

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Tağmaç DOĞAR

**İSKENDERUN DEMİR ÇELİK FABRİKASI A.Ş'DE KALİTE KONTROL
UYGULAMALARI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA - 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSKENDERUN DEMİR ÇELİK FABRİKASI A.Ş'DE KALİTE KONTROL
UYGULAMALARI

Mustafa Tağmaç DOĞAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 05/05/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği / Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza
Prof. Dr. Oktay BAYAT
DANIŞMAN

İmza
Prof. Dr. Birgül YAZICI
ÜYE

İmza
Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM
ÜYE

İmza
Doç. Dr. Suphi URAL
ÜYE

İmza
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF.2006.YL.27

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSKENDERUN DEMİR ÇELİK FABRİKASI A.Ş'DE KALİTE KONTROL
UYGULAMALARI**

Mustafa Tağmaç DOĞAR

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Oktay BAYAT

Yıl: 2008, Sayfa: 111

Jüri: Prof. Dr. Oktay BAYAT

Prof. Dr. Birgül YAZICI

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Doç. Dr. Suphi URAL

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Bu çalışmada, bir kısım yerli cevherin kimyasal, fiziksel ve metalurjik özellikleri, ithal edilen cevherlerin bu özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda yerli cevherlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin iyileştirmesi gerektiği gözlenmiştir. Metalurjik özellikler açısından ise yerli parça cevherlerin, ithal cevherlerle rekabet edecek değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada karşılaştırma sonuçlarına ve entegre tesislerdeki gözlenen değişikliklere bağlı olarak, yerli cevherlerin yüksek fırında kullanım miktarını artırabilmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yerli Cevher, İthal Cevher, Yüksek Fırın, Demir Cevheri Özellikleri.

ABSTRACT

MASTER THESIS

THE APPLICATION OF QUALITY CONTROL IN ISKENDERUN IRON-STEEL FACTORY

Mustafa Tağmaç DOĞAR

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor : Prof. Dr. Oktay BAYAT

Year: 2008, Pages: 111

Jury: Prof. Dr. Oktay BAYAT

Prof. Dr. Birgül YAZICI

Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

Assoc. Prof. Dr. Suphi URAL

Assist. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

In this study, chemical, physical and metallurgical properties of some domestic iron ore are compared with the import iron ore properties. After this comparison, it's seen that the chemical and physical properties of the domestic iron ore must be improved. The metallurgical properties of both ores seem to be same. Moreover in this study, according to comparison parameters and integrated plants changes, to increase the amount and usage of domestic iron ores in blast furnace is given as an advice.

Key Words: Turkish Ore, Export Ore, Blast Furnace, Iron Ore Properties

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2005–2008 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Prof. Dr. Oktay BAYAT Yönetiminde YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Danışmanım Prof. Dr. Oktay BAYAT’a içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı yürütebilmem için her türlü kolaylığı ve uygun çalışma ortamlarını sunan, Bölüm Başkanı Prof. Dr. Adem ERSOY’a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında her türlü maddi ve manevi destekte bulunan Kalite Metalurji Müdürlüğü’ne ve Şefim olan Numune Alma ve Hazırlama Başmühendisi Sn. Nimetullah ARSLANBOĞAN’a, Mesai arkadaşım Sn. Erkan ŞANLI’ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında zaman zaman ihmal ettiğim, yaşamımın her döneminde benden desteklerini esirgemeyen Eşim Mine DOĞAR’a ve Kızım Beren DOĞAR’a teşekkür ederim. Ayrıca manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen Annem, Babam ve Kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2. İskenderun Demir Ve Çelik Fabrikaları A.Ş.	4
2.1. İsdemir’de Hedefler	5
2.2. Hammaddeler.....	6
2.2.1. Kok.....	7
2.2.2. Cevher.....	8
2.2.3. Pelet.....	9
2.2.3. Sinterleme ve Sinter.....	10
2.3. Reaksiyonlar.....	12
2.3.1. Alt Bölge Reaksiyonları.....	13
2.3.2. Şarj Seviyesi Tuyar Seviyesi.....	14
2.3.3. Alt Bölgedeki Diğer Reaksiyonlar	14
2.3.4. Orta bölge reaksiyonları.....	15
2.3.5. Üst bölge reaksiyonları.....	15
2.4. Yüksek Fırın yardımcı birimleri.....	16
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	17
4. MATERYAL VE METOT.....	22
4.1. Serbest Şişme Testi ve Kullanım Amacı.....	22
4.2. Yük Altında İndirgeme Testi (RUL).....	22
4.2.1. Deney Boyunca Tüp İçerisinde Oluşan Redüklenme Tepkimesi	24
4.2.2. İndirgeme Reaksiyon Tarifi.....	25
4.2.3. Kullanılan Aparatlar.....	26

4.3. Şişme Testi.....	28
4.3.1. Test Sırasında Kullanılacak Test Numunelerinin Hazırlanması	28
4.3.2. Kullanılan Cihazlar.....	29
a. Fırın.....	29
b. İndirgeme Tüpü.....	29
c. Kayık.....	29
4.4. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (LTD).....	30
4.5. Statik Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (RDI).....	31
4.6. Parça Demir Cevheri İçin Spesifikasyonlar.....	32
4.7. Sinter Yarı Mamül İçin Spesifikasyonlar	33
4.8. Pelet İçin Spesifikasyonlar.....	34
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	38
5.1. CITIC/Çin Firmasıyla İsdemir Arasında Yapılan Peletleme Testleri.....	38
a. Peletleme Diski.....	38
b. Yatay Tüp Fırını	38
c. Ateşleme Kabı	38
d. Mekanik Baskı Pres Cihazı.....	38
e. ISO Tambur Boyutları.....	39
5.2. Döner Minyatür Yüksek Fırın	39
5.3. Peletleme İşlemleri İçin Kullanılan Metot ve Prosedürler	41
5.3.1. Peletlerde Yüksekten Düşme	42
5.3.2. Peletlerde Kırılma Mukavemet.....	42
5.3.3. Peletlerde ISO Tambur	42
5.3.4. Peletlerde Kimyasal Analiz.....	42
5.4. Peletlerde Metalurjik Testler	43
a. Yük Altında İndirgenme (RUL) TS ISO 7992.....	43
b. Yük Altında Aşınma ve Tozlanma (RDI)	44
c. Pelet Mineralojik Kompozisyon Analizi	45
d. Mineralojik Kompozisyon.....	48
5.5. Sonuç.....	48

5.6. İsdemir A.Ş. ile CITIC/ÇİN Arasında Yapılan Paralel Çalışmalar.....	48
5.6.1. Mukavemet.....	49
5.6.2 Cevher Mikroskopisi.....	50
5.6.3. Yük Altında İndirgenme.....	52
5.6.4. Şişme	53
5.6.5. Redüklenme Aşınma.....	53
5.6.6. Düşük Sıcaklıkta İndirgenme Parçalanma	54
5.6.7. Basma Mukavemeti.....	54
5.7. İstatistiksel kalite kontrolü	58
5.7.1. $\bar{X}$ - R Çizelgeleri.....	58
5.8. Kalite Kontrolün İstatistikle İlgisi.....	59
5.9. Yapılan Testlerin X – R Değerleri, Grafikleri ve Yorumları.....	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
6.1. Demir Cevheri Tenörleri Ve Kimyasal Kompozisyonlar.....	85
6.2. Parça Demir Cevherlerinin Metalurjik Özellikleri.....	87
6.3. Demir Cevherlerinin Elek Analizler.....	88
6.4. Rezervlerin Karşılaştırması.....	89
6.5. Sinter ve Y.F.'da kullanılan Yerli Cevherlerin Y.F. Prosesine Etkileri.....	89
6.5.1 Yüksek fırın (YF) da kullanılan demirli hammaddeler.....	89
6.6. Kalite Sorunu.....	90
6.7. Rezerv ve Üretim Miktarları.....	91
6.8. İletişim.....	92
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ.....	97
EKLER.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. Kullanılan Gazlar	22
Çizelge 4.2. Her Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyat.....	22
Çizelge 4.3. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı..	30
Çizelge 4.4. Düşük Sıcaklıkta Kır. Day. Testi İçin Kullanılan Gaz Debileri.....	30
Çizelge 4.5. Bu Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı	31
Çizelge 4.6. Bu Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı	31
Çizelge 4.7. Geçersiz Örnek Bir RUL Test Sıcaklık – Zaman Sonuçları	35
Çizelge 4.8. Geçerli Örnek Bir RUL Test Sıcaklık – Zaman Sonuçları.....	36
Çizelge 5.1. Bentonite Ait Kimyasal Analiz Bulguları	43
Çizelge 5.2. Konsantre Demir Cevheri Kimyasal Analiz Bulguları	43
Çizelge 5.3. Minerolojik Kompozisyon.....	48
Çizelge 5.4. Pelet Mukavemet – Soğutma Şekli Değişim Tablosu.....	49
Çizelge 5.5. İSDEMİR A.Ş.’ye Alınan Aylık Sev. Pelet Yük Altında İndirgenme ..	55
Çizelge 5.6. İSDEMİR A.Ş.’ye Alınan Aylık Sev. Pelet Fiz. Analiz Tab.....	56
Çizelge 5.7. H.Ç. Peleti Tavsiye Edilen Fiziksel, Met. Test Parametre ve İndeksler..	57
Çizelge 5.8. R ₄₀ değerlerinin X ve R değerleri.....	60
Çizelge 5.9. D _p değerlerinin X ve R değerleri.....	62
Çizelge 5.10. D _h değerlerinin X ve R değerleri.....	64
Çizelge 5.11. RDI + 6.35 mm değerlerinin X ve R değerleri	66
Çizelge 5.12. RDI - 0.500 mm değerlerinin X ve R değerleri	68
Çizelge 5.13. LTD + 6.35 mm değerlerinin X ve R değerleri	70
Çizelge 5.14. LTD - 0.500 mm değerlerinin X ve R değerleri.....	72
Çizelge 5.15. FSİ (Şişme Miktarı) değerlerinin X ve R değerleri.....	74
Çizelge 5.16. Tambur + 6.30 mm değerlerinin X ve R değerleri.....	76
Çizelge 5.17. Tambur – 0.600 mm değerlerinin X ve R değerleri.....	78
Çizelge 5.18. Mukavemet (kg/adet) değerlerinin X ve R değerleri.....	80
Çizelge 6.1.Y.F.ve Sinter’de Kullanılan Diğer Hammaddelerin Değişimleri.....	85
Çizelge 6.2. Satın Alınan Yerli Cevherler.....	86
Çizelge 6.3. Satın Alınan İthal Cevherler.....	86
Çizelge 6.4. Yerli ve İthal Cevherlerin Metalurjik Özellikleri.....	87

Çizelge 6.5. Parça Cevherlerin Elek Analizleri (%).....	87
Çizelge 6.6. Toz Cevherlerin Elek Analizleri (%).....	88
Çizelge 6.7. Türkiye İşletilebilir Cevher Rezervler (Milyon Ton).....	89
Çizelge 6.8. Türkiye Sorunlu Cevher Rezervleri (Hasançelebi Dahil).....	90
Çizelge 6.9. Hasan Çelebi Rezervi (Milyon Ton).....	90
Çizelge 6.10. Dünya Ham Demir Cevheri Baz Rezervi (Milyon Ton).....	92
Çizelge 6.11. Yerli Cevher Kullanımının Yüksek Fırın Prosesine Etkileri.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Kok	6
Şekil 2.2. Cevher	8
Şekil 2.3. Pelet	9
Şekil 2.4. Fırın sıcaklık bölgeleri	13
Şekil 4.1. X Ray Cihazı.....	23
Şekil 4.2. RUL Test Ekipman Bileşenleri	27
Şekil 4.3. Şişme Test Cihaz Kesiti	29
Şekil 4.4. Olumsuz sonuçlanan testin grafik olarak gösterimi.....	36
Şekil 4.5. Olumlu sonuçlanan testin grafik olarak gösterimi	37
Şekil 5.1. ISO Tamburu	39
Şekil 5.2. Peletleme Test Akış Diyagramı.....	40
Şekil 5.3. Magnetit’de iç geçiş tabakalarından dış tabakaya doğru oksit artışı	46
Şekil 5.4. Peletlerde meydana gelen magnetit kristali oksitlenmeleri	46
Şekil 5.5. Şekil 5.3.’nin 950 defa büyütülmüş hali.....	46
Şekil 5.6. Hematit kristallerine tutunmuş mag. artıkları siyah görülmektedir.....	47
Şekil 5.7. Pelet içinde bulunan halka şeklinde çatlaklar görülmektedir.	47
Şekil 5.8. Gang mineralleri ve hem. kristalleri iç içe evrenmiş görünümü.....	47
Şekil 5.9. 600 °C fırınlanmış Pelet de Meydana Gelen Beyaz Hematit Oksit Bağları	51
Şekil 5.10. 1000 °C Fırınlanmış Peletin Yüzey Fotoğrafı.....	51
Şekil 5.11. 1100 °C Fırınlanmış Peletin Yüzey Fotoğrafı	52
Şekil 5.12. R ₄₀ Değerlerinin R Diyagramı.....	60
Şekil 5.13. R ₄₀ Değerlerinin X Diyagramı.....	61
Şekil 5.14. D _p Değerlerinin R Diyagramı.....	62
Şekil 5.15. D _p Değerlerinin X Diyagramı.....	63
Şekil 5.16. D _h Değerinin R Diyagramı.....	64
Şekil 5.17. D _h Değerlerinin X Diyagramı.....	65
Şekil 5.18. RDI + 6.35 mm Değerlerinin R Diyagramı.....	66
Şekil 5.19. RDI + 6.35 mm Değerlerinin X Diyagramı.....	67
Şekil 5.20. RDI – 0,500 mm Değerlerinin R Diyagramı.....	68
Şekil 5.21. RDI – 0.500 mm Değerlerinin X Diyagramı.....	69

Şekil 5.22. LTD + 6.35 mm Değerlerinin R Diyagramı	70
Şekil 5.23. LTD + 6.35 mm Değerlerinin X Diyagramı.....	71
Şekil 5.24. LTD – 0.500 mm Değerlerinin R Diyagramı.....	72
Şekil 5.25. LTD – 0.500 mm Değerlerinin X Diyagramı.....	73
Şekil 5.26. FSİ (Şişme Miktarı) Değerlerinin R Diyagramı.....	74
Şekil 5.27. FSİ (Şişme Miktarı) Değerlerinin X Diyagramı.....	75
Şekil 5.28. Tambur + 6.30 mm Değerlerinin R Diyagramı.....	76
Şekil 5.29. Tambur + 6.30 mm Değerlerinin X-R Diyagramı.....	77
Şekil 5.30. Tambur – 0.600 mm Değerlerinin R Diyagramı.....	78
Şekil 5.31. Tambur – 0.600 mm Değerlerinin X Diyagramı.....	79
Şekil 5.32. Mukavemet (kg/adet) Değerlerinin R Diyagramı.....	80
Şekil 5.33. Mukavemet (kg/adet) Değerlerinin X Diyagramı.....	81

1. GİRİŞ

Doğrudan yüksek fırına şarj edilemeyen demir cevherlerini işlenebilir hale getirebilmek için yapılan çalışmalarda meydana gelen faz değişimleri materyalin mekaniksel özelliklerindeki büyük değişiklikler araştırmalara konu olmuşlardır (ACARKAN ve ÖNAL, 1999).

Faz dönüşümlerinin (Manyetit, Hematit, Vüstit) materyali yapısal olarak açıklamasına rağmen, oksitlenme sonucu meydana gelen manyetit hematit dönüşümü halen tam olarak açıklanamamıştır. Bu tür çalışmaların esas amacı zenginleştirmek suretiyle elde edilen yüksek tenörlü cevherleri veya fiziksel sağlamlıkta bulunmayan cevherleri yüksek fırın şarj materyali haline getirmektir. Günümüzde demir çelik sanayi peletlemede en kaliteli ve ekonomik olan materyali kullanmayı kendisine hedef edinmektedir. Bu nedenle çalışmamın amacı farklı oranlarda çeşitli katkı maddeleri ile elde edilen ham ve ürün peletlerin mekaniksel ve mikro yapısal özelliklerini inceleyerek sanayimizin en ideal pelet üretebilmesine yardımcı olmaktır. Bu çalışmada magnetit zenginleştirilmiş toz demir cevherine farklı oranlarda değişik katkı maddeleri katarak topaklama sonucu en ideal pelet yapılmaya çalışıldı. Üretilen ham peletler çeşitli sıcaklıklarda fırınlanarak fiziksel özellikleri ve sıcaklığa karşı pelet bünyesinde meydana gelen magnetit, hematit faz dönüşümü incelendi. Faz dönüşümü sonucu oluşan hematit cevherinin fiziksel özellikleri teknolojik metalürjik test cihazlarıyla ve cevher mikroskobuyla ve XRF cihazlarıyla incelendi.

Demir cevherleri ve diğer aglomerasyon ürünleri belli oranın üzerinde genellikle oksitli demir mineralleri içeren hammaddelerdir. Yapıları ve bileşimleri geniş aralıkta değişebildiklerinden özellikle yüksek fırında indirgenmeleri sırasında farklı davranışlar gösterebilirler. Parça cevher ve sinter veya pelet gibi şarj maddelerinin; içerdikleri demir minerallerinin cinsleri, gang mineralleri ve empüritelerinin cins ve miktarları, sinter ve peletin geçirdiği işlem koşulları, boyutları, poroziteleri ve mukavemetleri üretimde kullanılmaları sırasında davranışlarını etkileyen özelliklerdir. Genel olarak bu hammaddelerin üretiminde kullanılmaları sırasında göstereceği davranışlar; pratik olarak uygun testlerle; indirgenebilirlik, şişme, parçalanma, yumuşama ve ergime yönlerinden incelenmesi gerekir.

Hammaddelerin demir üretim proseslerinde göstermiş oldukları davranışların bilimsel açıklamasını yapabilmek ve olumsuzlukları giderebilmek için, çeşitli özelliklerdeki demir cevherleri ve aglomerasyon ürünleri üzerinde özellikle harmanın özelliklerini en iyi temsil eden peletlerde bilimsel ve teknolojik çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda özellikle demir üretiminde çeşitli sorunlar yaratan alkalilerin etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (ACARKAN ve ÖNAL, 1999).

Demirli şarj hammaddeleriyle çeşitli bileşikler halinde yüksek fırına giren alkalilerin büyük kısmı fırının haznesinde yüksek sıcaklığın etkisiyle ayrışır ve buharlaşırlar. Fırının çalışma koşuluna bağlı olarak da bir kısmı curufa gidebilir. Buharlaşan alkaliler fırın içerisinde yükselirken, düşük sıcaklık bölgelerinde bileşiklerine dönüşerek katı şarja geçer ve kısmende fırın duvarlarında yoğunlaşır. Böylece fırına giren alkalilerin büyük kısmı fırın içerisinde kalarak dolaşıma katılır. Zamanla biriken alkaliler fırın duvarlarında askılanmalara neden olur. Böylece şarj malzemelerin akış hızı düşer. Kok tüketimi artar ve böylece Fırının verimliliğine olumsuz etki olur. Fırın içerisinde dolanarak biriken alkalilerin neden olduğu bu olumsuzlukların yanında şarj hammaddelerin içerdiği alkalilerin bu hammaddelere direk etkileri de önemlidir. Bu değişim şişme ve indirgenme sırasında parçalanma ve patlama olarak görülür (ACARKAN ve ÖNAL, 1999).

Yukarıda da söz konusu edildiği gibi demir cevherleri, yapılarında bulunan gang minerallerinin birbirleri ile ve demir mineralleri ile etkileşmelerine göre davranışlar göstermeleri, bunların bizzat incelenmelerini gerektirmektedir. Ülkemizin gelecekte kullanmak zorunda kalabileceği empüriteleri (İstenmeyen, Homojenliği Bozan Kimyasallar) özellikle önemli bir kısmında alkali oksitleri yüksek demir cevherlerinin değerlendirilmesine de ışık tutacak bu çalışmanın bilime ve teknolojiye olduğu kadar yurt ekonomisine de katkısı vardır (ACARKAN ve ÖNAL, 1999)

Demir cevherleri tüketim miktarlarının çok yüksek rakamlara ulaşmasına rağmen ilke olarak dünya çapında tükenme tehlikesi olmayan cevherlerdir. Ancak % 80-90 gibi zengin tenörlü cevher mineralleri gittikçe azalmaktadır. Ulaşım ve işlenmesi kolay olmayan düşük tenörlü cevherlerin değerlendirilmesi konusunda yapılması gerekli çalışmalar demir madenciliği sektörünün en önemli problemlerinin teşkil

etmektedir. Bu zorunluluk karşısında doğrudan yüksek fırınlarda şarj edilemeyen cevherleri şarj edebilecek hale getirebilmek için sinterleme metodu fikri ilk kez 1887 de Haberlein ve Huntigton tarafından önerildi. Bu metoda göre sinterleme esnasında magnetit cevheri içinde ekzotermik bir yanma meydana gelebildiği ve cevher tabakaları arasında hava üflenerek sinterleştirme olayı sağlanacağı fikri savunuldu. Bu sahada yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen sinterleme makineleri ile sinterleme yapıldı. Fakat sinterleme yöntemiyle yapılan üretim kapasitenin düşüklüğü ve toz cevherleri sinterlenmediğinden yeni bir yöntem araştırılmaya başlatıldı. Bu araştırmalar sonucu önce İsveç'te peletleme yöntemi geliştirildi. Bu yöntemde toz demir cevherlerine su ve katkı maddeleri katılarak termal bir yolla topaklar oluşturuldu (ERHAN, 2004).

Bu arada ilk peletleme tesisleri ise Minnesota Üniversitesinde E.F. Davis ve yardımcıları tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmada magnetit konsantre toz demir cevherinin topaklama tamburlarında pelet haline getirildikten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilip sertleştirmek suretiyle çok iyi bir yüksek fırın şarj materyali olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmaların amacı düşük tenörlü toz cevherlerinin konsantrasyonu ve topaklanmasıdır. Daha sonraki çalışmalarda Amerikalı çelik şirketleri tarafından peletleme adı verilen topaklama metodu geliştirilmiştir. Peletleme hakkında ise ilk detaylı yayın 1944'de yapılmıştır (ERHAN, 2004).

Üretilen peletler sert bilyalar olup yüksek fırında işlenebilmeleri için aşağıdaki özelliklere sahip olmaları gerekir.

- a. Toz kırıntı ve ince kısımdan arıtılmış olmalıdırlar.
- b. Taşıma ve stoklama sırasında meydana gelecek ufalanmaya karşı direnç göstermeye fiziksel olarak elverişli olmalıdırlar.
- c. Yüksek fırından ısıtılırken veya çeşitli kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar sırasında meydana gelecek zamansız ufalanmaya karşı direnç göstermeye metalurjik olarak elverişli olmalıdırlar (Güventürk, 1988).

2. İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş.

İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan ikinci, Türkiye’de ise üçüncü sırayı alan, gerek kuruluş kapasitesi gerekse nihai kapasite olarak ülkemizin en büyük demir çelik fabrikasıdır. Tesisler Güney Anadolu Sanayi Bölgesinin merkezi yerinde, karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım imkanlarının hepsine aynı anda sahip bir yer olan İskenderun’a 15 Km. Mesafede Payas civarında kurulmuştur. Sosyal Tesisler ile birlikte Fabrika 1750 hektar alanı kapsamaktadır. Fabrika Tesisleri ise 400 hektarlık bir alanda kurulmuştur. 25 Mart 1967 Tarihinde Sovyetler Birliği ile yapılan Kredi ve Teknik İşbirliği anlaşması kapsamında Tiajpromexprot firmasına projeler yaptırılmış, aynı firma ile 10 Ekim 1969 tarihinde fabrika kuruluş anlaşması gerçekleştirilmiştir. 1.1 milyon/ton kapasiteli olarak kurulması planlanan tesisin temeli 3 Ekim 1970 tarihinde atılmıştır. İlk Tesis üniteleri planlandığı şekilde tamamlanmış ve 24 Aralık 1972 yılında Sovyetler Birliğiyle imzalanan anlaşma gereğince I Tevziat inşaatlarına krediler alındıktan sonra başlanmış, I. Tevziat Projesiyle ilgili her türlü çalışmalar tamamlanmış ve Proje Hizmetleri ve Teknolojik ekipmanla malzemelerin alımı için 22 Mayıs 1975 tarihinde ikinci anlaşma yapılmıştır. Akabinde 12 Aralık 1976 tarihinde imzalanan Ekonomik İşbirliği anlaşması sonucunda 2.2 milyon ton/yıl kapasiteye ulaştıracak II. Tevziat proje çalışmalarına başlanılmıştır (İSDEMİR, 2003).

İlk Tevziat projesi kapsamında I. II. ve III. Turbo Jeneratörlerinin devreye girişi, I. Turbo Körük Sistemlerini devreye alınması, I. Pik Makinesinin devreye alınması, Buhar Üretim Tesisleri I. Kazanın devreye alınması ve akabinde 21 Aralık 1975 tarihinde I. Yüksek Fırının kurulmasıyla İşletmeye geçiş gerçekleşmiştir (İSDEMİR, 2003).

I. Kademe Tevziat yatırımının ve entegrasyonunun en önemli üniteleri olan Çelikhane Aralık 1984’de ve 3. Yüksek Fırın 5 Eylül 1985 tarihinde işletmeye alınmıştır (İSDEMİR, 2003).

1988 Yılında DPT’ca son kez fizibilite çalışmaları yapılmış ve Japon Nippon Steel ve Türk Prokon firmasının ortak çalışmalarıyla hazırlanan plan çerçevesinde

kapasitenin 3250000 ton olarak gerçekleştirilmesi belirlenmiş ve sonucunda Haddehane modernizasyonu, Çelikhane Kazanları modernizasyonu ve 3 No'lu Yüksek Fırın modernizasyonu gerçekleşmiştir (İSDEMİR, 2003).

İskenderun Demir ve Çelik Müessese Müdürlüğü unvanı ile TDÇİ Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak faaliyetini sürdürmekte iken Yüksek Planlama Kurulu kararı ile 14 Ekim 1994 tarihinden itibaren İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İsdemir) adı altında Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün bağlı ortaklığı haline dönüştürülmüştür (İSDEMİR, 2003).

2 Mart 1998 Yılında İsdemir özelleştirme kapsam ve programına alınmıştır. İSDEMİR hisselerinin tamamı, 31.01.2002 tarihli hisse devir sözleşmesi ile Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından İSDEMİR'de yassı üretimine geçilmesine yönelik yatırımların yapılması şartı ve 50 Milyon USD karşılığında ERDEMİR'e devredilmiştir (İSDEMİR, 2003).

ERDEMİR hisse senetleri de Özelleştirme Yüksek Kurulu'nun 01.12.2005 tarih ve 2005/140 sayılı kararına istinaden hisselerinin tamamı OYAK'a ait olan ATAER Holding A.Ş.'ye 27.02.2006 tarihli hisse satış sözleşmesi ile devredilmiştir. Halen 750 Milyon YTL ödenmiş sermayesi olan İSDEMİR'in hisselerinin % 90.87'si ERDEMİR'e, % 9.13'ü ise İSDEMİR Çalışanları Yardım Sandığı Vakfı'na aittir.

Sürekli gelişmeyi, yeni teknolojileri kullanarak çevreye olan duyarlılığı ile ürün ve hizmetlerde fark yaratmayı ana ilke kabul eden İSDEMİR'de, modernizasyon ve yassıya dönüşüm çalışmaları yoğun bir şekilde sürdürülmektedir (İSDEMİR, 2003).

2.1. İsdemir'de Hedefler;

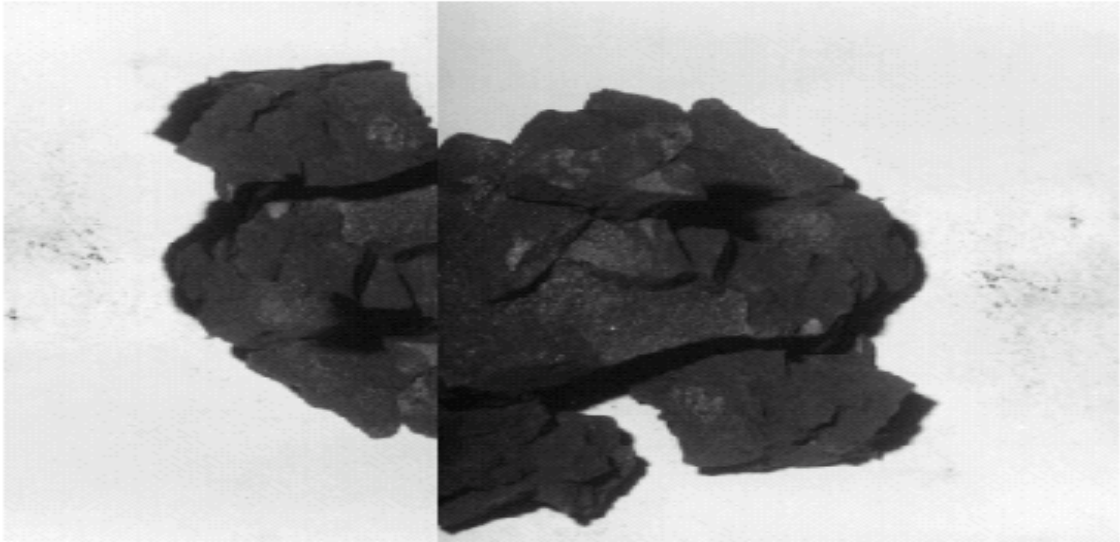
- Yassı ürüne geçişin sağlanması,
- Mevcut tesislerin önündeki darboğazların giderilmesi,
- Ürün kalitesinin ve verimliliğin yükseltilmesi,
- Maliyetlerin düşürülmesi,
- Sıvı çelik üretim kapasitesinin 5.25 milyon ton/yıl seviyesine çıkarılması, amacıyla 2003 yılında Modernizasyon ve Dönüşüm Yatırımları (MDY) projelerinin

başlatılmasına karar verilmiş olup bu projeler 2003 – 2008 yılları arasında gerçekleştirilmek üzere planlanmıştır (İSDEMİR, 2003).

2.2. Hammaddeler

Sıcak maden üretimi diğer üretim prosesleri içinde en başta gelenidir. Bunun sebebi yalnızca çok yüksek üretim değil aynı zamanda yüksek fırınlardan yüksek ısı verimliliği elde edilmesidir. Modern ve büyük kapasiteli yüksek fırınlar günde 12000 ton sıcak maden üretebilmektedir.

Yüksek fırınlarda sıcak maden elde etmek için cevher, pelet ve sinter gibi demirli hammaddeler tek başlarına veya üçünün karışımı olarak kullanılmaktadır. Karışım oranları hammaddenin teminine göre değişmektedir. (%85 sinter+%15 cevher veya %40 sinter +%40 pelet+%20 cevher veya %100 sinter veya %100 pelet gibi) Isı elde etmek için sadece kok veya kok ile birlikte enjeksiyon yakıtı (kömür, fuel oil, katran gibi) kullanılmaktadır. Bu hammaddelere ait kısa bilgiler aşağıda verilmiştir (İSDEMİR, 2003).



Şekil 2.1. Kok (İsdemir, 2003)

2.2.1. Kok

Yüksek fırınlarda hammaddenin eritilmesinde kullanılan ısının ana kaynağı metalürjik koktur. Kok içerisindeki karbonun sıcak hava içerisindeki oksijen ile tıyer önünde reaksiyona girmesi sonucu CO gazı ile birlikte ısı açığa çıkar. Kokun yüksek fırınlara ısı sağlama özeliğinin yanı sıra fırın geçirgenliğın de katkısı önemlidir. Bu nedenle yüksek fırının düzenli çalışması kullanılacak kok kalitesine çok bağılıdır (İSDEMİR, 2003).

Yüksek fırının performansını etkileyen önemli kok özellikleri; kimyasal analiz, kompozisyon, tane ebadı, dayanıklılık ve reaktivitedir. Kokun kimyasal kompozisyonu, genellikle, uçucu madde, kül, kükürt, alkali ve fosfor miktarları vasıtasıyla ölçülür. İyi olarak kabul edilebilecek bir kokta şu özellikler bulunmalıdır.

