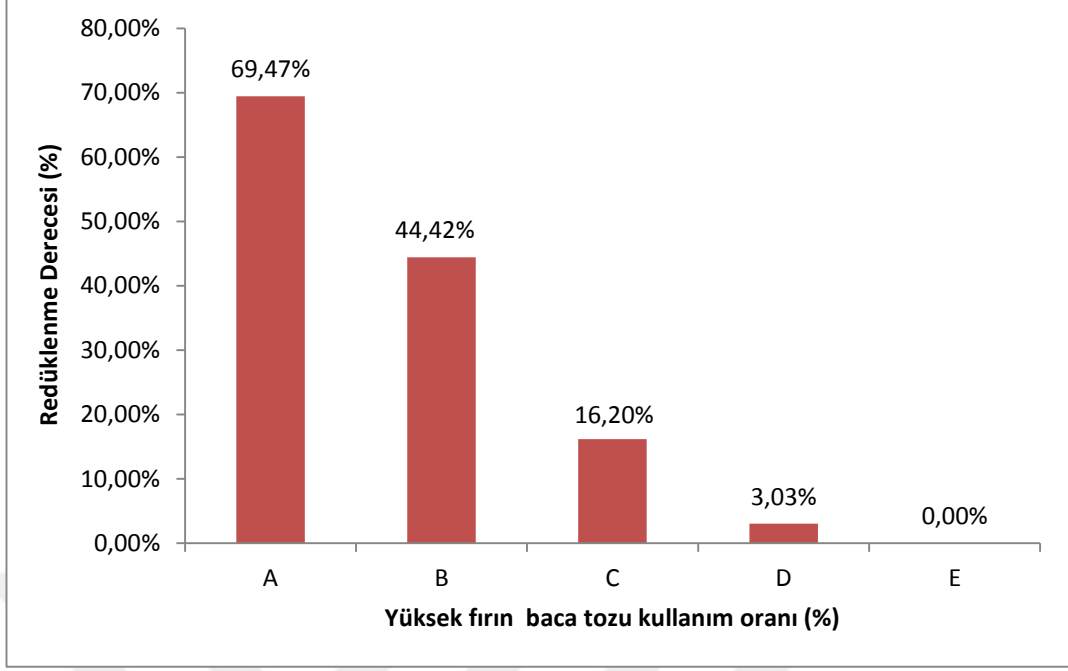
1400°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7. 1400°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.

1400°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış peletler içerisinde en yüksek metalizasyon değeri A harmanından oluşan pelette %69,84 olarak görülmektedir. Metalizasyon değeri B harmanından oluşan pelette %51,11, C harmanından oluşan pelette %18,16, D harmanından oluşan pelette %22,68 olarak saptanmıştır. E harmanından oluşan pelette redüklenme görülmemiştir. Harman içerisindeki yüksek fırın baca tozunun artmasıyla redüklenme değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

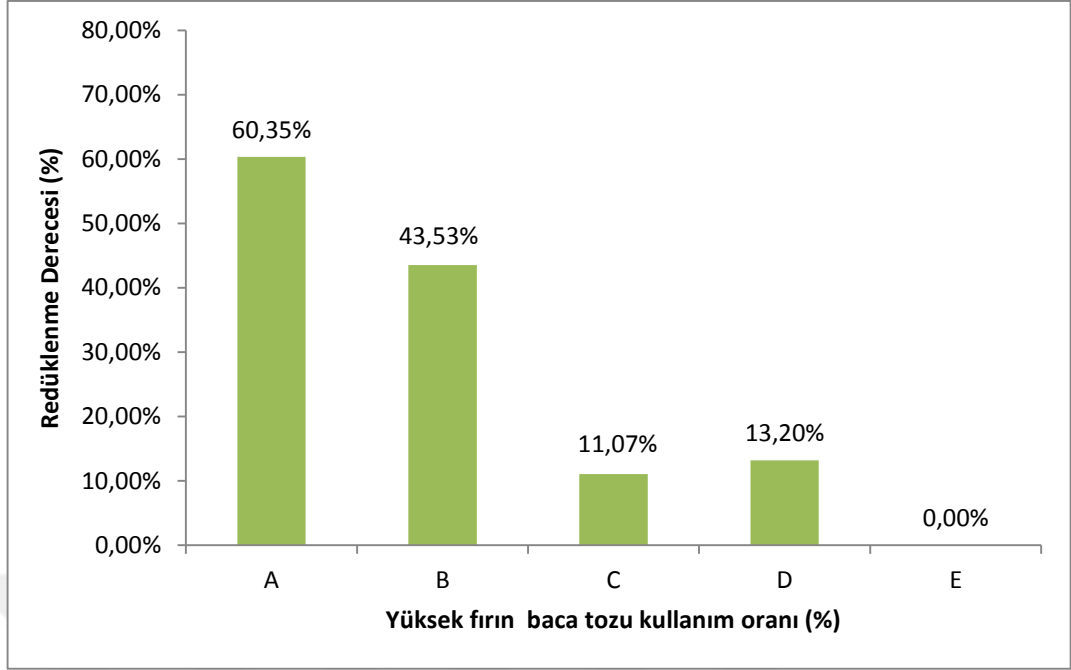
1300°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8. 1300°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.

1300°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış peletler içerisinde en yüksek metalizasyon değeri A harmanından oluşan pelette %69,47 olarak görülmektedir. Metalizasyon değeri B harmanından oluşan pelette %44,42, C harmanından oluşan pelette %16,2, D harmanından oluşan pelette %3,03 olarak saptanmıştır. E harmanından oluşan pelette redüklenme görülmemiştir.

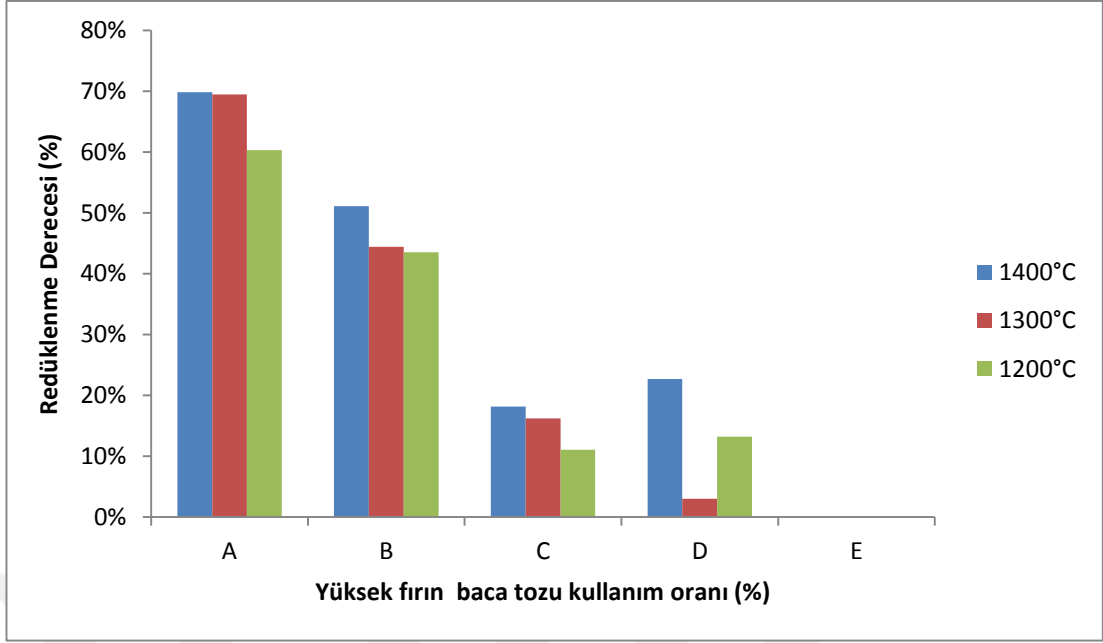
1200°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri Şekil 7.9’da verilmiştir.



