

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR KONSANTRELERİNİN PELETLENMESİNDE
BOR MİNERALLERİNİN VE ATIKLARININ
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şengül COŞAR**

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Programı : CEVHER ve KÖMÜR HAZIRLAMA

MAYIS 2006

**DEMİR KONSANTRELERİNİN PELETLENMESİNDE
BOR MİNERALLERİ VE ATIKLARININ
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şengül COŞAR

(505041104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Fatma ARSLAN

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ercan AÇMA (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Neşet ACARKAN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başlarken iki üniversiteyi yürütemeyeceğimi düşünüp vazgeçmek üzere olduğum sırada, beni kararımдан vazgeçirerek yüreklendiren, her zaman arkadaş yakınlığını hissettiğim, bana her konuda yardımcı olan, çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim; çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fatma ARSLAN'a, çalışmamın her bölümünde bilgi, fikir ve yorumlarıyla desteğini benden esirgemeyen ve testlerimde bana yardımcı olan hocam Yrd.Doç.Dr.Alim GÜL'e, Arş.Gör.Tahsin PEREK'e ve analizlerin yapılmasında bana yardımcı olan Kimya Mühendisi Sezin BAKAN'a bölümdeki tüm değerli hocalarıma, asistan arkadaşlara ve pilot tesis çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu çalışma sırasında ihtiyaç duyduğum çeşitli cihazları kullanmama imkan sağlayan ve beni manevi olarak desteleyerek bana moral veren çok değerli hocam Prof.Dr.Ercan AÇMA'ya ve Metalurji Mühendisliği Bölümü hocalarından sayın Prof.Dr.Hüseyin ÇİMENÖĞLU, Prof.Dr.Lütfi ÖVEÇOĞLU ve Doç.Dr.Gültekin GÖLLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam içine gerekli literatür bilgisini bulmamda yardımcı olan ve bana her türlü kolaylığı sağlayan Erdemir Yardımcı İşletmeler ve Bakım Baş Müdürü Sayın Mehmet YANMAZ Bey'e, Mühendis Osman KÖSEOĞLU'na, malzeme temini ve tesis hakkında bilgi sağlamam için tesiste beni ağırlayan ve bana yardımcı olan Erdemir Madencilik Genel Müdürü Sayın Necdet SAVAŞ Bey'e, Mühendis Hacı ALSAÇ Bey'e, Kimya Mühendisi Harun KÖSE'ye, tesiste çalışan ve bana yardımcı olan herkese sonsuz teşekkür ederim.

Ve, hayallerimi gerçekleştirmek için her anımda yanımda olarak bana destek veren, dünyadaki en kıymetli hazinem aileme ve can dostlarıma (Esmâ, Tülay, Seda, Halis ve Serhan) sonsuz teşekkür ederim. İyi ki varsınız...

Mayıs 2006

Rana Şengül COŞAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. DEMİR CEVHERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	4
2.1. Demir Cevherinin Tanımı ve Sınıflandırılması	4
2.2. Dünya Demir Cevheri Rezervleri	6
2.3. Dünya Demir Cevheri Üretimi	7
2.4. Dünya Demir Cevheri Üretim Yöntemi ve Teknolojisi	8
2.5. Dünya Pelet Üretimi	8
2.6. Demir Cevheri Üretim Standartları	9
2.7. Dünya Çelik Üretimi	10
3. TÜRKİYE'DE DEMİR CEVHERİ MADENCİLİĞİ	11
3.1. Türkiye'de Demir Cevheri Üretimi	11
3.2. Türkiye Demir Cevheri Rezervleri	11
3.2.1. İşletilebilir demir cevheri rezervleri	12
3.2.2. Sorunlu demir cevheri rezervleri	14
3.2.3. Potansiyel demir cevheri rezervleri	14
3.3. Türkiye Demir Çelik Tesisleri	18
4. DEMİR CEVHERLERİNİN YÜKSEK FIRINLARDA KULLANIMI VE YÜKSEK FIRIN TEKNOLOJİSİ	22
4.1. Yüksek Fırın ve Çalışma Prosesi	22
4.2. Yüksek Fırındaki Reaksiyonlar ve Ergime	24
4.2.1. Ergime sahası	24
4.2.2. Karbon alma sahası	24
4.2.3. Redüksiyon sahası	24
4.2.4. Isınma sahası	25
4.3. Yüksek Fırında Demir Cevherinin Redüksiyonu	25
4.3.1. Direkt redüksiyon	25
4.3.2. İndirekt redüksiyon	26
4.4. Yüksek Fırınlara Şarj Edilecek Cevherlerde Aranan Özellikler ve Verime Olan Etkileri	26
4.4.1. Fiziksel ve kimyasal özellikler	26
4.4.2. Mineralojik özellikler	28

5. DEMİR CEVHERLERİNİN AGLOMERASYON İŞLEMLERİ	30
5.1. Sinterleme	30
5.2. Nodülleme	31
5.3. Briketleme	31
5.4. Peletleme	32
5.5. Yaş ve Pişmiş Peletlerde Aranan Özellikler	35
5.6. Peletleme İşleminde Kullanılan Bağlayıcı Maddeler	38
6. DİVRİĞİ KONSANTRASYON VE PELETLEME TESİSİ	42
6.1. Cevher Yatağının Geometrisi	42
6.2. Cevher ve Rezerv Kalitesi	43
6.3. A Kafa Maden İşletmesi	43
6.4. Sekonder-Tersiyer Kırma Eleme Tesisi	44
6.5. 4. Kademe -10 mm Kırma Eleme Tesisi	46
6.6. Konsantrasyon Tesisi	47
6.7. Peletleme Tesisi	49
6.7.1. Yaş pelet üretim safhası	50
6.8. B Kafa Kırılmış Cevher Üretimi	52
6.9. Toz Cevher Zenginleştirme Tesisi	53
7. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BOR MADENCİLİĞİ	55
7.1. Bor Hakkında Genel Bilgi	55
7.2. Bor Kullanım Alanları	55
7.3. Borun Özellikleri	94
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
8.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	60
8.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	67
8.2.1. Peletleme cihazı	67
8.2.2. Basma dayanımı test cihazı	67
8.2.3. Yüksek sıcaklık hidrojen dilatometresi	70
8.2.4. Civalı porozite test cihazı	71
8.3. Metot	72
8.4. Uygulanan Testler	73
8.4.1. Basma dayanımı testi	73
8.4.2. Düşme testi	73
8.4.3. Porozite testi	73
8.4.4. Şişme testi	74
8.4.5. Yığın yoğunluğu	74
9. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	75
9.1. Bentonit Katkılı Peletler	75
9.2. Kolemanit Katkılı Peletler	78
9.3. Üleksit Katkılı Peletler	81
9.4. Boraks Katkılı Peletler	84
9.5. Bor Atığı İle Yapılan Peletler	87
9.6. Yığın Yoğunluğu Test Sonuçları	87

10. GENEL SONUÇLAR	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

BOF	: Bazık Oksijen Fırını
MTA	: Maden Tetkik Arama
ASTM	: American Society for Testing and Materials Standarts
TDÇİ	: Türkiye Demir Çelik İşletmeleri