Uçucu madde	: % 1.2 max
Rutubet	: % 5 max
Toplam alkali	: % 2.4 max
Kül	: % 10 max
Kükürt	: % 0.6 max
Sabit karbon	: % 88 min
Stabilite	: % 58 min
+ 75 mm	: % 15 max
- 25 mm	: % 5 max

Kok mukavemeti, parçalanmanın sebep olduğı bozunma miktarı tesbit edilerek ya da tambur testi ile ölçülür. Tambur testinden elde edilen kok mukavemet indeksleri stabilite ve sertlik faktörleri olarak tanımlanırlar. Stabilite A.B.D. de en çok kullanılan mukavemet ölçüsüdür ve kokun taşınması asnasındaki çarpmalara karşı bozunma eğilimini gösterir. Sertlik faktörü ise. kokun taşınması esnasındaki aşınma eğilimini belirtir. Genel olarak, kok stabilitesinin artması yüksek fırın performansını arttırır. Kok reaktivitesi, belli bir gaz akışı ve sıcaklık şartları altında CO₂ gazı ile reaksiyona giren kok karbonunun, karbon monoksite dönüşme oranını belirtir. Yüksek kalitede kok üretmek için gerekli bütün özelliklere sahip olan kömür

rezervleri az olduğundan, çok sayıda kömür istenilen kok özellikleri sağlayacak şekilde karıştırılırlar (İSDEMİR, 2003).



Şekil 2.2. Cevher (İsdemir, 2003)

2.2.2. Cevher

Demir cevheri genel olarak hematit (Fe_2O_3) ve magnetit (Fe_3O_4) gibi oksitler ile küçük oranda hidroksitler ve karbonatlardan oluşur. Tüm demirli mineraller içinde hematit en büyük oranı kapsar. Kimyasal olarak saf olduğunda hematit %70, magnetit ise % 72.4 demir içerir. Fakat ekseriyetle cevherdeki Fe içeriği %30 ila %65 arasında değişir. Cevherin Fe haricinde kalan kısmı (gang) ise çok az miktarda nem ile genellikle silika ve alüminadan oluşur. Cevherin madenden çıkartıldıktan

sonra belirli işlemlere tabi tutulması gerekir. Bu işlemlerden sonra cevher yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli hale gelir (İSDEMİR, 2003).



Şekil 2.3. Pelet (İsdemir, 2003)

2.2.3. Pelet

Cevherlerin madenden çıkarılışı ve cevher hazırlama operasyonu sırasında büyük miktarda 0.05 mm'nin altında toz oluşur. Bu ebaddaki toz cevher sinter yatağının geçirgenliğini çok düşüreceği için sinterleme prosesine uygun değildir. Toz cevher içersine bentonit, kireç taşı gibi bir takım ilaveler katarak topaklama işleri yapılır. Sonuçta çapı 8–20 mm arasında, yumuşak (yaş) yapıda hammaddeler elde edilir. **Yeşil pelet** olarak adlandırılan bu hammaddeler 1200 – 1350 oC arasında pişirilerek sertleştirilir. Topaklama, pelet üretim prosesinin en önemli aşamasıdır ve bu aşamada pelete mukavemet, boyut, çarpma mukavemeti ve diğer özellikleri kazandırılır. Peletleme işlemi; tambur, koni, disk gibi döner ekipmanlar kullanılarak yapılır.

Peletlerin topaklanıp bilya şeklini alması, suyun yüzey gerilim kuvveti ve karışımındaki tozların birbirine çarpması sonucu oluşur. Başlangıçta su eklenerek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur. Bu çekirdek büyür, bilya şeklini alarak pelet olarak adlandırılan hammaddeye dönüşür. Ortalama rutubet (su) miktarını belirlemek çok önemlidir. Çünkü az miktardaki su karışım taneleri arasındaki boşluklara hava girmesine, çok miktardaki su da birleştirici özelliğin bozulmasına sebep olur. Ortalama rutubet miktarı % 5 -10 arasındadır. Tane ebadının azalması ile rutubet ihtiyacı artar.

Yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli bir pelet şu özelliklerde olmalıdır; Cevherlerin madenden çıkarılışı ve sınıflandırılışı sırasında oluşan ince yapılı kısım (belirli miktar Fe içermesi nedeni ile) değerlendirilerek tekrar yüksek fırınlarda kullanılır. Bu değerlendirmeler sonucu oluşan hammaddeler pelet ve sinter olarak adlandırılırlar. Sinterleme küçük boyutlu cevherlerin (toz cevherlerin) aglomerasyonu (yüzeylerinin erimesi sonucu birbirlerine yapışması) ile magnezyum oksit ve kalsiyum oksit kullanılarak boyutların büyütülmesi işlemidir. Sinter yapmaya müsait olmayan incelikteki cevherler ise pelet yapımında kullanılır. Bu işlemler sırasında cevher tozu içerisindeki kükürdün bir kısmı yandığı için istenmeyen bir element olan kükürt gideriminin bir bölümü yüksek fırın dışında yapılmış olur. Ayrıca CaCO_3 gibi yüksek fırın içerisinde parçalama reaksiyonuna uğradığı zaman fazlaca ısınan oksitlerin parçalanma işlemleri sinter ve pelet yapımı sırasında gerçekleşir. Böylece yüksek fırın ısı verimliliği artar (İSDEMİR, 2003).

2.2.4. Sinterleme ve Sinter

- i. Kısmi ergime metodu ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları,
- ii. Yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların erimeden birbirine yapışmalarını sağlayan hematit ve magnetit kristalinin büyümesi işlemidir. Bütün bu işlemler toz cevherlerle karıştırılmış olan kok tozunun yanması sırasında meydana gelir. Karbonun tamamıyla yanmasından dolayı 1300 –1400 oC sıcaklık

kolaylıkla elde edilir. Bu proses sabit yada hareketli sinter makinalarında uygulanabilir. Bu tip makinalarda 40 - 50 cm kalınlığında sinter karışımı kullanılabilir. Karışımı şarj etmeden önce ızgaraların üzerine 5 cm kalınlığında – 10/+8 mm boyutlarında sinter serilir. Bunun amacı sinter karışımının ızgara açıklıklarından dökülmesinin önlenmesidir. Kok tozunun yanması, karışımın üst yüzeyinde başlar. 800 -1000 mm su sütunu bir emme ile sinter karışımının geçirgenliğine de bağlı olarak, karışımın alt kısımlarına kadar sinterleşme gerçekleşir. Sinter karışımı yüksek fırın baca tozu, elekatlı malzemeler, kireçtaşı, dolomit gibi malzemeleri de ihtiva eder. Ortalama bir geçirgenlik sağlayabilmek için sinter karışımının ihtiva ettiği su miktarının % 5-20 arasında olması gerekmektedir.

Çok yüksek su miktarı, yeniden çökme sonucu topaklanmayı artırarak boşlukların dolmasıyla geçirgenliğin düşmesine sebep olur. Uygun geçirgenlik ve ısı transferini sağlayabilmek için cevher boyutunun 5-6 mm, kok ve kireçtaşı boyutunun 3 mm'yi geçmemesi gerekir. Sabit yakıt oranında eğer kok boyutu çok büyükse bölgesel aşırı ısınma nedeniyle çok fazla sıvı oluşumundan dolayı yüksek fırında çok zor indirgenebilen fayalit oluşur. Aynı zamanda diğer bölgelerde uygun olmayan ısınmadan dolayı sinter bağ mukavemeti olumsuz yönde etkilenir, kireçtaşının kalsinasyonu tamamlanmaz, bu da sinter mukavemetini ters yönde etkiler. Sinter kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ve kalitesinin düzgün olması açısından şarjı yapılmadan önce kireçtaşı ve kok cevher ile düzgün olarak karıştırılmalıdır. Elde edilen sinterin % 65–70'i 12 mm'lik boyutun üzerinde olabilmesi için ortalama kok oranı % 4 ile 8 arasında değişmelidir. Eğer curufun akışkanlığı ve erime sıcaklığı yüksekse yakıt ihtiyacı artar (İSDEMİR, 2003).

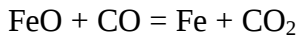
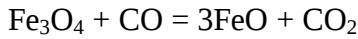
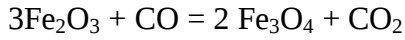
Eklenen kireçtaşı miktarı istenen bazite ye göre değişir. Kireçtaşının sinterleme sırasındaki kalsinasyonu Y.Fırındaki kalsinasyonuna göre daha az enerji sarfına neden olur. Kireç sinterin indirgenebilirliğini de büyük miktarda artırır (İSDEMİR, 2003).

2.3. Reaksiyonlar

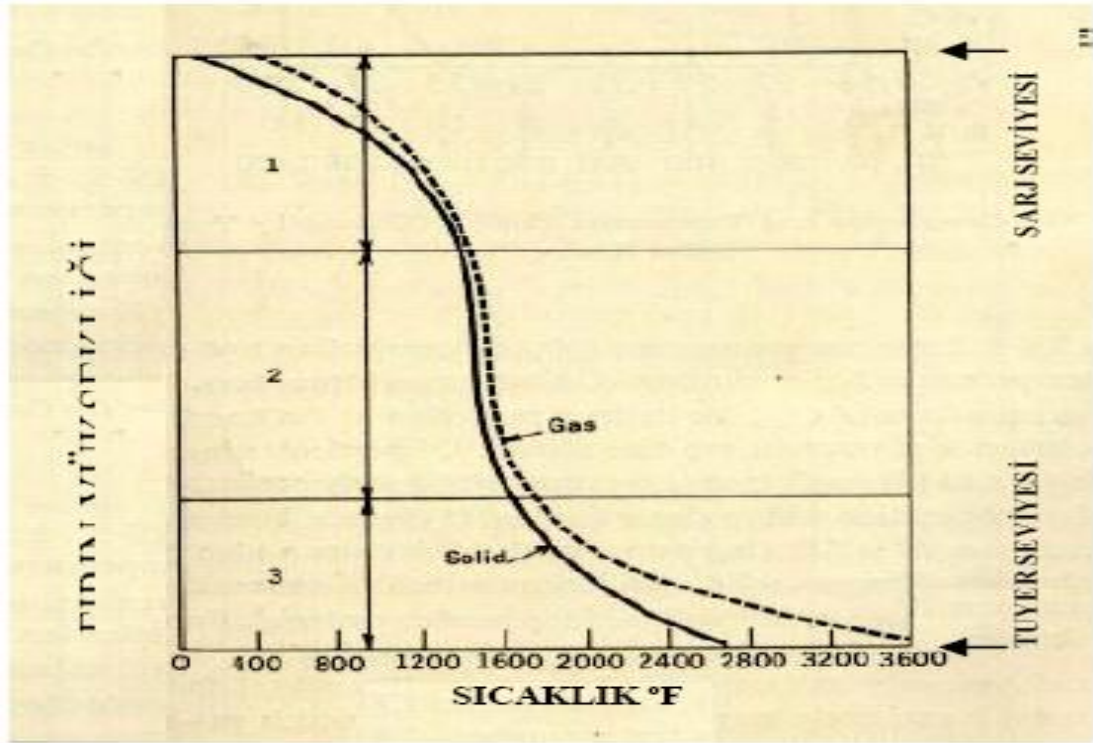
Demir oksitler 3 çeşittir. Hematit (Fe_2O_3) Magnetit (Fe_3O_4) ve Wüstit (FeO). Bu oksitler fırın içerisinde kısımlar halinde indirgenirler. Bu oksitlerin CO ile reaksiyonları, CO/CO₂ denge oranları ve 900 °C'deki CO verimlilik faktörü (η_{CO}) aşağıda gösterilmiştir: $\% \eta_{\text{CO}} = (\% \text{CO}_2) / (\% \text{CO} + \% \text{CO}_2)$ (1.1)

900 °C'deki Denge Reaksiyonları;

CO/CO₂ % η_{CO}



Yüksek fırın ters akımlı bir proses olduğundan yüksek CO içeren tüyer gazı, demire indirgenebilmesi için yüksek indirgeme potansiyeli gereken FeO ile tepkimeye girer. Sonuçta açığa çıkan düşük potansiyelli gaz malzeme içerisinde yükselirken indirgenmeleri için daha az CO/CO₂ oranı gereken magnetit ve hematit ile karşılaşır. Bu nedenle wüstitin indirgenmesi demir oksit indirgenme reaksiyonları arasında en önemli sırayı alır. Çünkü yaklaşık %70 hematit oksijeni FeO halinde bulunur. (1.2), (1.3), (1.4) reaksiyonları *dolaylı (indirek) reaksiyonlar* diye adlandırılırlar ve bu reaksiyonlar sonucunda CO₂ açığa çıkar. Sıcaklığın 1000 °C'yi aştığı herhangi bir bölgede redüklenmemiş FeO mevcut ise reaksiyon (1.4) sonucu açığa çıkan CO₂ aşağıdaki reaksiyon sonucu süratle karbon tarafından indirgenir. $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - 41210 \text{ kal}$ (1.5) (1.4) ve (1.5) deklemleri birleştirilirse; $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO} - 37220 \text{ Kal}$ (1.6) Reaksiyon (1.5) *Boudouard reaksiyonu veya karbon gazlaşma reaksiyonu* olarak bilinen yüksek derecede endotermik aynı zamanda da CO kullanımını bozan bir reaksiyondur. Reaksiyon (1.6) ise *direk indirgeme reaksiyonu* olarak adlandırılır ve dolaylı (endirek) indirgemeye kıyasla endotermiktir (ısı alan). Ama ayrılan her mol oksijen başına daha az karbon tüketir. Çünkü oluşan CO bir sonraki dolaylı indirgeme reaksiyonunda tekrar reaksiyona girecektir. 2000 – 2200 °C'lik bir alev sıcaklığına sahip tüyer gazı, yükselerek fırını terk ettiği noktada 150 – 200 °C'ye düşerken, şarj malzemeleri ise aşağıya doğru olan hareketlerinde 1400 – 1450 °C'ye ulaşırlar (İSDEMİR, 2003).



Şekil 2.4. Fırın sıcaklık bölgeleri (İsdemir 2003)

2.3.1. Alt Bölge Reaksiyonları

Alt bölge ve ergime bölgesi tüyer seviyesinden 3.5 metre yukarıya doğru uzanır. Bu bölgede erimiş malzemenin sıcaklığı 1400–1450 °C'ye ulaşır ve gaz sıcaklığı 800–1000 °C'ye kadar düşer. Kokun tüyerler önünde yanması sonucu, haznenin çevresinde (tüyer önlerinde) sürekli olarak hava boşlukları (Raceway) oluşur. Böylece yanan kokun boşalttığı hacim nedeni ile şarj malzemeleri aşağı doğru hareket eder. Yanma bölgesinin şekli ve boyutu düzgün gaz dağılımı ve şarj malzemelerinin inişi için önemlidir. Sıcak havanın kinetik enerjisine Şekil 2.13.'de gösterildiği gibi fırında üç ayrı sıcaklık bölgesi vardır. Alt ve üst sıcaklık bölgelerindeki toplam ısı ihtiyacı yükselen gazlardan sağlanır. Orta sıcaklık bölgesinde (800–1000 °C) çok az bir ısı transferi gerçekleşir ve bu bölgede sıcaklık yaklaşık sabittir. Bu bölgelerdeki reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir (İSDEMİR, 2003).

2.3.2. Şarj Seviyesi Tuyer Seviyesi

Bağlı olarak yanma bölgesi derinliği 1-2 metre civarındadır. Böylece gerçek aktif alan haznenin etrafında 1–2 metre derinliğinde bir ring oluşturur ve raceway olarak adlandırılır. Raceway'in önünde Dead- Man bölgesi olarak adlandırılan sıkı dolgulu kok sütunu vardır. Bu kok sütunu ya haznedeki sıvı pikin üstünde yüzer yada ulaşabildiği kadarı ile haznenin tabanına ulaşır. Bir miktar cüruf ve demir, kok yığımındaki boşluklara girerler ve döküm açıldığı zaman buradan fırını terk ederler. Flaks ile karışmış demir harici oksit malzemeler fırının bel (belly) bölgesinde kısmen erimeye başlarlar. Burada 1200 °C'de birbirine karışmayan iki faz oluşmaya başlar. Daha sonra bu iki sıvı faz birbirlerinden ayrılırlar. Başlangıçta, CaO içeren birincil curuf (bosh curufu) tuyer önündeki kokun yanması sonucu oluşan kok külü ile karışarak hazne curufunu oluştururlar. Bu curufun fırın dışına alınabilmesi için akışkan olması gerekmektedir. Uygun bir kompozisyonundaki curuf 1400 –1450 °C arasında sıvı fazdadır ve 1500 °C'deki akışkanlığı 10 poise olmalıdır. Bunun sonucunda curufun baziklik oranı $(\%CaO + \%MgO)/(\%SiO_2 + \%Al_2O_3) = 0.9-1.2$ dir Curufun fırından rahatça tahliye edilebilmesi için için gerekli olan en düşük hazne sıcaklığı “*Kritik hazne sıcaklığı*” olarak adlandırılır ve 1500 –1550 °C arasındadır (İSDEMİR, 2003).

2.3.3. Alt Bölgedeki Diğer Reaksiyonlar

- | | |
|--|---|
| a. Kireçtaşının endotermik kalsinasyonu | $CaCO_3 = CaO + CO_2$ |
| b. FeO'nun direk endotermik indirgenmesi | $FeO + C = Fe + CO$ |
| c. SiO ₂ 'nin direk endotermik indirgenmesi | $SiO_2 + 2C = Si + 2CO$ |
| d. MnO'nun direk endotermik indirgenmesi | $Mn_2O + C = Mn + CO$ |
| e. P ₂ O ₅ 'in direk endotermik indirgenmesi | $P_2O_5 + 5C = 2P + 5CO$ |
| f. Kükürdün endotermik ayrışması | $FeS + CaO + C = CaS + Fe + CO$ |
| g. Karbonun exotermik yanması | $C + O_2 (hava) = CO_2 + N_2$ |
| h. CO ₂ 'nin endotermik indirgenmesi | $CO_2 + C = 2CO (>1000\ ^\circ C)$ |
| i. Sıcak havadaki nemin endotermik indirgenmesi | $C + H_2O = CO + H_2 (>1000\ ^\circ C)$ |

2.3.4. Orta bölge reaksiyonları

Gaz ve katı sıcaklıklarının hemen hemen eşit olduğu (800 – 1000 °C) orta bölgeye *izotermal veya termal rezerv bölgesi* denir. Çoğu dolaylı (indirek) reaksiyonlar bu bölgede olduğundan bu *bölgeye indirek indirgeme bölgesi* de denir. İyi çalışan bir fırında bu alan fırın hacminin %50-60'ını kapsar. Reaksiyon 1.2–1.4 de gösterildiği gibi demir oksitlerin indirgenmesi bu bölgede olur. Bu bölgenin genişliği çok önemlidir. Çünkü FeO (wüstit) mümkün olduğu kadar fazla indirek reaksiyon ile elde edilmelidir. Bu bölgenin başlangıcı, fırın içerisinde yüksek miktarda endotermik reaksiyonların başladığı yerlere, ısı transfer verimliliğine ve fırının farklı kesitlerindeki homojen gaz dağılımına bağlıdır. Bu bölgede gaz kompozisyonu çok az değişmekte ve hammadde ile gaz arasında çok az oksijen değişimi olmaktadır ve CO/CO₂ oranı 2.3'tür. Bu nedenle bu bölgedeki kok sarfiyatı oldukça azdır. Bu bölgede meydana gelen diğer bir önemli reaksiyon su-gazı değişim reaksiyonudur; $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ Bu reaksiyon sonucu CO'dan daha aktif bir indirgeyici gaz olan hidrojen üretilir. Reaksiyona giren rutubet (H₂O); demir oksitlerin hidrojen ile indirgenmesi sonucu oluşabileceği gibi, sıcak hava, buhar ve/veya hidrokarbon enjeksiyonu ile birlikte de fırına girer (İSDEMİR, 2003).

2.3.5. Üst bölge reaksiyonları

Fırın üst bölgesinde, diğer bir deyişle ön ısıtma veya hazırlama bölgesinde orta bölgeden yükselen gazın sıcaklığı süratli bir şekilde 800–1000 °C'den 150–250 °C ye düşer. Şarj malzemelerinin sıcaklığı ise ortam sıcaklığından 800 °C ye kadar yükselir. Bu bölgede meydana gelen önemli reaksiyonlar şunlardır;

- i. Karbonatların (Kalsiyum hariç) parçalanmaları,
- ii. Şarj malzemelerinin nem ve hidratının buharlaştırılması.
- iii. Karbon birikmesi, $2CO = CO_2 + C$
- iv. Hematit ve magnetitin kısmi yada bütünüyle oksitlerine indirgenmesi.

Şarj malzemelerinin fırın tepesinden tüyer seviyesine inmesi 6–8 saat sürer. Her üç bölgede şarjların ne kadar süre kaldıkları tam olarak hesaplanamaz. Oluşan gaz ise fırında 10 saniye gibi bir süre kalır (İSDEMİR, 2003).

2.4. Yüksek Fırın yardımcı birimleri

- a- Hammadde besleme sistemi
- b. Fırın üstü şarj sistemi
- c. Kömür enjeksiyon sistemi
- d. Sobalar
- e. Dökümhane
- f. Kontrol odası
- g. Soğutma sistemi ve refrakterler
- h. Hammadde besleme sistemi (İSDEMİR, 2003).

Fırında kullanılacak hammaddelerin stoklandığı, hazırlandığı ve fırına gönderildiği ünedir. Bu ünite;

- a. Hammadde siloları
- b. Besleyiciler
- c. Taşıyıcı bantlar
- d. Tartı hazneleri
- e. Malzeme kovaları bulunmaktadır (İSDEMİR, 2003).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yüksek Fırın performansı şarj malzemelerinin, aşağıya doğru hareketine doğrudan bağlıdır ve bu hareket ne kadar düzenli olursa fırın performansı da o derece artar. Şarj malzemelerinin hareketi, düzenli ve dengeli redüklenmeye bağlıdır, bu da ancak düzenli gaz geçişiyle sağlanabilir. Bu nedenle fırına şarj edilen her tip malzemenin kendine özgü gaz geçirgenliğinin kabul edilebilir seviyede olması gerekmektedir.

Yüksek Fırımlar için önemli bir şarj malzemesi olan peletin gaz geçirgenlik kabiliyetini gösteren önemli parametrelerden bir tanesi de Δp 'dir. Δp testi; 1200 gr pelet içerisinden 1050 °C sabit sıcaklıkta , 0,5 kg/cm² basınç altında, %2 H₂, 40% CO ve 58% N₂ içeren redükleyici gaz geçirilerek yapılır. Numunenin %80 seviyesine kadar redüklenmesi durumunda gazın pelet tabakasından geçişi esnasında oluşan basınç farkı (Δp) değeri olarak ölçülür.

Δp değerinin yüksek olması gaz geçirgenliğine karşı direnç olduğuna işaretir. Bu durum etkisini 1000–1050 °C'de redüklenmenin en yoğun olduğu bölgede, Cohesive zonunun (katıdan sıvıya geçiş bölgesi) üst kısmında gösterir.

Bu sıcaklıkta pelet tanelerinin gözenekli yapısından dolayı içinde erime başlar, pelet üzerindeki şarj ağırlığının altında plastik deformasyona uğrar ve mevcut gözenekler oluşan sıvıyla kapanarak gaz geçirgenliğini engeller. Pelette meydana gelen bu deformasyon (büzülme) fırın performansını olumsuz etkileyerek çok ciddi üretim kayıplarına yol açar. Yüksek Δp özellikli %100 LKAB peleti kullanılmaya başlanması ile birlikte;

- Ü Fırın geçirgenliği düşmüş,
- Ü Fırına üflenen hava miktarı azalmış,
- Ü Fırına üflenen oksijen miktarı azalmış,
- Ü Fırın basıncı artmış,
- Ü Fırına ilave rutubet verilmeye başlanmış ve
- Ü Günlük 190 ton (%5) üretim kaybı oluşmuştur.

Şarjda kullanılan Erdemir Maden peleti miktarı 2500 kg'a, iyileşme sağlanamaması üzerine önce 1500 kg, ardından 1000 kg'a düşürülmek zorunda kalınmıştır. Erdemir Maden peleti miktarı 1000 kg'a düşürülmesi sonrası fırın çalışması düzelmiş ve normal çalışma rejimine gelmiştir. Bu deneyim Δp özelliğinin fırın çalışma performansı üzerine önemli etkisi olduğunu göstermektedir. Şarjda %4 gibi çok düşük miktardaki yüksek Δp özellikli pelet bile fırın çalışmasını ciddi oranda bozabilmektedir (ERDEMİR, 2006). Peletlerin fırın içinde düzenli gaz geçişine karşı oluşturduğu direnç, peletin;

- ü İndirgenebilirlik,
- ü İndirgenme esnasında parçalanma,
- ü İndirgenme esnasında topaklanma,
- ü Tane boyu
- ü Porozite
- ü Basma dayanımı
- ü Kimyasal içerik gibi özelliklerine de bağlıdır.

Erdemir Maden Peleti kimyasal olarak Erdemir Asit ve Bazık Pelet spesifikasyonları ile kıyaslandığında, K_2O , S ve Ni içerikleri açısından spesifikasyonlara uymamakla birlikte, kimyasal açıdan genel olarak iyi bir pelettir. Erdemir Maden tarafından mevcut durumda kullanılan pelet harmanından üretilen pelet, Δp açısından geniş bir aralıkta değişmektedir. 1170 °C gibi düşük sıcaklıkta pişirilen pelet Δp açısından Erdemir pelet spesifikasyonuna uymakla birlikte, bir diğer önemli pelet özelliği olan basma dayanımı düşmekte ve olumsuz etkilenmektedir. Pelet pişirme sıcaklığının 1250 °C'ye çıkarılması durumunda Δp değeri istenmeyen bir şekilde artmakta, basma dayanımı ise istenen değere ulaşmaktadır. Pişirme sıcaklığını değişmesiyle Δp ve basma dayanımı arasında ters bir ilişki söz konusu olmaktadır (ERDEMİR, 2006).

Erdemir Maden harmanında mevcut durumda kullanılan bentonit yerine başka bir kaynaktan temin edilen bentonitin kullanılmasında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir. Erdemir Maden harmanına bentonitten gelen SiO_2 'nin asitlik etkisini azaltmak için flakslama amacıyla kireçtaşı ilavesinin etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda, pelet harmanına %2-2,5 oranlarında kireçtaşı

ilavesinin Δp değerini düşürdüğü belirlenmiştir. %2,5 kireçtaşı ilave edilmiş Erdemir Maden harmanının 1250 °C sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilen peletlerin hem Δp , hem de basma dayanımı değerleri Erdemir spesifikasyonlarına oldukça yakın çıkmıştır. (ERDEMİR, 2006)

Magnetit konsantre toz demir cevherine değişik katkı maddelerinden farklı oranlarda katılarak disk peletleyicisinde topaklama yapıldı. Üretilen ham peletler farklı sıcaklıklarda fırınlanarak kurutma ve ısısal sertleştirme işlemlerine tabi tutularak fiziksel özellikleri (mekaniksel ve mikrosal) incelendi. Magnetit konsantre toz demir cevherinden oluşan ham peletlerin ısısal sertleşmeleri esnasında, magnetit partiküllerin oksitlenmesi sonucu meydana gelen magnetit hematit dönüşümü incelendi ve dönüşüm olaylarının başlangıç ve sona eriş sıcaklıkları tespit edildi. Oksitlenme sonucu meydana gelen hematit kristallerinin yüksek sıcaklıklarda daha düzenli bir hale geldikleri görüldü. Bu düzenliliğin ise peletin basma direncini etkilediği deneysel olarak gösterildi (Uğurlu, 1988).

Bu çalışma avnik demir cevherleri harman konsantresinden hazırlanan peletlerin, çeşitli oranlarda CaO, Na₂O ve K₂O içermesi halinde göstereceği indirgenme davranışlarını belirlemek amaçlanmıştır. Deneylerde CaO, Na₂O ve K₂O'nin etkilerinin açık bir şekilde görülebilmesi için, alkali içerikli Avnik/Bingöl bölgesi cevherlerinden zenginleştirilen, demir tenörü yüksek konsantre kullanılmıştır. Bu konsantreden ilave yapılmadan olduğu gibi veya çeşitli ilaveler yapılarak, çapı yüksekliğine eşit silindirik özel biriket peletler hazırlanarak deneylerde kullanılmıştır (Uğurlu, 1988).

İndirgenme deneyleri, laboratuvar imkânları ile geliştirilmiş, bir terazi ile ağırlık değişimi izlenebilen indirgeme cihazında, hidrojen gazı ile yapılmıştır. Deneylerle, alkali içermeyen ve çeşitli oranlarda Na₂O ve K₂O gibi alkali ve CaO içeren harmanlarla hazırlanan demir oksit peletlerin indirgenme davranışları; indirgenme hızları, şişme oranları ve indirgenme biçimleri yönlerinden incelenmiştir. Gaz akış hızı ve indirgeme sıcaklığı gibi seçilen deney koşullarının ve porozite gibi pelete ait fiziksel özelliğin indirgenme hızının fonksiyonu olduğunun belirlenmesinden sonra, 900 °C'de 120 cm³/dak. Hidrojen akış hızında %30 poroziteye sahip peletlerle

yapılan indirgenme deneyleri ile, peletin bileşimi ile ilgili farklı ve orijinal sonuçlar elde edilmiştir (Uğurlu, 1988).

İlavesiz konsantre ile ve CaO ilaveli harmanla hazırlanan demir oksit peletler topokimyasal biçimde indirgenme göstermişlerdir. İndirgenme; peletteki hematitin bütünü daha düşük oksijen potansiyeline sahip oksitlere (manyetit ve wüstit) dönüştükten sonra, hem pelet genelinde, hemde tane düzeyinde dıştan içe doğru metalik demirin oluşumu ile ilerlediği gözlenmiştir. Bu peletlerde topokimyasal indirgenme şekline dolaylı metal oksit faz sınırı ara yüzeyi, indirgenmenin ilerlemesi ile küçüldüğünde, indirgenmenin oranı arttıkça indirgenme hızı düşmektedir. Yine bu peletler indirgenme sırasında, topokimyasal indirgemeden dolayı düşük düzeyde kalan edilebilir ölçüde normal şişme göstermişlerdir (Uğurlu, 1988).

Konsantre CaO ilave edilerek hazırlanan peletlerde, indirgenme hızının, CaO içeriği veya baziklik oranı ile doğrusal ilişkisi olmadığı saptanmıştır. İndirgenme hızı, baziklik oranını yaklaşık 1 yapan değere kadarki CaO ilaveleri ile düşmüştür. Baziklik oranının 1'in üzerine çıkması ile indirgenme hızının yeniden artmaya başladığı görülmüştür. Ancak ilavesiz peletlerin üzerinde indirgenme hızına erişebilmesi için, baziklik oranının; bir miktar kalsiyum ferriti oluşturabilecek değerlere çıkarılması gerektiği saptanmıştır (Uğurlu, 1988).

Konsantre Na₂O ve K₂O ilave edilerek hazırlanan peletlerin indirgenmesinde Na₂O ve K₂O içeriğinin, demir oksit peletlerin indirgenmesini, CaO den farklı olarak, düşük oranlarda dahi hızlandırdıkları görülmüştür. Ayrıca Na₂O ve K₂O; demir oksit peletlerin şişmelerine anormal etkili olmuşlardır. Düşük oranda SiO₂ içeren (%1.7) peletlerde yaklaşık %0.3 alkali oksit oranı, normal şişme limitinin (%25) üzerinde şişmeye neden olmuşlardır. Peletlerde Na₂O ve K₂O oranının artmasıyla şişmede artmıştır ve belli oranın üzerinde, çatlama ve parçalanma ile devam ederek %200 lere ulaşmışlardır. İndirgenme hızı ve şişmede, Na₂O ve K₂O içeren demir oksit peletler ilavesiz peletlerden tamamen farklı olarak ilerleyen cephe şeklinde değil, tüm kitleden üniform iç indirgenme biçiminde indirgenmişlerdir (Şeşen, 1986).

Na_2O ve K_2O 'ın demir oksit peletlerin anormal şişmesine neden olan olumsuz etkileri, pelet harmanının SiO_2 içeriği, alkali oksit miktarlarının ağırlıkça yaklaşık 4 katına çıkarılarak önlenebilmiştir. SiO_2 miktarı arttırılan, alkali oksit içerikli bu peletlerin indirgenmesinde sırasında indirgenen metalik demir, belli yerlerde oluşan çekirdeklere yayınarak demir iğneleri oluşturacak şekilde büyümüşlerdir (Şeşen, 1986).