Şekil 7.9. 1200°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri.

1200°C’de redüklenen farklı oranlarda harmanlanmış peletler içerisinde en yüksek metalizasyon değeri A harmanından oluşan pelette %60,35 olarak görülmektedir. Metalizasyon değeri B harmanından oluşan pelette %43,53, C harmanından oluşan pelette %11,07, D harmanından oluşan pelette %13,20 olarak saptanmıştır. E harmanından oluşan pelette redüklenme görülmemiştir.

1400°C, 1300°C ve 1200°C’de 30 dakika redüklenmiş Fe/C oranı 3, baziklik derecesi 0.7 olan farklı oranlarda haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozu içeren peletlerin redüklenme dereceleri Şekil 7.10’da verilmiştir.



Şekil 7.10. Farklı sıcaklıkta redüklenen peletlerin redüklenme dereceleri.

A harmanından oluşan peletlerde en yüksek redüklenme derecesine 1400°C’de (%69,84) ulaşıldığı gözlemlenmiştir. 1400°C ve 1300°C’de redüklenen A harmanından oluşan peletlerin redüklenme derecelerinin yakın olduğu ve en düşük redüklenme derecesine sahip peletin 1200°C ‘de redüklenen pelet olduğu tespit edilmiştir.

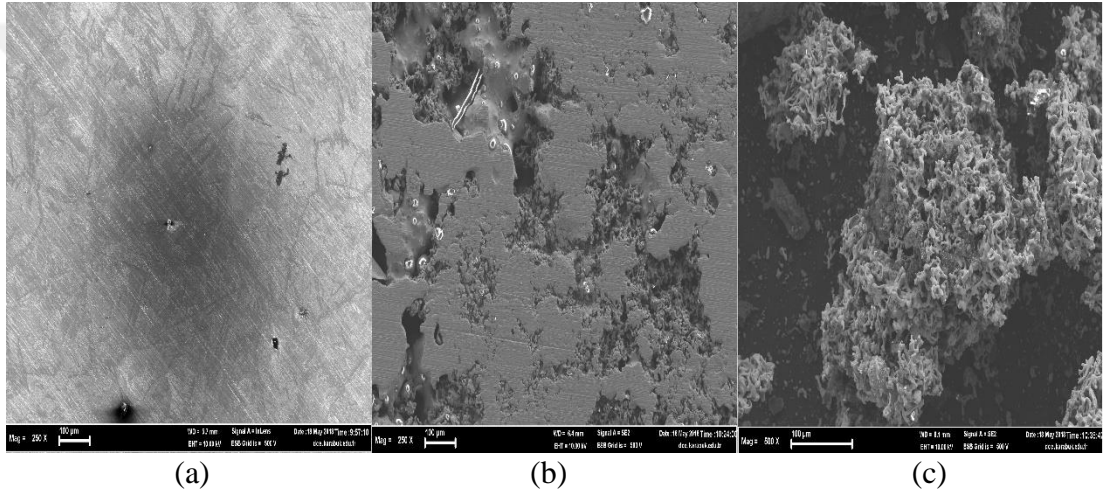
B harmanından oluşan peletlerde ise en yüksek redüklenme derecesine %51,11 ile 1400°C’de ulaşıldığı, ardından sırasıyla %44,42 ile 1300°C’de ve %43,53 ile 1200°C’de ulaşıldığı tespit edilmiştir. C harmanından oluşan peletlerde ise en yüksek redüklenme derecesine %18,16 ile 1400°C’de ulaşıldığı, ardından sırasıyla %16,20 ile 1300°C’de ve %11,07 ile 1200°C’de ulaşıldığı tespit edilmiştir. D harmanından oluşan peletlerde ise en yüksek redüklenme derecesine %22,68 ile 1400°C’de ulaşıldığı, ardından sırasıyla %13,2 ile 1200°C’de ve %3,03 ile 1300°C’de ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu kullanımı arttıkça yapı içerisindeki alumina ve silika gibi empüriteler artmaktadır. Empüritelerin artmasıyla yapıda 1050°C’ de yumuşamaya başlayan, 1200°C’de ergiyen fayalit fazı (Fe_2SiO_4) ve düşük ergime sıcaklığında curuf oluşturan kalsiyum silikat, alümina silikat ve vüstit fazları

görölmeye başlamaktadır. Oluşan fayalit fazının demir oksit yüzeyini sararak gaz difüzyonunu engellediğini ve redüklenmeyi yavaşlattığı düşünölmektedir[39,40]. Gang içeriğı oldukça yüksek bir malzeme ile çalışılması ve pölvürize kömürdeki kül bileşimlerinde ki silika ve alümina değerlerinin çok yüksek olması, böyle bir durumu ortaya çıkarmış olabileceğı düşünölmektedir.

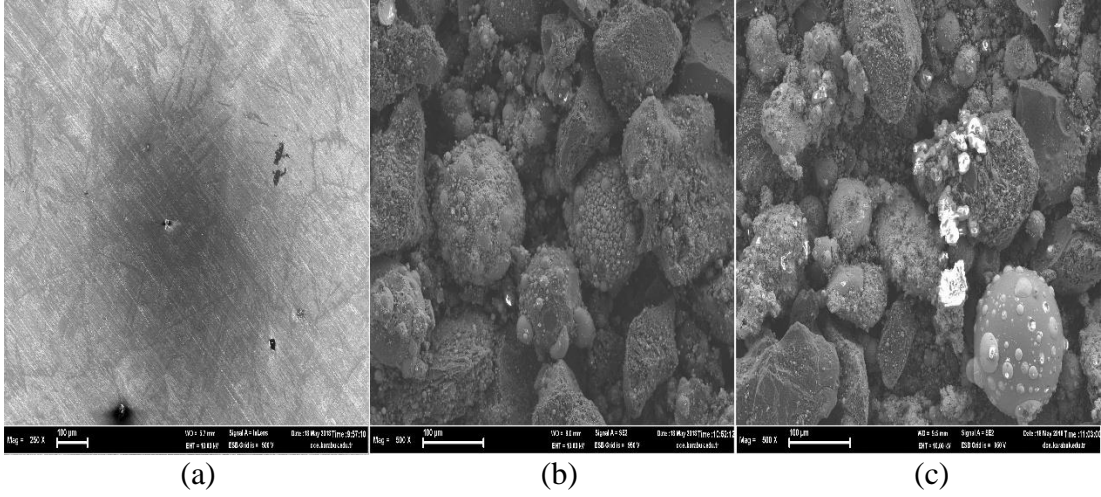
7.5. SEM

Mikro yapı incelemesi taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.