TABLO LİSTESİ

	<u>No</u>
Tablo 2.1 Demir Elementinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	5
Tablo 2.2 Önemli Demir Cevheri Mineralleri	5
Tablo 2.3 Dünyadaki Demir Cevheri Rezervleri (x 10 ⁶ ton).....	7
Tablo 2.4 Dünya Demir Cevheri Üretimi (x 10 ³ ton).....	7
Tablo 2.5 Dünyadaki Pelet Tesisleri ve Üretim Kapasiteleri (x 10 ⁶ ton)..	9
Tablo 2.6 Dünyada Önemli Üreticilerin Ürettikleri Cevher Özellikleri...	10
Tablo 2.7 Dünyada En Çok Sıvı Çelik Üreten Ülkeler (x 10 ⁶ ton).....	10
Tablo 3.1 Türkiye İşletilebilir Demir Cevheri Rezervleri	14
Tablo 3.2 Türkiye Sorunlu Demir Cevher Rezervleri.....	16
Tablo 3.3 Türkiye Potansiyel Demir Cevher Rezervleri.....	17
Tablo 3.4 Demir-Çelik Tesislerinin Kapasiteleri.....	18
Tablo 3.5 Türkiye’de Sıvı Çelik Üretimleri (x 10 ³ ton).....	18
Tablo 3.6 Erdemir’in Demir Cevheri Şarj Harmanlarında Aradığı Kimyasal Özellikler.....	19
Tablo 3.7 Erdemir’de Kullanılan Yerli Demir Cevherlerinin Teknolojik Test Özellikleri.....	20
Tablo 3.8 1993-1998 Yılları Arasında Erdemir Tarafından Satın Alınan Yerli Demir Cevherlerinin Kimyasal Yapıları.....	21
Tablo 4.1 ASTM Parça Demir Cevheri Standartları (Kimyasal Özellikler).....	26
Tablo 4.2 ASTM Parça Demir Cevheri Standartları (Fiziksel Özellikler).....	26
Tablo 4.3 ASTM Toz Demir Cevheri Standartları (Kimyasal Özellikler).....	27
Tablo 4.4 ASTM Toz Demir Cevheri Standartları (Fiziksel Özellikler)...	27
Tablo 4.5 Demir Cevheri Boyutları.....	28
Tablo 4.6 ASTM Tambur Testi Sonuçları.....	28
Tablo 5.1 ASTM Pelet Standartları (Kimyasal Özellikler).....	37
Tablo 5.2 ASTM Pelet Standartları (Fiziksel Özellikler).....	37
Tablo 5.3 Pelette Oluşturdukları Bağ Tipine Göre Bağlayıcı Madde Çeşitleri.....	40
Tablo 5.4 Divriği Pelet Tesisleri’nde Kullanılan Bentonitin Özellikleri...	41
Tablo 6.1 A-B Kafa Maden İşletme Sahasının İşletme Durumuna Göre Rezerv Durumu.....	43
Tablo 6.2 1998–2004 Yılları Arası Üretimler (ton).....	45
Tablo 6.3 A Kafa Cevher Yatağında Üretilen Cevherin Kimyasal Analiz Değerleri.....	47
Tablo 6.4 Konsantrasyon Tesisinden Elde Edilen Konsantrenin Kimyasal Analiz Değerleri.....	49
Tablo 6.5 Peletleme Tesisinde Üretilen Peletin Kimyasal Analiz Değerleri.....	52
Tablo 6.6 Peletleme Tesisinde Üretilen Peletin Fiziksel Özellikleri.....	52
Tablo 6.7 Kırma-Elleme Tesisinde Üretilen Parça Cevherin Kimyasal Değerleri.....	53
Tablo 6.8 Toz Cevher Zenginleştirme Tesisinde Üretilen Cevherin	54

	Kimyasal Analiz Değerleri.....	
Tablo 7.1	Bazı Önemli Konsantre ve Rafine Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları.....	56
Tablo 7.2	Önemli Bor Cevherleri ve Bileşimleri.....	58
Tablo 8.1	Manyetit (Fe_3O_4) Konsantresi Kimyasal Analiz Sonuçları.....	61
Tablo 8.2	Manyetit (Fe_3O_4) Konsantresi Boyut Analizi Değerleri.....	61
Tablo 8.3	Bor Mineralleri ve Bor Atığının Kimyasal Bor İçeriği.....	62
Tablo 8.4	Kolemanit Numunesinin Boyut Analizi Değerleri.....	63
Tablo 8.5	Boraks Numunesinin Boyut Analizi Değerleri.....	64
Tablo 8.6	Üleksit Numunesinin Boyut Analizi Değerleri.....	65
Tablo 8.7	Peletleme Deneylerinde Kullanılan Bentonitin Boyut Analizi Değerleri.....	66
Tablo 9.1	Bentonit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.....	75
Tablo 9.2	Kolemanit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.....	78
Tablo 9.3	Üleksit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.....	81
Tablo 9.4	Boraks Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.....	83
Tablo 9.5	Bor Atığı Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.....	87

ŞEKİL LİSTESİ

	No
Şekil 3.1 Türkiye Demir Madeni Sahaları.....	13
Şekil 4.1 Yüksek Fırın Kesiti ve Gerçekleşen Reaksiyonlar.....	23
Şekil 5.1 Peletlerin Tambur İçindeki Topaklanma Hareketleri.....	33
Şekil 5.2 Peletlerin Peletleme Diskindeki Hareket Bölgeleri.....	33
Şekil 5.3 Peletleme Diski.....	34
Şekil 6.1 A-B Kafa Maden Sahaları Cevher Üretimi ve Nakliye Sistemi.	44
Şekil 6.2 Sekonder-Tersiyer Kırma/Eleme Tesisi Akım Şeması.....	45
Şekil 6.3 4. Kademe –10 mm Kırma/Eleme Tesisi Akım Şeması.....	46
Şekil 6.4 Konsantrasyon Tesisi Akım Şeması.....	48
Şekil 6.5 Peletleme Tesisi Akım Şeması.....	50
Şekil 8.1 Manyetit Konsantresi Boyut Dağılım Eğrisi.....	61
Şekil 8.2 Kolemanit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.....	63
Şekil 8.3 Boraks Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.....	64
Şekil 8.4 Üleksit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.....	65
Şekil 8.5 Bentonit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.....	66
Şekil 8.6 Deneylerde Kullanılan Peletleme Diski.....	68
Şekil 8.7 Peletleme Diskinin Yakından Görünüşü.....	68
Şekil 8.8 Peletler.....	68
Şekil 8.9 Basma Dayanımı Test Cihazı.....	69
Şekil 8.10 Yüksek Sıcaklık Hidrojen Dilatometresi.....	70
Şekil 8.11 Civalı Porozite Test Cihazı.....	71
Şekil 9.1 Bentonit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	76
Şekil 9.2 Bentonit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	76
Şekil 9.3 Bentonit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.....	77
Şekil 9.4 Kolemanit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	78
Şekil 9.5 Kolemanit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	79
Şekil 9.6 Kolemanit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.....	80
Şekil 9.7 Üleksit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	81
Şekil 9.8 Üleksit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	82
Şekil 9.9 Üleksit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.....	83
Şekil 9.10 Boraks Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	84
Şekil 9.11 Boraks Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.....	85
Şekil 9.12 Boraks Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.....	86

“DEMİR KONSANTRELERİNİN PELETLENMESİNDE BOR MİNERALLERİ VE ATIKLARININ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI”

ÖZET

Yurdumuzda doğrudan yüksek fırına beslenebilecek kalitede (>% 50 Fe içerikli) parça demir cevheri rezervlerinin giderek azaldığı bilinen bir gerçektir. Düşük tenörlü demir cevherleri genellikle zenginleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra yüksek fırında kullanılabilir hale gelmektedir. Zenginleştirme işleminden sonra üretilen konsantreler yüksek fırına beslenmeden önce aglomerasyon işlemine tabi tutulurlar. Aglomerasyon işlemleri sinterleme, nodülleme, briketleme ve peletleme şeklinde olup toz demir cevherleri için en yaygın olarak kullanılan yöntem peletlemedir. Türkiye’de yüksek tenörlü demir cevherlerinin giderek azalmasına önlem olarak, halen Divriği’de toz demir cevherlerinin zenginleştirilmesine ve peletlenmesine yönelik tesisler mevcuttur.

Demir cevherlerinin ve konsantrelerinin peletlenmesinde farklı amaçlara yönelik olarak farklı bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bunlar arasında su, yağ, bentonit, sodyum ve potasyum silikatlar, sodyum, kalsiyum ve amonyum sülfonatlar, melas, çeşitli nişastalar, glikoz, tuzlar, sülfatlar, reçineler, katran, zamk, sodyum boratlar vs. sayılabilir.

Metal üretimi amacıyla demir cevherlerinin redükleyici ergitilmesinde ve sünger demir üretiminde, bor minerallerinin, bileşiklerinin ve atıklarının peletlemede kullanılması olanaklarının araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Sünger demir elektrik ark fırınları ile çelik üretiminde yüksek kaiteli hurdanın yerini tutabilecek uygunlukta bir şarj malzemesidir ve yaygın kullanımı da bu alandadır. Elektrik ark fırınlarından başka yüksek fırında demir hammaddesi olarak ve oksijen konverterinde soğutucu olarak hurda yerine kullanılmaktadır [1]. Bu çalışma kapsamında bor mineralleri ve bileşikleri hatta bor atıkları, demir cevherlerinin peletlenmesinde kullanılarak, pelet özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Açığa çıkan sonuçlar doğrultusunda borun demir cevherlerinin peletlenmesindeki etkisi irdelenmiş ve buna göre tesisler açısından önerilerde bulunulmuştur.

Bor minerallerinin ve bileşiklerinin önemli özelliklerinden biri bağlayıcılık özelliğidir. Bu özelliği sayesinde zengin Fe tenörlü tozların pelet, nodül, sinter vb. gibi yüzey küçültme işlemlerinde, borun kullanılabilme olanağı doğmaktadır.