4.1. Serbest Şişme Testi ve Kullanım Amacı

Serbest Şişme test cihazı ile yük altında indirgenme (RUL) test ve Şişme test yapılmaktadır. Rul testi pelet, parça cevher ve sinter için, Şişme testi ise sadece pelet için yapılmaktadır. Bu cihaz (RUL) ve cihazda kullanılan indirgeyici (inert), soğutucu gazlar ve basınçları aşağıda Resim ve Tabloda görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kullanılan Gazlar (İsdemir, 2006)

KULLANILAN GAZLAR	BASINÇ	HORTUM ÇAPI
N ₂ (Azot)	1 – 2,5 Bar	Φ 8 mm
CO (Karbon Monoksit)	1 – 2,5 Bar	Φ 8 mm
H ₂ (Hidrojen)	1 – 2,5 Bar	Φ 8 mm
Propan	35 mbar	Φ 6 mm
Hava	40 lbf / in ²	Φ 6 mm

Çizelge 4.2. Her Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı (İsdemir, 2006)

Gazlar	Rul Test	Şişme Test
CO (Karbon Monoksit)	3 m ³	0,3 m ³
H ₂ (Hidrojen)	0,15 m ³	-----
N ₂ (Azot)	27 m ³	17 m ³

4.2. Yük Altında İndirgeme Testi (RUL)

Yüksek fırın şartlarında; sabit sıcaklıkta ve sabit basınç altında cevherlerde meydana gelen yumuşama (geçirgenlik) özelliklerinin saptanmasını ve yorumlamasını sağlar. Pelet, parça cevher ve sinter yüksek fırın içinde sıcaklıklarda bozunmaya ve yumuşamaya uğramaktadırlar. Yumuşamadan dolayı boşlukların dolması ve tozlardan dolayı fırın rejiminin etkilenmesi gibi olumsuz bir takım olaylar incelenmeli ve bunları önlemleri alınmalıdır. İndirgenebilirlik demirle birleşen oksijenin inert (kimyasal reaksiyona girmeyen) olarak giderilme kolaylığıdır.

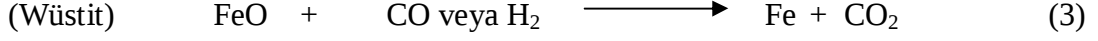
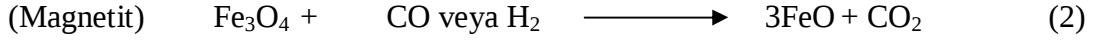
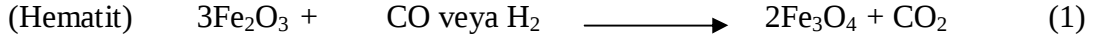
Giderilen oksijen miktarı numunenin ağırlık kaybına neden olur. RUL test sonrası grafikten; oksijen kaybından dolayı numunedeki ağırlık kaybı, basınç farkı, yükseklik kaybı ve R_{40} (Pelet, parça cevher ve sinter yarı mamul malzemesi içerisinde bulunan oksijenin indirgenmenin %40'ı sırasındaki ağırlık kaybı anı) redüklenme oranı hesaplanır.

İndirgenme yüksek fırın şartlarında ve yüksek fırın içerisindeki gibi olur demiştik. Bu indirgemeyi tepkime şeklinde yazacak olursak aşağıdaki kimyasal tepkimeler ortaya çıkmaktadır. Tepkimelerdeki O_2 kayıplarının hesaplanabilmesi için deney numunesinden yaklaşık 200 gr numune -0.150 mm'ye öğütülür ve ilgili laboratuara gönderilerek X Ray cihazıyla (Şekil 4.2.) element analizi yapılır. (ASTM 4326); 0.6 gr numune 6.6 gr ergitme kimyasalı kullanılarak özel bir fırında eritilir ve kalıplara dökülür. Çıkan numune X-Ray cihazında analiz edilir.



Şekil 4.1. X Ray Cihazı

4.2.1. Deney Boyunca Retort Tüp İçerisinde Oluşan İndirgeme (redükleme) Tepkimesi



Not; Kırılma ve indirgenme; hidrojen ile yapıldığı zaman, CO'ye göre daha azdır.

Bu deney metodu, yük altında belirli koşullarda indirgenen demir cevherlerinin fiziksel kararlılığının değerlendirilmesine yönelik bir deney metodunu tarif eder. Bu deney ile ilgili özel şartlar aşağıda verilmiştir:

- İndirgeme için izotermal ısıtma,
- Belirli bir tane büyüklüğüne sahip ve yük altında sabit bir yatağa yerleştirilmiş deney numunesi kısmı,
- Karbon monoksit, hidrojen, azot karışımından oluşan indirgeyici gaz,
- Deney numunesi kısmı yatağı boyunca diferansiyel gaz basıncının ve yatağın yüksekliğindeki değişimin ölçülmesi.

Bu metot, yüksek fırındaki koşullara benzer koşullar altında, yüksek fırına yüklenen malzemelerin fiziksel dayanımına ilişkin bilgi sağlar. Bu deneyin sonuçları, özellikle indirgeme esnasında demir cevherlerinin fiziksel davranışını gösteren diğer deneylerin sonuçlarıyla birlikte dikkate alınmalıdır.

Bu deney metodu, deney numunesi kısmı yatağı boyunca diferansiyel gaz basıncındaki değişimin ve indirgeme süresince yük altında bulunan yatağın yüksekliğindeki değişimin ölçülmesi suretiyle, demir cevherlerinin fiziksel kararlılığının tayinine yönelik bir metodu kapsar. Bu metot, tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmış cevherlere ve peletlere uygulanabilir (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

4.2.2. İndirgeme Reaksiyon Tarifi

Üniform gaz akışını sağlamak amacıyla indirgeme tüpündeki delikli levhâ üzerinde 10.0 mm ile 12.5 mm arasında bir büyüklüğe sahip porselen peletler çift tabakalı yatak şeklinde yerleştirilir. Düzleme işleminden sonra porselen tabakasının üst yüzeyinin yüksekliği ölçülür. Deney numunesi kısmı, porselen peletlerinin yatağı üzerine yerleştirilir. Düzleme işleminden sonra deney numunesi kısmı yatağının (deney yatağı) üst yüzeyinin yüksekliği ölçülür. Deney yatağı üzerine ilâve olarak, 10.0 mm ile 12.5 mm arasında büyüklüğe sahip porselen peletler çift tabakalı yatak şeklinde yerleştirilir. Düzleme işleminden sonra tekrar porselen tabakasının üst yüzeyinin yüksekliği ölçülür.

Yükleme cihazını ihtiva eden ısı tertibatı, indirgeme tüpüne bağlanarak indirgeme tüpünün üstü kapatılır. İndirgeme tüpü fırına konulur, fırın ve ısıtma elemanlarıyla temas etmeyecek şekilde terazi ile merkezi olarak asılır.

Not; İnert (kimyasal reaksiyona girmeyen) gaz akışındaki ısıtma hızının deney sonuçları üzerinde hiçbir etkisi olmadığından, deney numunesi kısmını ihtiva eden indirgeme tüpü, ısıtılmış fırına konulabilir. Diferansiyel basıncın ve deney yatağı yüksekliğindeki değişimin ölçülmesi için ısı çifti ile ölçme cihazları bağlanır. Gaz besleme sistemi ile boşaltma hattı bağlanır. Yükleme aleti bağlanır ve 50 kPa $\pm$ 2 kPa'lık bir yük uygulanır. İnert gaz, 50 L/min $\pm$ 1 L/min debiyle indirgeme tüpünden geçirilir. Deney numunesi kısmının sıcaklığı 1050 °C'a yaklaştığında, debi 83 L/min'e çıkarılır. Deney numunesi kısmının kütlesi sabit olana kadar ve sıcaklık 1050°C $\pm$ 10°C'ta sabitlenene kadar ısıtma işlemine devam edilir (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

Uyarı; Karbon monoksit ve karbon monoksit ihtiva eden indirgeyici gaz zehirlidir ve bu nedenle tehlikelidir. Her ülkenin güvenlik kodlarına göre, operatörün güvenliği için önlemler alınmalıdır.

İnert gazın yerine geçmesi için indirgeyici gaz 83 L/min debiyle gönderilir. İlk 30 dakika içinde her 5 dakikada bir ve daha sonra 10 dakika aralıklarla deney yatağı boyunca diferansiyel gaz basıncı, yatağın yüksekliği ve deney numunesi kısmının kütlesi ölçülür ve kaydedilir. Deney numunesi kısmının tamamının saf demir (III) oksitten oluştuğu varsayılarak, oksijen kaybı, teorik olarak beklenen değerin %

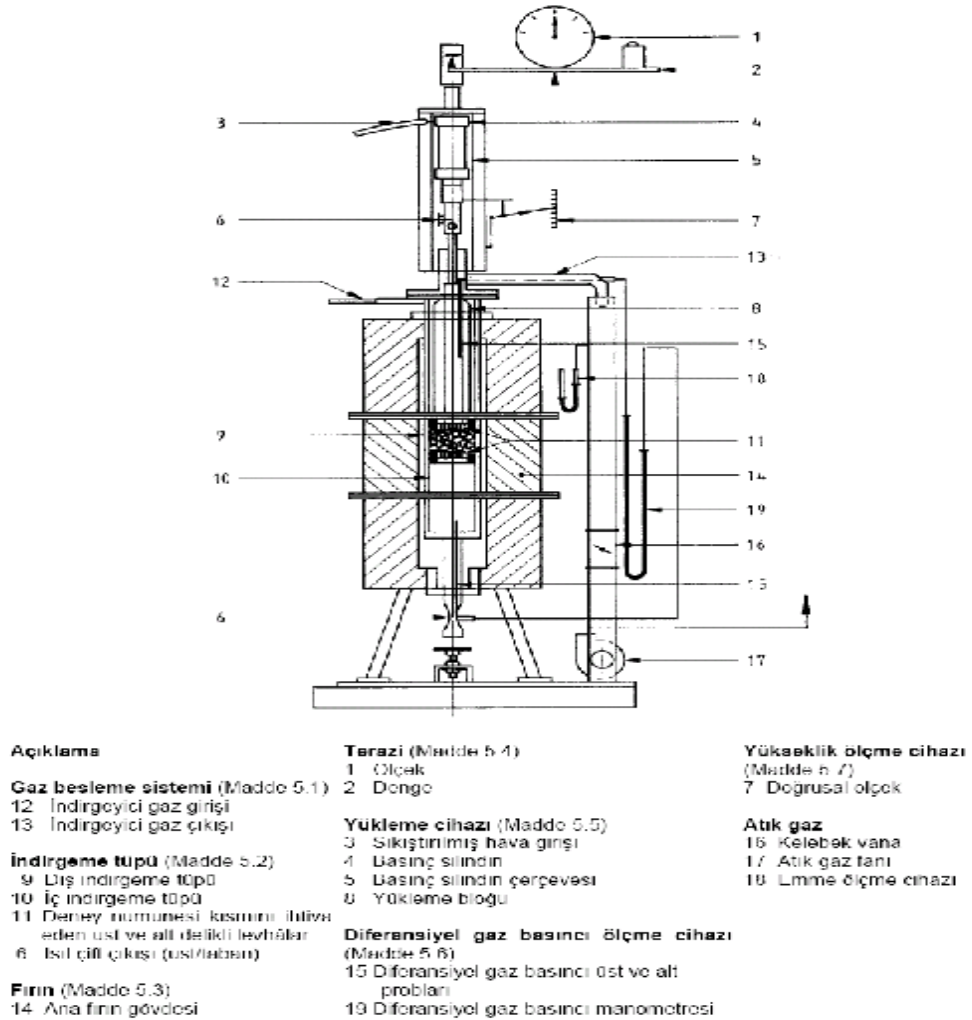
80'ine ulaştığında indirgeme durdurulur. İndirgeme 4 saat sonra da başarılamazsa, deneye son verilebilir.

Not; İstenirse indirgenen deney numunesi kısmının incelenmesi amacıyla deney numunesi kısmı, inert gaz akışında ($50 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$) soğutulabilir. Bu durumda inert gaz akışı, deney numunesi kısmı 100°C 'un altına soğutulana kadar muhafaza edilir (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

4.2.3. Kullanılan Aparatlar

Test cihazı içerisinde kullanılan aparatlar aşağıdadır. Bunlar test için uygun ortam sağlamak üzere tasarlanmıştır.

- a. **İndirgeme Tüpü (Retort);** Deformasyona dayanıklı, 1050°C sıcaklığa dayanabilen ısıya dayanıklı pullanmayan metalden imâl edilmiş indirgeme tüpünün iç çapı $125 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ olmalıdır. Sökülebilir delikli levha, deney numunesi kısmının desteklenerek bir yatak oluşturması amacıyla indirgeme tüpü içine monte edilir. Levha, 10 mm kalınlığında, levhâdaki deliklerin çapı 3 mm ile 4 mm arasında olmalıdır. Delikler arası mesafe ise 3 mm ile 5 mm arasında olmalıdır. Sökülebilir levha, delikli sabit bir destek üzerine yerleştirilir. Delikli levhanın detaylarını ihtiva eden indirgeme tüpüne bir örnek verilmiştir. Karbon birikmesinden dolayı oluşan yanlış ölçmelerden kaçınmak için ısı çiftli oksijen akışının prensiplerini gösterir.
- b. **Fırın;** Tüm deney numunesi kısmını ve yatağa giren gazı $1050^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 'ta tutabilecek ısıtma kapasitesinde vardır.
- c. **Terazi;** 1 gr hassasiyetle yükün tartımını yapabilir. Terazinin doğruluğu ve hassaslığı düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir.



Şekil 4.2. RUL Test Ekipman Bileşenleri (İsdemir, 2006)

d. Yükleme Cihazı; Deney numunesi kısmı yatağı üzerine $50 \text{ kPa} \pm 2 \text{ kPa}$ mertebesinde toplam sabit yük uygulayabilen. Yük, yatağın üzerine yerleştirilen porselen peletlerin üst tabakasının yüzeyine eşit olarak dağıtılması için, delikli bir levha (çapı $120 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) ile aktarılmalıdır. Cihaz, indirgeme tüpünün dışında, indirgeme deneyi süresince alçalma hareketini ölçen bir alete bağlanılmalıdır.

Not; Gerçek yük, basınç silindiri ile yükleme bloğu arasına yerleştirilen yükün uygulanmasıyla ya da diğer uygun metotlarla ölçülebilir. Yükleme bloğunun ağırlığı, uygulanan toplam yükün bir parçası olarak değerlendirilir.

Diferansiyel Gaz Basıncı Ölçme Cihazı; $0,01 \text{ kPa}$ 'a kadar ölçer.

Yükseklik Ölçme Cihazı; 0, 1 mm'ye kadar ölçer.

Deney Elekları; 16,0 mm, 12,5 mm ve 10,0 mm kare göz açıklıklı ve standart deney elekları özelliklerine uygun olan elekları kullanılmaktadır.

4.3. Şişme Testi

Karbon monoksit ve azot içeren bir indirgeyici gaz kullanılarak, belirli bir boyut aralığındaki pişirilmiş demir cevheri peletlerinde, izotermal indirgeme sırasında meydana gelen şişme miktarı, 900°C sıcaklıkta yapılan indirgeme öncesi ve sonrası, peletlerin hacmi ölçülerek tayin edilir. Yüzde olarak ifade edilen serbest şişme indisi, iki hacim arasındaki fark yardımıyla hesaplanır.

Özellikle peletler, sıcak ve indirgeyici bir atmosferde indirgendiğinde şişme ve hacim değışikliğı olur. Test öncesi ve sonrası peletlerin hacimleri ölçülerek şişme oranları (%) bulunur. İsdemir Numune Alma ve Hazırlama Başmühendisliğı Teknolojik test laboratuvarımızda bulunan şişme test cihazı Şekil 3.3.'dedir.

4.3.1. Test Sırasında Kullanılacak Test Numunelerinin Hazırlanması

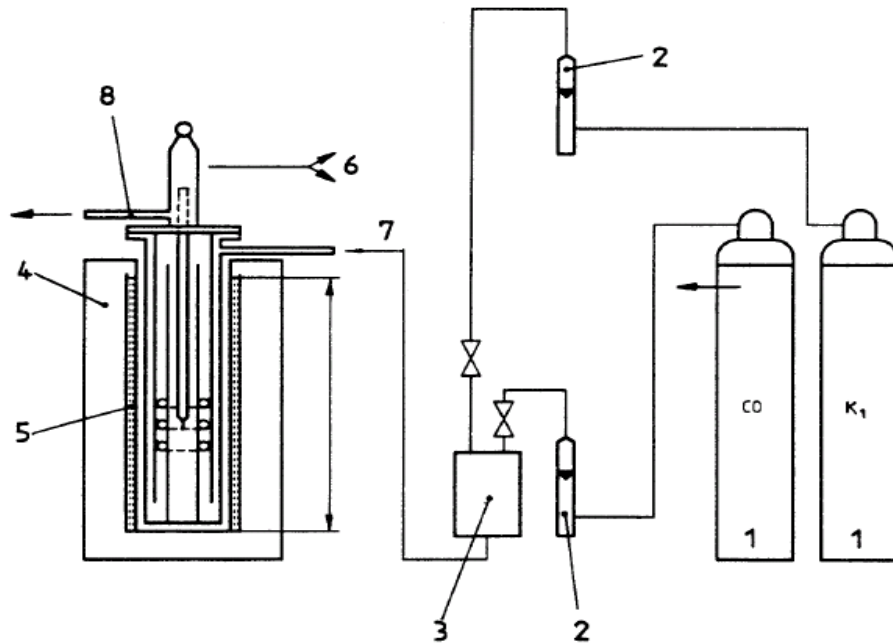
Bu testler sırasında kullanılacak numunelerin ağırlığı yaklaşık 10 kg kadar olmalı ve boyutları ise (-12,5+10 mm) yani 10 mm elek üstü ile 12.5 mm elek altı numunelerinden oluşmalıdır. Rul test için yaklaşık 6 kg (4 Testlik) numune ve Şişme test içinse 72 adet (4 Testlik) pelet numunesi alınmalıdır. Rul test için alınan 6 kg numunenin 1 kg kadarı 0,150 mm altına öğütölerek kimyasal analiz için Spektrel analiz laboratuvarına gönderilecek ve geriye kalan yaklaşık 5 kg numunede 4 testlik numuneyi temsil edecektir. (1 test için gerekli olan miktar 1.250 gr), Şişme test cihaz kesiti Şekil 4.4.'de görölmektedir (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

4.3.2. Kullanılacak Cihazlar

a. Fırın; Elektrikle ısıtılan, bütün deney numunesi ve numuneyle temas edecek olan gaz sıcaklığı $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ da düzenli olarak sağlayabilecek yeterli bir ısıtma kapasitesi olan.

b. İndirgeme tüpü; Kabuk bağlamayan, 900°C'dan daha yüksek bir sıcaklığa dayanan, ısıya dirençli metal indirgeme tüpünün giriş çapı 75 mm ± 1 mm olmalıdır. Kayık ile indirgeme tüpünün ayrıntıları, Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.

c. Kayık; 900 °C'dan daha yüksek bir sıcaklığa dayanan kabuk bağlamayan metalden yapılan bir tel sepetten ibaret, kayık her bir seviyede 10 mm - 12,5 mm boyut aralığındaki 6 peleti olmak üzere 3 seviyede 18 pelet tutabilecek hacme sahip olmalıdır (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).



Şekil 4.3. Şişme Test Cihaz Kesiti (İsdemir, 2006)

1. Gaz Tüpleri
2. Gaz Yoğunluk Ayarlayıcı
3. Gaz Karıştırıcı
4. Yalıtımlı Dış Kaplama
5. Yalıtımlı İç Kaplama
6. Gaz Basınç Ayarlayıcı
7. Gaz Giriş Borusu
8. Gaz Tahliye Borusu

4.4. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (LTD)

Demir cevheri, peletler ve sinterler; demir oksitlerin ve empürütelerin bileşiminden oluşurlar. Bu tip malzemeler yüksek sıcaklıkta indirgenme atmosferi gibi şartlar altında mekanik gerilmelerden dolayı en zayıf noktalarından kırılmaya başlarlar. Demir cevheri fırına şarj edildikten sonra ; düşük sıcaklıktaki indirgenme esnasında kimyasal tepkimelerden dolayı basınç ve aşınma ile meydana gelen bozunuma uğrarlar. Bu test ile, demir cevherleri 500 °C de indirgenme esnasında tamburlanarak redüklenme ve parçalanma oranları bulunur. Test cihazı Şekil 4.5.'de görülmektedir. Bu test ISO – 4697'a göre yapılır (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

Çizelge 4.3. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (LTD) İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı

Gazlar	Şişme Test
CO (Karbon Monoksit)	0,24 m ³
CO ₂ (Karbon Dioksit)	0,24 m ³
H ₂ (Hidrojen)	0,024 m ³
N ₂ (Azot)	Test Süresince

Toplam gaz debisi **20 ± 1 lt / dak.** Olacak şekilde aşağıda olduğu gibi ayarlanır.

Çizelge 4.4. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (LTD) İçin Kullanılan Gaz Debileri

Gazlar	Şişme Test
CO (Karbon Monoksit)	20 ± 0,5 (4 lt / dak.)
CO ₂ (Karbon Dioksit)	20 ± 0,5 (4 lt / dak.)
H ₂ (Hidrojen)	20 ± 0,5 (0,4 lt / dak.)
N ₂ (Azot)	20 ± 0,5 (11,6 lt / dak.)

Test Sıcaklığı : 500 °C

Test süresi : 1 Saat

Numune Ağırlığı : 500 gr.
Tane Boyutları : 10,0 – 12,5 mm
Terazi Hassasiyeti : 0,1 gr.
İndirgeme Tüpü Dönme Hızı : 10 devir / dak.
Kullanılacak Elekler : 16,0 – 12,5 – 10,0 – 6,30 – 3,15 – 0,500 mm
ISO – 3081 ve ISO – 3082 Standardına göre hazırlanmış yaklaşık 20 kg'lık test numunesi 105 ± 5 °C etüvde 2 saat kurutulduktan sonra, test öncesi oda sıcaklığına kadar durgun ortamda soğutulularak teste hazır hale getirilir. Pelet için 10,0 – 12,5 mm, parça cevher ve sinter için 10,0 – 12,5 mm test numunesi hazırlanır. Şayet numune yeterli olmaz ise 16,0 mm altındaki parçalar kırılıp tekrar elekten geçirilerek test numunesi hazırlanır (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

4.5. Statik Düşük Sıcaklıkta Kırılma Dayanımı Testi (RDI)

Bu test ile, Demir Cevherlerinin düşük sıcaklıkta parçalanmasının (statik) ölçülmesi sağlanır. Bu Test ISO – 4696'a göre yapılmaktadır.

Çizelge 4.5. Bu Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı

Gazlar	Şişme Test
CO (Karbon Monoksit)	0,24 m ³
CO ₂ (Karbon Dioksit)	0,24 m ³
N ₂ (Azot)	Test Süresince

Toplam gaz debisi 20 ± 1 lt/dak. Olacak şekilde aşağıda olduğu gibi ayarlanır.

Çizelge 4.6. Bu Test İçin Yaklaşık Gaz Sarfiyatı

Gazlar	Şişme Test
CO (Karbon Monoksit)	$20 \pm 0,5$ (4 lt / dak.)
CO ₂ (Karbon Dioksit)	$20 \pm 0,5$ (4 lt / dak.)
N ₂ (Azot)	$60 \pm 0,5$ (12 lt / dak.)

Test Sıcaklığı	: 500 °C
Test süresi	: 1 Saat
Numune Ağırlığı	: 500 gr.
Tane Boyutları	: 10,0 – 12,5 mm
Terazi Hassasiyeti	: 0,1 gr.
İndirgeme Tüpü Dönme Hızı	: 300 ± 1 devir / dak.
Kullanılacak Elekler	: 16,0 – 12,5 – 10,0 – 6,30 – 3,15 – 0,500 mm

ISO – 3081 ve ISO – 3082 Standardına göre hazırlanmış yaklaşık 2 kg'lık test numunesi 105 ± 5 °C etüvde 2 saat kurutulduktan sonra, test öncesi oda sıcaklığına kadar durgun ortamda soğutularak teste hazır hale getirilir. Pelet için 10,0 – 12,5 mm, parça cevher ve sinter için 10,0 – 12,5 mm test numunesi hazırlanır. Şayet numune yeterli olmaz ise 16,0 mm altındaki parçalar kırılıp tekrar elekten geçirilerek test numunesi hazırlanır (İSDEMİR Kalite El Kitabı, 2007).

4.6. Parça Demir Cevheri İçin Spesifikasyonlar

a. Kimyasal Analiz

Fe : %64 SiO₂ : %5 Al₂O₃ : %1 CaO : %0,5

MgO : %0,5 Na₂O : %0,05 K₂O : %0.05 Mn : %1,5

S : %0.02

b. Elek Analizleri

+25.4 mm Max. 10

-25.4 mm + 9.52 mm Max. 80

-9.52 mm Max. 10

c. Tambur Testi

+ 6.35 mm Max. 80

-0.6 mm Max. 10

d. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Özelliği

+6.35 mm Min. 67

-0.5 mm Max. 7

e. İndirgeme Sırasında Parçalanma Özelliği

+6.35 mm Min. 70

-6.35 mm +3.15 mm Max. 10

-3.15 mm +0.5 mm Max. 5

-0.5 mm Max. 10

f. Yük Altında İndirgenme Özelliği

R_{40} : 0.80

ΔP : 10

ΔH : 10

4.7. Sinter Yarı Mamül İçin Spesifikasyonlar**a. Kimyasal Analiz**

Fe : %58 SiO₂ : %5 Al₂O₃ : %1,6 CaO : %10

MgO : %1,2 Na₂O : %0.03 K₂O : %0,12 Mn : %1

S : %0,02

b. Elek Analizleri

+50 mm Max. ----

-50 mm +9.52 mm Min. 70

-9.52 mm +6.35 mm Max. 20

-35 mm Max. 10

c. Tambur Testi

+6.35 mm Min. 75

-0.6 mm Max. 10

d. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Özelliği

+6.35 mm 10–15

-6.35 mm +3.15 mm Min. 30

-3.15 mm + 0.5 mm 35–40

-0.5 mm Max. 5

e. İndirgeme Sırasında Parçalanma Özelliği

+6,35 mm 20–25

-6.35 mm +3,15 mm Min. 40

-3.15 mm + 0,5 mm 30–35

-0.5 mm Max. 5

f. Yük Altında İndirgenme Özelliği

R₄₀ : 1,80

ΔP : 1

ΔH : 8-10

4.8. Pelet İçin Spesifikasyonlar

a. Kimyasal Analiz

Fe . %66 SiO₂ : %5 Al₂O₃ : %1 CaO :

%2,5

MgO : %1,5 Na₂O : %0,05 K₂O : %0,05 Mn : %1

S : %0,02

b. Elek Analizleri

+16 mm Max. 5

-16 mm +9.52 mm Min. 85

-9.52 mm +6.35 mm Max. 7

-6.35 mm Max. 3

c. Tambur Testi

+6.35 mm Min. 95

-0.6 mm Max. 5

d. Düşük Sıcaklıkta Kırılma Özelliği

+6.35 mm Min. 84

-0.5 mm Max. 3

e. İndirgeme Sırasında Parçalanma Özelliği

+6.35 mm Min. 90

-6.35 mm +3.15 mm 2–3

-3.15 mm +0.5 mm 1-2

-0,5 mm 3–5

f. Yük Altında İndirgenme Özelliği

R_{40} (redükleme) : 1

ΔP (basınç farkı) : 2–4

ΔH (yükseklik farkı) : 10

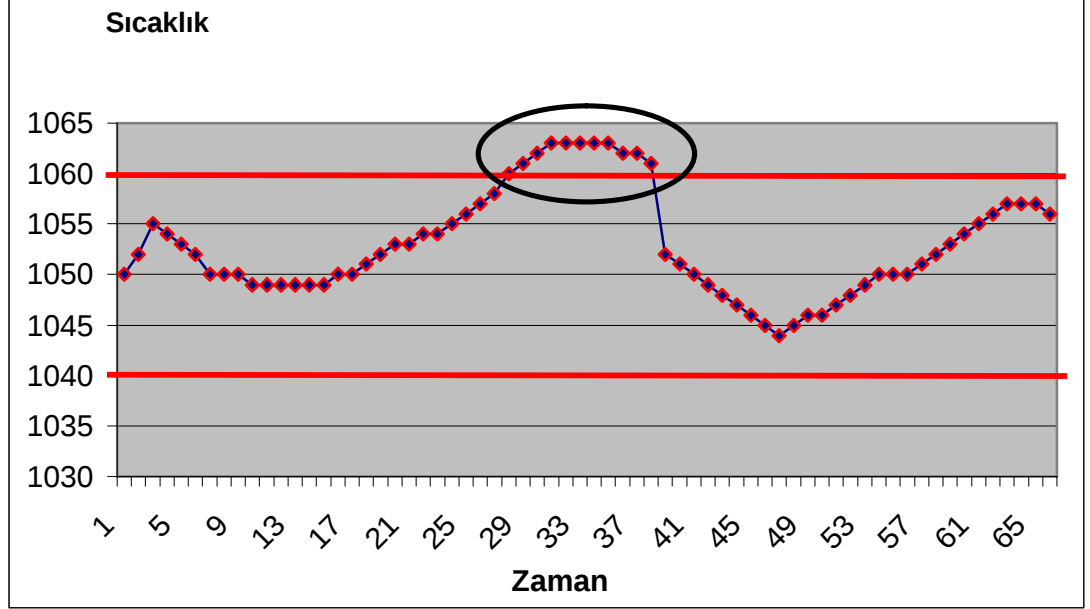
Not; Tablo üzerindeki kırmızı alan cihaz sıcaklığının standartların dışına çıktığı bölümü göstermektedir. Çünkü standart bize sıcaklığın 1040 ve 1060 °C arasında olması gerektiğini aksi halde yapılan analizin geçersiz olacağını söylemektedir. Test geçersizdir.

Çizelge 4.7.'de akış diyagramı geçersiz sayılan yük altında indirgenme (RUL) testinin çalışması sırasında oluşan sıcaklık-zaman arasındaki değişimi göstermektedir.

Çizelge 4.7. Geçersiz (Isısı 1040 – 1060 °C dışına taşmış) Örnek Bir RUL Test Sıcaklık – Zaman Sonuçları (İsdemir, 2006)

Zaman (Dakika)	Sıcaklık (°C)	22	1054	44	1056
1	1050	23	1054	45	1055
2	1052	24	1055	46	1055
3	1055	25	1056	47	1053
4	1054	26	1057	48	1052
5	1053	27	1058	49	1053
6	1052	28	1060	50	1051
7	1050	29	1060	51	1050
8	1050	30	1061	52	1049
9	1050	31	1062	53	1048
10	1049	32	1063	54	1047
11	1049	33	1063	55	1046
12	1049	34	1063	56	1045
13	1049	35	1063	57	1044
14	1049	36	1063	58	1043
15	1049	37	1062	59	1043
16	1050	38	1062	60	1042
17	1050	39	1061	61	1041

18	1051	40	1060	62	1041
19	1052	41	1059	63	1041
20	1053	42	1059	64	1041
21	1053	43	1058	65	1041



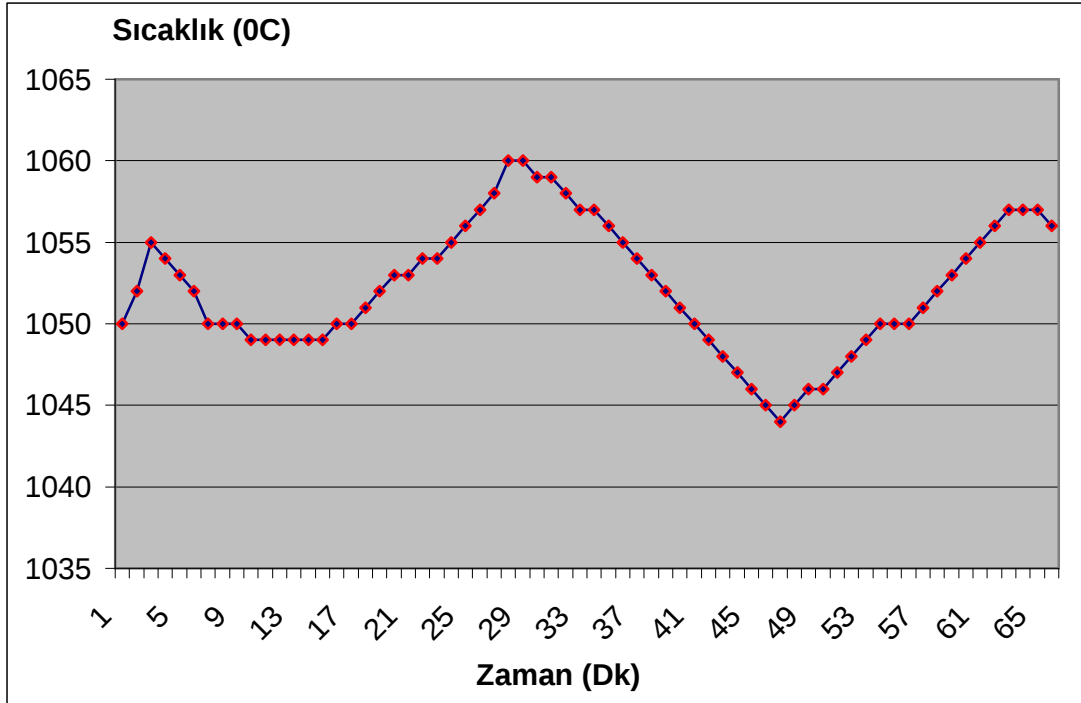
Şekil 4.4. Olumsuz sonuçlanan testin grafik olarak gösterimi

Çizelge 4.8. Geçerli (Isısı 1040 – 1060 °C dışına taşmamış) Örnek Bir RUL Test Sıcaklık – Zaman Sonuçları

Zaman (Dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (Dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (Dakika)	Sıcaklık (°C)
1	1050	21	1053	41	1050
2	1052	22	1054	42	1049
3	1055	23	1054	43	1048
4	1054	24	1055	44	1047
5	1053	25	1056	45	1046
6	1052	26	1057	46	1045
7	1050	27	1058	47	1044
8	1050	28	1060	48	1045
9	1050	29	1060	49	1046
10	1049	30	1059	50	1046
11	1049	31	1059	51	1047
12	1049	32	1058	52	1048
13	1049	33	1057	53	1049
14	1049	34	1057	54	1050

15	1049	35	1056	55	1050
16	1050	36	1055	56	1050
17	1050	37	1054	57	1051
18	1051	38	1053	58	1052
19	1052	39	1052	59	1053
20	1053	40	1051	60	1054

Not; Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi reaksiyon esnasında cihazın malzemeye uyguladığı indirgeme sıcaklığı standardın bize belirttiği aralığın dışına sarkmamakta yani yapılan işlem olumlu ve kabul edilebilir sayılmaktadır. Test geçerlidir.