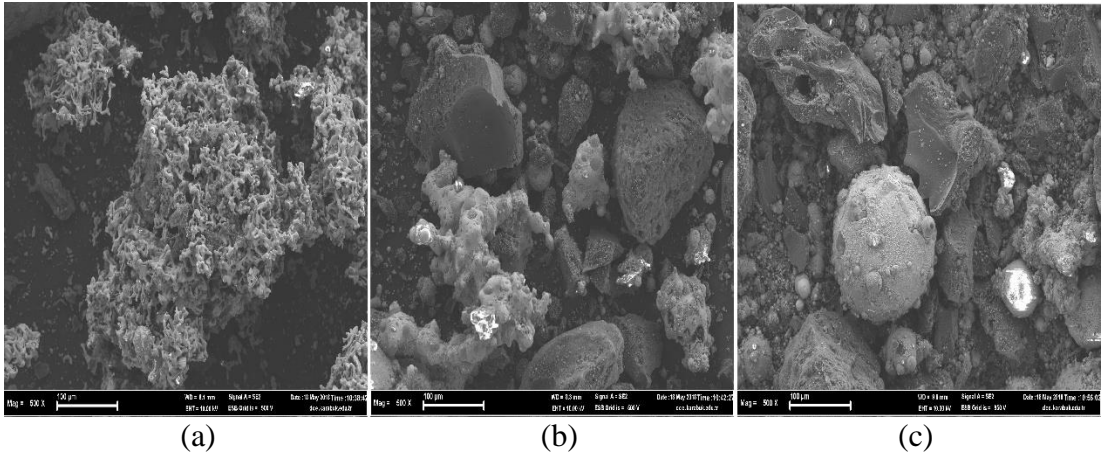
Şekil 7.11. a) 1400°C', b) 1300°C ve c) 1200°C 'de 30 dk redüklenen A harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.

Şekil 7.11'de göröldüğü gibi aynı kimyasal kompozisyona sahip harmanlarda redüklenme sıcaklığının artmasıyla demir yapıya daha çok hakim olmaktadır. 1400°C'de redüklenen pelette yapı içerisinde büyük oranda demir ve çok az oranda karbon bulunmasına karşın 1300°C ve 1200°C'de redüklenen peletler içerisinde demirin yanı sıra daha fazla oranda karbonun ve çeşitli oksitlerinde bulunduğı görölmektedir. Redüklenme sıcaklığının düşmesi ile yapı içerisinde ki demirin azaldığı, karbon ve oksit miktarının arttığı görölmektedir. Yapı içerisinde karbon ve oksitlerin fazlaca bulunması redüklenmenin tam anlamıyla gerçekleşmediğine işaret etmektedir. Bu sonuçlar neticesinde sıcaklığın redüklenmeyi etkileyen başlıca parametrelerden biri olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 7.12. 1400°C de 30 dk redüklenmiş a) A harmanı, b) C harmanı ve c) E harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.

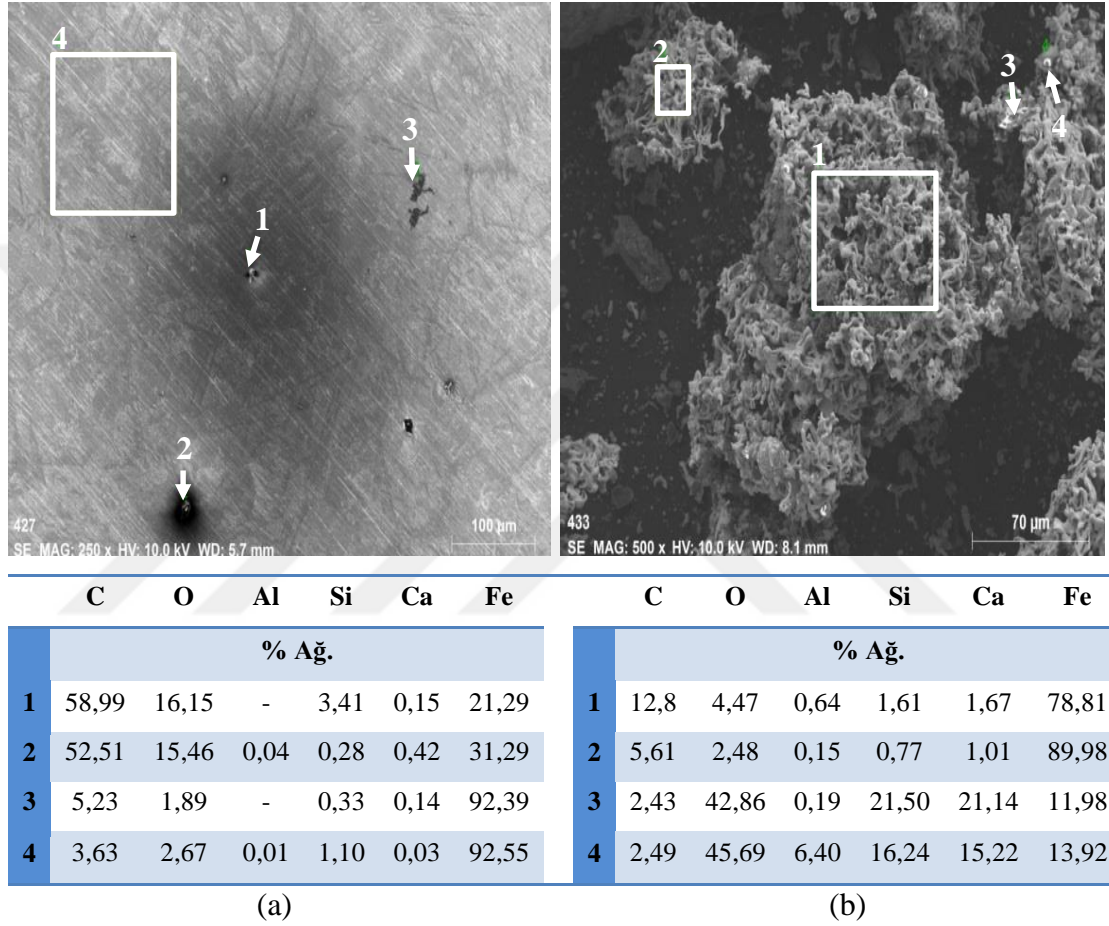
Sıcaklığın yanı sıra kimyasal kompozisyon da redüklenmeyi etkileyen başlıca etmenlerden biridir. 1400 °C’de 30 dk redüklenen A harmanı (a), C harmanı (b) ve E harmanından (c) oluşan peletlerin redüklenme sonrası yapıları Şekil 7.12’de gösterilmiştir. A harmanından oluşan pelette metalik demir daha fazla iken baca tozu kullanımının arttığı harmanlarda metalik demirin azaldığı gözlenmektedir.