Bu çalışmada, bor mineralleri ve bor atıkları, demir cevherlerinin peletlenmesinde kullanılmış ve Türk Standartları Enstitüsü’nün standartları baz alınarak, peletlere basma dayanımı, düşme, porozite, yığın yoğunluğu ve şişme testleri uygulanmıştır. Bor mineralleri, bor artığı ve sodyum bentonit kullanılarak aynı şartlarda peletler yapılmıştır. Değişen oranlarda bağlayıcı madde ilave edilerek optimum şartları sağlayan bağlayıcı yüzdesinin bulunmasına çalışılmıştır. Yapılan peletlerde bağlayıcı madde yüzdesinin pelet özelliğini ne şekilde etkilediği irdelenmiştir. Açığa çıkan sonuçlar doğrultusunda borun, demir cevherlerinin peletlenmesinde kullanımının pelet özellikleri ve ekonomik açıdan uygunluğu incelenerek, yapılan peletlerin sünger demir üretiminde kullanılması olanakları değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre tesisler açısından önerilerde bulunulmuştur. Doğal kaynaklarımızın (düşük tenörlü demir cevherleri, bor cevherleri, mineralleri ve atıkları) değerlendirilmesi ve dolayısıyla ülke ekonomisine yaratacağı katkı bu çalışmanın yapılma amacını tamamlayacaktır.

“THE INVESTIGATION OF USING BORON MINERALS AND BORON WASTES IN IRON CONCENTRATE PELLETIZATION”

SUMMARY

In our country, it's known that iron ore reserve which has enough quality for blast furnace usage is decreasing day by day. Usually low tenor iron ores are being ready after following some concentration operations. Some agglomeration operations are applied to concentrates. Mentioned agglomeration processes are sintering, nodulizing, bricketing and pelletizing and between these the widespread one is pelletizing. In Turkey with the aim of prevention of decreasing high tenor iron ore reserve, in Divriği there is a plant that produce pellets from powder iron ore concentrates.

Pelletization process needs binder and different binder take place in iron ore concentrate pelletization. Among these binders water, oil, sodium and potassium silicates, sodium, calcium and ammonium sulfonates, molasses, some kinds of starches, glucose, salts, sulfate, resins, tar, gum, sodium borates can be listed.

The subject of this study is the investigation of usage probabilities of boron minerals and wastes in iron ore reduction and sponge iron production. Sponge iron is convenient charge material for electric arc furnace and steel production as an alternative to high quality scrap iron and it is mostly used for this purpose. Separately in electric arc furnace usage also it is used in blast furnace as iron ore raw material and in oxygen converter like scrap. It was investigated boron minerals, boron components moreover boron wastes usage in iron ore pelletization and its effects on pellet characteristics. According to results, boron's influence on pelletization researched and some suggestions made by conclusion for plants.

For boron minerals and boron wastes, it can be said that most important characteristic of them is being fluxible. With the help of this feature, using boron is possible for agglomeration processes of rich iron ore granules, like pelletizing, sintering and nodulizing.

In this study, boron minerals and boron wastes used for iron ore pelletizing, and crushing strength, shatter index, porosity, bulk density and swelling index tests were applied to pellets according to Turkish Standards Institution and ASTM standards. Pellets were made of boron minerals, of boron wastes and of sodium bentonite under same conditions. By adding different amounts of binder, we tried to find out optimum binder quantity. The aim of this process is to see how binder percentage affects pellet characteristics. Boron usage in iron ore pelletizing and sponge iron production was investigated in terms of pellet characteristics and of financial concerns by using test results. Some suggestions based on these conclusions were made for pellet facilities.

This study will help make use of natural resources (such as low percentage iron ore, boron ores, minerals and wastes) and this, in turn, will provide Turkish economy with additional income.

1. GİRİŞ

Yurdumuzda doğrudan yüksek fırına beslenebilecek kalitede ($>50\%$ Fe içerikli) parça demir cevheri rezervlerinin giderek azaldığı bilinen bir gerçektir. Düşük tenörlü demir cevherleri genellikle zenginleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra yüksek fırında kullanılabilir hale gelmektedir. Zenginleştirme işleminden sonra üretilen konsantreler yüksek fırına beslenmeden önce aglomerasyon işlemine tabi tutulurlar. Aglomerasyon işlemleri sinterleme, nodülleme, briketleme ve peletleme şeklinde olup toz demir cevherleri için en yaygın olarak kullanılan yöntem peletlemedir. Türkiye’de yüksek tenörlü demir cevherlerinin giderek azalmasına önlem olarak, halen Divriği’de toz demir cevherlerinin zenginleştirilmesine ve peletlenmesine yönelik tesisler mevcuttur.

Demir cevherlerinin ve konsantrelerinin peletlenmesinde farklı amaçlara yönelik olarak farklı bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bunlar arasında su, yağ, bentonit, sodyum ve potasyum silikatlar, sodyum, kalsiyum ve amonyum sülfonatlar, melas, çeşitli nişastalar, glikoz, tuzlar, sülfatlar, reçineler, katran, zambak, sodyum boratlar vs. sayılabilir.

Geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan bordan, demir çelik sektöründe izabe işlemleri sırasında florit yerine curuf yapıcı, pota örtücü ve ergitmeyi hızlandırıcı olarak yararlanılmaktadır. Örneğin, Bazik Oksijen Fırını (BOF) teknolojisi ile çelik yapımında CaF_2 yerine kolemanit ilavesi, günümüzde patent altında (ABD Flinkote Company) uygulanan temel yöntemlerden biridir.

Metal üretimi amacıyla demir cevherlerinin redükleyici ergitilmesinde ve sünger demir üretiminde [1], bor minerallerinin, bileşiklerinin ve atıklarının peletlemede kullanılması olanaklarının araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Sünger demir elektrik ark fırınları ile çelik üretiminde yüksek kaliteli hürdanın yerini tutabilecek uygunlukta bir şarj malzemesidir ve yaygın kullanımı da bu alandadır. Elektrik ark fırınlarından başka yüksek fırında demir hammaddesi olarak ve oksijen konverterinde soğutucu olarak hurda yerine kullanılmaktadır [2]. Bu çalışma kapsamında bor mineralleri ve bileşikleri hatta bor atıkları, demir cevherlerinin

peletlenmesinde kullanılarak, pelet özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Açığa çıkan sonuçlar doğrultusunda borun demir cevherlerinin peletlenmesindeki etkisi irdelenmiş ve buna göre tesisler açısından önerilerde bulunulmuştur. Çeşitli normlardaki çeliklerde, tane inceltici ve yüzey sertleştirici olarak bor mineral ve bileşiklerinin kullanımı da oldukça yaygındır.

% 0,1 mertebelerinde ilave edilecek bor, çeliğin mukavemetini arttırmada kullanılan birçok alaşım metalinin yerini tutabilmektedir. Demir cevherinin yüksek fırında redükleyici ergitme ile sıvı pike dönüştürülmesinde, cevherden gangın curuflaştırılarak uzaklaştırılması geleneksel uygulamadır. Curuf yapma teknikleri, doğal gangın ve yakıttan gelen kirleticilerin yapısına göre flaks ilave etmeyi gerekli kılmaktadır. Demir çelik üretiminde genellikle bazik esaslı flaks ilaveleri yapılmakta olup, bazı bor mineral ve bileşiklerinin bazik karakterli olması da, demir çelik üretiminde flaks olarak bu mineral ve bileşiklerinin kullanılabilmesini gündeme getirmektedir. Halen bu tür uygulamalar, demir çelik sektöründe, hammadde bulunması halinde uygulanabilmektedir.

Bazı bor minerallerinin ve bileşiklerinin diğer bir önemli özelliği de yapıştırıcı etkisidir. Bu özelliği sayesinde zengin Fe tenörlü tozların pelet, nodül, vb. gibi yüzey küçültme işlemlerinde, borun kullanılabilme olanağı doğmaktadır.