Şekil 4.5. Olumlu sonuçlanan (Isısı 1040 – 1060 °C dışına taşmamış) testin grafik olarak gösterimi

5. ARAŞTIRMA BULGULARI**5.1. CITIC International Cooperation Co. Ltd./Çin Firmasıyla İsdemir A.Ş. Arasında Anlaşmayla Paralel Çalışma Yapılan Peletleme Testleri Arge Laboratuvar Çalışmaları**

İsdemir A.Ş. daha kaliteli pelet üretimini yakalamak için ARGE çalışması yapabilmek adına CITIC International Cooperation Co. Ltd. / Çin şirketi ile yapmış olduğu anlaşma çerçevesinde söz konusu firmaya 19 Haziran 2007 tarihinde Hasan Çelebi ocağından alınan konsantre demir cevheri ve bentoniti gerekli miktarda göndererek çalışmaları başlattı.

Pelet üretimi ve testleri için firmanın kullanacağı cihazlar, özellikleri ve metotlar aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir (CITIC, 2007).

a. Peletleme Diski;

Çap	: 1000 mm
Yükseklik	: 200 mm
Eğimi	: 45°
Devir Hızı	: 21,5 devir/dakika

b. Yatay Tüp Fırını,

Isıtma Bileşeni	: Silisyum – Karbür Çubuk
Yüksek alüminalı Tüp (Retort) Boyutları	: 50x1000 mm
Porselen Kap Boyutları	: 60x30x15

c. Ateşleme Kabi;

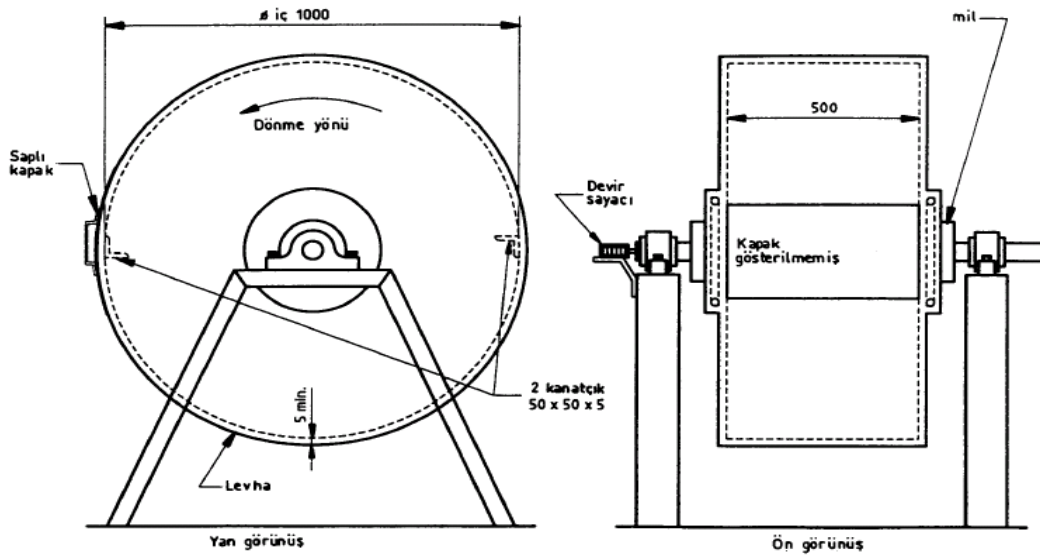
İç Çap	: 150 mm
Yükseklik	: 450 mm
Ateşleme Odası Boyutları	: 180x610 mm (Ağırlık : 100 kg)

d. Mekanik Baskı Pres Cihazı;

Maksimum Yük	: 100 Kn
--------------	----------

e. ISO (Uluslar arası Standartta) Tambur Boyutları;

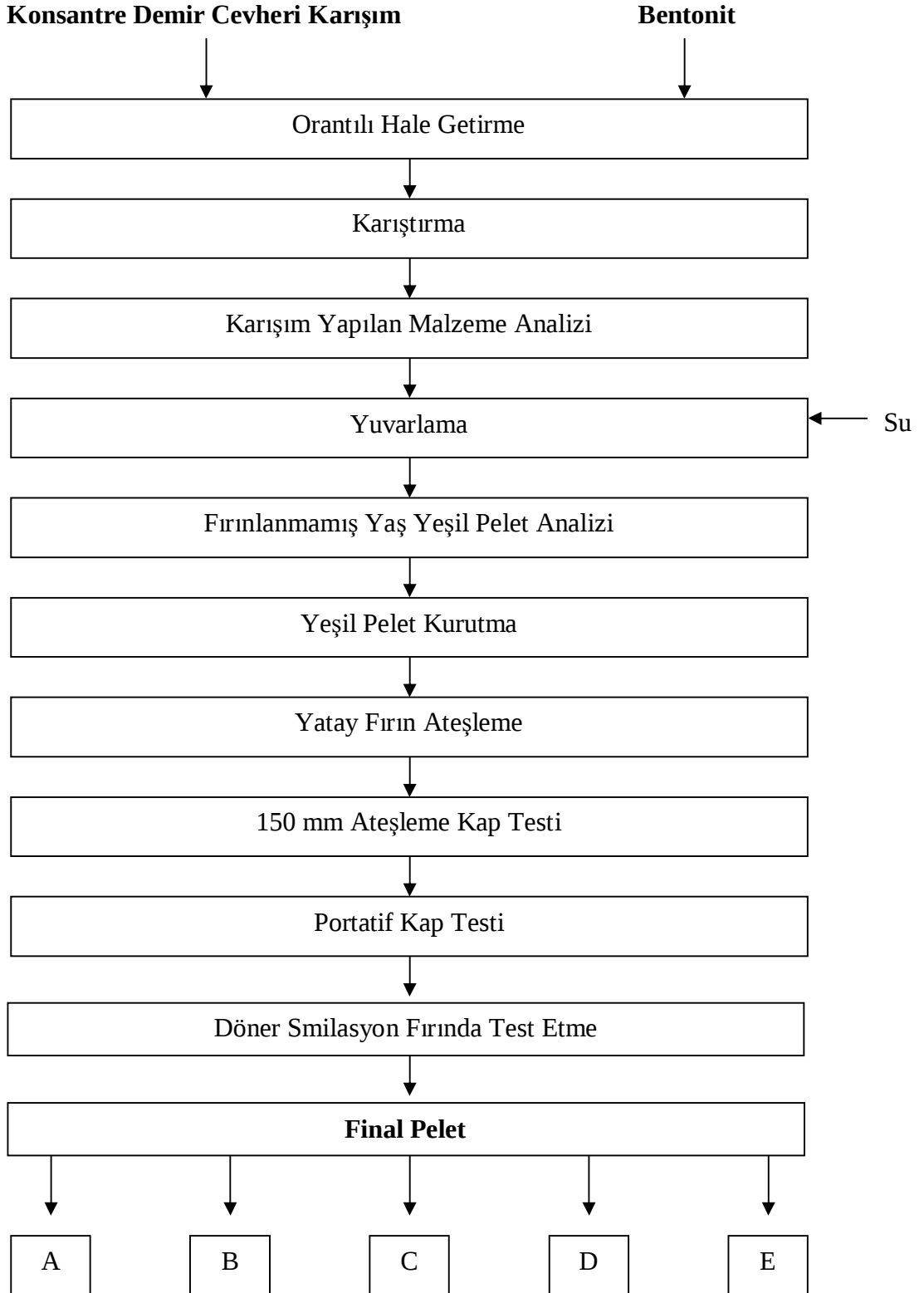
İç Çapı	: 1000 mm
Genişlik	: 500 mm
İç Silindir Boyutları	: 50x50x5
Dönüş Devir Sayısı	: 25 Devir/Dakika
Besleme Boyutları	: +6,30 mm – 40,0 mm



Şekil 5.1. ISO Tamburu

5.2.Döner Minyatür Yüksek Fırın;

Boyut	: 350x500 mm
Ağırlık	: 286 kg
Besleme Miktarı	: 500 kg
Pelet Boyutlandırma Kısım	: 700x2700 mm (Ağırlık : 145 kg)
Yanma Odası Boyutları	: 700 x 2700 mm (Ağırlık : 1,85 t)
Sıcak Yüksek Fırın Boyutları	: 1070 x 2000 mm (Ağırlık 4 t)
Dönüş Hızı	: 960 Devir /Saat
Hava Akışı	: 13 m ³ /dak
Negatif Basınç	: 19600 P



Şekil 5.2. Peletleme Test Akış Diyagramı (CITIC, 2007)

Şema sonunda nihai ürün olarak çıkan peletler Numune Alma ve Hazırlama Standartları kapsamında temsili 5 numuneye ayrılarak, aşağıda belirtilen testler İsdemir'e ait laboratuvarla paralel olarak uygulanmıştır (CITIC, 2007).

- A: Sıkıştırma Kuvveti Analizi
- B: ISO Tambur Test Analizi
- C: Kimyasal İçerik Analizi
- D: Metalürjik Malzeme Analizi
- E: Mineralojik Analiz

5.3. Peletleme İşlemleri ve Nihai Ürün Analizleri İçin Kullanılan Metot Ve Prosedürler

Konsantre Demir Cevheri ve bentonit belli oranlarda yeterli miktarda su ile karıştırılır, karışım 20 dakika boyunca sürerek topaklama işlemi için uygun hale getirilir. Malzeme topaklama yapmak için bir personel nezaretinde peletleme diskine konularak 10 – 15 dakika kadar döndürülür. Meydana gelen yeşil ıslak peletler +10,0 mm ve -12,5 mm boyutlarına elenerek rutubet alma işlemi için 150 °C sabit sıcaklıktaki fırın içerisine koyulur. Fırınlarda ısıtma işlemi LPG gazı ile yapılmaktadır. Sıcaklıklar thermo couple (Ölçme Çubukları) ile ölçülmektedir.

Kurutma testinde ilk olarak peletin kuruma (nem) miktarı bulunmakta, kurutma işlemi biten peletler daha sonra sıkıştırma kuvvetine tabi tutularak bentonit, toz cevher ve su karışımının betonlaşması sağlanmaktadır. Daha sonraki işlemde peletler yatay elektrikli fırında yakma testine tabi tutulur. Isıtma işlemi silisyum karbür çubuklarla sağlanır ve ölçüm işlemi otomatik olarak çiftli ısıölçerler tarafından yapılır. Uygun kurutma sıcaklığı ve kuruma zamanı not edilir. Yakma işlemi için son safa minyatür döner yüksek fırında sıcak hava vermek koşuluyla yapılır ve fırınlama işlemi bu şekilde tamamlanmış olur. Bu fırının sıcaklığı da kızılötesi termometre aracılığı ile ölçülür. Bu işlemler sonucunda kurutma ve yakma işlemleri tamamlanmış olan peletler aşağıda tanımlanan testlerden geçirilmek üzere ayrılır.

5.3.1. Peletlerde Yüksekten Düşme

Her defasında 20 pelet 500 mm yükseklikten 10 mm kalınlıkta çelik sac üzerine serbest düşme şeklinde bırakılır. Çatlayan ve kırılan peletler ayrılarak sayılır ve not edilir. Sonuç olarak bulunan düşme mukavemet değerleri aritmetik ortalama ile hesaplanır. Her 20 toptan 5 tanesi standart kırılabilir sayı olarak kabul edilir (CITIC, 2007).

5.3.2. Peletlerde Kırılma Mukavemet

Peletlerde kırılma mukavemet testleri Uluslar arası ISO 4700-1983 standardına uygun Çin ulusal standardı (GB/T14201-930) kullanılarak yapılmıştır. Her defasında 20 pelet hızı maksimum 10 mm/dakika olan pres mukavemet cihazında sıkıştırmaya tabi tutulur. Kırılan peletlerin kırılma mukavemet değerleri okunarak not edilir ve kırılan pelet sayısına göre değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değer hesaplanır (CITIC, 2007).

5.3.3. Peletlerde ISO Tambur

CITIC firması ISO tambur testleri Uluslar arası ISO 3271-1975 standardına uygun olan Çin Ulusal Standardı olan GB8209-87 standardı kullanarak yapılmıştır. Test için + 6,35 mm ebatlarda 11,3 kg hazırlanan pelet numunesi çapı 1000 mm ve genişliği 500 mm olan ISO tamburu içerisine konularak 25 devir/dakika hızda 200 devir yani 8 dakika döndürülerek çıkartılır. Çıkan numune 6,35 mm ve 0,500 mm olmak üzere 2 ebattan eleme işlemine tabi tutulur; + 6,35 mm kırılma ve – 0,500 mm tozlanmak indeks değerleri bulunarak not edilir (CITIC, 2007).

5.3.4. Peletlerde Kimyasal Analiz

0,150 mm ye öğütülen peletin, ve peletleme işleminde kullanılan bentonitin spektral analiz cihazında kimyasal kompozisyonları bulunur. Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de firma tarafından kimyasal analiz testleri yapılan konsantre toz demir

cevheriyle bağlayıcı olarak kullanılan bentonite ait içerik analizi verilmektedir (CITIC, 2007).

Çizelge 5.1. Bentonite Ait Kimyasal Analiz Bulguları (CITIC, 2007)

Element	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	K.K.
%Ağ.	3.63	57.9	17.89	5.89	2.32	0.06	0.07	9.20

Çizelge 5.2. Konsantre Demir Cevheri Kimyasal Analiz Bulguları (CITIC, 2007)

TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MnO
68.48	3.51	1.31	0.383	0.35	0.76	0.223	0.171	0.104	0.0436	0.142
NiO	P ₂ O ₅	ZrO ₂								
0.031	0.016	0.008								

5.4. Peletlerde Metalurjik Testler

a. Yük Altında İndirgenme (RUL) TS ISO 7992

Bu test 1050 °C derece sabit sıcaklık altında 1200 gr numune ile yapılan ve deney yatağın yüzeyine 50 Kpa sabit diferansiyel basınç altında şekilsel ve kimyasal değişimleri temel almaktadır. Çıkan veriler deney yatağının cm cinsinden değişimi; Δh, deney yatağının alt ve üst kısmında oluşan basınç farkı; Δp ve Demir cevheri peletinin redüklenme miktarı R₄₀ (gr/dakika O₂) şeklinde ifade edilmektedir. Numune ilk olarak 105 °C derece sabit sıcaklıkta kurutulmuş, 10.0 mm ve 12.5 mm eleklerden elenerek elek arası kısımlarından 1200 gr temsili numune alınmış, bu numune RUL test cihazı içerisinde bulunan Retort denilen tüp içerisine yerleştirilerek 1050 °C derece sabit sıcaklığa gelene kadar ısıtılmış ve CO-CO₂ %30-%70 inert gazları verilmiş, yeterli oksijen kaybı sağlanarak deney tamamlanmıştır.

$$RI (\%) = \left(\frac{0.111W}{0.430W_2} + \frac{m_1 - m_i}{m_0 \times 0.430W_2} \times 100 \right) \times 100$$

m₀ – Numune Ağırlığı (gr)

m₁ – İndirgeme Öncesi Numune Ağırlığı (gr)

m_i – İndirgeme Sonrası Numune Ağırlığı (gr)

W_1 – Test öncesi FeO Miktarı (%)

W_2 – Test Öncesi toplam Fe Miktarı (%)

Yük Altında İndirgenme Test Sonucu 75.26 (180 Dakika, %)

b. Yük Altında Aşınma ve Tozlanma (RDI)

Bu test, 500°C'lik sıcaklıkta bir tüp içinde demir cevherinin indirgenmesi işleminde, cevherin parçalanma ve ufalanma derecelerinin tayini için bir metodu kapsar. Metot, yüksek fırın yükü olarak kullanılan parça cevherlere ve peletlere uygulanır. RDI testi peletlerde ufalama indisi ve aşınma indisinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Ufalanma indisi; parça cevherin veya aglomeraların ufalanma dayanıklılığının bağıl bir ölçüsüdür. Bir ufalanmaya dayanım deneyi sonrasında numunenin + 6.30 mm'lik fraksiyonunun kütlece yüzdesi olarak ifade edilir. Aşınma indisi ise; parça cevherinin veya aglomeraların boyutlarındaki aşınma nedeniyle ufalanmalarının bağıl bir ölçüsüdür. Ufalanmaya dayanım deneyi sonrasında numunenin - 500 µm'lik fraksiyonunun kütlece yüzdesi olarak ifade edilir.

Çin CITIC Firması tarafından yapılan test tanımı Peletler 105 °C derece sabit sıcaklıkta kurutularak +10,0 mm ve -12,5 mm ebatlarında 500 gr lık numune tartımı alınarak RDI retort tüp içine koyulmuş. 500 °C'lik ısı ve inert gazlarla (CO:CO₂:N₂=20%:20%:60%) pelet redüklenme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonunda çıkan test numunesi 6.3mm (mD₁), 3.15mm (mD₂) ve 0.5mm (mD₃) eleklerden geçirilerek sonuçlar aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanarak not edilmiştir (CITIC, 2007).

Hesaplama Formülü:

$$\begin{aligned} \text{RDI} + 6.35\text{mm} &= \frac{mD_1}{mD_0} \times 100 \\ \text{RDI} + 3.15\text{mm} &= \frac{mD_1 + mD_2}{mD_0} \times 100 \end{aligned}$$

$$RDI - 0.500 \text{ mm} = \frac{mD_0 - (mD_1 + mD_2 + mD_3)}{mD_0} \times 100$$

mD_0 : Test öncesi pelet ağırlığı, gr;

mD_1 : +6.30mm pelet ağırlığı, gr;

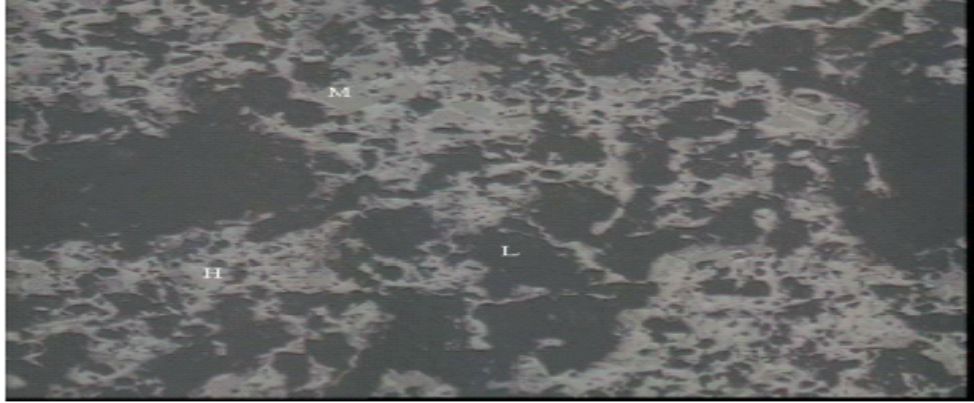
mD_2 : +3.15mm pelet ağırlığı, gr;

mD_3 : 0.5mm pelet ağırlığı, gr.

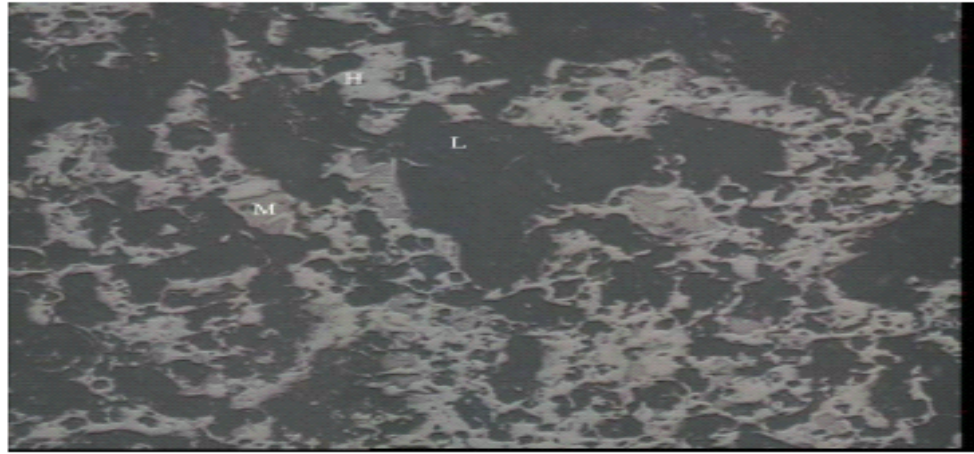
Pelet Test Sonucu; RDI+6.3mm (%) 86.30, RDI+3.15mm (%) 92.95, RDI-0.5mm (%) 2.68

c. Pelet Mineralojik Kompozisyon Analizi

Burada testlere maruz kalan pelet yapıları genelde Hematit (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4) ve curuf (gang) minerallerinden meydana gelmiştir. Peletlere mikroskop ile bakıldığında sıkı ve düzenli bir mineralojik yapıya sahip oldukları görülmektedir. Fakat bazı peletlerde nerdeyse tüm yüzeyi kaplayan halka şeklinde çatlaklar mevcuttur. Pelet dokusunun homojen bir yapıya sahip olduğu da testlerde belirtilmektedir. Şekil 5.2.'de düşük aşamada bazı magnetit kristallerinin oksitlenmeleri gözlenmektedir, bu durum magnetit kristalleri arasında bağ yapısının bozulmasına, çatlakların meydana gelmesine yol açmakta ve Peletlerin iç yapısından dış yapısına doğru artış göstermektedir. Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'de pelet merkezindeki magnetit kristali oksitleri dışa doğru darbe çatlakların oluşmasına sebep olmakta buda belli ölçülerde görülmektedir. Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'de Pelet içerisindeki Magnetit 0,01 mm ve 0,005 mm boyutlarında, hematit ise 0,075 mm ve 0,125 mm boyutlarında görülmektedir. Peletin dış yüzeyinde max. 0,3 mm olan küçük boşluklar, İç kısımlarda ise bu delik çaplarının 0,015 ve 0,05 mm arasında olduğu görülmektedir. Takip eden ve 380 kere büyütülmüş olan Şekil 5.7.'de ise peletin yapısında bulunan hematit, magnetit, kalsiyum florür, fosfor ve curuf mineralleri daha net görülmektedir (CITIC, 2007).



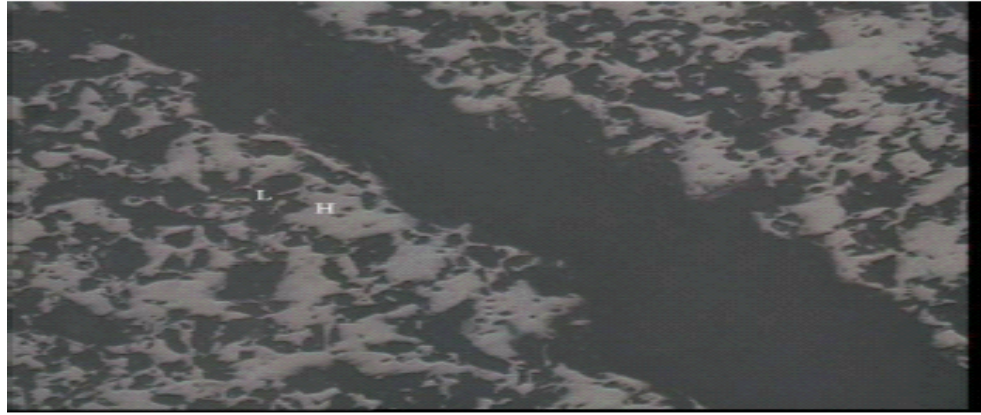
Şekil 5.3. Magnetit’de iç geçiş tabakalarından dış tabakaya doğru oksit artışı



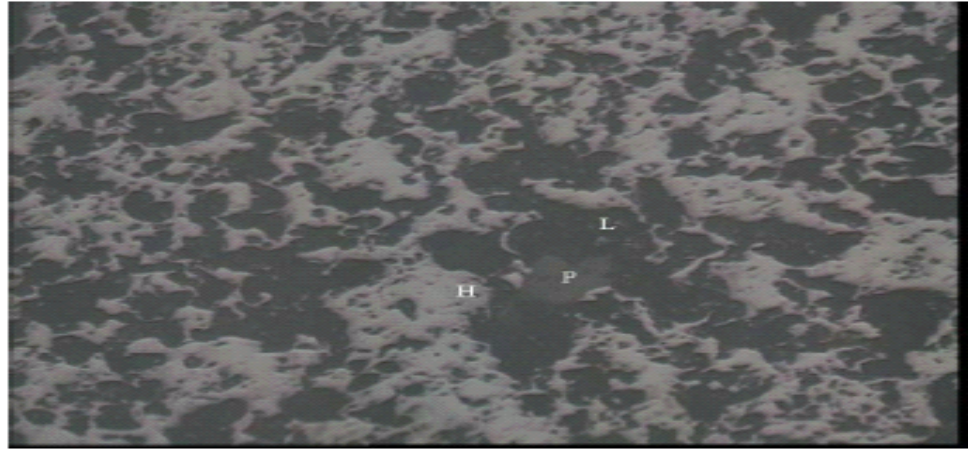
Şekil 5.4. Peletlerde meydana gelen magnetit kristali oksitlenmeleri



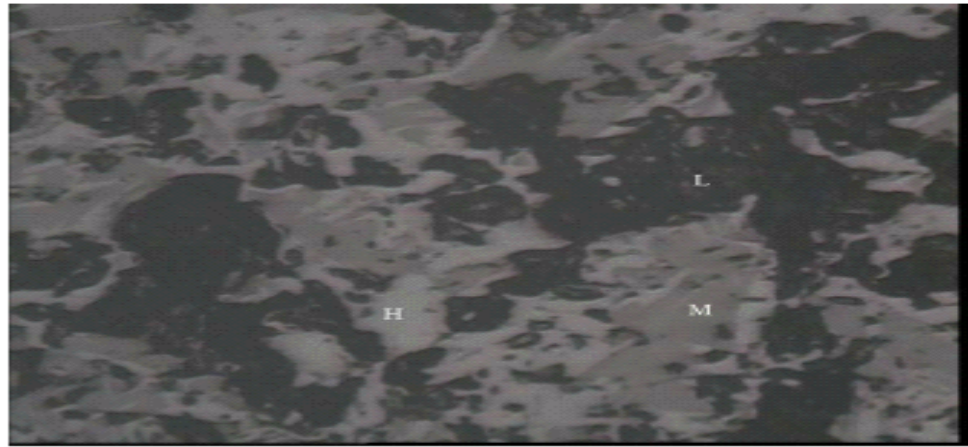
Şekil 5.5. Şekil 5.3.’nin 950 defa büyütülmüş hali



Şekil 5.6. Hematit kristal tanelerine tutunmuş Filamentous magnetit artıkları (P) siyaha boyanmış şekilde görülmektedir.



Şekil 5.7. Pelet içinde bulunan halka şeklinde çatlaklar görülmektedir.



Şekil 5.8. Küçük gang mineralleri ve hematit kristalleri iç içe evrenmiş olarak görülmektedir.

d. Minerolojik Kompozisyon

Elektron mikroskobundan alınan fotoğraflarda pelet içeriğini oluşturan materyal ve mineraller sayı olarak aşağıda bulunan çizelgede çıkarılmıştır. Ayrıca pelet merkezinden yüzeyine doğru mevcut olan boşlukların çapları da çizelgede belirtilmektedir (CITIC, 2007).

Çizelge 5.3. Minerolojik Kompozisyon

Hematit	Magnetit	Curuf	Gang	Delik Çapları µm
83	10-11	5	1-2	20-25

5.5. Sonuç

Citic/Çin tarafından gönderilen peletleme raporunda Hasan Çelebi demir cevheri yatağından alınan konsantre demir cevherinden % 99.01 oranında bentonitten % 0.9 oranında belli oranda su ile karıştırılması sonucu elde edilen peletin yüksek fırın proses şartlarına en uygun pelet olduğu belirtilmektedir. Buna göre çıkan nihai raporda aşağıdaki maddeler tarafımıza iletilmiştir.

- Hasan Çelebi Konsantre Demir Cevheri ve Bentonit ile Pelet üretimi mümkündür.
- Peletin Toplam Fe (Demir) tenörü 66,61
- Kırılma mukavemet değeri 281,4 kg/pelet
- Kırılma indeksi 95,2 ve aşınma indeksi 2,8 dir.
- Metalurjik testler üretimin gereksinimlerini karşılamaktadır.
- Tavsiye edilen parametre ve indeksler Çizelge 5.4.'de verilmektedir (CITIC, 2007).

5.6. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş. Numune Alma ve Hazırlama Laboratuvarında CITIC/ÇİN firmasıyla aynı koşullar altında yapılan peletleme ve sonrasında yapılan testler

CITIC/Çin firmasına giden pelet numunelerinin diğer bir eşini firmamız laboratuvarında test ederek sonuçların arasında çok büyük bir fark olmadığını

gördük. Peletler Çin firmasıyla aynı ortam şartlarında hazırlanarak test edilmiştir. Bu çalışmalar;

5.6.1. Mukavemet

% 2.5 bazık ve % 7 oranında bentonit katkı maddeleriyle elde edilen ham peletlerin 100 ve 1100 °C'ye kadar kurutma ve pişirilme işlemleri yapıldı. Farklı sıcaklıklarda fırınlanmış peletleri iki farklı şekilde soğutarak basma dirençleri ve magnetit-hematit dönüşümleri saptandı. Birinci soğutma şeklinde fırından çıkartılan peletler normal su içerisine atılarak, ikinci soğutma şeklinde ise fırından çıkarılan peletler normal şartlar altında kendi hallerine bırakılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Farklı şekilde soğutulan peletlerin tespit edilen basma direnci değerleri Çizelge 5.4. 'de ve sıcaklığa karşı değişimin grafikleri çizilerek Şekil 5.9.'da verildi.

Değişik katı maddelerden elde edilen farklı sıcaklıklarda fırınlanmış peletlerden mukavemet testleri yapıldı.

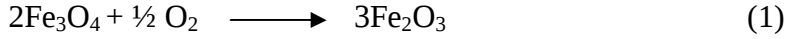
Çizelge 5.4. Pelet Mukavemet – Soğutma Şekli Değişim Tablosu

Sıcaklık °C	Basma Mukavemeti (Normal Soğutma) kg/pelet	Basma Mukavemeti (Su İle Soğutma) kg/pelet
100	0	0
200	0	0
300	0	0
400	0	0
500	0	0
600	38	24
700	55	30
800	70	30
900	100	31
1000	120	31
1100	190	31

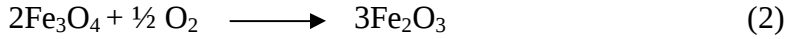
5.6.2. Cevher Mikroskopisi

% 0.7 oranında bentonit ve % 2.5 bazik katkı maddeli peletleme deneylerinde üretilen peletler 600 °C, 1000 °C, 1100 °C fırınlandıktan sonra cevher mikroskopisi için Fizik Test laboratuvarında % 0.7 bentonit katkı maddeli peletlerle birlikte numuneler hazırlanarak cevher mikroskopisi incelenerek yüzey fotoğrafları çekildi. Yüzey fotoğraflarında da görüldüğü gibi sıcaklık dolayısıyla pelet bünyesinde bulunan magnetit cevheri hematit cevherine dönüştüğü görülmüştür.