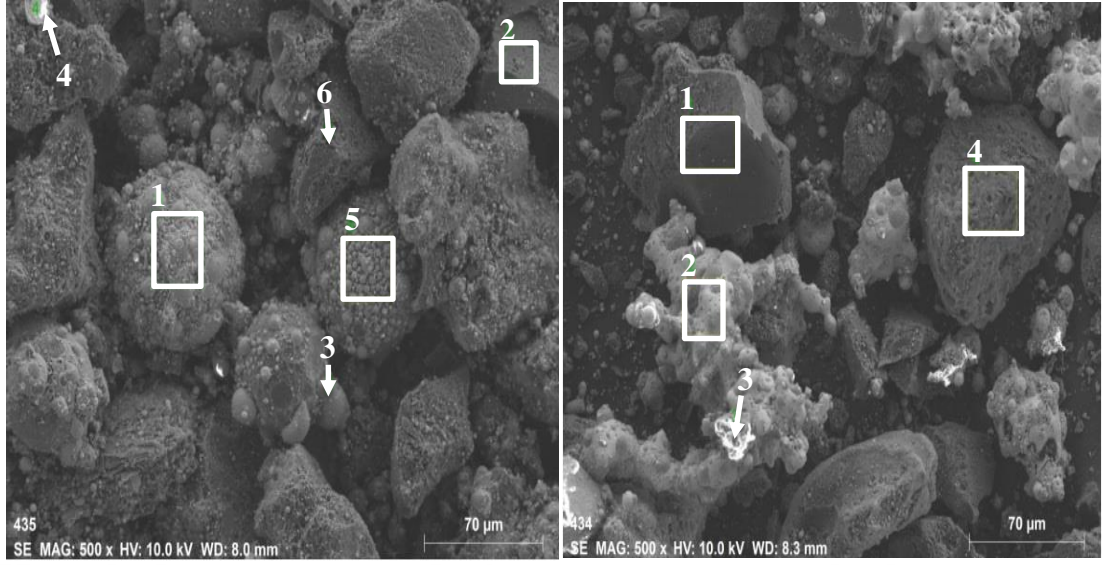
Şekil 7.13. 1200°C de 30 dk redüklenmiş a) A harmanı, b) C harmanı ve c) E harmanından oluşan peletlerin mikroyapısı.

Şekil 7.13’te görüldüğü gibi redüklenme sıcaklığının düşmesi ve yüksek fırın baca tozu kullanımının artması ile redüklenme sonrası metalik demirin azaldığı görülmüştür. Taramalı elektron mikroskobu fotoğraflarından artan sıcaklık ve artan

haddehane tufali kullanımı sonucunda metalik fazın curuftan ayrılarak yapıya daha hakim olduğu görülmektedir. Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan çalışmalar ve alınan EDS analizleri neticesinde yapıda metalik demirin yanı sıra karbon ve curuf kalıntılarına rastlanmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu resimleri ve yapılan EDS analizleri Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'te verilmiştir.



Şekil 7.13. A harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C 'de redüklenen peletlerin mikrofotografaları ve EDS analizleri.

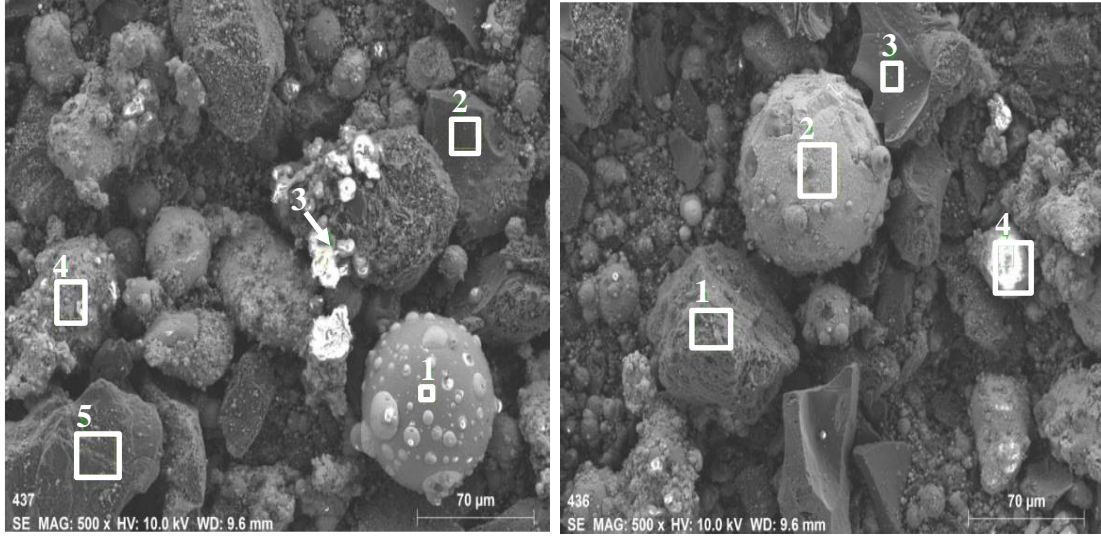


	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe		C	O	Al	Si	Ca	Fe
	% Ağ.								% Ağ.					
1	31,22	21,85	2,64	8,16	5,18	12,43	17,51	1	62,89	10,9	0,39	1,79	4,58	13,34
2	92,86	3,74	-	0,16	-	0,31	2,93	2	15,70	15,71	2,22	5,63	6,69	54,03
3	19,13	35,62	5,76	21,95	-	14,59	2,95	3	11,1	49,36	9,01	14,62	13,85	2,04
4	9,08	6,54	0,08	0,21	35,74	45,51	2,82	4	87,73	7,56	0,46	1,34	1,76	1,14
5	31,42	27,94	2,92	12,92	-	9,22	15,55							
6	58,76	18,1	1,63	6,86	-	5,16	9,32							

(a)

(b)

Şekil 7.14. C harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C 'de redüklenen peletlerin mikrofotografaları ve EDS analizleri.



	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe		C	O	Al	Si	S	Ca	Fe
	% Ağ.								% Ağ						
		51,2	2,8	22,9					89,9			1,1			
1	5,75	7	6	7	0,04	15,6	2,5	1	4	5,31	0,3	2	0,18	0,64	2,51
	96,8		0,1						29,0		0,0		24,1	19,7	17,2
2	4	1,98	3	0,24	0,38	0,44	-	2	9	7,97	1	1,8	1	7	2
	12,2		0,1		29,0	40,8			93,8		0,1	0,4			
3	9	8,76	6	0,92	6	2	7,96	3	4	4,48	9	6	0,23	0,35	0,44
	20,6		0,9			13,3	42,9		16,0	14,6	0,3	17,	27,1	38,0	
4	1	9,99	1	4,66	7,55	1	6	4	2	9	2	7	2	2	2,05
	93,9		0,0												
5	3	2,68	7	0,21	0,24	0,26	2,61								

(a)