Metal üretimi amacıyla demir cevherlerinin peletlenmesinde bor minerallerinin ve atıklarının kullanılma olanaklarının araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Çıkan sonuçların demir çelik endüstrisinde klasik uygulama yerine ikame edilmesi de konunun kapsamı dahilindedir. Açığa çıkan sonuçlar doğrultusunda borun demir cevherlerinin ergitilmesindeki etkisi irdelenerek, buna göre tesisler açısından önerilerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, demir konsantrelerinin peletlenmesi işleminde bor mineralleri ve atıkları kullanılarak yapılan peletlere bir takım testler uygulanmıştır. Bor minerallerinden kolemanit, üleksit ve boraksın; ülkemizde yaygın olarak bulunması ve yüksek fırın prosesi ve dolaylı olarak çelik kalitesi üzerinde olumlu etkileri olmasından dolayı çalışmada tercih edilmişlerdir. Bununla birlikte dünyada bir çok peletleme tesisinde ve ülkemizde Divriği Peletleme ve Konsantrasyon Tesisi'nde peletleme işleminde bağlayıcı olarak kullanılan bentonitle de peletler yapılmış, bor katkılı ve bentonit katkılı peletlerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Eklenen bağlayıcı maddenin miktarı da pelet kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle

değişen oranlarda bağlayıcı madde kullanılarak peletler yapılmış, bağlayıcı madde yüzdesinin pelet kalitesini ne şekilde etkilediği gözlenmiştir. Doğal kaynaklarımızın (düşük tenörlü demir cevherleri, bor cevherleri, mineralleri ve atıkları) değerlendirilmesi ve dolayısıyla ülke ekonomisine bulunacağı katkı açısından önemli bir çalışmadır.

2. DEMİR CEVHERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.1. Demir Cevherleri Tanımı ve Sınıflandırılması

Metaller arasında en çok kullanılan demir ve çelik günlük yaşantımızın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde demir, sanayinin temel hammaddesini oluşturmakta ve ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ülkelerin ekonomik gelişmişlik göstergeleri kişi başına düşen gayri safi milli hasılanın yanı sıra kişi başına düşen demir-çelik tüketimi ile de ölçülebilmektedir.

Geçmişte, yüksek fırında aranan özelliklere sahip demir cevheri doğrudan maden ocaklarında yapılan üretimle karşılanmıştır. Ancak sanayide demire olan gereksinimin hızla artması ve yüksek fırına doğrudan yüklenebilir özellikteki cevherin giderek azalması, düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır.

Demir çelik sektörünün ana hammaddesi demir cevheridir. Çelik sanayiinde kullanılan demir cevherlerinin harman tenörünün en az %57 Fe olması arzu edilmektedir. Demir elementinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir [3]. Tabiatta bulunan ve demir delik sanayiinde kullanılan demir cevheri mineralleri; manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)’tir. Bunların haricindeki bileşikler sülfürlü, sülfatlı ve karbonatlı bileşiklerdir. Bu bileşikler ön zenginleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra yüksek fırınlarda ve benzeri tesislerde kullanılırlar. Bunların başlıcaları; pirotin (FeS), pirit (FeS_2), markasit (FeS_2), melenterit (FeSO_4) ve siderit (FeCO_3) mineralleridir. Önemli demir cevheri mineralleri Tablo 2.2’de verilmiştir. [3]

Tablo 2.1 : Demir Elementinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri. [3]

Özellik	Değeri
Atom Numarası	26
Atom Ağırlığı	55.85
İyon Yarıçapı	$\text{Fe}^{+2} = 0.86 \text{ \AA}$ $\text{Fe}^{+3} = 0.73 \text{ \AA}$
Elektronegativite	$\text{Fe}^{+2} = 6.18$ $\text{Fe}^{+3} = 1.9 \text{ \AA}$
Ergime Noktası	1535 °C
Kaynama Noktası	2735°C
Elektrik İletkenliği	12.25
Isı İletkenliği	11.9
Yoğunluğu	7.83 gr/ cm ³

Tablo 2.2 : Önemli Demir Cevheri Mineralleri. [3]

Cinsi	Kimyasal Formülü	Maksimum Fe Tenörü(%)
Manyetit	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	72.40
Hematit	Fe_2O_3	69.64
Götüt	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.69
Limonit	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	62.30
Siderit	FeCO_3	48.00

Manyetit (Fe_3O_4) : Demir siyahı renginde, yağlı metal parlaklığında, porselen üzerinde siyah çizgi bırakan, gevrek yapılı, güçlü manyetik özelliğe sahip, elektriği çok iyi ileten bir mineraldir. Sertliği 5,5 ve yoğunluğu 4,9–5,2 gr/cm³ arasındadır. Saf haldeyken % 72,4 Fe ve % 27,6 O₂ içerir. Oksitleyici alevde manyetik özelliğini kaybederek spekülait'e dönüşür. Manyetit yüksek sıcaklıklarda oluşur ve tipik yüksek sıcaklık minerali olarak kabul edilir. Magma kayalarında yaygın olarak bulunur. [3]

Hematit (Fe_2O_3): Kırmızı renkli, mat, porselen üzerinde kırmızı ve kahverengimsi kırmızı bir renk bırakan, en çok rastlanan demir mineralidir. Yumuşak topraksı yada gözenekli biçimlerde gevrek yada sert biçimlere kadar çeşitli görünümde olabilir. Çelik grisi renkli, parlak metalik bloklu yada levhalı kristaller veren hematite “Spekülait (Olijist)” adı verilir. Paramanyetik bir mineral olan hematit safken % 69,94 Fe ve % 30,06 O₂ içerir. Sertliği 5-6, özgül ağırlığı 4,6–5,3 g/cm³ arasındadır.

Götüt ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$): En yaygın demir minerali olup sarımsı kahverenginden koyu kahverengiye kadar değişen renkte, mat ile elmas parlaklığında, bazı lifsel türlerde ipeğimsi, yarı saydam, çizgi rengi sarımsı kahverengidir. Sertliği 5–5,5 ve özgül ağırlığı 4,37 gr/cm³ (saf olmadığında 3,3 gr/cm³)’tür. Bileşiminde % 62,9 Fe, % 27 O₂ ve % 10,1 H₂O vardır. Götüt en yaygın demir mineralidir.

Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Koyu kahverengi ile siyah renkli, camsı parlaklıkta, çizgi rengi sarımsı kahverengi, yarı saydam amorf bir mineraldir. Sertliği 5-5,5, özgül ağırlığı 3,6–4 gr/cm³tür. Demir içeriği en çok % 62,3'tür. Çoğu kez hematitle, kil mineralleri ve manganez oksitlerle karışık haldedir.

Siderit (FeCO_3): Sarımsı beyaz ve bezelye rengine, mat, çizgi rengi beyaz yada açık gri, gevrek ve çok iyi dilinimi olan bir mineraldir. Sertliği 4–4,5, yoğunluğu 3,7–3,9 g/cm³ arasındadır. Saf siderit % 62.1 FeO ve % 37.9 CO₂ içerir. Demir içeriği ise % 48.2'dir.

Demir madenciliğinde kullanılan tanımları şu şekilde açıklayabiliriz: [3]

- **Tüvenan cevher:** Ocaktan doğal halde çıkarılmış ve hiçbir işleme tabi tutulmamış cevherdir.
- **Parça cevher:** Kırılıp elendikten sonra ayrılan 10-150 mm boyutları arasındaki cevherdir.
- **Toz cevher:** 0-10 mm boyutları arasındaki cevherdir.
- **Sinterlik cevher:** 0,15 mm elek altı en çok %10, 6,35 mm elek üstü en çok % 5 olan 0,15–6,35 mm boyutları arasındaki cevherdir.
- **Pelet:** Zenginleştirme amacı ile belirli boyuta öğütülmüş ve sinterlenemeyecek boyuttaki cevher konsantresinin aglomera edilerek 4-16 mm arasında boyutlandırılmış, belirli bir ısı işlem ile yüksek fırında kullanılabilecek dayanıma getirilmiş şeklidir.
- **Sinterlik konsantre cevher :** Zenginleştirilmiş 2-25 mm boyutlarında cevherdir.
- **Kalibre cevher:** 10-30 mm boyutlarındaki cevherdir.