Meydana gelen değişim olayı, magnetit cevherlerinin oksitlenmesi sonucu teorik olarak iki kat fazla meydana gelir. İlk fazda;



şeklinde magnetit cevheri 300-350 °C de hematit cevherine dönüşür. Dönüşüm olayının ikinci fazı ise;



gibi bir ekzotermik reaksiyonla tamamlanır. Reaksiyonun enerjisini aşağıdaki bağlantı yardımıyla hesaplayabiliriz.

$$\Delta H = H_{\text{ürün}} - H_{\text{Reaksiyon}}$$

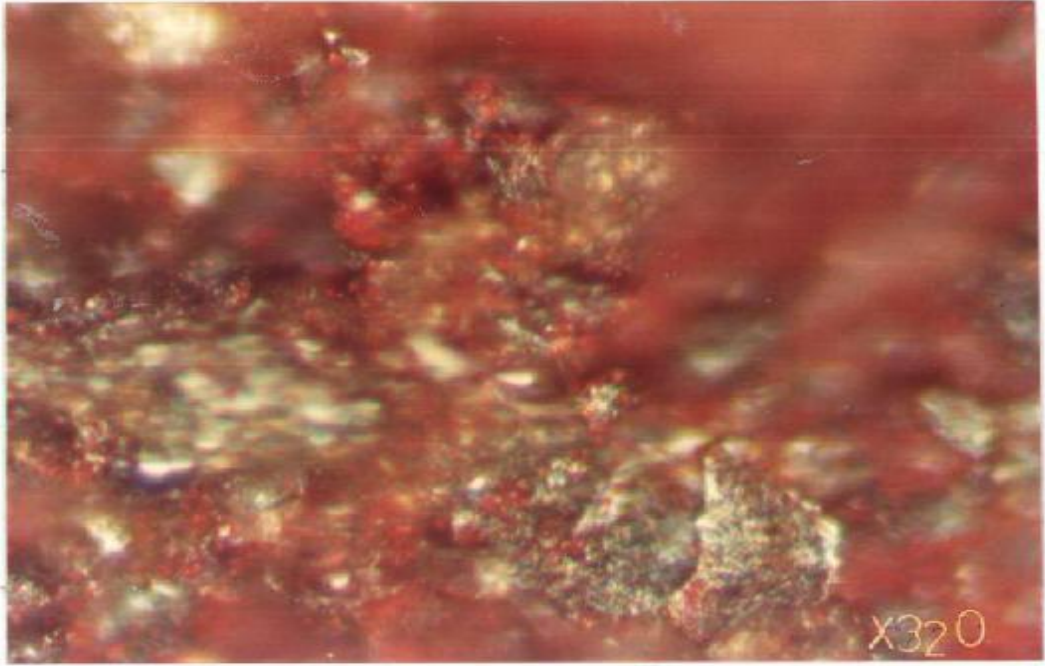
$$H_{\text{ürün}} = - 196500 \text{ Cal/mol}$$

$$H_{\text{Reaksiyon}} = 26700 \text{ Cal/mol}$$

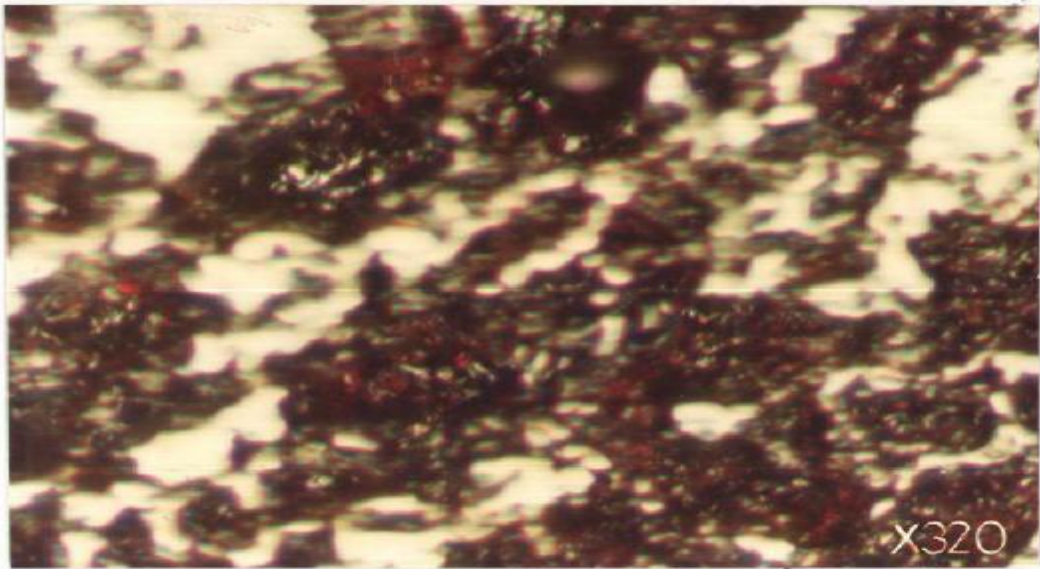
Bu değerleri (3) de yerine yazarsak;

$$\Delta H = 27750 \text{ Cal/mol olur.}$$

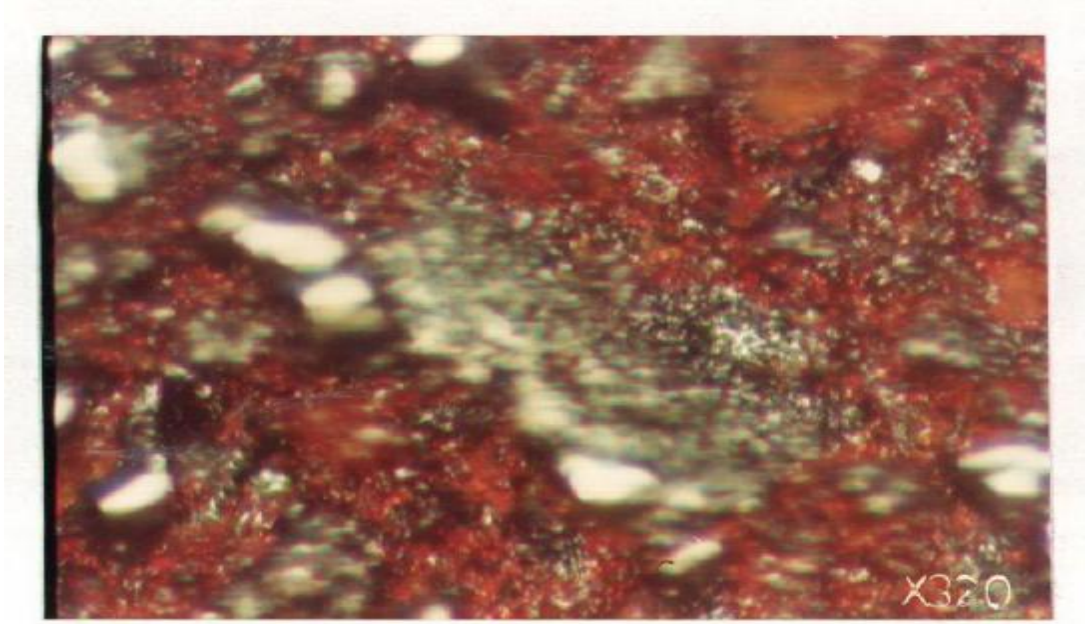
Oksitleme sonucu pelet bünyesinde beyaz renkte hematit çekirdekleri olduğu Şekil 5.10 ve Şekil 5.11.'da da görülmektedir. Yüzey fotoğraflarında, düşük sıcaklıklarda pelet bünyesinde siyah renkte gözükten magnetit cevheri, beyaz renkte gözükten hematit cevheri kristalleri hacimsel olarak büyüyüp oksit bağları pelet bünyesinde meydana gelmektedir. Bu bağların oluşması sonucu peletlerin basma direnci artmaktadır. Yani peletlerin basma direncini etkileyen en büyük faktör meydana gelen bu oksit bağlarıdır.



Şekil 5.9. 600 °C fırınlanmış Pelet de Meydana Gelen Beyaz Renkte Hematit Oksit Bağları



Şekil 5.10. 1000 °C Fırınlanmış Peletin Yüzey Fotoğrafı



Şekil 5.11. 1100 °C Fırınlanmış Peletin Yüzey Fotoğrafı

5.6.3 Yük altında İndirgenme (RUL)

Yüksek Fırın Şartlarında; sabit sıcaklıkta ve sabit basınç altında cevherlerde meydana gelen yumuşama (Geçirgenlik) özelliklerinin saptanmasını ve yorumlanmasını sağlar. Pelet, cevher ve sinterler Y. Fırın içinde değişik sıcaklıklarda bozulma ve yumuşamaya uğramaktadırlar. Yumuşamadan dolayı boşlukların dolması ve tozlardan dolayı fırın rejiminin etkilenmesi gibi olumsuz bir takım olaylar incelenmeli bunların önlemleri alınmalıdır. İndirgenebilirlik demirle birleşen oksijenin endirek olarak giderilme kolaylığıdır. Giderilen oksijen miktarı numunenin ağırlık kaybına neden olur. RUL testi sonrası çıkan raporlama sonucunda Oksijen kaybından dolayı numunedeki ağırlık kaybı, basınç farkı (Δp), yükseklik kaybı (Δh) ve R_{40} Redüklenme Oranı (Hızı) hesaplanır. 950 °C ye kadar 50 l/dak. debiyle verilen N_2 gazı 950 °C sıcaklıkta 83 lt/dakika debiye çıkarılır. Cihaz 1050 °C’de stabil hale gelip ısıyı sabitlediğinde akış hızı 83 lt/dakika olan Mix. Gazları (CO %40, H_2 %2, N_2 %58) devreye girer ve tepkime başlar. Demir cevherlerine uygulanan yük miktarı 50 kpa dır. Test tepkime başlangıcından itibaren yaklaşık 60 dakika sürmektedir.

Alınan Değerler;

$$R_{40} = 33,6 / (t_{60} - t_{30})$$

Δp ; Tepkime bittiği andaki (%80 redüklenme) basınç-tepkime başlangıcında ki basınç farkı (Cihazdan Okunmaktadır.)

Δh ; (tepkime başlangıç yük.-tepkime bitiş yük.)*100/tüp içindeki peletin ilk yükü (Cihazdan Okunmaktadır).

Her ay sonunda Erdemir Maden Divriği'nden İsdemir'e sevkiyatı yapılan peletler yük altında indirgenme testi (RUL) yapılarak sonuçlar Çizelge 5.5.'de gösterilmiştir.

5.6.4. Şişme

Numune Miktarı; 18 adet (TS 2052 ISO 4698) Kurutulmuş demir cevheri peletlerinde, Yüksek fırın şartlarındaki indirgeme sırasında oluşan hacim artışının % olarak ölçümüdür. 900 °C'ye kadar 10 l/dak. N₂ gazı verilir.daha sonra 15 l/dak. İle indirgeyici (CO %30 + N₂ %70) gaz verilir, 60 dakika indirgemeye devam edilir. Şişme indisinin %20 yi geçmemesi istenir. Erdemir Maden Pelet Divriği'den gelen numunelerden yapılan test değerleri Çizelge 5.6.'da görülmektedir.

5.6.5. Redüklenme Aşınma

Numune Miktarı; 500 gr. (TS ISO 4696-1) 500 °C lik sabit bir yatakta indirgenmiş (CO %20 + CO₂ %20 + H₂ % 2 + N₂ %58) olan bir demir cevheri deney numunesi kısmının oda sıcaklığında ufalanmaya tabi tutulmak suretiyle demir cevherlerinin parçalanmasının değerlendirilmesi için yapılan bir testtir. 500 °C' ye kadar N₂ Gazı 20 l/dak. İle beslenir. 500 °C'de aynı debi ile indirgeyici gaz 1 saat beslenir. İşlem sonunda 105 °C'ye kadar soğuması için N₂ gazı beslenir. Cevher cihazdan çıkarıldıktan sonra tartılır ve 130*200 mm'lik tamburda 300 devir (30 devir/dak. Hızla) yaptırılır. Tamburdan çıkan malzeme 6,35, -3,15 ve -0,5 mm'lik eleklerden elenir. Çıkan sonuçlar da: +6,3mm en az %84 ; -0,5 mm en fazla %3 olmalıdır. Bu testin yapılmasının amacı yüksek fırına beslenen malzemenin gövdede

ilk değişim bölgesini temsil etmesidir. Erdemir Maden Pelet Divriği'den gelen numunelerden yapılan test değerleri Çizelge 5.5.'de görülmektedir.

5.6.6. Düşük Sıcaklıkta İndirgenme Parçalanma

Numune Miktarı; 500 gr.(TS ISO 13930), 500 °C 'lik bir döner tüp içinde demir cevherinin indirgenmesi (indirgeyici gaz CO %20 + CO₂ %20 + H₂ % 2 + N₂ %58) için de, cevherin parçalanma derecesinin tayinini kapsar. 500 °C' ye kadar N₂ Gazı 20 l/dak. İle beslenir. 500 °C'de aynı debi ile indirgeyici gaz 1 saat beslenir. İşlem sonunda 105 °C'ye kadar soğuması için N₂ gazı (350 °C'ye kadar 20 l/dak.) beslenir.İndirgeme tüpü 150*540 mm (içinde 20mm yüksekliğinde 4 mm kalınlığında 4 adet rampa bulunur) dir.Tepkime süresi 60 dakika; indirgeme tüp hızı ise 10 devir/dak.'dır. Bu testin yapılma amacı yüksek fırına beslenen malzemenin ilk karşılaştığı bölgenin temsil ettiği içindir. Tüpten çıkan malzeme 6,35 – 3,15 – 0,5 mm'lik eleklerden elenir. Çıkan sonuçlar da: +6,3mm en az %90 ; -0,5 mm en fazla %5 olmalıdır. Erdemir Maden Pelet Divriği'den gelen numunelerden yapılan test değerleri Çizelge 5.6.'da görülmektedir.

5.6.7. Basma Mukavemeti

Kurutulmuş olan peletlerin pres ile oda sıcaklığında kırılması ve sonuçlarının kg/pelet olarak alınması işlemidir. Bu sonuçlar peletin bir yerden bir yere aktarılması sonucu oluşabilecek kırılmalar için bilgi verir. Erdemir Maden Pelet Divriği'den gelen numunelerden yapılan test değerleri Çizelge 5.6.'da görülmektedir

Çizelge 5.5. İSDEMİR A.Ş.'ye Alınan Aylık Sevkiyat Pelet Yük Altında İndirgenme

Deney No:	R40 (Redüklenme Hızı) gr-O ₂ /dakika	Dp (Basınç Farkı) kPa	Dh (Yükseklik Farkı) %
SPESİFİKASYONLAR	Min. 0.75	Max. 15	Min. 1
Şubat 2007	1,2	11,1	1,36
Mart 2007	1,43	12,5	1,78
Nisan 2007	1,25	17,7	1,46
Mayıs 2007	1,28	8,8	1
Haziran 2007	1,35	11,3	1,52
Temmuz 2007	1,31	11,6	1,55
Ağustos 2007	1,18	10,9	1
Eylül 2007	1,31	10,5	2,28
Ekim 2007	1,53	11,6	1,92
Kasım 2007	1,14	11,3	1,75
ORTALAMA (ERDEMİR MADEN PELET)	1,27	11,74	1,52

Çizelge 5.6. İSDEMİR A.Ş.'ye Alınan Aylık Sevkiyat Pelet Fiziksel Analiz Tablosu

Deney No:	RDI +6.35mm	RDI - 0.500mm	LTD +6.35mm	LTD - 0.500mm	FSI (Şişme Miktarı)	Tambur +6,30 mm	Tambur - 0.600mm	Mukavemet (kg/adet)
SPESİFİKASYONLAR	Min. 84	Max. 3	Min. 80	Max. 5	Max. 20	Min. 95	Max. 5	Min. 250
Şubat 2007	80,26	3,83	55,2	11,36	10,78	89,64	5,66	185
Mart 2007	76,64	3,77	72,32	8,88	12,00	90,90	5,05	187
Nisan 2007	80,42	3,18	57,59	10,35	13,53	89,75	5,52	175
Mayıs 2007	70,32	11,91	76,03	6,9	9,9	87,61	4,42	184
Haziran 2007	76,4	4	91,55	2,87	11,05	91,03	5,16	183
Temmuz 2007	92,1	0,5	91,2	2,54	13,29	92,3	5	173
Ağustos 2007	73,16	6,52	93,34	3,25	10,71	93,66	4,52	183
Eylül 2007	60,72	4,43	93,1	1,09	10,84	92,69	2,31	174
Ekim 2007	60,72	4,43	93,1	1,09	10,84	92,69	2,31	174
Kasım 2007	67,82	5,22	91,82	2,26	12,07	90,22	7,11	182
ORTALAMA (ERDEMİR MADEN PELET)	75,32	4,82	80,24	5,50	11,57	90,87	4,97	181

Çizelge 5.7. Hasan Çelebi Peleti Tavsiye Edilen Fiziksel, Metalurjik Test Parametre ve İndeksler

Oranıt Mıktan (%)		Bentonıt Rutıbet (%)	Bentonıt Yoğunluk (gr/cm ³)	Pelet Rutıbet (%)	Pelet Yoğunluk (gr/cm ³)									
						Konsantrı Demır Cevherı	Bentonıt							
99.10	0.9	6.5	1.9	8.0	2.15									
Pelet Soęukta Basınę Dayanımı (kg/pelet)		ISO Tambur Test (+6.35 mm) %	ISO Tambur Test (-0.500 mm) %	RDI Test (+6.35 mm) %	RDI Test (-0.500) %									
281.4		95.2	4.52	86.38	2.68									
Şışme Test (%)		Yük Altında İndıręıme Test												
10.07		ΔP (%)	Δh (%)	R ₄₀ (gr/dakıka)										
		13.5	2.61	1.37										
Kımyasal Kompozısyon														
TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	MnO	NiO	P	S	FeO
66.61	3.35	1.10	0.48	0.25	0.68	0.222	0.095	0.091	0.013	0.1	0.02	0.036	0.012	0.97

5.7. İstatistiksel kalite kontrolü

İstatistiksel kalite kontrolü olası örneklem metodunun üretime bir uygulama türü olarak görülmektedir. İstatistiksel kalite kontrolü yardımı ile ürünün kalitesi kontrol altına alınabilir ve geliştirilebilir, o zaman istenen standarda uymayan kötü malların üretimi büyük ölçüde önlenir. İstatistiksel kalite kontrolü bir muayenesi değildir. Kalite muayenesi ile istatistiksel kalite kontrolü arasında ki önemli fark, istatistiksel kalite kontrolünün, üretim sürecini, kalite muayenesinin ise, ürünü kontrol etmesidir. Kalite muayenesi ile standartlara veya normlara uymayan ürün diğerlerinden ayıklanmaktadır. Standart dışı ürün oranı yükseldikçe imalatçının kaybı da artacaktır. Bunu nedeni standart dışı malların daha ucuz fiyata satılması veya hiç satılamamasıdır. İstatistiksel kalite kontrolünün amacı, üretimin sürecini kontrol altında tutarak kusurlu malların oranını olası en düşük düzeye getirmek olarak özetlenebilir.

İstatistiksel yöntemlerin kalite kontrolde kullanılmasının iki nedeni vardır;

- 1) Kontrol edilmesi gereken kitle veya yığına %100 muayene yapmanın genellikle olanaksız yada ekonomik olmaması,
- 2) Üretilen bir ürünün ölçülebilen kalite özelliklerinin sürekli olarak bir değişime uğraması ve bu değişimin, bazı sınırlar arasında kalmak koşuluyla, rasgele bir yapı göstermesidir.

5.7.1. $\bar{X}$ - R Çizelgeleri

$\bar{X}$ -R çizelgesi bir değişken çizelgesidir. 2 çizgi grafiğinden oluşur. $\bar{X}$ grafiği şu bölümlerden meydana gelir.

- Bir çizgi grafiği
- Bir orta çizgisi (ortalama)
- Bir üst kontrol limiti çizgisi
- Bir alt kontrol limiti çizgisi

Her nokta birkaç değer ortalaması olduğundan $\bar{X}$ ($\bar{X}$ ortalama) diye adlandırılır. Her değer tek bir ölçümmüş gibi değerlendirilir. Herhangi bir $\bar{X}$

çizelgesi için, örnek büyüklüğü denilen (n) hep aynı kalır. Orta çizgisi $\bar{X}$, büyük ortalama ya da 'x' üzeri iki çizgi olarak adlandırılır. Bu ortalamaların ortalamasıdır. Kontrol limiti çizgilerine $\bar{X}$ in üst kontrol limiti (ÜKL $\bar{X}$) ve $\bar{X}$ in alt kontrol limiti (AKL $\bar{X}$) denir. Bunların spesifikasyonlarla bir ilgisi yoktur. Bunlar ortalamaların doğal limitleridir. Daha öncede bahsedilen 'x' çizelgesi tek, tek değer için bir değişken çizelgesidir. $\bar{X}$ çizelgesinde ortalamaların kullanılmasının ana nedeni 4 ayrı ölçümün ortalamasının bile proses ortalamasının ya da prosesin neyi hedeflediğinin tahmin edilmesini sağlamasıdır.

5.8. Kalite Kontrolün İstatistikle İlgisi

İstatistik yöntemlerin kalite kontrol kullanılmasının faydalı olduğu hususlar şöyle sıralanabilir;

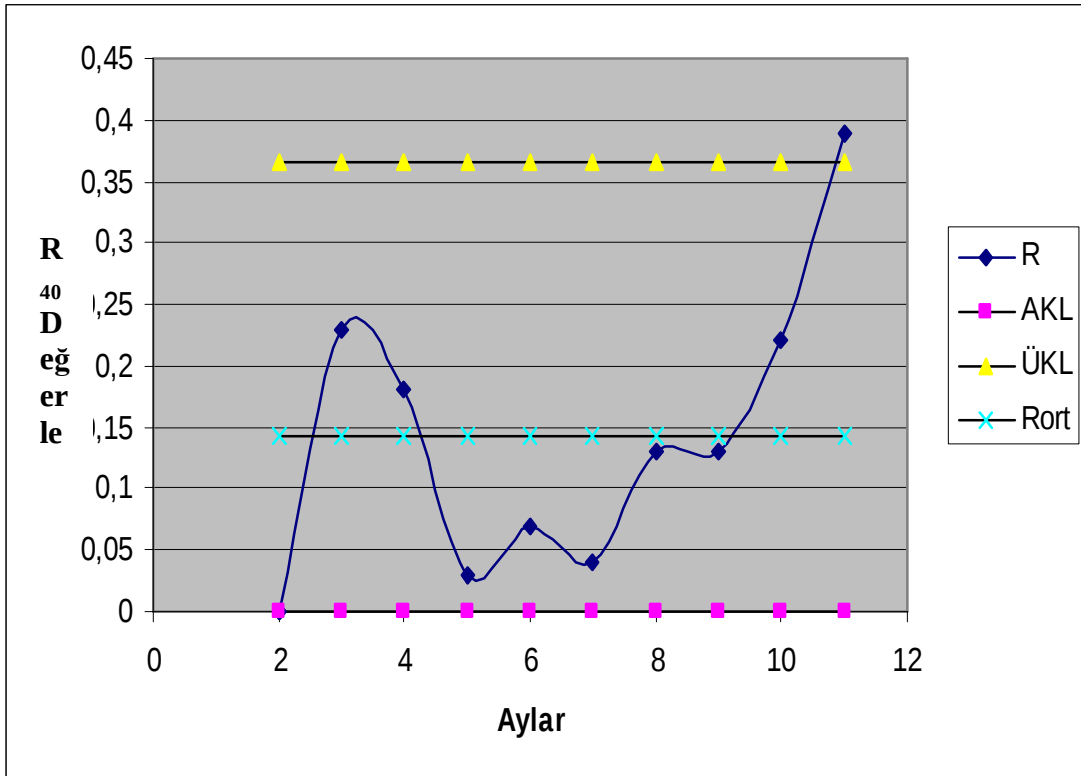
- 1) Şartların aynı kalmasının sağlanabilmesi için gerekli kontrol araçlarını belirler.
- 2) Yapılan ölçmelerin gerçeğe uygunluğunun sağlanması ve aynı şartlar altında tekrar edilebilmesi için gerekli kontrol metotlarını temin eder.
- 3) Sonuçların belirli bir güvenirlik derecesi ile değerlendirilmesi için kaç ölçme yapılması gerektiğini tayin eder.
- 4) Belirli sayıdaki ölçmelerin en verimli şekilde değerlendirilmesi için deneylerin uygun biçimde hazırlanmasında yardımcı olur.
- 5) Bilgilerin dikkatli, duyarlı ve düzenli olarak kayıt edilmesine teşvik eder.
- 6) Bilgilerin toplandığı andaki duruma ait bütün şartların göz önüne alınarak tespit edilmesinin önemini ortaya koyar.

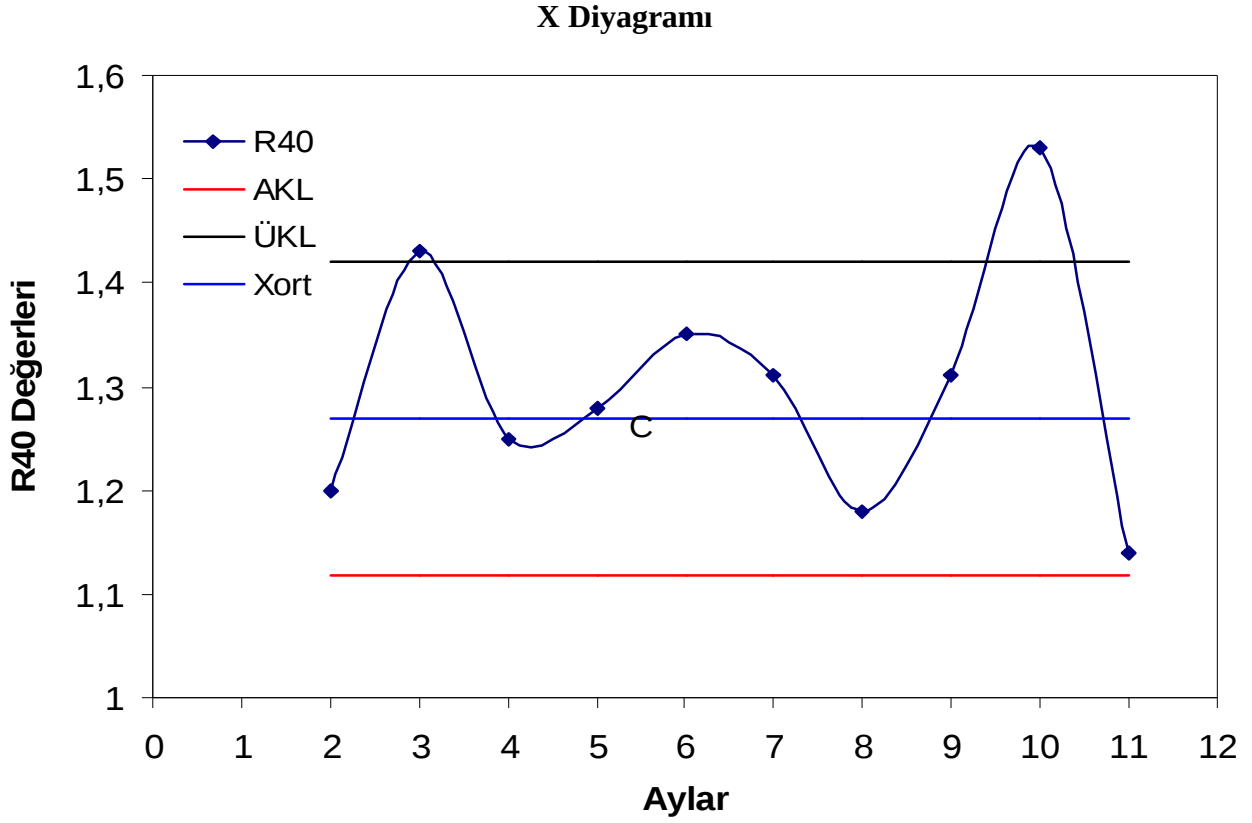
5.9. Yapılan Testlerin X – R Değerleri, Grafikleri ve Yorumları

Çizelge 5.8. R₄₀ değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	1,2	0
Mart 07	1,43	0,23
Nisan 07	1,25	0,18
Mayıs 07	1,28	0,03
Haziran 07	1,35	0,13
Temmuz 07	1,31	0,04
Ağustos 07	1,18	0,13
Eylül 07	1,31	0,13
Ekim 07	1,53	0,22
Kasım 07	1,14	0,39
X_{ort}	1,27	-
R_{ort}	-	0,15
AKL	1,118	0
ÜKL	1,421	0,381

R Diyagramı

Şekil 5.12. R₄₀ Değerlerinin R Diyagramı

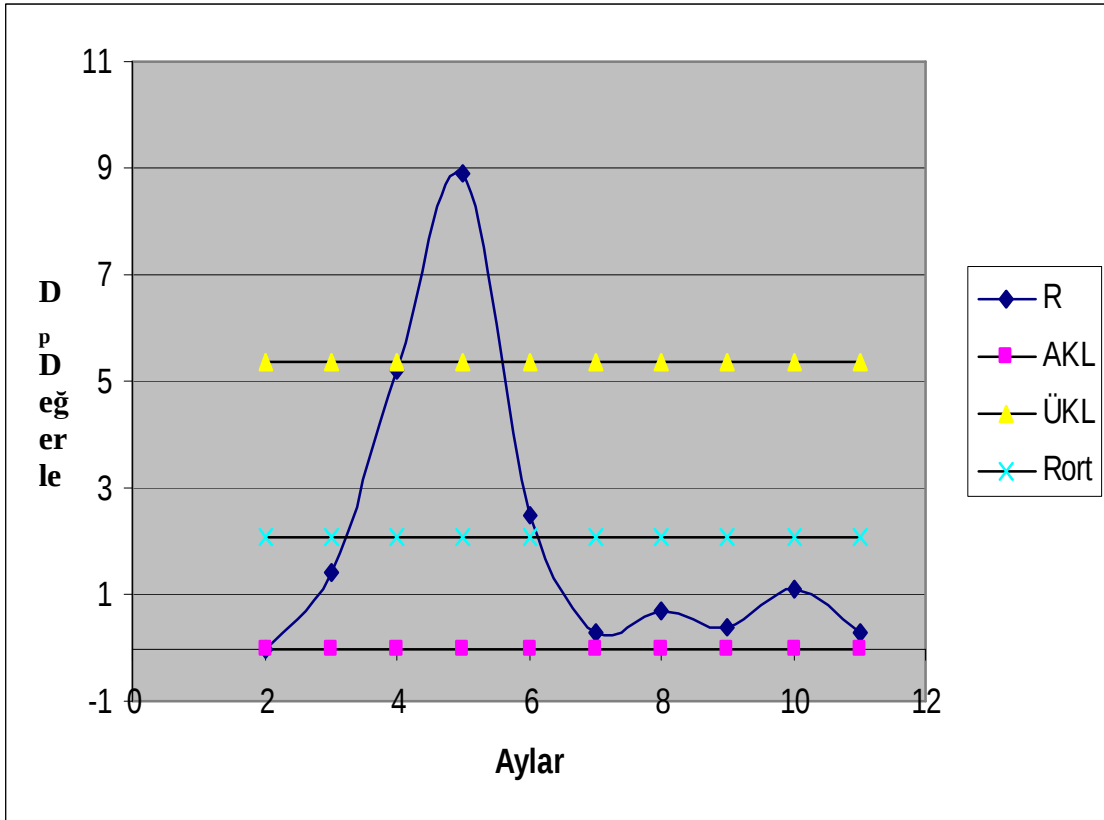
Şekil 5.13. R_{40} Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.15.'da görüldüğü gibi 3. ve 10. ayda gelen peletlere ait R_{40} değerleri üst kontrol limit değerlerinin üstündedir. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 2. ve 11. aylarda değerler alt ve üst limit değerlerinin dışındadır.