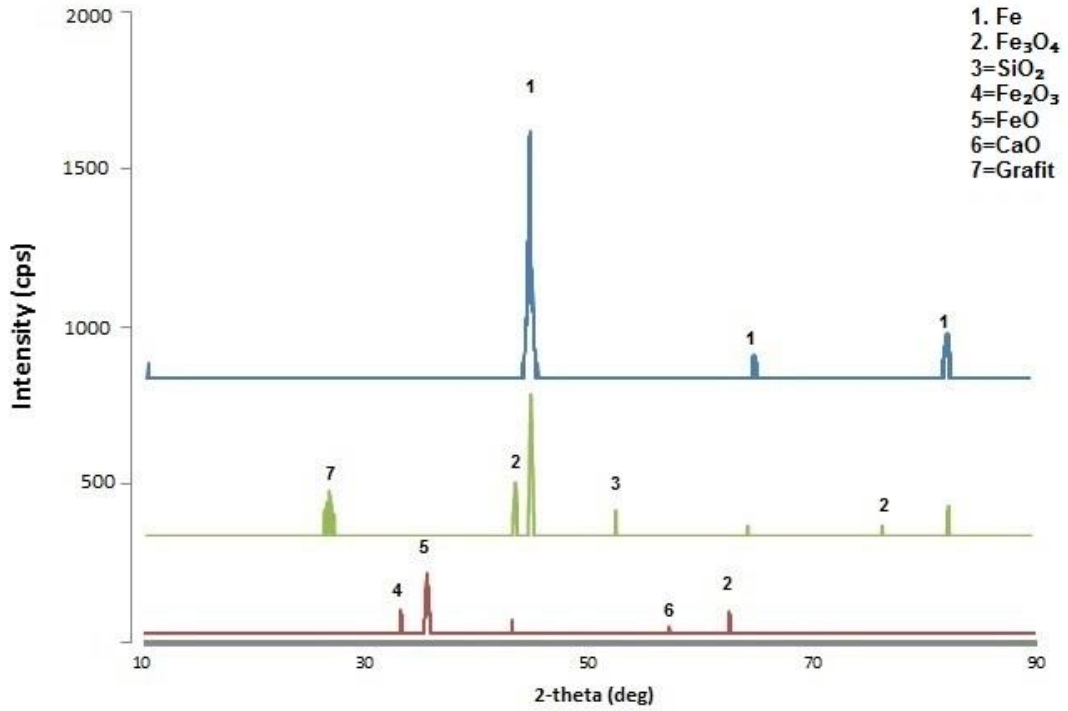
(b)

Şekil 7.15. E harmanından oluşan a) 1400°C ve b) 1200°C’de redüklenen peletlerin mikrofotografaları ve EDS analizleri.

7.6. XRD ANALIZI

Farklı karışım oranlarında üretilen peletlerin 1400°C, 1200°C redüklenen ve redüklenmemiş peletlere XRD analizi yapılmıştır

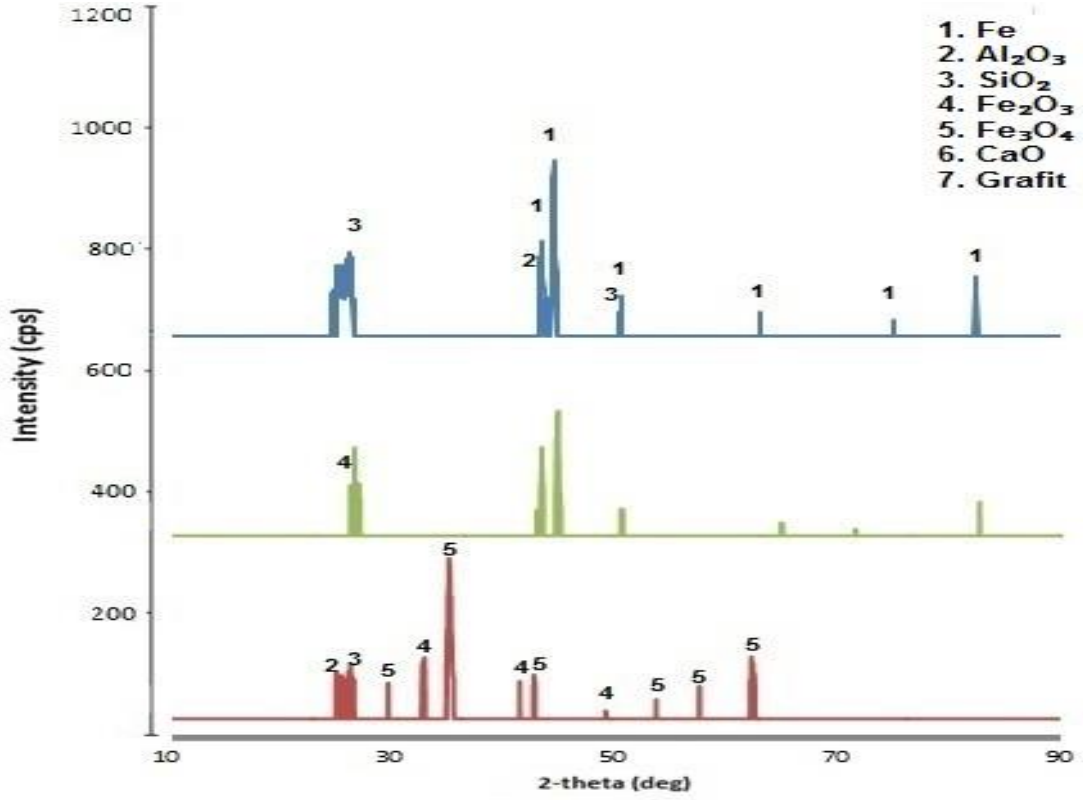
Şekil 7.16'da görüldüğü gibi A harmanından oluşan ve 1400°C'de redüklenen pelet yapısında yüksek oranda demir(1 nolu pik) bulunmaktadır.



Şekil 7.16. A harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.

1200°C'de redüklenen pelette ise yüksek demir oranının yanı sıra yapıda nispeten yüksek oranda dönüşümü tamamlanmamış hematite (Fe₂O₃) ,SiO₂ ve grafitte rastlanmaktadır. Redüklenmemiş pelette ise yüksek miktarda FeO'nu yanı sıra dönüşümü tamamlanmamış hematite (Fe₂O₃) ve CaO'e rastlanmıştır.

Şekil 7.17'de B harmanından oluşan peletlerin 1400°C, 1200°C'de redüklenen ve redüklenmemiş peletlerin XRD analizi verilmiştir.



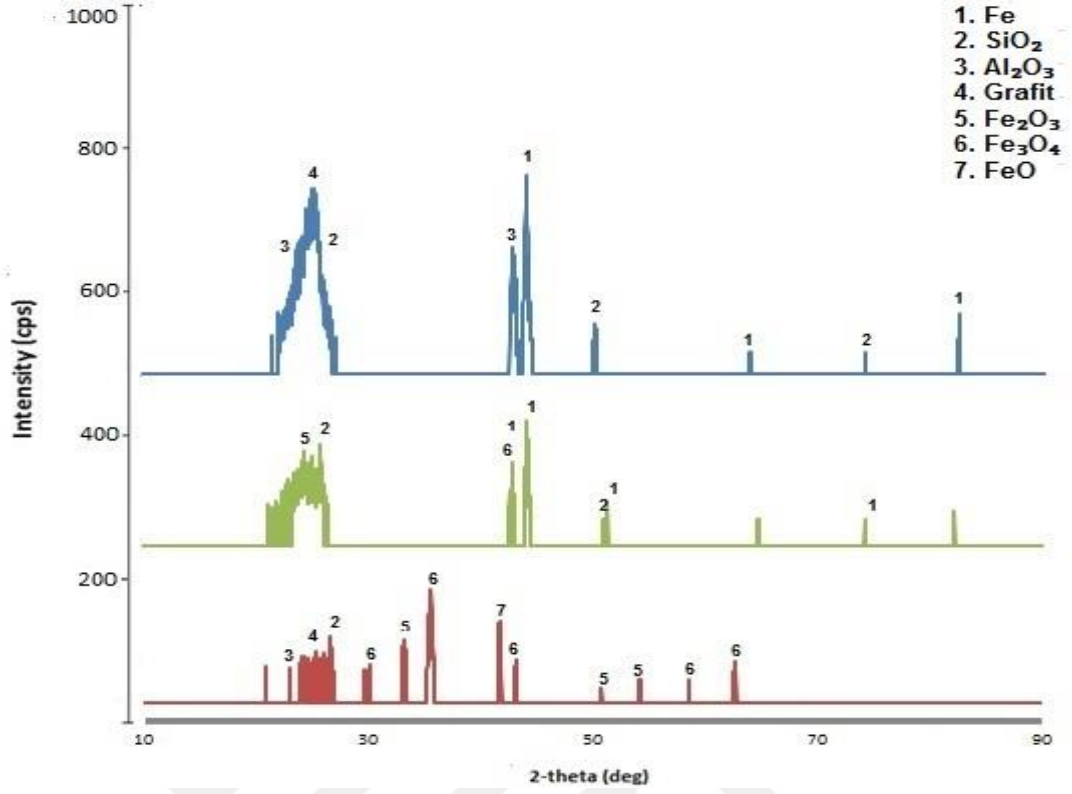
Şekil 7.17. B harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.