2.2. Dünya Demir Cevheri Rezervleri

Dünyadaki önemli demir cevheri rezervleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Dünya demir cevherleri ticaretinde; Avrupa Topluluğu Ülkeleri, ABD, Japonya, Güney Afrika, Avustralya gibi ülkelerin önemli payı bulunmaktadır. İhracatçı ülkelerin başında Avustralya, Brezilya, Kanada, İsveç, Liberya, Güney Afrika ve Venezüella ithalatta ise; Japonya ve Avrupa Topluluğu Ülkeleri ilk sırada yer almaktadır. [3]

Tablo 2.3. Dünyadaki Demir Cevheri Rezervleri (x 10⁶ ton). [4]

Ülkeler	Tüvenan cevher		Demir içeriği	
	Rezerv	Baz rezerv	Rezerv	Baz rezerv
ABD	16.000	25.000	3.800	6.000
Avustralya	18.000	32.200	11.300	20.100
Brezilya	11.000	17.000	6.500	10.000
Kanada	12.000	26.000	4.600	10.000
Çin H.C.	25.000	49.700	7.500	14.900
Hindistan	5.400	12.000	3.300	6.300
Kazakistan	7.600	9.300	2.800	3.500
Liberya	900	1.600	500	800
Moritanya	400	700	200	300
Rusya	34.300	42.000	12.700	15.600
Güney Afrika	4.000	9.300	2.500	5.900
İsveç	3.000	4.600	1.600	2.400
Ukrayna	21.800	27.000	8.000	10.000
Diğer	7.400	16.000	2.300	6.300
TOPLAM	167.000	272.000	68.000	112.000

2.3. Dünya Demir Cevheri Üretimi

Dünyada 50 kadar ülkede demir cevheri üretimi yapılmaktadır. Çin, Avustralya, Brezilya, Rusya ve Hindistan dünya demir cevheri üretiminin yaklaşık % 70'ini gerçekleştirmektedir. Çin yaklaşık 50 milyon ton yüksek tenörlü demir cevheri yanı sıra 250 milyon ton da düşük tenörlü demir cevheri üretimi yapmaktadır. Dünyadaki demir cevheri üretimi Tablo 2.4'te verilmiştir. [3]

Tablo 2.4. Dünya Demir Cevheri Üretimi (x 10³ ton). [5]

ÜLKELER	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
İsveç	19277	19727	19909	21663	21228	21893	22.000
Rusya	82100	76143	73259	78348	72136	69906	70.000
Ukrayna	75689	65335	51464	50741	47745	52541	50.000
Kanada	32743	34792	37710	37629	37042	37313	37.000
ABD	54913	55661	58382	62645	62132	63000	62.000
Brezilya	145820	149970	167810	178380	179870	187950	180.000
Venezuela	18431	17126	18216	19425	18720	18660	19.000
Moritanya	8262	9565	10443	11330	11400	11700	12.000
Güney Afrika	28226	29385	32321	32650	30830	33230	33.000
Çin	240292	270091	294030	299181	147200	318704	240.000
Hindistan	54872	55820	58390	62000	67264	69400	65.000
Avustralya	113097	121429	128662	139067	147200	160889	155.000
Türkiye	4825	5070	5079	5510	5150	4800	4.900
DÜNYA TOPLAMI					1.020.00	1.030.00	1.020.00

2.4. Demir Cevheri Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Dünyada demir cevheri üretimi genellikle açık maden işletmeciliği yöntemi ile yapılmaktadır. İsveç'te yıllık üretimi ortalama 20 milyon ton olan Kiruna'da üretim yer altı üretim yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.

Üretilen cevherin bir bölümü cevher hazırlama tesislerinde zenginleştirilmekte, zenginleştirme sonrası sinter ya da pelet üretilerek yüksek fırınlarda kullanılabilir hale getirilmektedir. Üretilen cevherin bir bölümü de üretildiği gibi yüksek fırın ya da çelikhanelerde direk olarak kullanılabilir. Üretilen demir cevheri ve peletin bir bölümünden de, değişik yöntemler ile indirgenerek hurda amacı ile kullanılan sünger demir elde edilmektedir.

2.5. Dünya Pelet Üretimi

Dünyadaki pelet tesisleri ve tesislerin ton bazında üretim kapasiteleri Tablo 2.5 'te verilmiştir. [2]

Tablo 2.5. Dünyadaki Pelet Tesisleri ve Üretim Kapasiteleri (x 10⁶ ton). [5]

BÖLGELER	KAPASİTE
KUZEY AMERİKA	
Kanada	27.3
Mexico	13.7
ABD	65.9
TOPLAM	106.9
GÜNEY AMERİKA	
Arjantin	2.0
Brezilya	37.3
Şili	4.4
Peru	3.4
Venezuela	9.9
TOPLAM	57.1
AVRUPA	
Belçika	0.7
Hollanda	3.8
Norveç	1.4
Rusya	34.0
İsveç	16.4
Türkiye	1.0
Ukrayna	32.0
TOPLAM	89.3
AFRİKA	
Liberya	3.0
Güney Afrika	0.6
TOPLAM	3.6
ASYA	
Bahreyn	4.0
Çin	20.0
Hindistan	8.2
İran	9.0
Japonya	3.0
Kazakistan	8.4
TOPLAM	44.5
AVUSTRALYA	
Avustralya	4.0
TOPLAM	4.0
DÜNYA TOPLAMI	305.3

2.6. Demir Cevheri Üretim Standartları

Yüksek fırına beslenecek cevherin kalitesi; cevherin bulunabilirliğine, fırının özelliklerine, üretilcek pik ya da çeliğin kullanım amacına göre tüketiciler tarafından belirlenir. Genel olarak cevherin yüksek Fe içermesi, silis, kükürt, alkali, titan, fosfat gibi safsızlıkları içermemesi ya da kabul edilebilir oranlarda düşük

olması istenmektedir. Dünyada önemli üreticilerin cevher özellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir. [3]

Tablo 2.6 : Dünyada Önemli Üreticilerin Ürettikleri Cevher Özellikleri.

Üretici	Cevher	% Fe	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% S	% P
Hamersley	Parça	64	5	2	0.05	0.06
	Toz	64	5	2	0.06	0.07
Mt Newman	Parça	64	5	2	0.06	0.07
	Toz	62	7	3	0.06	0.07
Goldsworthy	Parça	64	5	2	0.04	0.06
	Toz	62	7.5	2.5	0.04	0.07
Robe River	Toz	56.5	6	3	0.05	0.07
Savage River	Pelet	67.5	3	0.5	0.05	0.03
CVR, Itabiria	Parça	66	5		0.08	0.03
	Sinter	64.5	6	1.5	0.07	0.05
CVR, Carajas	Parça	66.5	1	1.5	0.02	0.065
	Toz	65	1.7	1.7	0.02	0.06
Nibrasco	Pelet	64.5	3.5	1	0.03	0.04
MBR	Parça	66	1	1.5	0.05	0.01
	Sinter toz	66	1.5	1.5	0.05	0.01
	Pelet toz	68	1.2	1.5	0.05	1.01
İscor	Parça	66	4.5	2.5	0.025	0.07
	Toz	65	6	2.5	0.055	0.07

2.7. Dünya Çelik Üretimi

Dünyada çelik üretiminde önde gelen ülkeler ve üretim rakamları Tablo 2.7'de verilmektedir. [3]

Tablo 2.7 : Dünyada En Çok Sıvı Çelik Üreten Ülkeler (x 10⁶ ton).

ÜLKELER	1995	1996	1997	1998
ÇİN HALK CUM.	95.3	101.2	107.5	114.0
JAPONYA	101.7	98.8	104.5	93.5
ABD	95.2	94.6	96.7	97.4
RUSYA	51.6	49.2	46.9	41.7

3. TÜRKİYE’DE DEMİR CEVHERİ MADENCİLİĞİ

Türkiye'deki en önemli demir cevheri yatakları ERDEMİR MADENCİLİK A.Ş. tarafından işletilen A ve B Kafa yatakları olup, 1998 yılı sonu itibariyle bu yatakların rezervi 46 milyon, işletilebilir rezervi ise 42 milyon ton civarındadır. Türkiye Cumhuriyetinin ilk dönemlerinde demir cevheri üretimi, Karabük Demir ve Çelik Fabrikası’nın kurulması ile başlamıştır. Divriği Demir Yatakları M.T.A. Enstitüsü tarafından 1937 yılında bulunmuş ve 1938 yılından itibaren üretime geçilmiştir. Bu tarihten sonra demir cevheri üretimi demir ve çelik tesislerinin gereksinimine paralel olarak artmış, günümüze kadar bu tesislerin hammadde gereksinimlerinin önemli bir bölümünü karşılamıştır.

3.1. Türkiye’de Demir Cevheri Üretimi

1985 yılında Türkiye’nin ilk demir cevheri zenginleştirme, 1986 yılında da Pelet tesisi devreye alınmıştır. Bu tesislerde 1985 yılından bu yana yaklaşık %55-56 Fe tenörlü manyetit demir cevheri zenginleştirilerek, sinter tesisleri için % 63 Fe tenörlü sinterlik konsantre, yüksek fırınlar için de % 67 Fe tenörlü pelet üretilmektedir.