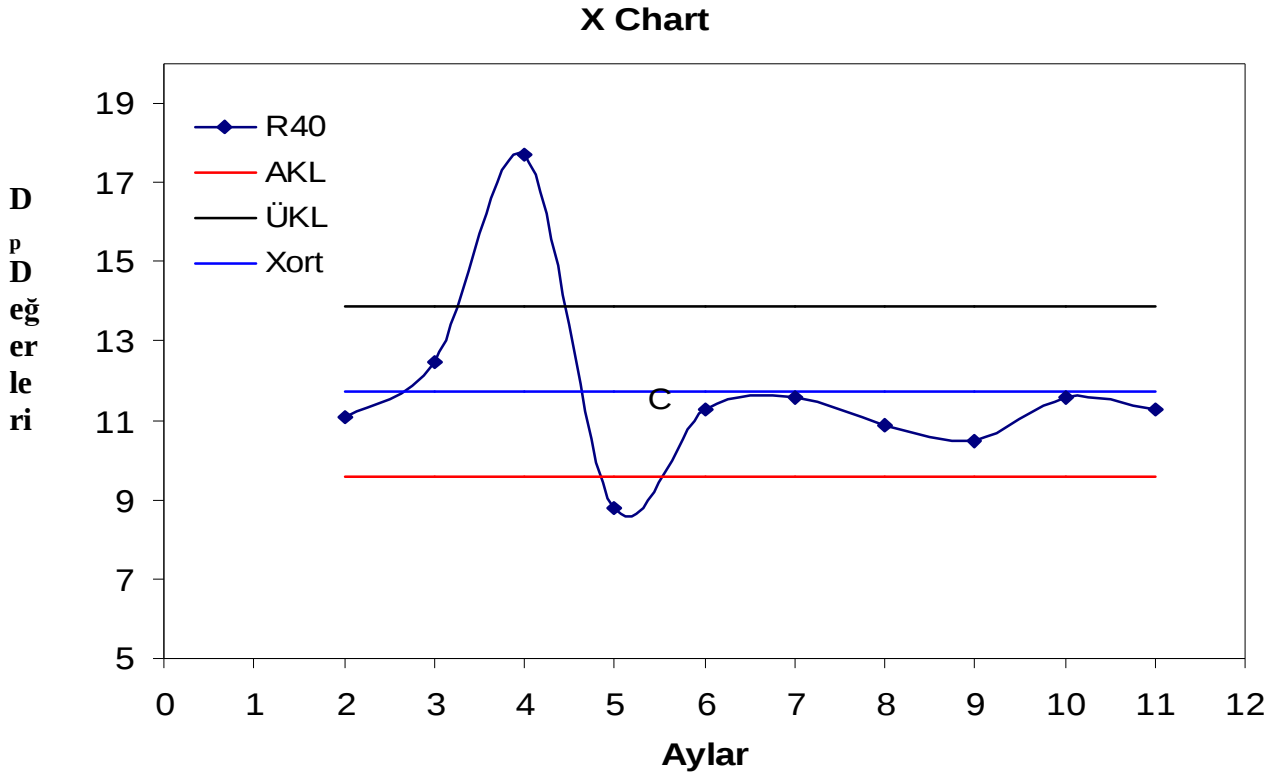
Çizelge 5.9. Dp değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	11,1	0
Mart 07	12,5	1,4
Nisan 07	17,7	5,2
Mayıs 07	8,8	8,9
Haziran 07	11,3	2,5
Temmuz 07	11,6	0,3
Ağustos 07	10,9	0,7
Eylül 07	10,5	0,4
Ekim 07	11,6	1,1
Kasım 07	11,3	0,3
X_{ort}	11,73	-
R_{ort}	-	2,08
AKL	9,602	0
ÜKL	13,858	5,354

R Diyagramı



Şekil 5.14. Dp Değerlerinin R Diyagramı



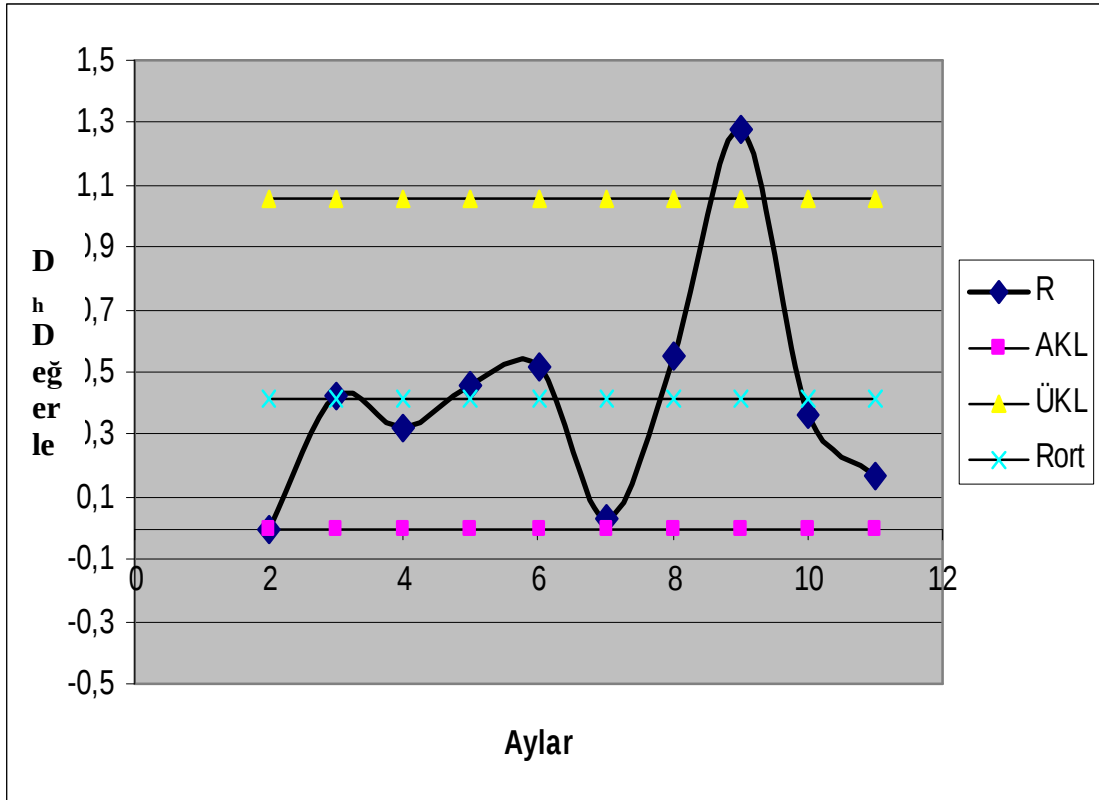
Şekil 5.15. Dp Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.17.'da görüldüğü gibi 4. ve 5. ayda gelen peletlere ait Dp değerleri üst kontrol limit değerlerinin üstündedir. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 2. ve 11. aylarda değerler alt ve üst limit değerlerinin dışındadır.

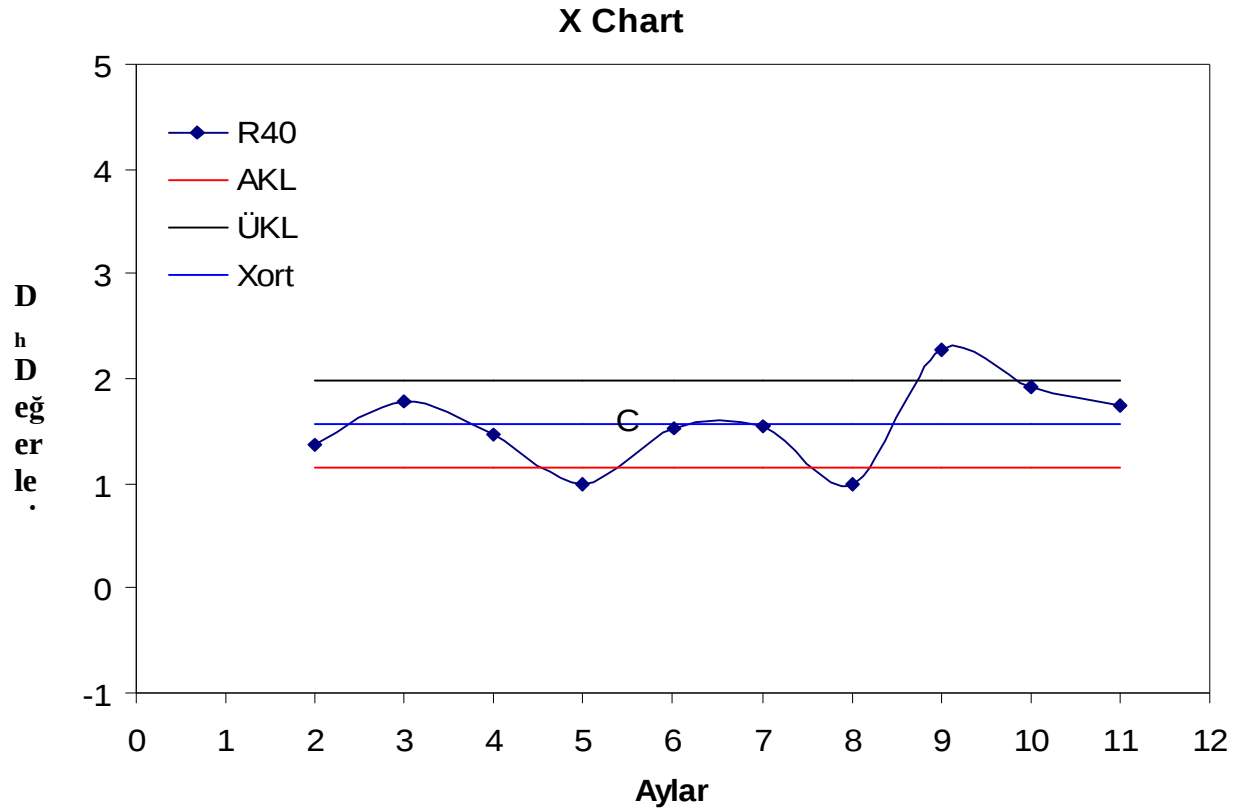
Çizelge 5.10. Dh değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	1,36	0
Mart 07	1,78	0,42
Nisan 07	1,46	0,32
Mayıs 07	1	0,46
Haziran 07	1,52	0,52
Temmuz 07	1,55	0,03
Ağustos 07	1	0,55
Eylül 07	2,28	1,28
Ekim 07	1,92	0,36
Kasım 07	1,75	0,17
X_{ort}	1,562	-
R_{ort}	-	0,411
AKL	1,141547	0
ÜKL	1,982453	1,057914

R Diyagramı



Şekil 5.16. Dh Değerinin R Diyagramı



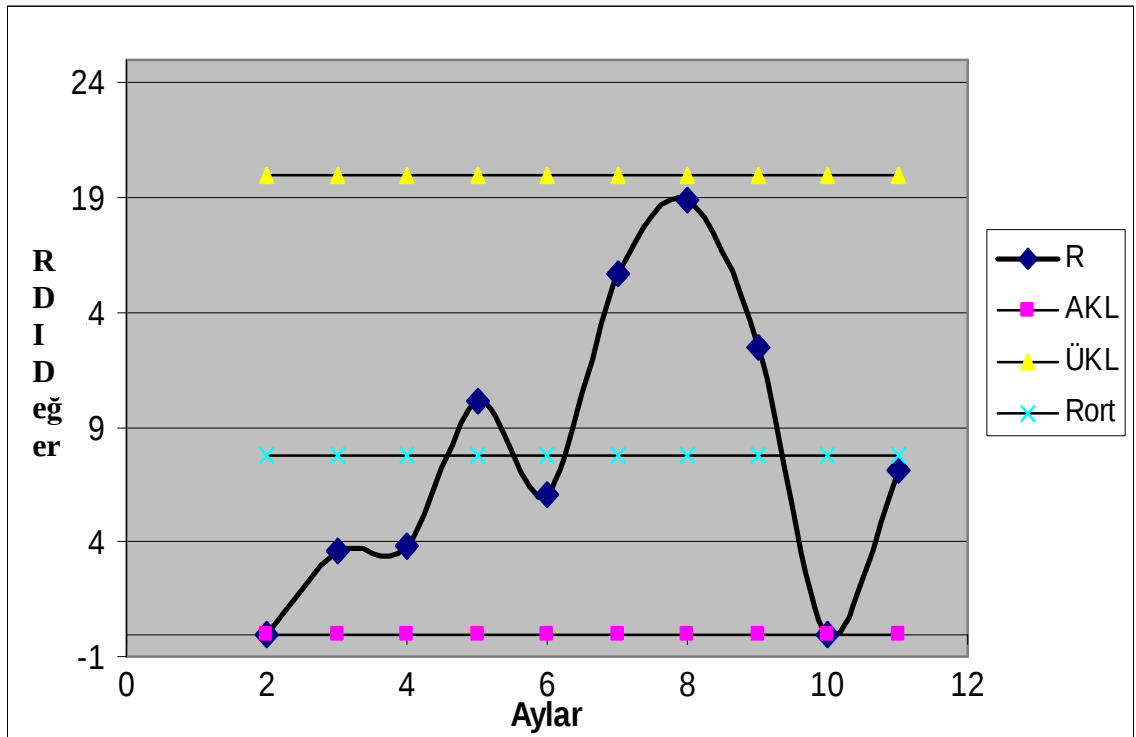
Şekil 5.17. Dh Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.19.'da görüldüğü gibi 5., 8. ve 9. aylarda gelen peletlere ait Dh değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 9. ayda değerler üst limit değerlerinin dışındadır.

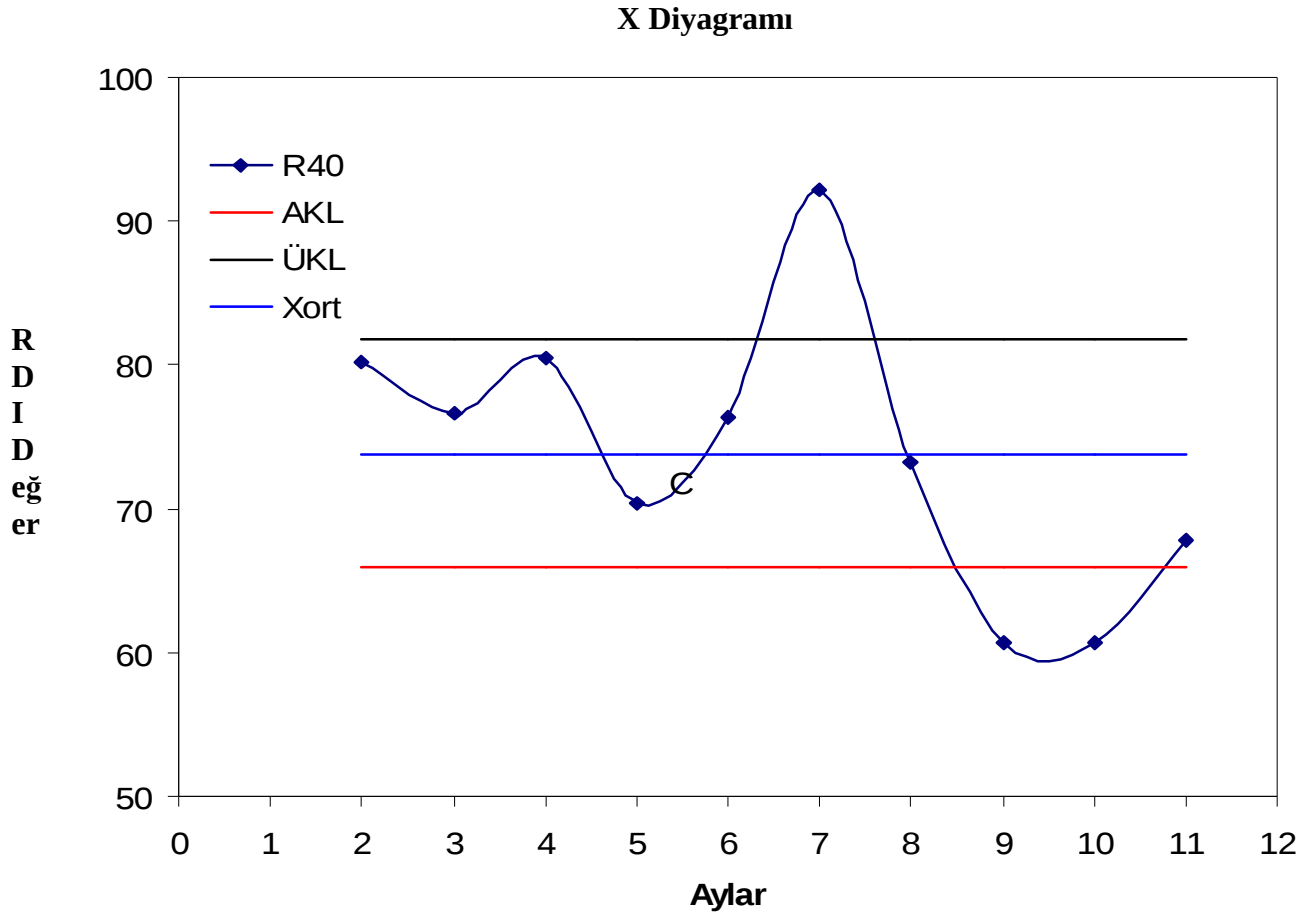
Çizelge 5.11. RDI + 6.35 mm değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	80,26	0
Mart 07	76,64	3,62
Nisan 07	80,42	3,78
Mayıs 07	70,32	10,1
Haziran 07	76,4	6,08
Temmuz 07	92,1	15,7
Ağustos 07	73,16	18,94
Eylül 07	60,72	12,44
Ekim 07	60,72	0
Kasım 07	67,82	7,1
X_{ort}	73,856	-
R_{ort}	-	7,776
AKL	65,901	0
ÜKL	81,811	20,015

R Diyagramı



Şekil 5.28. RDI + 6.35 mm Değerlerinin R Diyagramı



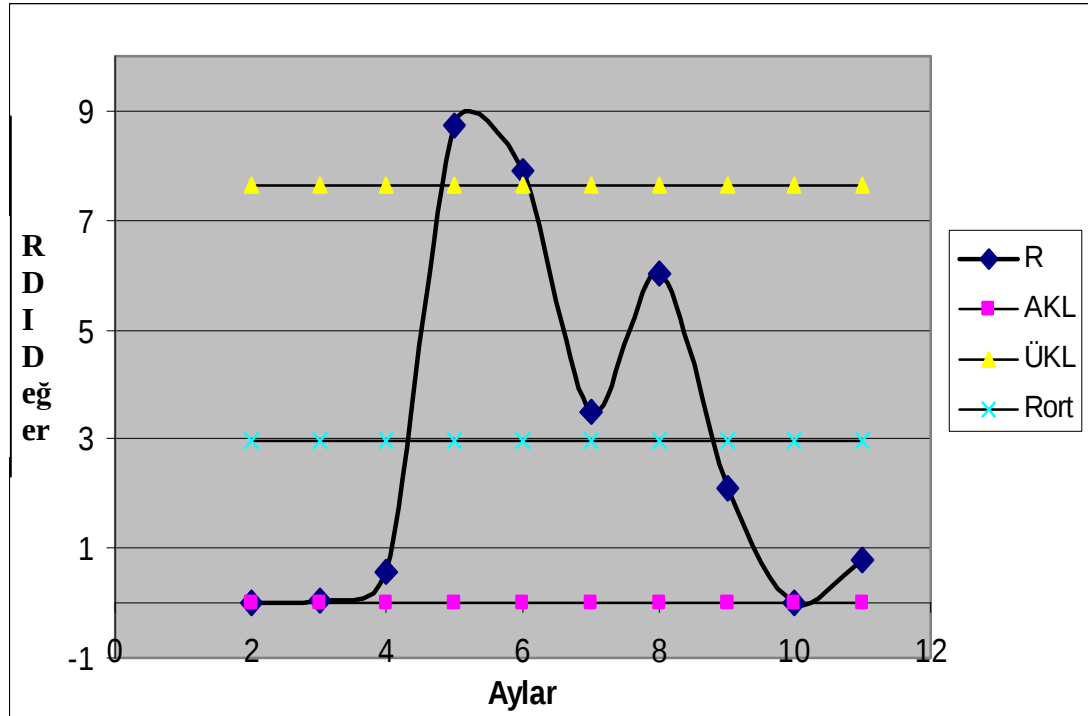
Şekil 5.19. RDI + 6.35 mm Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.21.'da görüldüğü gibi 7., 9. ve 10. aylarda gelen peletlere ait RDI değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü üzere değerler uygun çıkmaktadır.

Çizelge 5.12. RDI - 0.500 mm değerlerinin X ve R değerleri

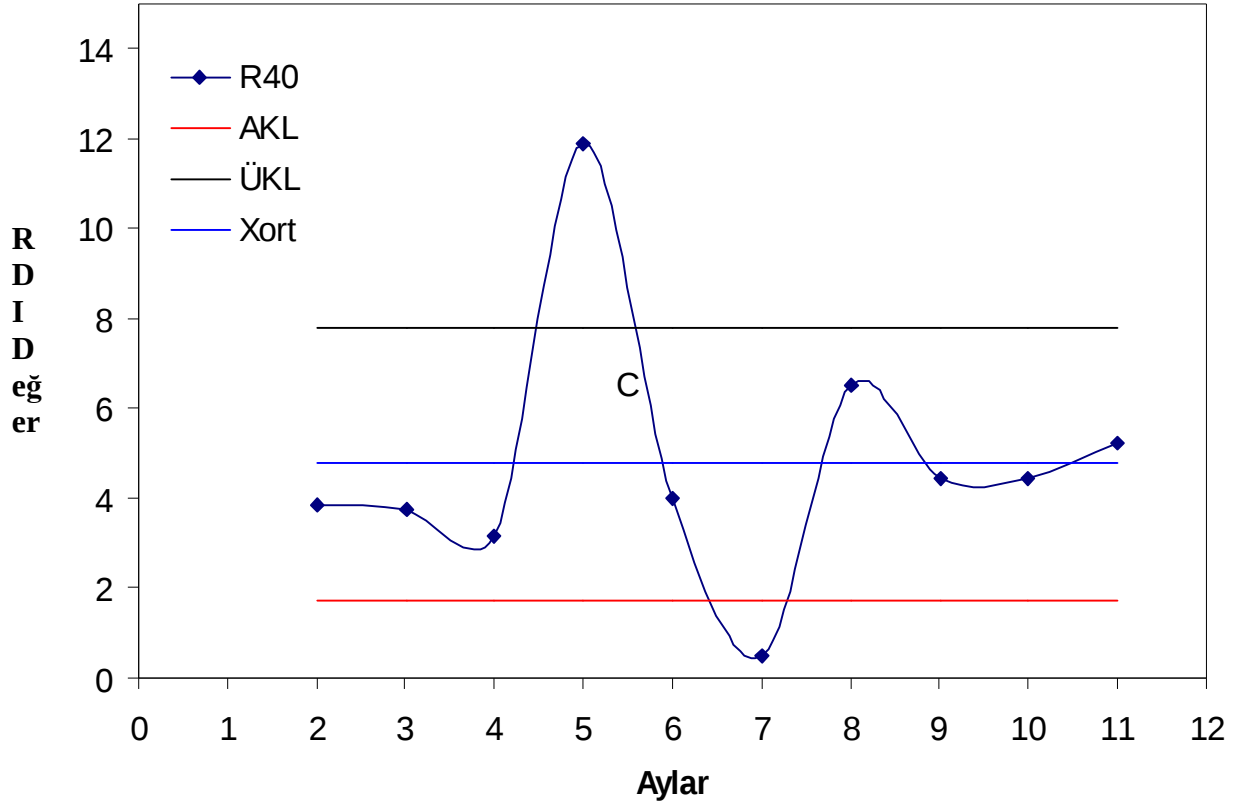
Aylar	X	R
Şubat 07	3,83	0
Mart 07	3,77	0,06
Nisan 07	3,18	0,59
Mayıs 07	11,91	8,73
Haziran 07	4	7,91
Temmuz 07	0,5	3,5
Ağustos 07	6,52	6,02
Eylül 07	4,43	2,09
Ekim 07	4,43	0
Kasım 07	5,22	0,79
X_{ort}	4,779	-
R_{ort}	-	2,969
AKL	1,742	0
ÜKL	7,816	7,642

R Diyagramı



Şekil 5.20. RDI – 0,500 mm Değerlerinin R Diyagramı

X Diyagramı



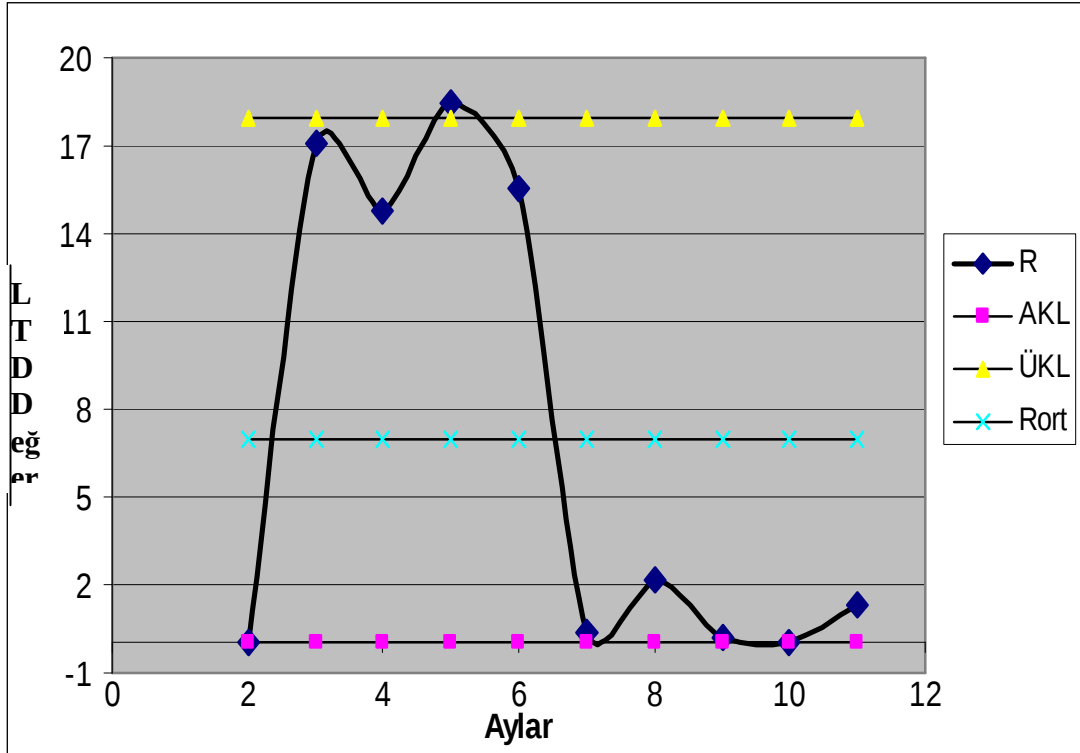
Şekil 5.21. RDI – 0.500 mm Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.23.'da görüldüğü gibi 5. ve 7. aylarda gelen peletlere ait RDI değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 5. ve 6. aylarda değerler üst limit değerlerinin dışındadır.

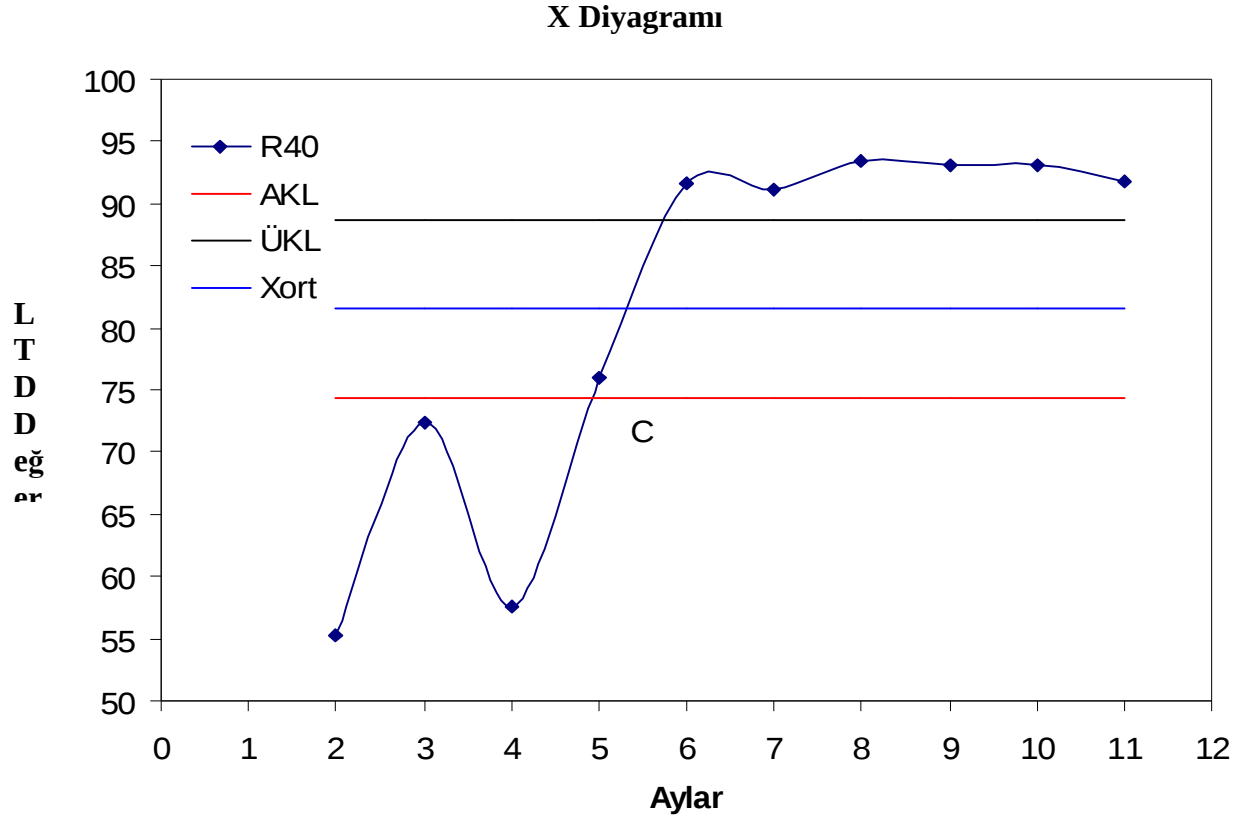
Çizelge 5.13. LTD + 6.35 mm değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	55,2	0
Mart 07	72,32	17,12
Nisan 07	57,59	14,73
Mayıs 07	76,03	18,44
Haziran 07	91,55	15,52
Temmuz 07	91,2	0,35
Ağustos 07	93,34	2,14
Eylül 07	93,1	0,24
Ekim 07	93,1	0
Kasım 07	91,82	1,28
X_{ort}	81,525	-
R_{ort}	-	6,982
AKL	74,382	0
ÜKL	88,668	17,972

R Diyagramı



Şekil 5.22. LTD + 6.35 mm Değerlerinin R Diyagramı



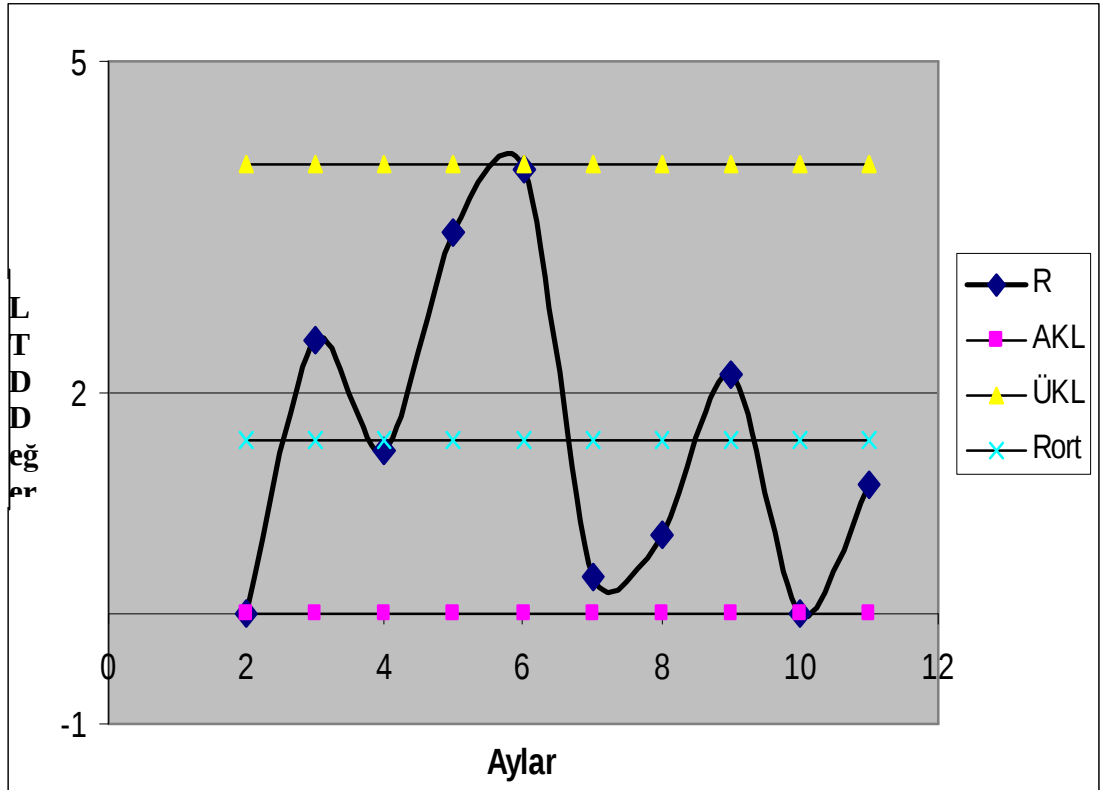
Şekil 5.23. LTD + 6.35 mm Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.25.'da görüldüğü gibi 5. ay dışında gelen peletlere ait LTD + 6.35 mm değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 5. ayda değerlerde ufakta olsa bir sapma olmuştur.