1400°C’de redüklenen B harmanından oluşan peletin yapısında yüksek oranda demir ve daha düşük oranlarda Al_2O_3 ve SiO_2 bulunduğu yapılan XRD analizi sonucunda ortaya çıkarılmıştır.

1200°C’de redüklenen peletin yapısında ise 1400°C’de redüklenen peletin yapısına nazaran daha düşük oranda demir bulunmasına karşın daha yüksek miktarlarda Al_2O_3 ve SiO_2 bulunmaktadır. Ayrıca 1200°C’de redüklenen peletin yapısında 1400°C’de redüklenen peletten farklı olarak dönüşümü tamamlanmamış hematite (Fe_2O_3) rastlanmaktadır.

B harmanından oluşan redüklenmemiş peletin yapısında major olarak Fe_3O_4 piklerine minor olarak Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve SiO_2 piklerine rastlanmaktadır.

Şekil 7.18’de C harmanından oluşan peletlerin 1400°C, 1200°C’de redüklenen ve redüklenmemiş peletlerin XRD analizi verilmiştir.

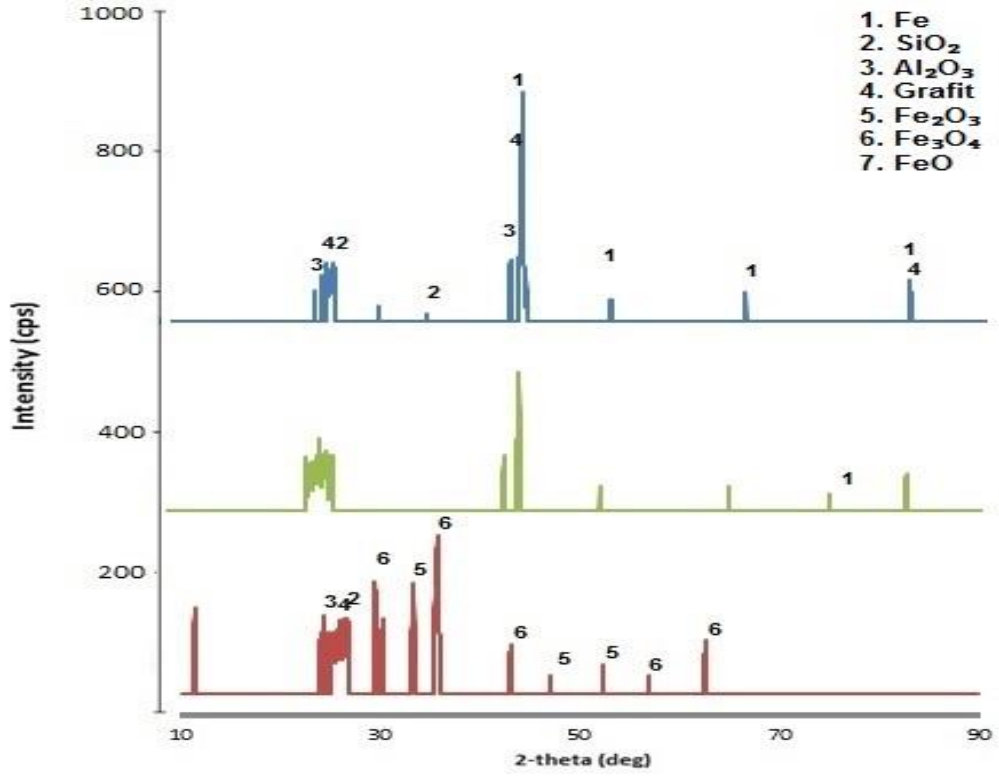


Şekil7.18. C harmanından oluşan 1400°C (mavi) ,1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.

1400°C’de redüklenen C harmanından oluşan peletin yapısında demirin yanı sıra yüksek oranlarda grafit, Al₂O₃ ve SiO₂ piklerine rastlanmaktadır. 1200°C’de redüklenen C harmanından oluşan peletin yapısında 1400°C’de redüklenen pelete nazaran daha az demir bulunmaktadır.Ayrıca yapıda SiO₂, Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ fazlarına rastlanmaktadır.

C harmanından oluşan peletin yapısında ağırlıklı olarak Fe₃O₄, Fe₂O₃ pikleri bulunmasına karşın yapıda FeO, SiO₂ ve Al₂O₃ piklerinede rastlanmaktadır. Yapıda major olarak Fe₃O₄ fazı bulunmaktadır.

Şekil 7.19’da D harmanından oluşan peletlerin 1400°C, 1200°C’de redüklenen ve redüklenmemiş peletlerin XRD analizi verilmiştir

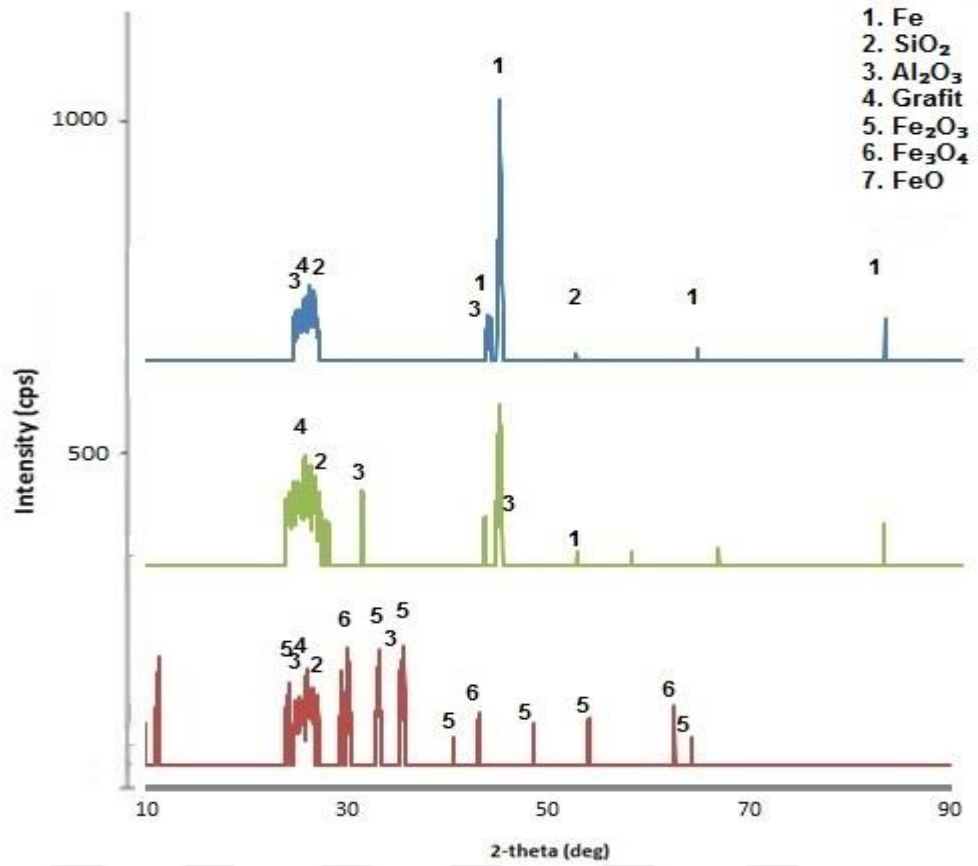


Şekil 7.19. D harmanından 1400°C (mavi), 1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.