Divriği B Kafa demir cevheri yatağından, demir-çelik fabrikalarının gereksinimleri doğrultusunda yılda ortalama 500.000 ton civarında %56-58 Fe tenörlü hematit demir cevheri üretilerek entegre tesislere sevk edilmektedir. [3]

3.2. Türkiye Demir Cevheri Rezervleri

Türkiye'deki en önemli demir cevheri yatakları ERDEMİR MADENCİLİK A.Ş. tarafından işletilen A ve B Kafa yatakları olup, 1998 yılı sonu itibariyle bu yatakların rezervi 46×10^6 , işletilebilir rezervi ise 42×10^6 ton civarındadır. [6]

Demir cevheri üretimi Karabük Demir ve Çelik Fabrikası’nın kurulması ile başlamıştır. Divriği Demir Yatakları M.T.A. Enstitüsü tarafından 1937 yılında bulunmuş ve 1938 yılından itibaren üretime geçilmiştir. Bu tarihten sonra demir cevheri üretimi demir ve çelik tesislerinin gereksinimine paralel olarak artmış, bu tesislerin hammadde gereksinimlerinin önemli bir bölümünü karşılamıştır.

Demir cevheri üretimimizin yaklaşık 2 milyon tonu ERDEMİR MADENCİLİK A.Ş.'nin sahip olduğu tesislerde zenginleştirilmekte bu tesislerden yılda yaklaşık 1×10^6 ton civarında pelet, 700×10^3 ton sinterlik konsantre ve ayrıca C plaseri ve B kafa tozlarından da 300×10^3 ton sinterlik konsantre üretilmektedir.

Ülkemizde silis, kükürt, bakır, karbonat, alümina, titan, fosfor ve arsenik içeren ve sektörde maliyeti, kaliteyi ve üretimi doğrudan etkileyen sorunlu demir cevheri yatakları da mevcuttur. Demir tenörleri % 20-54 arasında olan bu yataklar Malatya-Sivas-Erzincan-Bingöl, Kayseri-Kahramanmaraş, Balıkesir-Aydın, Ankara-Kırşehir bölgelerinde yer almaktadır. Bu sorunlu yatlardan % Fe'si 39, % Mn'si 4 olan Malatya-Hekimhan siderit cevherinden yılda $500-600 \times 10^3$ ton üretilerek özellikle İsdemir'de % 20 oranlarında sinter harmanında kullanılmaktadır.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün yaptığı arama çalışmaları sonucunda ülkemizde belirlenen 900 civarında demir oluşumunun büyük bir kısmı Sivas, Kayseri, Malatya, Erzincan, Adana, Ankara, Balıkesir ve Sakarya illerinde yer almaktadır. Divriği, Hasan Çelebi, Deveci, Çamdağ, Bizmişen, Avnik ve Attepe gibi önemli demir yatakları Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü çalışmaları sonucunda bulunmuş ve geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonrası belirlenen demir cevheri rezervleri demir çelik fabrikalarının kullanımları esas alınarak 3 grupta toplanmıştır:

3.2.1. İşletilebilir demir cevheri rezervleri

Bugüne kadar hemen hepsinde belirli düzeyde sınırlı arama çalışmaları ve üretim yapılmış yataklardır. Cevher tenörleri %51-62 Fe arasında değişmektedir. 23 adet yatağın bulunduğu zamanki rezervleri 137×10^6 ton civarındadır. Şekil 3.1'de Türkiye demir madeni sahaları, Tablo 3.1'de işletilebilir demir cevheri rezervlerimiz görülmektedir. [3]



Şekil 3.1 : Türkiye Demir Madeni Sahaları . [7]

Tablo 3.1 : Türkiye İşletilebilir Demir Cevheri Rezervleri. [6]

YATAK ADI	İLİ- İLÇESİ	REZERV (1000 TON)				TENÖR (%Fe)	BULUNUŞ REZERVİ
		GÖR.	MUHT.	TOP.	İŞL.		
A Kafa	Sivas- Divriği	41 000	-	41 000	41 000	54	79 900
B Kafa	Sivas-Divriği	10 000	-	10 000	10 000	56	31 500
Dumluca	Sivas-Divriği	200	-	200	200	57	7 800
Purunsur	Sivas-Divriği	100	1 800	1900	100	55	1 945
Taşlıktepe	Sivas-Divriği	60	300	360	60	62	360
Otlukilise	Sivas-Divriği	1420	1000	2420	1300	54	12 500
*Çetinkaya	Sivas-Kangal	3500	-	3500	3500	54	8 000
Attepe	Adana-Feke	10 000	-	10 000	10 000	57	34 000
*Karamadazi	Kayseri-Yahyali	800	1 000	1800	300	51	3 000
Kesikköprü	Ankara-Bala	2 000	1 000	3 000	2 000	54	9000
*Büyükeymir	Balikesir-Havran	3690	5 400	9090	340	53	7 650
Şanlı	Balikesir-Sanlı	684	257	941	543	58	1 000
Tacin	Kayseri-Pinarbaşı	70	100	170	70	51	250
Kızıl+Menteş	Kayseri	-	-	-	-	-	3 670
Karaçati	Yahyali	9480	15 000	24 480	2 500	54	-
Koruyeri	Kayseri-Yahyali	7 000	-	7000	7 000	52	8 000
Yenigireği	Adana-Karaisali	40	100	140	40	57	600
Elmadağ	Adana	1 000	400	1 400	1 000	53	1 400
Ayigediği	Kayseri-Yahyali	590	300	890	590	54	1 100
Uyuzpinar	Adana-Feke	236	-	236	236	58	236
Sirzi	Malatya-Hekimhan	275	-	275	275	49	275
Deveci	Malatya-Hekimhan	48 000	-	48 000	48 000	38	88 000
Ekinbaşı	Sivas-Divriği	9 700	2 300	12 000	8 000	55	12 000
TOPLAM		149.845	28.957	178.802	137.54	54	312.186

3.2.2. Sorunlu demir cevheri rezervleri

Bu tür yatakların arama çalışmaları yapılmış ve görünür+muhtemel rezerv potansiyeli belirlenmiş, ancak entegre tesislerin istemedikleri bazı safsızlıkları içermesi nedeniyle yataklar belirli dönemlerde kısmen işletilmiştir. Tablo 3.2’de sorunlu demir cevheri rezervlerimiz verilmiştir. [3]

3.2.3. Potansiyel demir cevheri rezervleri

Ülkemizde yeteri kadar arama faaliyetleri yapılmamış 27 adet sahada toplam yaklaşık 320×10^6 ton potansiyel rezerv belirlenmiştir. Bu yatakların tenörleri %14-52

Fe arasında değişmektedir. Bu yatakların hemen hemen tamamı entegre tesislerin kabul edemeyeceği sınırlar içerisinde safsızlıklar içermektedir. Kesin olarak cevher rezervi belirlenip teknolojik sorunları özölmeden işletilmeleri mümkün değildir.

Türkiye demir cevheri oluşum ve yatakların genel dağılımına bakıldığında coğrafik dağılım yönünden; Kayseri–Adana, Balıkesir–Kütahya, Sivas-Malatya ve Kırşehir-Yozgat bölgelerinde, metal demir içerik dağılımları yönünden ise Hekimhan ve Divriği Havzalarında yoğunlaşmalar görölmektedir. Potansiyel demir cevheri rezervlerimiz Tablo 3.3’te verilmiştir. [3]

Tablo 3.2 : Türkiye Sorunlu Demir Cevher Rezervleri. [6]

YATAK ADI İLİ- İLÇESİ		REZERV (1000 TON)				AÇIKLAMA	BULU NUŞ REZER Vİ
		GÖR.	MUHTEMEL + MÜMKÜN	TOP.	%Fe		
Çavdar	Aydın- Söke	2 800	9 200	12 000	42.00	***	12 000
Kesikköprü	Ankara- Bala	1 800	-	1 800	44.52	*(SiO ₂ ve S)	1 800
Ayazmant	Balikesir- Ayvalık	5 600	-	5 600	52.00	*(Cu)	7 000
Beritdağ	K.Maraş- Göksun	150	-	150	52.00	**	150
Uzunpınar	Kayseri- Pınarbaşı	900	600	1 500	50.00	*(SiO ₂)	4 000
Çamdağ-1	Sakarya- Karasu	1 300	20 000	21 300	37.00	*(SiO ₂)	30 000
Çamdağ-2	Sakarya- Karasu	1 500	77 500	79 000	18.38	*(CaCO ₃)	79 000
Otlukilise	Sivas- Gürün	34 000	-	34 000	31.76	*SiO ₂ -Al ₂ O ₃ - ***	34 000
Hasançelebi	Malatya- Hekimhan	160 000	525 000	685 000	19.00	*(TiO ₂)-***	685 000
Avnik	Bingöl- Genç	35 000	5 000	40 000	43.65	*(P ₂ O ₅)	40 000
Çetinkaya	Sivas- Kangal	500	-	500	54.00	***	6 200
Bizmişen	Erzincan- Kemaliye	14 000	7 500	21 500	53.00	*(S)-***	21 500
B.Eymir	Balikesir- Havran	3 350	-	3 350	53.00	*(As)	3 350
Karamadai	Kayseri- Yahyalı	500	-	500	51.00	***	3 400
Karakuz	Malatya- Hekimhan	1 500	16 000	17 500	41.08	*(SiO ₂ -Al ₂ O ₃)	15 000
	TOPLAM	262.900	660.800	923.700			942 400

*safsızlık sorunu. ** dekapaj sorunu. *** düşük tenörlü .