Çizelge 5.14. LTD - 0.500 mm değerlerinin X ve R değerleri

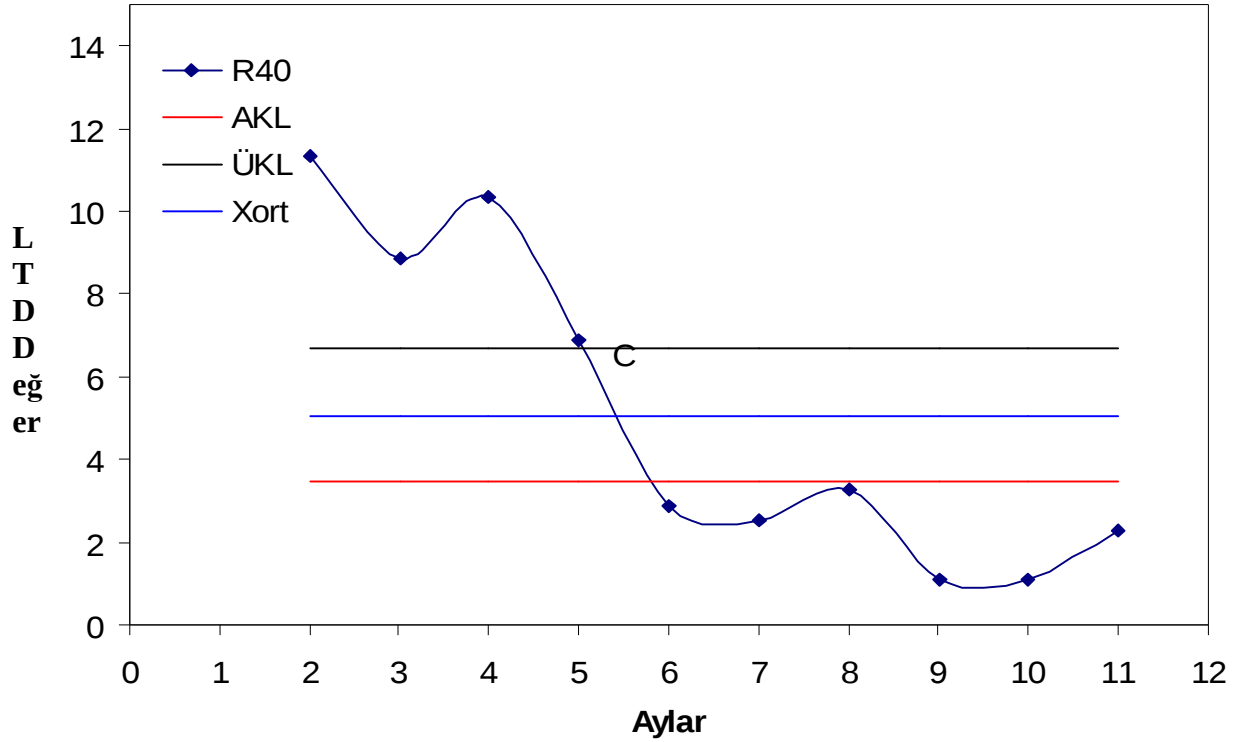
Aylar	X	R
Şubat 07	11,36	0
Mart 07	8,88	2,48
Nisan 07	10,35	1,47
Mayıs 07	6,9	3,45
Haziran 07	2,87	4,03
Temmuz 07	2,54	0,33
Ağustos 07	3,25	0,71
Eylül 07	1,09	2,16
Ekim 07	1,09	0
Kasım 07	2,26	1,17
X_{ort}	5,059	-
R_{ort}	-	1,58
AKL	3,443	0
ÜKL	6,675	4,067

R Diyagramı



Şekil 5.24. LTD – 0.500 mm Değerlerinin R Diyagramı

X Diyagramı



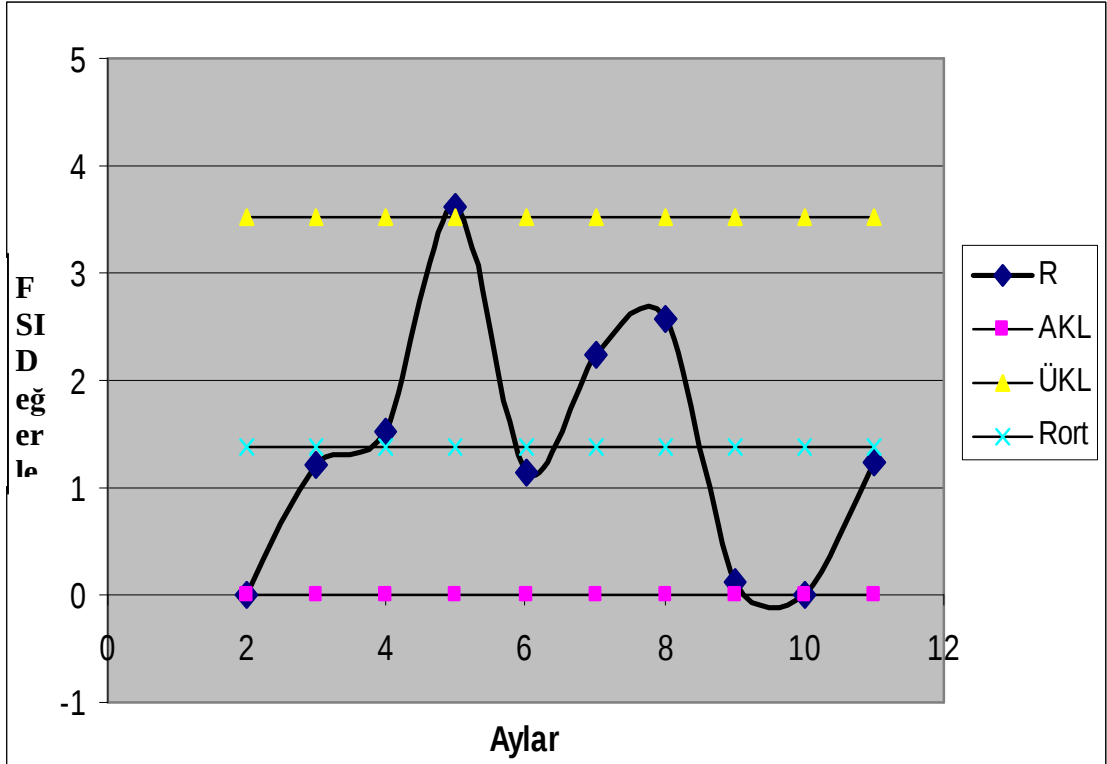
Şekil 5.25. LTD – 0.500 mm Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.27.'da görüldüğü gibi 11 ay boyunca gelen bütün pelet partilerinin LTD - 0.500 mm elek altı değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi değerler üst ve alt kontrol limit değerleri arasındadır.

Çizelge 5.15. FSİ (Şişme Miktarı) değerlerinin X ve R değerleri

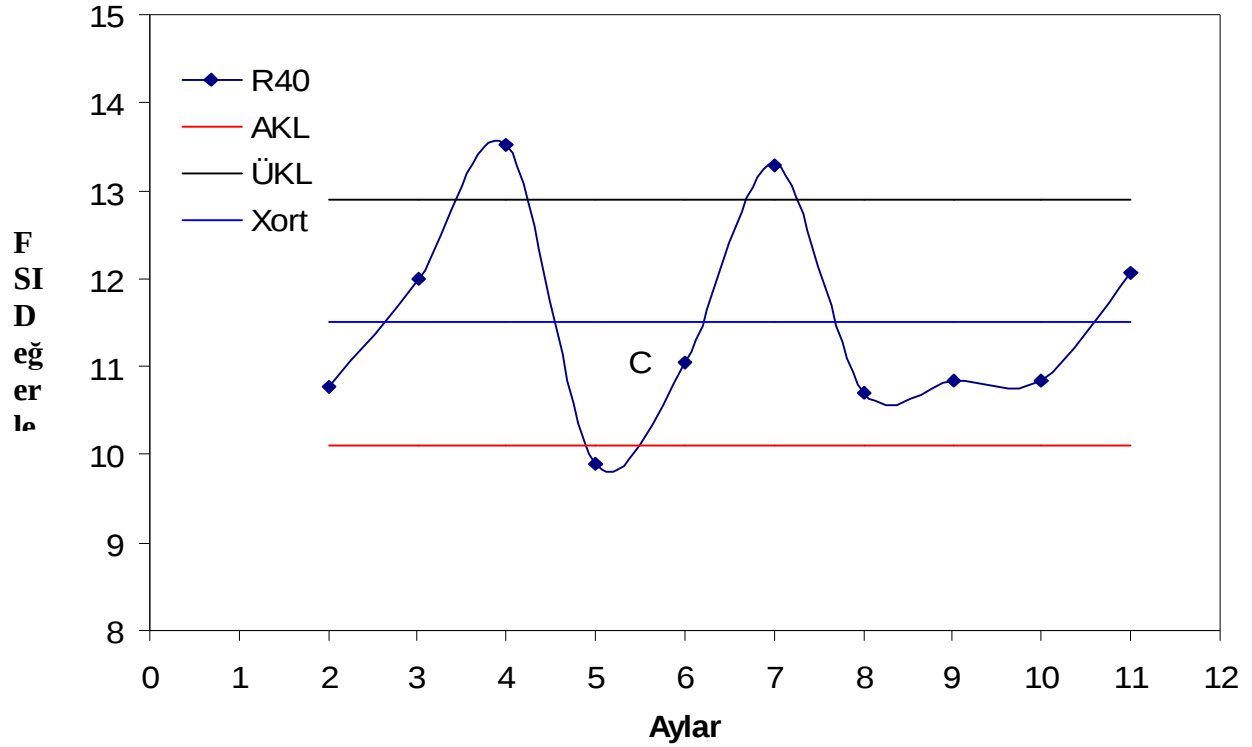
Aylar	X	R
Şubat 07	10,78	0
Mart 07	12	1,22
Nisan 07	13,53	1,53
Mayıs 07	9,9	3,63
Haziran 07	11,05	1,15
Temmuz 07	13,29	2,24
Ağustos 07	10,71	2,58
Eylül 07	10,84	0,13
Ekim 07	10,84	0
Kasım 07	12,07	1,23
X_{ort}	11,501	-
R_{ort}	-	1,371
AKL	10,098	0
ÜKL	12,904	3,529

R Diyagramı



Şekil 5.26. FSİ (Şişme Miktarı) Değerlerinin R Diyagramı

X Diyagramı



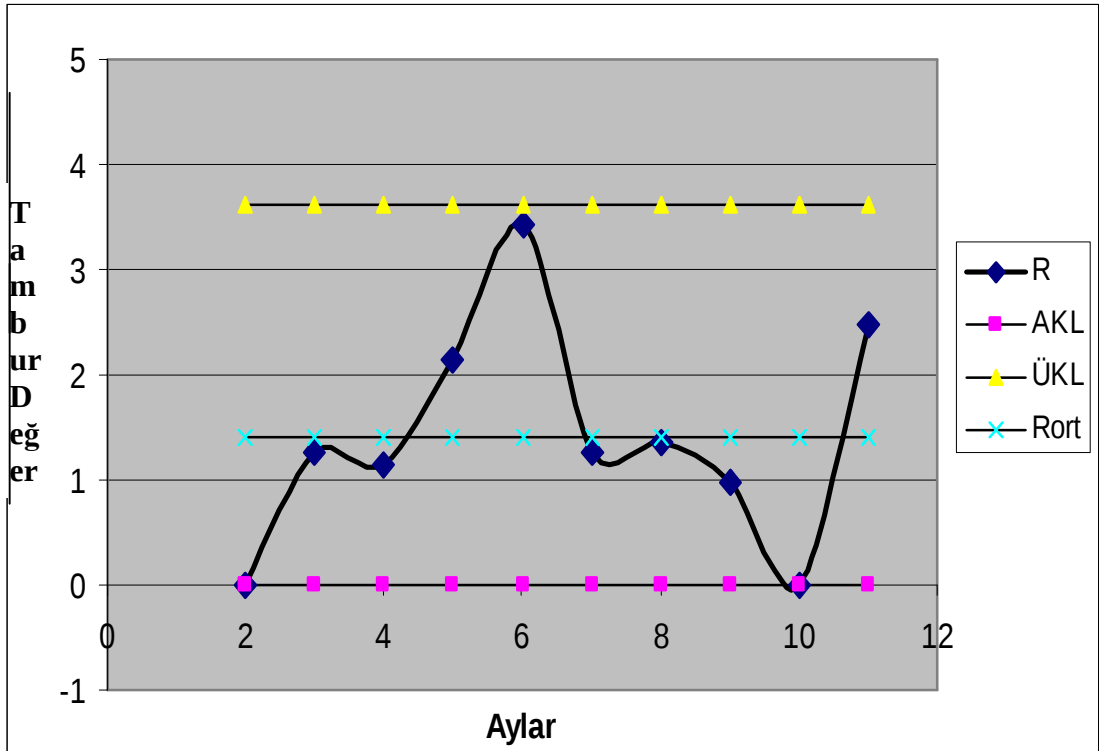
Şekil 5.27. FSI (Şişme Miktarı) Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.29.'da görüldüğü gibi 4., 5. ve 7. aylarda gelen peletlere ait FSI değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü gibi 5. ayda değerler üst limit değerlerinin dışındadır.

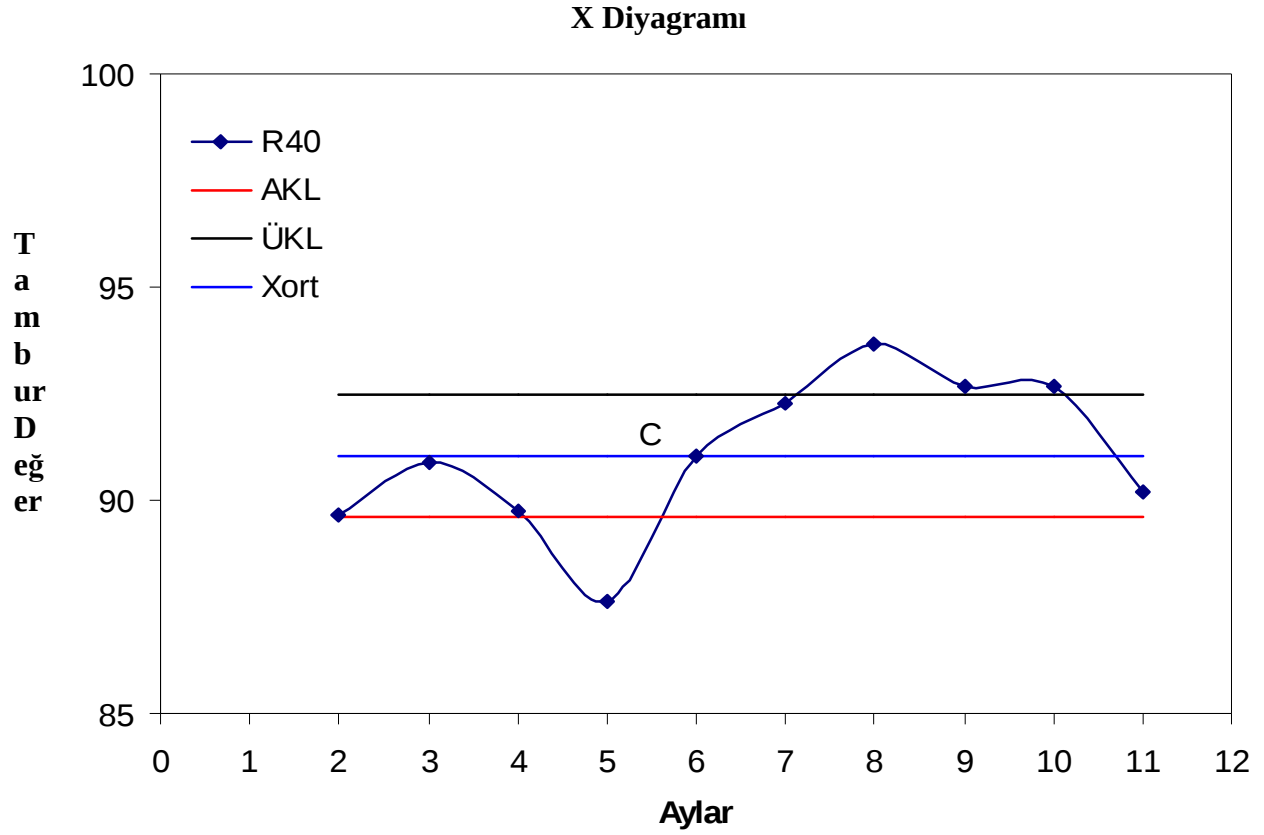
Çizelge 5.16. Tambur + 6.30 mm değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	89,64	0
Mart 07	90,9	1,26
Nisan 07	89,75	1,15
Mayıs 07	87,61	2,14
Haziran 07	91,03	3,42
Temmuz 07	92,3	1,27
Ağustos 07	93,66	1,36
Eylül 07	92,69	0,97
Ekim 07	92,69	0
Kasım 07	90,22	2,47
X_{ort}	91,049	-
R_{ort}	-	1,404
AKL	89,613	0
ÜKL	92,485	3,614

R Diyagramı



Şekil 5.28. Tambur + 6.30 mm Değerlerinin R Diyagramı



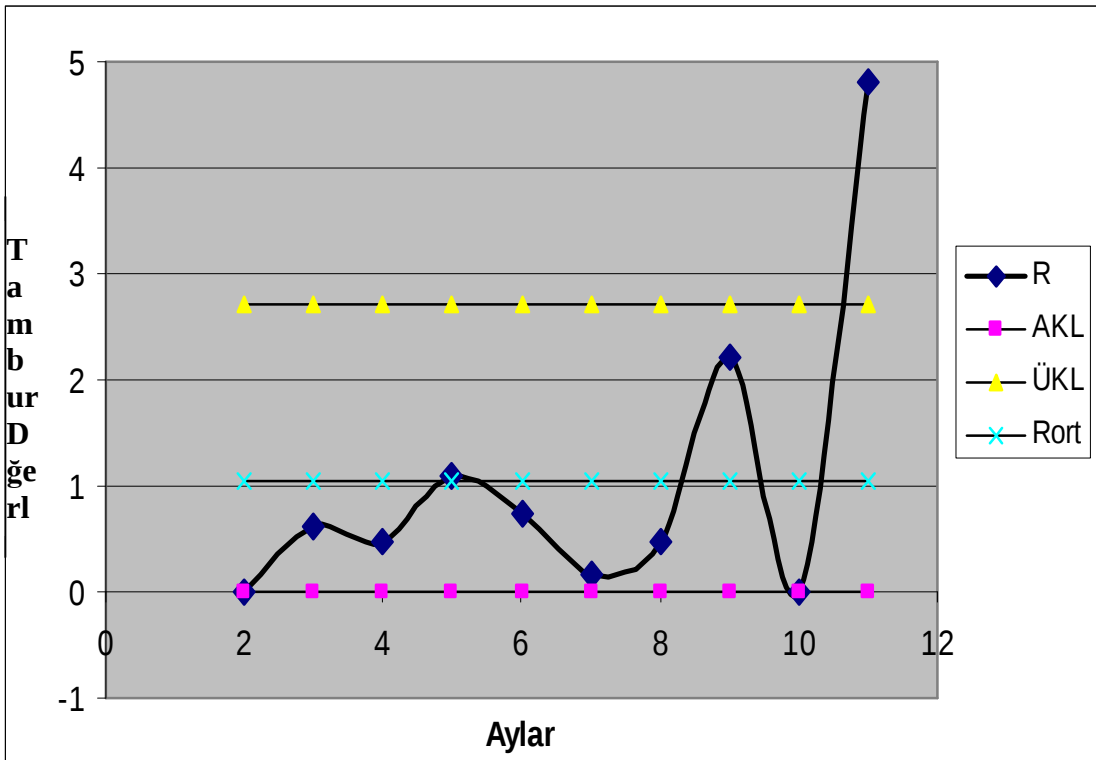
Şekil 5.29. Tambur + 6.30 mm Değerlerinin X-R Diyagramı

Şekil 5.31.'de görüldüğü gibi 5., 8., 9., ve 10. aylarda gelen peletlere ait Tambur +6.30 mm değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü üzere değerler limit değerlerin arasında kalmaktadır.

Çizelge 5.17. Tambur – 0.600 mm değerlerinin X ve R değerleri

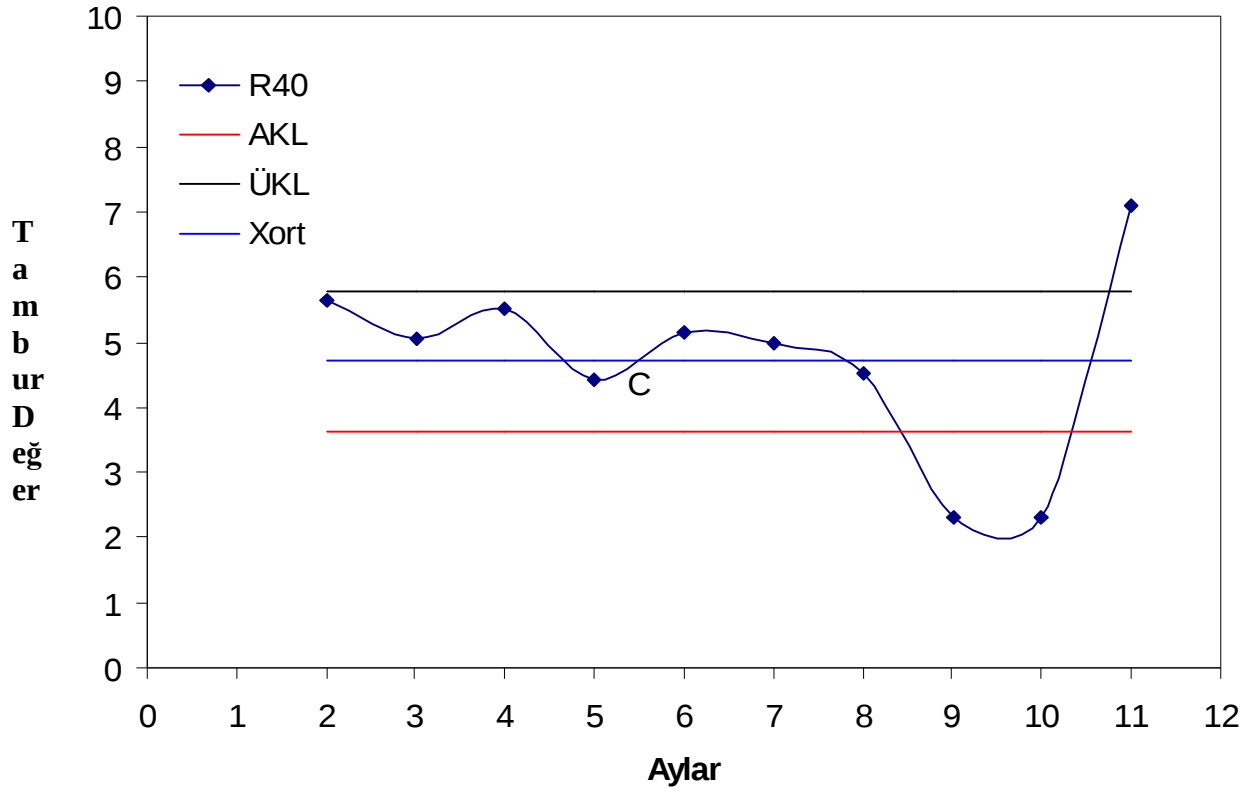
Aylar	X	R
Şubat 07	5,66	0
Mart 07	5,05	0,61
Nisan 07	5,52	0,47
Mayıs 07	4,42	1,1
Haziran 07	5,16	0,74
Temmuz 07	5	0,16
Ağustos 07	4,52	0,48
Eylül 07	2,31	2,21
Ekim 07	2,31	0
Kasım 07	7,11	4,8
X_{ort}	4,706	-
R_{ort}	-	1,057
AKL	3,625	0
ÜKL	5,787	2,721

R Diyagramı



Şekil 5.30. Tambur – 0.600 mm Değerlerinin R Diyagramı

X Diyagramı



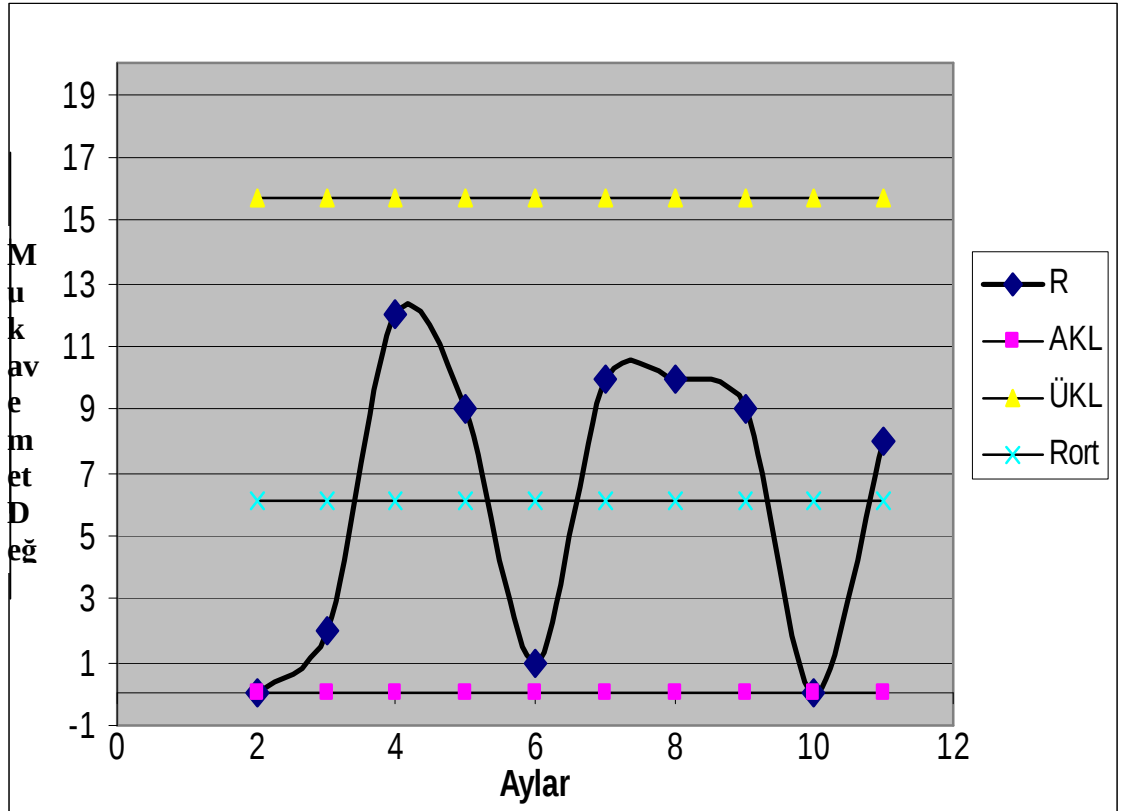
Şekil 5.31. Tambur – 0.600 mm Değerlerinin X Diyagramı

Şekil 5.33.'de görüldüğü gibi 9., 10., ve 11. aylarda gelen peletlere ait Tambur - 0.600 mm değerleri üst ve alt kontrol limit değerlerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü üzere 11. aydaki değer üst limit değerinin üstünde yer almaktadır.

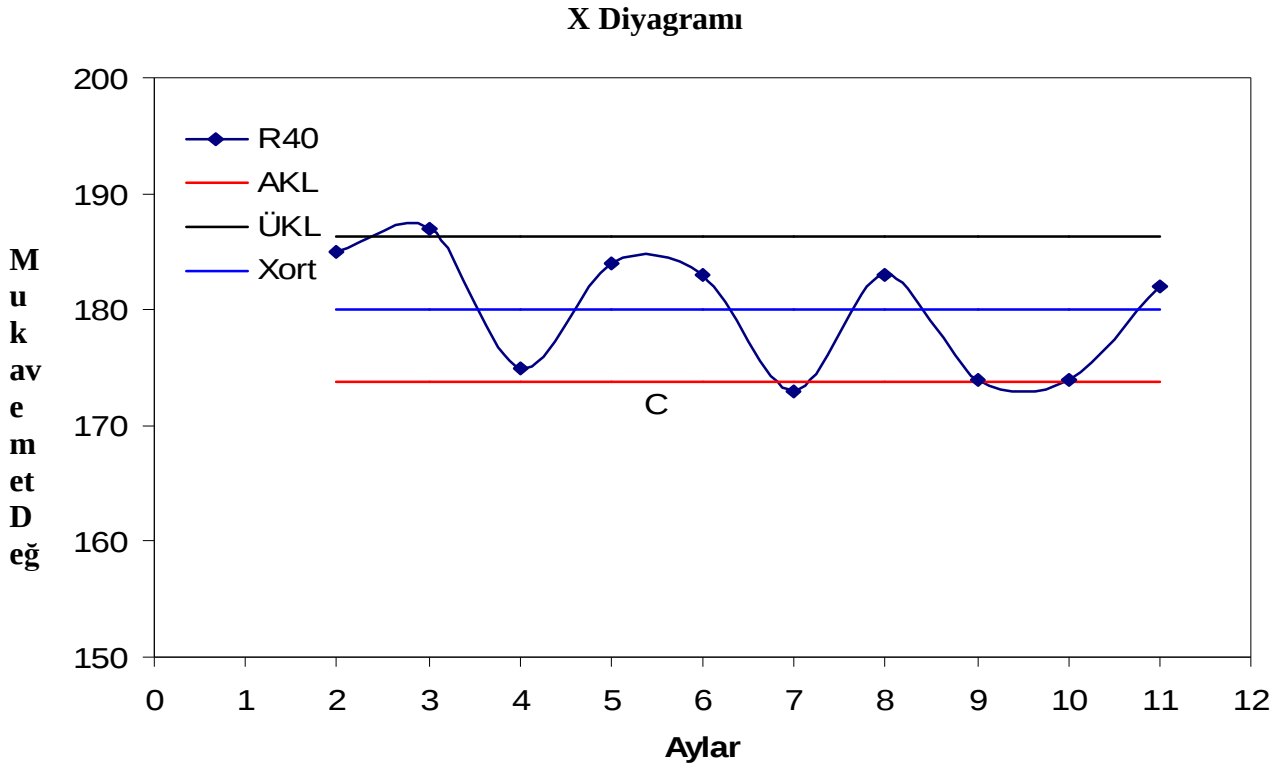
Çizelge 5.18. Mukavemet (kg/adet) değerlerinin X ve R değerleri

Aylar	X	R
Şubat 07	185	0
Mart 07	187	2
Nisan 07	175	12
Mayıs 07	184	9
Haziran 07	183	1
Temmuz 07	173	10
Ağustos 07	183	10
Eylül 07	174	9
Ekim 07	174	0
Kasım 07	182	8
X_{ort}	180	-
R_{ort}	-	6,1
AKL	173,760	0
ÜKL	186,240	15,701

R Diyagramı



Şekil 5.32. Mukavemet (kg/adet) Değerlerinin R Diyagramı

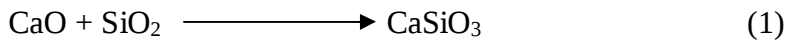


Şekil 5.33. Mukavemet (kg/adet) Değerlerinin X Diyagramı

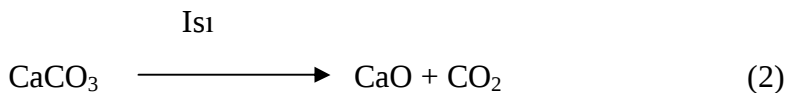
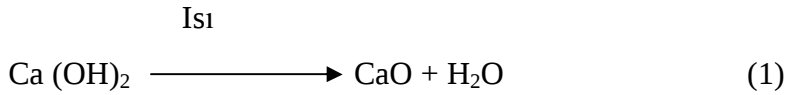
Şekil 5.35.'da görüldüğü gibi 3. ayda gelen pelete ait Mukavemet (kg/adet) değerleri üst kontrol limit değerinin dışına taşmaktadır. Bu durumda işletme bu peleti kullanmamalı yada değerleri limit değerlerin arasında olan başka peletle uygun oranlarda karıştırmalıdır. R Diyagramında da görüldüğü üzere değerler limit değerlerin arasında kalmaktadır.