1400°C’de redüklenen D harmanından oluşan peletin yapısında major olarak demir, minor olarak Al_2O_3 , SiO_2 ve grafit piklerine rastlanmıştır. 1200°C’de redüklenen D harmanından oluşan peletin yapısında ise 1400°C’de redüklenen pelete nazaran daha düşük oranda demir bulunmasına karşın nispeten daha yüksek oranda Al_2O_3 , SiO_2 ve grafitte rastlanmaktadır.

D harmanından oluşan peletin yapısında ağırlıklı olarak Fe_3O_4 ve Fe_2O_3 piklerine rastlanırken düşük oranda Al_2O_3 , SiO_2 ve grafit piklerinede rastlanmaktadır.

Şekil 7.20’de E harmanından oluşan peletlerin 1400°C, 1200°C’de redüklenen ve redüklenmemiş peletlerin XRD analizi verilmiştir



Şekil 7.20. E harmanından oluşan 1400°C (mavi), 1200°C (yeşil) redüklenen ve redüklenmemiş peletin(kırmızı) XRD analizi.

1400°C’de redüklenen E harmanından oluşan peletin yapısında major olarak demir, minor olarak Al_2O_3 , SiO_2 ve grafit piklerine rastlanmıştır. 1200°C’de redüklenen E harmanından oluşan peletin yapısında ise 1400°C’de redüklenen pelete nazaran daha düşük oranda demir bulunmasına karşın nispeten daha yüksek oranda Al_2O_3 , SiO_2 ve grafitte rastlanmaktadır.

E harmanından oluşan peletin yapısında major olarak Fe_3O_4 ve Fe_2O_3 piklerine rastlanırken düşük oranda Al_2O_3 , SiO_2 ve grafit piklerinede rastlanmaktadır.

BÖLÜM 8

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada entegre tesis katı atıklarından olan haddehane tufali ve yüksek fırın baca tozunun mevcut geri kazanım yöntemlerine alternatif geri kazanımı araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında %100 haddehane tufali, %75 haddehane tufali ve %25 yüksek fırın baca tozu, %50 haddehane tufali ve %50 yüksek fırın baca tozu, %25 haddehane tufali ve %75 yüksek fırın baca tozu,%100 yüksek fırın baca tozu içeren harmanlar hazırlanmıştır. Hazırlanan harmanlara redükleyici olarak Fe/C oranı 3 olacak şekilde kok kömürü ve bazitesi 0,7 olacak şekilde kalsit ilave edilmiştir. Harmanlar karboksil metil selüloz kullanılarak pelet haline getirilmiştir. Hazırlanan peletler porozite, basma ve yaş pelet düşme testlerine tabi tutulmuştur. Hazırlanan peletler 3 farklı sıcaklıkta redüklenmiş ve redüklenen peletlerin yapısındaki değişimleri belirlemek için XRD ve SEM analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Elde edilen peletler içerisinde en yüksek basma mukavemeti %100 haddehane tufali içeren harmanda 280N/pelet olarak ölçülmüştür. Harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu oranının artmasıyla basma mukavemeti düşmüştür.
- Yapılan yaş pelet düşme sayısı testlerinde basma mukavemetinde olduğu gibi harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu oranının artmasıyla yaş pelet düşme sayısının azaldığı tespit edilmiştir. %100 haddehane tufali içeren harmanda yaş pelet düşme sayısı 45 ile maksimum ölçülürken %100 YFBT içeren harmanda yaş pelet düşme sayısı 4 ile minimum ölçülmüştür.
- Harman içerisinde yüksek fırın baca tozu oranı arttıkça basma mukavemetinde ve yaş pelet düşme sayısında düşüş meydana gelirken

porozitede artış meydana gelmektedir. Bu durumun sebebi olarak yüksek fırın baca tozunun yüksek miktarda karbon içermesi ve pelet içerisindeki karbonun ıslatılabilirliği olumsuz yönde etkilemesi gösterilebilir.

- 1400°C’de hesaplanan redüklenme dereceleri %69,84 ile %0 arasında değişirken 1300°C’de %69,47 ile %0 arasında, 1200°C’de %60,35 ile %0 arasında değişmektedir. En yüksek redüklenme derecesine 1400°C’de redüklenen %100 haddehane tufali içeren pelette ulaşılmıştır. Redüklenme sıcaklığı arttıkça redüklenme derecesinin arttığı tespit edilmiştir.
- Harman içerisindeki yüksek fırın baca tozu oranı arttıkça redüklenme derecesinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu duruma yüksek fırın baca tozunun içerisinde yüksek oranda bulunan istenmeyen elementlerin 1100°C ‘nin üstündeki sıcaklıklarda fayalit oluşturmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Oluşan fayalitin kısmen yumuşayarak demiroksitlerin yüzeyini sarıp redüklenmeyi zorlaştırdığı düşünülmektedir. Bu durum ayrıca bir araştırma konusu olup etkileri ve oluşum mekanizmaları başka çalışmalarda detaylı araştırılabilir.
- 1400°C’de redüklenen %100 haddehane tufali içeren peletin SEM mikrofotografarı ile bölgesel alınan EDS analiz sonuçlarından; yüzeysel tarama sonucunda demir içeriği %92,55 karbon içeriği ise %3,63 bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Das, B., Prakash, S., Reddy, P. S. R., Biswal, S. K., Mohapatra, B. K. and Misra, V. N., "Effective utilization of blast furnace flue dust of integrated steel plants", *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*., 2 (2): 61-68 (2002).
2. İnternet:Ülkemiz Demir Çelik Tarihi <http://www.demircelik.mmo.org.tr>, 2006
3. Derin, C.B., (2004). Kurşun Oksit İçeren Curufların Kükürt Kapasitelerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
4. Robinson, R., "Studies low temperature self reduction of by-products from integrated from and steel making", Ph.D. Thesis, *Lulea University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Process Metallurgy*, Lulea, Sweden, 1-46 (2008).
5. Karpuzcu, M., "Demir-demirdışı metal üretiminde çıkan curufların Dünya'da ve Türkiye'de kullanımları ve yapılan çalışmalar", *Demir Çelik Atıkları Toplantısı*, İstanbul, 2-31 (2010).
6. Önkibar, G., "Entegre demir çelik tesisi tufalinden doğrudan redüklenme yöntemiile ham demir üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (4-31, 76-120) (2006).
7. Gürses, T., (1998). Demir - Çelik Sektöründe Katı Atıkların Değerlendirilmesi, Bitirme Tezi, *SAÜ Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.*, Sakarya.
8. Erünsal, E. ve Perçinel, S., "Entegre demir çelik fabrikalarında oluşan katı atıkları değerlendirme teknolojilerindeki son gelişmeler", *Demir Çelik Sempozyumu*, Erdemir A.Ş, Zonguldak, 989-994 (2005).
9. ECE Steel Series,. "The Recuperation and Economic Utilization of ByProducts of Iron And Steel Industry, *United Nations Economic Commission for Europe*", 68, New York (1990)
10. Nayak, N. P., "Characterization and utilization of solidwastes generated from Bhilai Steel Plant", M.Sc. Thesis, *Department of Mining Engineering National Institute of Technology*, Rourkela, India, 38-51 (2008).
11. Robinson, R., "High temperature properties of iron and steel making by-product cold bonded pellets", *Nordic Recycling Day*, Mimer Ciru Centre, Sweden, 1-15 (2005).
12. Jalkanen, H., Oghbasilasie, H. and Raipala, K., "Recycling of steelmaking dusts The Radust concept", *Journal of Mining and Metallurgy*, 41-B: 1-16 (2005).