Tablo 3.3 : Türkiye Potansiyel Demir Cevher Rezervleri. [6]

YATAK ADI	İLİ VE İLÇESİ	REZERV (1000 TON)				AÇIKLAMA
		GÖRÜNÜR	MUHTEMEL+MÜMKÜN	TOPLAM	%Fe	
Sultandere	Afyon-Çay	-	465	465	50.40	**
Pinarbaşı	Adiyaman-Çelikhan	-	31 000	31 000	28.56	*(P ₂ O ₅)
Kuşçayırı	Çanakkale-Merkez	-	430	430	35.00	*(Al ₂ O ₃ ve SiO ₂)
Örendüzü	İçel-Gülpınar	-	11 000	11 000	35.00	** - ***
Hortuna	İzmir-Torbalı	-	2 000	2 000	45.80	*(As)
Nergele	K.Maraş-Elbistan	-	4 000	4 000	52.00	*(As)
Cakcak Dere	K.Maraş-Elbistan	-	1 200	1 200	40.00	*(SiO ₂)
Payas	Hatay-İskenderun	6 000	62 000	68 000	35.00	*(Al ₂ O ₃ veSiO ₂)
Kastal	Hatay-Kirikhan	2 000	4 000	6 000	33.76	*(Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -TiO ₂)-***
Cabbaradağı	G.Antep-İslahiye	-	10 000	10 000	30.00	*(Al ₂ O ₃ ve SiO ₂) - ***
Korudağ	G.Antep-İslahiye	-	80 000	80 000	30.00	*(Al ₂ O ₃ ve SiO ₂) - ***
Kureci	Kütahya-Emet	20	620	640	42.00	*(SiO ₂)
Çatak	Kütahya-Emet	-	1 900	1 900	50.00	*(S)
Karaağil	Kütahya-Emet	-	2 000	2 000	48.80	*(PbS ve Zn)
Güncek	Kütahya-Simav	-	140	140	40.00	**
Kalkan	Kütahyasimav	-	500	500	50.00	*(S ve SiO ₂)
Dişbudak	Sivas-Divriği	-	300	300	41.41	*(SiO ₂)-***
Kizildağ	Sivas-Divriği	-	240	240	28.50	*(SiO ₂ ve S)-***
Kurudere	Sivas-Div.Calti	20	100	120	50.00	*(S)
Yellice	Sivas-Divriği	-	125 000	125 000	19.00	***
Uzunkuyu	Yozgat-Sarikaya	-	6 600	6 600	14.20	** - ***
Atkayasi	Yozgat-Sarikaya	-	380	380	22.00	** - ***
Karabacak	Yozgat-Sarikaya	-	4 500	4 500	30.00	** - ***
Yılanpınar	Yozgat-Sorgun		30 000	30 000	20.00	** - ***
Battallar	Yozgat-Sorgun		13 000	13 000	20.00	** - ***
İnüstü	Yozgat-Sorgun		42 000	42 000	20.00	** - ***
Karaçam	Eskişehir-.His	400	1 750	2 150	45.00	*(Ni-As)
Toplam		8 440	435 125	443 565	23.98	

* safsızlık sorunu. ** dekapaj sorunu. *** düşük tenörlü

3.3. Türkiye Demir Çelik Tesisleri

Ülkemizde sıvı çelik, entegre tesislerde ve ark ocaklarında üretilmektedir. Türkiye’de üretilen demir cevheri Karabük, İskenderun ve Ereğli’de kurulmuş üç entegre demir cevheri tesisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde sıvı çelik üretimi bu tesislerde ve ark ocaklarında yapılmaktadır. Entegre tesisler demir cevheri, ark ocakları da ithal hurda demir kullanılmaktadırlar. Ülkenin toplam 19.8 milyon ton sıvı çelik üretim kapasitesinin % 71.3’ü ark ocaklarına aittir. Ülkemizin demir-çelik tesislerinin kapasitesi Tablo 3.4’te, sıvı çelik üretimi değerleri ise Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.4 : Demir-Çelik Tesislerinin Kapasiteleri.

Üretim tesisi	Kapasitesi (x 10 ³ ton)	Kapasite (%)
Kardemir	700	3.5
İsdemir	2.200	11.1
Erdemir	2.900	14.1
TOPLAM ENTEGRE TESİSLER	5.800	29.1
Ark ocakları	14.100	70.9
GENEL TOPLAM	19.900	100.0

Tablo 3.5 : Türkiye’de Sıvı Çelik Üretimleri (x 10³ ton). [9]

TESİSLER	1996	1997	1998	1999*
Kardemir	718	724	660	571
İsdemir	1.848	1.921	1.951	1.714
Erdemir	2.459	2.711	2.545	2.385
Ark ocakları	8.337	8.918	8.992	8.453
TOPLAM	13.362	14.274	14.148	13.124

* İlk 11 aylık üretim değerleri

Entegre demir-çelik tesislerinde kullanılan demir cevherinin fiziksel ve kimyasal özellikleri; cevherin bulunabilirliğiyle, maliyetiyle, tesiste kullanılan üretim teknolojileriyle ve elde edilecek çelikte aranan özelliklerle yakından ilişkilidir. Erdemir tesislerinde kullanılan demir cevherlerinin kimyasal özellikleri ve teknolojik testler Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de, 1993-1998 yılları arasında Erdemir tarafından satın alınan yerli demir cevherlerinin kimyasal yapıları ise Tablo 3.8’de gösterilmiştir. [8]

Tablo 3.6 : Erdemir'in Demir Cevheri Şarj Harmanlarında Aradığı Kimyasal Özellikler.

ELEMENT	Doğrudan Şarjlık (%)	Sinterlik (%)
Fe	64.00	62.00
SiO ₂ (Max)	5.00	5.00
Al ₂ O ₃ (Max)	1.00	1.50
CaO+MgO (Max)	1.00	1.00
S (Max)	0.02	0.02
K ₂ O+Na ₂ O (Max)	0.10	0.10
As (Max)	0.01	0.01
Mn	1.50	5.00
Cu (Max)	0.01	0.01
P (Max)	0.06	0.06
Zn (Max)	0.01	0.01
Cr (Max)	0.05	0.05
Ni (Max)	0.01	0.01
Pb (Max)	0.01	0.01

Tablo 3.7 : Erdemir’de Kullanılan Yerli Demir Cevherlerinin Teknolojik Test Özellikleri. [8]

OCAK ADI	CEVHERİN MİNEROLOJİK YAPISI	İNDİRGE ME DEĞERİ %	POROZİTE %	CEVHERİN YOĞUNLUĞU (ton/m ³)		ASTM Tambur Test Sonuçları (%)		
				Gerçek Yoğunluk	Görünür Yoğunluk	Aşınma veya Mukavemet indeksi (+6,3mm)	+30 Mesh	-30 Mesh
STANDART		ISO DP 7992	ASTM C 373-372			ASTM 279	ASTM E 276-389	
ALACAHAN	Hematit + Spekularit	94.00	17.00	3.80	3.10	83.32	6.30	10.38
ÇETİNKAYA	Hematit	88.00	26.70	4.26	3.12	85.38	5.22	9.40
OTLUKİLİSE	Hematit + Limonit	92.00	33.00	3.95	2.70	79.71	7.42	12.87
DEVECİ	Hematit	86.00	24.00	3.55	2.68	76.62	7.48	15.90
MENTEŞ	Hematit	100.00	23.89	3.49	2.67	83.36	7.26	9.38
BİZMİŞEN	Hematit + Manyetit	82.00	20.31	4.27	3.40	83.71	6.27	10.02
ŞAMLI	Manyetit	54.00	4.88	4.58	4.36	84.24	6.76	9.00

Tablo 3.8: 1993-1998 Yılları Arasında Erdemir Tarafından Satın Alınan Yerli Demir Cevherlerinin Kimyasal Yapıları. [8]