Bu çalışmada magnetit konsantre toz demir cevherinden değişik katkı maddeleriyle peletleme yapılarak elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri incelendi. %2.5 bazik katkı maddesiyle bazik pelet, %0.7 bentonit katkı maddesiyle asitik pelet ve %1.5 bazik, %4 bentonit karışımıyla da fluks pelet elde edildi. Bunların yanında uçucu küller ve sodyum lignosülfonat katkı maddeleriyle de peletleme yapıldı. Yapılan peletlemelerde fiziksel özellikleri en iyi asitik ve bazik peletler sağladı. Ayrıca ham peletin fiziksel özelliklerinden düşme sayısı ve basma direncini etkileyen faktörler tayin edilmeye çalışıldı. Tayin edilen faktörler neden sonuç ilişkisini belirtir. Bu tür çalışmaların asıl amacı en ideal peleti elde etmektir. Çalışmalarında katkı maddesi olarak kullandığım bazik ile alınan deneysel sonuçların bentonit katkı maddesi ile alınan sonuçlarla uyum içinde olduğu görüldü.

Bentonit yerine bazik katkı maddesiyle yapılacak peletlemenin daha ekonomik olacağını düşünüyorum. Çünkü ülkemizde bentonite nazaran kireç daha ekonomik olmasıyla birlikte, İsdemir A.Ş.'de yan ürün olarak üretilmektedir. Ayrıca Divriği Konsantrasyon tesislerinde üretilen magnetit konsantre toz demir cevherinde bazik minerallere göre asitik mineraller daha fazladır. Bu materyal bentonit katkı maddesiyle topraklandığında üretilen pelet bünyesinde asitik mineraller dahada fazlaşmaktadır. Yüksek fırınlarda bu pelet işlendiğinde asitik mineralleri ayrıştırmak için aşağıdaki gibi CaO ilave edilerek kalsiyum silikat (curuf) teşkil ettirilir.



Yani asitik peletlerin yüksek fırınlarda işlenebilmesi için CaO katılması gerekir. Peletlemede katkı maddesi olarak kullandığımız kalsiyum hidroksit ve kalsiyum karbonat aşağıdaki gibi kimyasal bileşenlerine ayrılır.



Böylece 1000 °C'nin üzerinde sıcaklıklarda kullandığımız bazik mineraller yalnız kireç (CaO) olarak pelet bünyesinde kalır. Kalan bu CaO ise SiO₂ ile reaksiyona girerek curuf teşkil etmiş olur. Böylece çalışmanın asıl gayesi olan yüksek fırınlarda

eklenen CaO 'i, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 katkı maddesinş peletlemede kullanarak pelet üretip, bu peletlerin yüksek fırınlarda işlendiğinde curuf teşkil ettirmek için eklenen CaO miktarını azaltmaları yanında yapılan peletlemede daha ekonomik olacaktır. Yaptığımız peletleme deneylerinde de görüleceği gibi peletlemede katkı maddesinin önemi kuru pelet yani $(105 - 400) ^\circ\text{C}$ arasında peletlerde katkı maddesinin demir partikülleri arasında mekanik bağ yapmasından gelmektedir. Yani peletlemede kullanılan katkı maddeleri ham pelet bünyesindeki suyun buharlaşmasından sonra mekanik bağ yapma özelliğine sahip olmalıdır. $400 ^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda oksitlenme sonucu magnetit-hematit dönüşümü başlar ki bundan dolayı oksit bağları peletin mukavemetini arttırmaktadır.

Peletlemede kullanılan magnetit kristallerini küre gibi düşünürsek sıcaklıktan dolayı meydana gelecek oksitlenme magnetit cevherinin yüzeyinden başlayarak merkezine doğru ilerleyecektir. Yani oksitlenme sıcaklık yanında, basınç ve parçacık büyüklüğüne de bağlıdır. Bu tür çalışmalarda kullanılacak magnetit konsantre demir cevherinin özgül yüzey alanı daha büyük olan konsantreyle peletleme deneyleri yapılırsa daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yassı mamul üreten entegre tesisimizde (İSDEMİR) yerli demir cevheri (parça + toz) kullanımı geçen yıllar içinde 1.040.000 ton/yıl (1990) seviyelerinden, 540000 ton/yıl (2007) seviyelerine düşmüştür. Yerli cevher kullanımındaki azalma % 48.1'dir. Yüksek fırın ve sinterde kullanılan diğer demirli hammaddelerin değişimi Çizelge 6.1.'de verilmiştir. Yerli cevher kullanımındaki bu azalmanın sebepleri olarak;

- Sıcak Metal (SM) üretimindeki artışa paralel olarak demir cevheri ocaklarına gerekli yatırımların yapılarak, kalite ve üretimlerinin arttırılmaması,
 - Yerli cevherlerin tenörlerinin düşük, empürite ve gang miktarlarının yüksek olması,
 - Yassı mamul üretiminde kullanılan SM'in kalite değerlerinin yükselmesi,
 - Yerli cevherlerin, ithal cevherlere göre Ereğli teslim maliyetlerinin daha yüksek ve bu maliyet içinde demiryolu taşıma ücretlerinin % 40-% 50 olduğu bilinmektedir.
- Demir-Çelik sektörünün son 25 yılı incelendiğinde, bilinen bu gerçekler, herkes tarafından devamlı tekrarlanmakta; fakat bu durumu giderici hiçbir gelişme sağlanmamaktadır. Türkiye'de rezervi yüksek ancak cevher hazırlama yöntemlerinin uygulanması gereken sorunlu yataklar için doğru projeler ve yatırım gerekirken, günü kurtarmak için 5.000-10.000 ton/yıl kapasiteli ocaklardan demir cevheri temini yapılabilmektedir. Satın alınan bu cevherlerin üretim miktarları yanında kaliteleri de düşüktür.

Örnek olarak (Adapazarı) toz cevheri verilebilir.

Bu cevherin özellikleri;

%

Fe	50,0 – 54,0
SiO ₂	10,0 - 17,0
Al ₂ O ₃	2,0 – 6,0
K ₂ O+ Na ₂ O ₃	0,5 – 1,2
P	0,1 – 0,5

Rezervi ve kalitesi düşük olan bu tip cevherlerin yassı mamul üreten bir tesiste kullanılması, yerli demir cevheri madenciliğine bir şey getirmedeği gibi, daha ucuz ithal cevherlerin ve kömürlerin satın alınmasına engel olmakta neticede SM üretim maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Önümüzdeki yıllarda (2013) entegre tesislerimizde (Erdemir ve İsdemir) SM üretiminin 5 – 5,5 milyon ton/yıl dan 16-17 milyon ton /yıl seviyelerine arttırılması planları entegre tesis yöneticileri tarafından açıklanmaktadır (Erhan, 2004).

Hedeflenen SM miktarının üretimi için gerekli demirli malzeme miktarı 26-28 milyon ton/yıl'dır. Bu durumda şimdiki demir cevheri üretim miktarlarımız ve hammadde politikaları ile gerekli demir cevherinin % 15'i bile yurt içinden temin edilemeyecektir. Bu çalışmada yerli cevherlerin kaliteleri, ithal cevherlerle karşılaştırılmış ve ilk etapta yerli cevherlerin kalitelerini iyileştirecek yatırım gerektirmeyen veya çok az gerektiren çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

6.1. Demir Cevheri Tenörleri Ve Kimyasal Kompozisyonlar

Erdemir tarafından satın alınan cevherlerin tenörleri ve kimyasal kompozisyonları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir;

Çizelge 6.1. Yüksek Fırın ve Sinter'de Kullanılan Diğer Hammaddelerin Değişimleri (Erünsal, 2005)

1990	2003	% Değişim	
İthal Pelet (Ton)	748.000	2.132.000	+185
İthal Toz Cevher (Ton)	520.000	1.088.000	+109
İthal Parça Cevher (Ton)	827.000	531.000	-39,5

Çizelge 6.2. Satın Alınan Yerli Cevherler (Erunsal, 2005)

%	YPC-1	YPC-2	YPC-3	YPC-4	YPC-5	YTC-1	YTC-2	YTC-3	YTC-4	YTC-5
Fe	56,59	54,15	53,0	58,0	56,5	55,82	49,35	55,00	50,89	51,85
SiO ₂	6,2	6,9	4,6	8,3	6,5	6,6	11,8	11,4	5,9	16,2
Al ₂ O ₃	0,6	1,3	1,0	1,4	1,4	0,7	3,4	3,0	1,1	2,0
Na ₂ O	0,014	0,04	0,03	0,13	0,03	0,012	0,07	0,07	0,02	0,03
K ₂ O	0,18	0,35	0,05	0,1	0,65	0,22	0,73	0,17	0,25	0,08
P	0,024	0,05	0,016	0,042	0,12	0,024	0,054	0,025	0,01	0,15
S	0,01	0,01	0,1	0,72	0,06	0,01	0,05	0,1	0,01	0,23
As	0,001	0,13	0,01	0,014	0,03	0,01	0,15	0,034	0,034	0,25
Zn	0,001	0,075	0,012	0,04	0,025	0,01	0,1	0,018	0,05	0,01
Pb	0,001	0,013	0,001	0,018	0,03	0,01	0,02	0,01	0,015	0,016
TiO ₂	0,025	0,049	0,054	0,09	0,038	0,05	0,053	0,06	0,04	0,45

Çizelge 6.3. Satın Alınan İthal Cevherler (Erunsal, 2005)

%	İPC-1	İPC-2	İPC-3	İPC-4	İPC-5	İTC-1	İTC-2	İTC-3	İTC-4	İTC-5	İTC-6
Fe	65,4	66,4	64,21	67,03	65,0	63,4	65,4	63,5	67,4	66,1	67,99
SiO ₂	3,0	3,2	3,02	0,77	0,7	4,46	3,9	4,5	0,62	1,2	0,94
Al ₂ O ₃	1,4	1,3	2,0	1,0	1	2,35	1,5	1,4	0,89	0,85	0,77
Na ₂ O	0,008	0,018	0,011	0,015	0,002	0,012	0,017	0,017	0,01	0,01	0,008
K ₂ O	0,014	0,1	0,03	0,01	0,004	0,03	0,21	0,02	0,015	0,01	0,009
P	0,05	0,048	0,041	0,04	0,09	0,066	0,045	0,055	0,04	0,066	0,038
S	0,002	0,009	0,003	0,008	0,015	eser	0,01	eser	0,005	0,01	0,003
As	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser
Zn	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser
Pb	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser	eser
TiO ₂	0,032	0,044	0,050	0,08	0,069	0,07	0,050	0,04	0,09	0,09	0,08

Yukarıdaki çizelgelerin incelenmesinden görüldüğü gibi yerli cevherlerde tenör düşük, gang elemanları (SiO₂ + Al₂O₃) yüksektir. Ayrıca yüksek fırın prosesi ve SM kalitesi için zararlı olan K₂O, Zn, As, S gibi empüriteler bazı yerli cevherlerde oldukça yüksektir. Bu bakımdan yerli cevherlerin kendi içlerinde ve ithal cevherlerle optimum değerleri verecek şekilde harmanlanması gerekmektedir. Satın alınan yerli ve ithal cevherlerin yüksek fırın üretimine, yakıt oranına ve sıcak metal kalitesine olumsuz etki eden özellikleri çizelgelerde taramalı olarak gösterilmiştir.

6.2. Parça Demir Cevherlerinin Metalurjik Özellikleri

Metalurjik özellik olarak ölçülebilen değerler ve tambur test değerleri Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden görüldüğü gibi bahsedilen özellikler bakımından yerli ve ithal cevherler arasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Hatta bazı yerli cevherlerin redüklenme, Düşük Sıcaklıkta Parçalanma (LTB), termal şok değerleri ithal cevherlerden daha iyidir.

Çizelge 6.4. Yerli ve İthal Cevherlerin Metalurjik Özellikleri (Erünsal, 2005)

Test Adı	YPC-1	YPC-2	YPC-3	YPC-4	İPC-1	İPC-2	İPC-3	İPC-4	İPC-5
RUL R ₄₀ (%dk)	1,34	1,25	0,92	0,33	0,86	0,55	1,1	1,2	0,89
LTB									
+6,5mm	88,6	73,3	72,3	94,1	67,5	87	74	67,1	84,5
-0,5 mm	3,3	7,0	6,6	2,4	9,5	2,9	6,5	10,7	8,2
Termal şok 700 C ⁰ +6,35 mm	95	98	98	99,6	97	99	94	93	98
Tambur Test(ASTM)									
+6,35 mm %	83,3	89	83,3	84,2	85	93,4	87	84	87,5
-0,600 mm%	9,4	12,8	10,0	9,0	8,5	2,7	5,9	9,3	7,5

Çizelge 6.5. Parça Cevherlerin Elek Analizleri (%) (Erünsal, 2005)

mm	YPC-1	YPC-2	YPC-3	YPC-4	İPC-1	İPC-2	İPC-3	İPC-4
+25,4	39,8	25,1	40,3	46,5	11,0	3,5	9,9	12,0
-25,4 +9,5	52,0	63,9	53,2	47,1	60,0	80,5	72,3	67,0
-9,5	8,2	11,0	6,5	6,4	25,0	16,0	17,18	21,0

Çizelge 6.6. Toz Cevherlerin Elek Analizleri (%) (Erünsal, 2005)

mm	YPC-1	YPC-2	YPC-3	YPC-4	İPC-1	İPC-2	İPC-3	İPC-4
+9,52	12,72	11,48	14,8	10	0	0	0	0
-9,52 +6,30	23,7	16,22	17,4	16	5,5	0,76	2,5	5
-6,30 +0,500	57,68	68,3	64,1	70,9	87,1	95,64	90,2	89
-,0500	5,9	4	3,7	3,1	7,4	3,6	7,3	6

6.3. Demir Cevherlerinin Elek Analizleri

Yerli demir cevherlerinin ithal cevherlere göre en büyük dezavantajı elek analizinde gözlenmektedir (Çizelge 6.5. ve Çizelge 6.6.). Halbuki bu özelliğin iyileştirilmesi teknik olarak gayet kolaydır. Çizelge 6.5.'in incelenmesinden görüldüğü gibi yüksek fırınlarda kullanılan yerli parça cevherlerde istenmeyen kısım olan +25,4 mm miktarı % 40-50 seviyesindedir. Yani yerli cevherler istendiği gibi -38mm+9,5 mm (-25,4mm, +9.5 mm optimum) olarak Yüksek fırınlara şarj edilememektedir. +25.4mm değeri bazı ithal cevherde ise % 4-10 arasında değişmektedir. Çizelgelerde verilen parça cevher elek analizleri ithal cevherler için gemi boşaltılırken alınan numunelere uygulanan elek analizleri sonuçları, yerli cevherler için verilen sonuçlar ise sistemde kırılıp, elendikten sonra alınan numunelerin değerleridir. Bilindiği gibi yerli parça cevherler 10mm -100mm arasında satın alınmakta ve -38mm+9,5 mm aralığına işletmede getirilmeye çalışılmaktadır. Yerli toz cevherlerde yine istenmeyen kısım olan +9,5mm miktarı % 10-15 olarak yine yüksektir. İthal toz cevherlerin büyük bir kısmında ise bu değer istendiği gibi % 0 dır.

6.4. Rezervlerin Karşılaştırması

Yerli cevherler rezerv yönünden (işletilebilir ve sorunlu) ithal cevherlerle karşılaştırıldığında şu sonuçlar bulunmaktadır. İşletilebilir yerli cevher rezervlerinin yetersiz (Çizelge 6.7. Çizelge 6.8.) ve kullanılabilmesi için ilave yatırım gerektirdiği görülmektedir. Sorunlu cevherlerden olan Hasaңcelebi, rezerv (Çizelge 6.9.) yönünden en uygun cevher yatağıdır. İthal cevherler hem rezerv (Çizelge 6.10.) yönünden hem de cevher hazırlama yöntemleri uygulanarak piyasaya sürüldükleri için daha uygundurlar. Dünya demir cevheri rezervleri yüksek fırınların şu anki üretim seviyelerine göre en az 150 yıl yetecek seviyededir.

6.5. Sinter Ve Yüksek Fırında kullanılan Yerli Cevherlerin Yüksek Fırın Prosesine Etkileri

Yüksek fırında kullanılan cevherlerin kalitesi yüksek fırın üretimine, yakıt tüketimine birinci derecede etki etmektedir. Bu konu ile ilgili bir çalışma bilgisayar ortamında yapılarak, özeti Çizelge 6.11.'de verilmiştir.

Kabuller ;

6.5.1 Yüksek fırın (YF) da kullanılan demirli hammaddeler

Sinter %43

Pelet %43

Parça cevher %14

Yerli cevher oranları toz cevher (sinter) ve parça cevher içinde sırası ile % 0, % 25 ve %40 olarak alınmıştır.

Çizelge 6.7. Türkiye İşletilebilir Cevher Rezervler (Milyon Ton) (Erünsal, 2005)

Görünür	Muhtemel	Toplam	% Tenör	Yatak Sayısı
150	29	179	54	22

Çizelge 6.8. Türkiye Sorunlu Cevher Rezervleri (Hasançelebi Dahil) (Milyon Ton)

Görünür	Muhtemel	Toplam	% Tenör	Yatak Sayısı
263	661	924	22,8	15

Çizelge 6.9. Hasan Çelebi Rezervi (Milyon Ton) (E. Erunsal, 2005)

Görünür	Muhtemel	Toplam	% Tenör
160	525	685	19,0

Yerli cevherler ile ithal cevherler karşılaştırıldığında yerli cevherlerin geliştirilmesi için çözülmesi gereken sorunlar üç ana başlık altında toplanabilir.

6.6. Kalite Sorunu

Yerli cevherler ile ithal cevherler kalite yönünden karşılaştırıldığında en büyük farklılıklar şu özelliklerde ortaya çıkmaktadır.

- Yerli cevherlerin tenörleri düşük,
- Gang ve empüriteleri yüksek,
- Elek analizleri istenen değerden uzaktır (Parça cevher için istenen değer + 9,5mm - 25,4 mm veya + 9,5mm, -38 mm arasında olmasıdır).
- Yerli cevherlerin RUL , LTB, Termal şok değerleri ise bazı yerli cevherlerde ithallerden daha iyi, bazılarında ise ithal cevherlerle rekabet edebilecek değerlerdedir. Yerli cevherlerden redüklenme değeri çok düşük olan cevherin minerolojik yapısı manyetit'dir. Bu cevherin yüksek fırına direkt şarjı doğru bir uygulama değildir. Bu cevherin -9,5 mm ye kırılıp sinterde kullanılması gerekmektedir.Şimdiki sistemde yerli parça cevherler 10mm -100 mm aralığında madenciden satın alınmakta entegre tesiste +9,5mm, -38 mm aralığına getirilmeye çalışılmaktadır. Bu uygulama başarılı olmamaktadır. Sonuçlar Çizelge 6.5. te verilmiştir. Yerli cevherlerin bilhassa +25,4 mm miktarı çok fazladır. Bu durum yüksek fırınlarda yakıt kullanımını arttırmakta ve üretimi düşürmektedir. Bu konunun en kısa ve doğru çözümü cevherin istenen elek analizlerinde madenciden

satın alınmasıdır. Bu durumda yatırım masraflarının azaltılması içinde entegre tesiste atıl bir durumda kalmış olan yüksek kapasiteli kırıcı ve elekler yurt içinde uygun bir yere taşınarak (Sivas-Kalın) yerli cevherlerin hazırlanmasında kullanılabilir. Böylece yerli cevherlerin en kötü özelliği olan elek analizleri iyileştirilecektir. Aynı zamanda yapılacak basit yıkama işlemleri ile gang miktarları azaltılıp empürite değerleri optimize edilebilecektir. Yassı mamul üreten entegre tesisimizin son 10 yılda satın aldığı demirli hammadde miktarları incelendiğinde (Çizelge 6.1.) ithal parça ve yerli cevherlerin yerine büyük oranda, pelet ve toz cevher satın alındığı görülmektedir. Bilindiği gibi pelet, kırma gerektirmeyen sadece elenen demirli hammaddedir. Satın alınan parça cevherler de kırma gerektirmeyen, direkt şarjlık cevherlerdir.

6.7. Rezerv ve Üretim Miktarları

Yerli demir cevheri madenciliğinin geliştirilmesinde, cevher kalitesi yanında ocakların rezerv miktarı ve üretim kapasiteleri de birinci derecede önemlidir. Üretim miktarı 5.000 -10.000 ton /yıl olan ve olacak olan ocaklar yerine rezervi yüksek olan ocakların (Hasaңelebi gibi) geliştirilmesine çalışılmalıdır. Kısa vadede Hasaңelebi ocağı tekrar ele alınmalıdır. Daha evvelden yapılan proje çalışması (Önal ve Acarkan, 1999) tekrar gündeme getirilerek güncel pelet maliyetleri kullanılarak revize edilmelidir. Çünkü yapılan çalışmalar sonunda ortaya konan konsantrelerden (Fe % 69,15, SiO₂ %1,8, TiO₂ % 0,79 ve alkali % 0,2) üretilecek peletlerin 1.500.000 ton'u Türkiye'deki yüksek fırınlar da herhangi bir sorun çıkarmadan şu anda bile kullanılabilir (Chao, Cook, Grau, 1989).

İlerideki yıllarda ise SM üretim artışına bağılı olarak bu miktar 3.000.000-4.000.000 ton/yıl 'a çıkabilecektir. Buradaki asıl sorun pelet'in yurt içinde mi üretilip yüksek fırınlarda kullanılacağı, yoksa şimdiki gibi her yıl artan miktarlarda ithal mi edileceğı sorularına demir-çelik yöneticilerin vereceğı cevaptır. Türkiye'de şimdi uygulanan hammadde politikaları ile, hedeflenen sıcak metal üretim seviyeleri için gerekli pelet ithalatı önümüzdeki yıllarda en az 10.000.000 ton/yıl'a yükselecektir. Bu durum ise yüksek fırınlarda üretilen sıcak metalin üretim maliyetini arttıracaktır.

Çizelge 6.10. Dünya Ham Demir Cevheri Baz Rezervi (Milyon Ton) (Anon, 2005)

Ton	Tenör (%)
370.000	48.6

Çizelge 6.11. Yerli Cevher Kullanımının Yüksek Fırın Prosesine Etkileri

	Sinter % Fe	P. Cevher % Fe	YF Curuf Kg/TSM	YF Yakıt Kg/TSM	YF Alkali Kg/TSM	YF Zn Kg/TSM	YF Üretim Düşmesi Ton /yıl
%100 İthal % 0 Yerli	58,7	65.8	190	457	1.90	0.04	0
% 75 İthal % 25 Yerli	54,5	63.3	236	498	2.24	0.166	87400
% 60 İthal % 40 Yerli	52,8	61.6	252	529	2.48	0.223	139800

6.8. İletişim

Yerli cevherlerin kalitesi, üretim sorunları, geliştirilmesi gibi konularda kullanıcılar (entegre tesisler), üreticilere (ocak işleticileri) gerekli geri beslemeyi yapamamaktadır.(Bu konuda yeterli bir iletişim olsa, yassı mamul üretiminde son 10 yıldaki gelişmelere bağlı olarak TiO_2 'nin yüksek fırınlar için istenen bir eleman, mangan'ın ise istenmeyen bir eleman haline geldiği konularında bir fikir birliği olurdu.)Yassı mamul üreten entegre tesislerde üretilen sıcak metalin mangan değeri % 0,5-0,8 aralığından % 0,2-0,3 aralığına inmiştir. (Chevailles, 1989; Kortman, 1992). Bir diğer deyişle yüksek fırınlara TiO_2 şarjı artmış, mangan şarjı azalmıştır. Türkiye'de ise üretimler bu genel doğrulara paralel olarak yapılmamaktadır.

KAYNAKLAR

- ACARKAN, N ., ÖNAL, G., 1999 ; “TDÇİ Malatya-Hekimhan Hasacelebi Cevher Yatağının Yeniden Değerlendirilmesi “ Nihai Rapor.
- AKETA, K., UEHARA, T., SUGIYAMA, T., IGAWA, Y., 1988, "General Review of Fluxed Pellet Development at Kobe Steel ", Mineral Resources Research Center and Center for Professional Department, Duluth, U.S.A.
- ANON ,2005 “ U.S Geological Survey, Mineral Commodity Summaries” <http://minerals.usgs.gov/minerals/>
- BALL, D.F., DARTNELL, J., DAVİSON, J., GRIEVE, A., WILD, R., 1973 "Agglomeration of Iron Ores", Elsevier Publishing Co. New York, U.S.A.
- BDETZMAN, H. , R. BLE I FUSS, J. ENGESSER; "An Evaluation o-f Organic Binders as Substitudes -for Bentonite in Taconite Pelletizing", 49th Annual University o-f Minnesota Mining Symposium, Duluth, Minnesota, Jan. 1988.
- CHAO,J,T, COOK., J. GRAN,A.E.,1989; “ The Practice of Ilmenite Application In the BF A Technical and Economical Review” ICP,383-390.
- CHEVAİLLER, A., ROTH,J,L., METZ, B., JUSSEAU,N., STEİLER,J,M. ; 1989; “Hot Metal Quality For Optimum Blast Furnace- Convertor Operation. IMP 311-318.
- CITIC INTERNATIONAL COOPERATION CO., LTD. November, 2007 Pelletizing Test Report for HASAN CELEBI Beneficiation and Pelletizing Project
- DE SOUZA, R.P., C F . de MENDONCA, T. KATER; "Reduction of Acid Iron Ore Pellet for Dirert Reduction Using Organic Binder", Mining Eng., Oct. 1984, s. 1437-1441.
- ERDEMİR YÜKSEK FIRIN TANITIM KİTABI (2002)
- ERHAN, A ., 2004 ; 6 Eylül. Dünya. Ekonomi-Politika.
- İSDEMİR YÜKSEK FIRIN TANITIM KİTABI (2003)
- KATER, T., R.G. STEEGS; "Drganic Binders for Iron Ore Pelletization", 45th Annual University o-f Minnesota Symposium, Duluth, Minnesota, Jan. 1984.

- KORTMAN, A., LÜNGEN, H, RITZ, J. WOLKER., 1992 ; “ Quality Requirements For Burden Materials and Testing Method Used In Germany” Ironmaking Conference Proceeding. 195-203.
- LEDDS UNIVERSTY, "Course Notes on Sintering and Pelletizing", Leeds, U.K.
- LKAB, 1987, "Facts About LKAB", Sweden
- MEYER, K., 1980, "Pelletizing of Iron Ores", Springer - Verlag Berlin Heidelberg and Verlag Stahlersen mbH, Düsseldorf, Germany
- RANADE, M.G., J.A. RICKETTS, J.L. BLATTNER, F.L.SHUSTERICH; " A Blast Furnace Evaluation of Iran Ore Pellets Produced With an Organic Binder", 5th Iron & Steel Congress, Apr. 6-9, 1986, Washington, D.C.
- SRB, J., RUŽICKOVA, Z., 1988, "Peptization of Fines", Research Institute Prague, Czecholovakia
- SHULTZ, R.L. , R.G. LYONS; "Some Relationships Among High Temperature Properties and Mineralogy of Taconite Pellets", 4th International Symposium On Agglomeration, June 2-5, 1985, Ontario, Canada, s.251-258.
- STONE, J.K.; "USA Update: USX Strike Margially Helpful to Struggling Competitors", Steel Times Int., March 1987, s. 27-30.
- STUDIENGESELLSCHAFT FÜR EISENERZAUFBEREITUNG, 1970, "Untersuchungen über die Eignung verschiedener Bentonite für den einsatz bei der Eisenorzpelletierung", Othfresen, Germany.
- TUNCER, E. , E. OZCAN, A. BAŞDAG, N. YILDIZ, A.I. AROL;
"Türkiye'nin tük Demir Cevheri Konsantrasyon ve Peletleme Tesislerinin İşletmeye Alınması", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 10. Kongresi , 11-15 Mayıs, 1987, s. 415-432.
- TS 2026 ISO 4700, (Demir Cevheri Peletleri - Kırılma Dayanımı Tayini)
- TS 2502 ISO 4698, (Demir Cevheri Peletleri – Nispi Serbest Şişme İndisinin Tayini)
- TS 7146 ISO 7215, (Demir Cevherleri - Nispi İndirgenebilirliğin Tayini)
- TS ISO 13930, (Demir Cevherleri - Düşük Sıcaklıkta İndirgenme - Parçalanma İçin Dinamik Deney)

TS ISO 4696-1, (Demir Cevherleri - Düşük Sıcaklıkta İndirgenme parçalanma - Statik Deney - Bölüm 1: Co, Co₂ Ve H₂ İle Reaksiyon)

TS ISO 4696-2, (Demir Cevherleri - Düşük Sıcaklıkta İndirgenme - Parçalanma İçin Statik Deney - Bölüm 2: Co İle İndirgenme)

TS ISO 7992, (Demir Cevherleri - Yük Altında İndirgeme Özelliklerinin Tayini)

WEISS, N.L., 1985, "SME Mineral Processing Handbook", Society of mining Engineers of AIME New York, U.S.A.

VAN OLPHEN, H.Î "An Introduction to Clay Chemistry", Wiley- Interscience

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Osmaniye’de doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Mersin’de Tamamladı. 1995 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. ve 1999 yılında mezun oldu. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi’nde Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen İsdemir A.Ş. Kalite Metalurji Müdürlüğü Numune Alma ve Hazırlama Başmühendisliğinde Mühendis Olarak çalışmaktadır.

EKLER

Ek 1. Örnek Bir Test Rapor Formatı (İsdemir, 2006)



İSDEMİR
İSKENDERUN DEMİR ÇELİK A.Ş.
“Kalite Metalurji Müdürlüğü”
Numune Alma ve Hazırlama Başmüh.
Teknolojik Test Cihazları Rapor

Numune No : 368/1167
Cevher Cinsi : PELET (ASİT)
Gemi Adı : M/V RED QUEEN
Tonaj (M.Ton) : 75.195
Satıcı Firma : CLIFFS/KANADA
Tarih : (TEST TARİHİ: 13-14/06/2007)

ANALİZ VE TEST SONUÇLARI

Tumbler Test : ASTM E 279

FİZİKSEL TEST

CLIFFS Yükleme
Limanı Spesifikasyon

+ 6,35 mm	%	94,98	95 min.	93,5 min.
- 0,600 mm	%	4,94	5 max.	5,0 max.

TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER

Rul Testi “Reduction Under Load” : ISO DP 7992

İndirgenebilirlik-R ₄₀	DR/dT	1,08	0,75 min.
D _p	mm H ₂ O	8,30	15 max.
D _h	%	1	

Düşük Sıcaklıkta Parçalanma-Statik : ISO 4696-1
RDI “Reduction Degradation Index”

+ 6,35 mm	%	97,37	84 min.
- 0,500 mm	%	2,05	3 max.

Düşük Sıcaklıkta Parçalanma-Dinamik : ISO 13930
LTD “Low Temperature Disintegration”

+ 6,35 mm	%	95,51	80 min.	90,0 min.
- 0,500 mm	%	2,44	5 max.	5,0 max.

Şişme Testi ISO DP 4698 “Free Swelling Index”	%	12,99	20 max.
--	---	--------------	---------

Basma Dayanımı ISO 4700 “Compression Strenght”	Kg/Pelet	280	250 min.
---	----------	------------	----------

Nimetullah ARSLANBOĞAN
Başmüh.

M.Tağmaç DOĞAR
Müh.