13. **ISIJ Committee on enviromental affairs** “The Manegment of Steel industry By-Product and Wastes” , Brussel, October, 1987.
14. Stern, A. C., “Air Pollution”, 2:146-166, Londra(1968).
15. Boyrazlı, M., “Demir cevheri içerisindeki safsızlıkların olumsuz etkilerinin giderilme yollarının araştırılması”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-34 (2008).
16. Mc GANNON, H.E., The Making Shaping andTtreating of Steel, United States Steel 14th edition,Pittsburg, Pennsylvania, 1989.
17. **The Manufacture of Hot Strip Mill Products** “Oxside removal”, Chapter 33, p 1083-1096.
18. ÇÖMETEN Ö. B. “ Erdemir - Malzeme ve Isıl İşlem Ar – Ge Baş Müh. “ Özel görüşme, Kasım 2005.
19. GOODLİN, W,. The Charts on Scale Formation ,Bricmont Engineering, Pittsburgh, USA, Design Calculation Sheets, 1991.
20. PRD Çevre Yatırımları Planlama ve İnşaat Ltd. Şti., “Baca tozu ve tufal geri kazanım tesisi projesi nihayi çed raporu”, Marzinc Marmara Geri Kazanım Sanayi ve Ticaret A.Ş, Ankara, 10-46 (2011).
21. Doğan, Ö., Gürbüz, U. ve Akküllah, E., “Sinter fabrikasında ark ocaklı tesislere ait tufalin değerlendirilmesi”, **3. Demir Çelik Kongresi ve Sergisi**, Ereğli, 345-348 (2005).
22. Ghosh, A. , Mungolge, M. , Gupta, N. and Tiwari, S. “A preliminary study of influence of atmosphere on reduction behavior of iron ore-coal composite pellets”, **ISIJ International**, 39 (8): 829-831 (1999).
23. Sah, R. and Dutta, K., “Effects of binder on the properties of iron ore-coal composite pellets”, **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, 31 (2): 73-85 (2010).
24. Agrawal, B.B., Prasad, K.K., Sarkar, S.B. and Ray, H.S. “Cold bonded ore–coal composite pellets for sponge ironmaking Part 1 Laboratory scale development”,**Ironmaking Steelmaking**, 27 (6): 421-425 (2000).
25. Mourao, M. B. and Takano, C., “Self-Reducing Pellets for Ironmaking: Reaction Rate and Processing”, **Mineral Processing & Extractive Metalurgy Review**, 24 (3): 183-202 (2003).
26. Arol, A.Ğ., Özbayoğlu G., Hiçyılmaz, C., Akdemir, Ü. ve Mamurekli, M., “Demir cevheri peletlenmesinde bentonite alternatif bir bağlayıcının belirlenmesi”, **Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik 2.Kongresi** , Ankara, 393-406 (1971).

27. Benkli, Y.E., Boyrazlı, M., Artır, R. ve Çizmecioglu, Z., Soğukta sertleşen kompozit pelet üretiminde bağlayıcı olarak jöle ilavesinin araştırılması”, **5. Uluslararası İleri teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 884-888 (2009).
28. Qiu, G., Jiang, Z., Huang, T., Zhui, D. and Fan, X., “Characterization of preparing cold bonded pellets for direct reduction using an organic binder”, **ISIJ International**, 43 (1): 20-25 (2003).
29. İnternet: Sarıdere, N., “Alternatif Demir Çelik Üretim Yöntemleri”, http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/saridede_e1ef266516ce1b39aaf1ce6c5cc6d5ca.pdf (2013).
30. Miller, J.R., Direct Reduction of Iron Comes of Age in the ‘70s, **Engineering and Mining Journal, a McGraw-Hill Publication**, London, 68-76. (1972)
31. Narçin, N., 1990. Döner Fırında Katı Redükleyici Kullanılarak Sünger Demir Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
32. Association of Iron and Steel Engineers, 1985. The Making, Shaping and Treating of Steel 10th Edition.
33. Birol, B., “Divriği pelet konsantresinden kompozit pellet ve demir tanesi I üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-3 (2007).
34. Michishita, H. and Tanaka, H., “Prospects for coal-based direct reduction process”, **Kobelco Technology Review**, 29: 69-76 (2010).
35. McClelland, J.M, E. and Jr.P, Fastmet: Proven Process for Steel Mill Waste Recovery, North Carolina, USA.(2006)
36. Erdemir, yerli Cevherlerin Kullanımının Geliştirilmesi Entegre Projesine Yönelik Hindistan’a Yapılan **İnceleme Gezisi Raporu**, Kdz. Ereğli, Zonguldak.(2004)
37. İnternet : <http://www.tatasponge.com/Operations/Technology.htm>, 2006.
38. İnternet: Kobe Steel Group, “New Ironmaking Processes-A Global Business Feature 2”, <http://www.kobelco.co.jp> (2008)
39. İnternet: Çizmecioglu, Z., “Yıldız Teknik Üniversitesi Üretim Metalurjisi Prensipleri Ders Notları”, <http://malzemebilimi.net/> (2013).
40. Mousa, E., Senk, D. and Babich, A., “Reduction of pellets-nut coke mixture under simulating blast furnace conditions” **Steel Research Int.**, 81 (9): 706-715 (2010).
41. Nightingale, J. R., “The formation and influence of the slag phase during the reduction of some commercial iron ore pellets”, M.Sc. Thesis, **McMaster University**, Hamilton, (11-25, 99-165) (1979).

ÖZGEÇMİŞ

Furkan ÖZKAN 1992 yılında Çanakkalede doğdu; ilk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. 2010 yılında Biga Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında bitirmiştir. 2019 yılında KBÜ Fen bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı yüksek lisans programını tamamladı. 2016 yılında özel sektörde çalışmaya başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Sakarya mah. Şehit Eyüp Atan Cad. No: 53/2

Biga/ÇANAKKALE

Tel : (541) 884 90 00

E-posta : fn.furkanozkan@gmail.com