YATAK	TON	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	S	CaO+ MgO	Cu	Na ₂ O+ K ₂ O	Zn	Nem %
BİZMİŞEN	83.112	53.32	9.5	0.04	2.59	1.08	0.07	1.25	0.07	0.42	0.08	9.7
B.EĞMİR	357.734	52.60	16.2	0.15	1.51	0.02	0.21	0.28	0.01	0.09	0.00	6.78
DEVECİ	790.469	50.79	6.21	0.01	1.20	5.68	0.00	1.91	0.04	0.26	0.04	14.83
HASANÇELEBİ	11.551	49.44	4.82	0.01	1.19	5.11	0.01	4.9	0.03	0.22	0.16	14.43
MENTEŞ	647.405	55.63	6.74	0.02	0.63	1.08	0.01	1.08	0.00	0.17	0.00	9.84
OTLUKİLİSE	317.840	53.58	7.45	0.05	1.63	1.45	0.03	1.24	0.04	0.34	0.07	10.89
ŞAMLI	150.730	59.07	7.79	0.03	1.13	0.18	0.75	4.07	0.56	0.13	0.03	2.06
ŞIRZI	16.040	49.79	4.80	0.01	1.07	4.82	0.01	4.37	0.01	0.11	0.12	11.96
TOP.ORT.	2.374.881	53.36	8.22	0.04	1.19	2.49	0.09	1.50	0.06	0.22	0.03	10.72

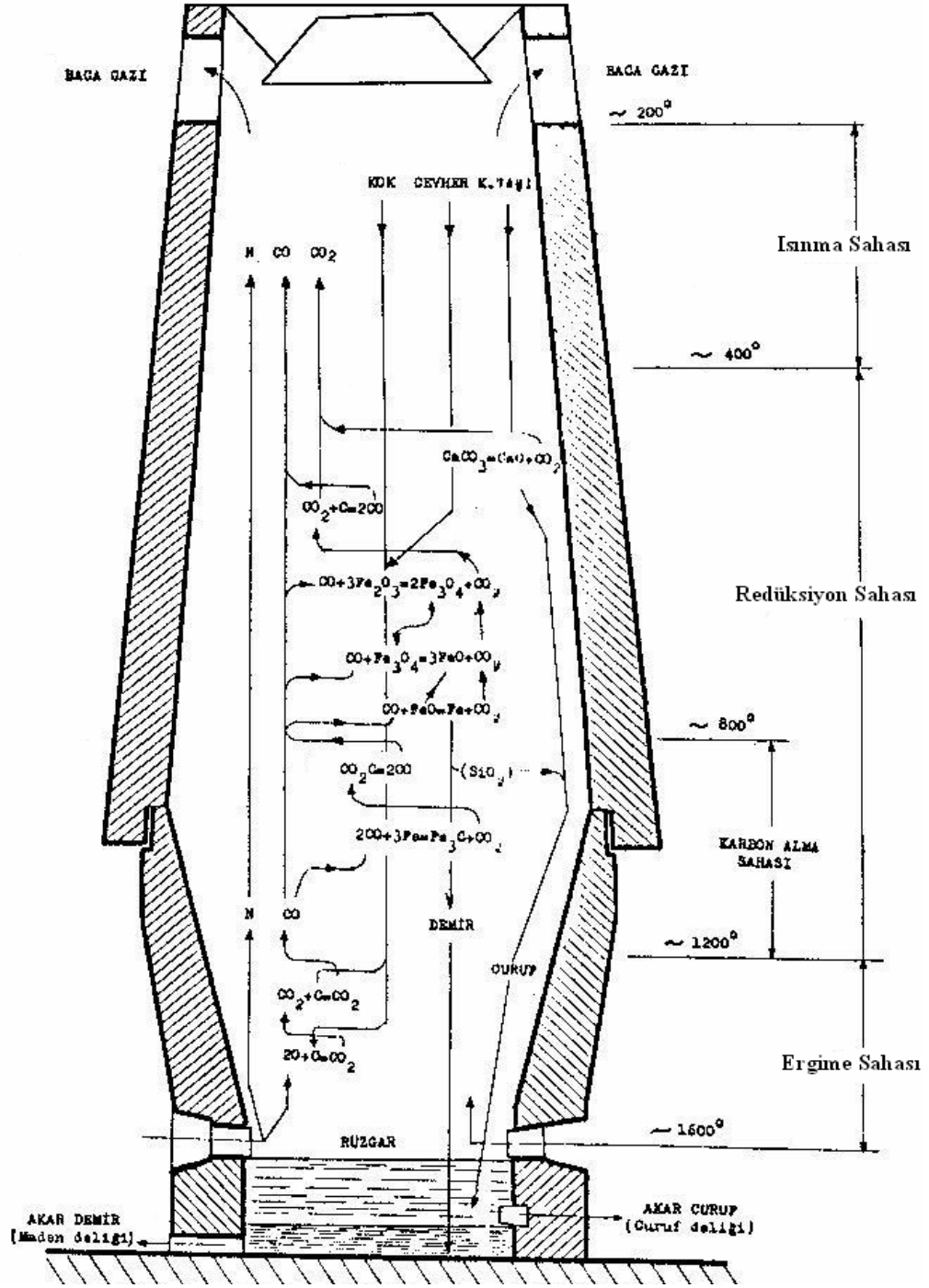
4. DEMİR CEVHERLERİNİN YÜKSEK FIRINLARDA KULLANIMI VE YÜKSEK FIRIN TEKNOLOJİSİ

4.1. Yüksek Fırın ve Çalışma Prosesi

Yüksek fırın 20–30 m yüksekliğinde, içi ateşe ve eriyen maddelerin etkilerine dayanabilen tuğlalarla örülmüş ve tersine kapatılmış iki kesik koni şekline benzeyen fırın olarak tarif edilebileceği gibi; üst kısmında oksit cevherler, flaks malzeme ve kok şarj edilen, refrakter tuğlalı basınç odası şeklinde de tanımlanabilir. Fırına yüklenen malzeme yukarıdan aşağıya indikçe ısı nedeniyle genişleyeceğinden, fırın gövdesi aşağı doğru genişleyecek şekilde yapılmıştır. Şekil 4.1’de yüksek fırın kesiti ve yüksek fırında gerçekleşen reaksiyonlar gösterilmiştir.

Yüksek fırınların iç hacmi genellikle 250–850 m³ arasında olmaktadır. Ortalama olarak 1 m² fırın hacmi için 24 saatte 0.5–1.4 ton ham demir elde edilmektedir. 1 ton ham demir elde etmek için, ortalama olarak 450–650 kg civarında kok ilave etmek gerekmektedir. 1 ton kokun yanması için ocağa verilen hava yaklaşık 3000 m³’tür. [9] Yüksek fırında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.





Şekil 4.1 : Yüksek Fırın Kesiti ve Gerçekleşen Reaksiyonlar. [10]

4.2. Yüksek Fırındaki Reaksiyonlar ve Ergime

Yüksek fırına demir okist halinde giren cevher, yüksek ısı karşısında oksijen ve demire ayrılarak, oksijeni karbonla birleşip CO ve CO₂ gazı halinde yükselir. Demir de ergimiş olarak altta toplanır. Yüksek fırında redüsiyonun tam olabilmesi, yani cevherdeki oksijenin tamamının ayrılabilmesi için, ocağa gerekli olan miktardan fazla karbon ilave edilir. Bu şekilde arta kalan bir kısım karbonda erimiş haldeki madene karışır.

Fırına alttan giren hava ve ocak içinde ayrılan gazlar yukarı yükseldikçe reaksiyon değiştiğinden, fırın içindeki reaksiyon sahalarını da alttan yukarı doğru ayırmak daha uygun olacaktır.

4.2.1. Ergime Sahası :

Fırın, alt hava püskürtme deliklerinden giren sıcak havanın yardımı ile yanan karbonun ısısı aşağı ininceye kadar redüsiyon ile demir (Fe) ve demir karbürü (Fe₃C) haline geçen madeni ve cevherden ayrılarak katık malzeme ile birleşen kalsiyum silikatu (2CaO.SiO₂) eriterek akar hale getirir. Erimenin olduğu bu kısma “Ergime Sahası” adı verilir. Bu kısmın sıcaklığı ortalama olarak 1700 °C’dir.

4.2.2. Karbon Alma Sahası :

Redüsiyon sahasında cevherin ayrışması ile oluşan demirin bir kısmı bu safhada aşağıdan yukarı doğru yükselen CO gazı ile birleşerek;



demir karbür (Fe₃C) haline geçer ve birleşme denkleminde de görüldüğü gibi CO gazı ayrışır. Demirin karbon ile birleşmesinden dolayı bu sahaya da “Karbon Alma Sahası“ adı verilir. Karbon alma sahasının ortalama ısı derecesi 1200°C’dir.

4.2.3. Redüsiyon Sahası :

Yukarıdan aşağıya ısınarak redüsiyon sahasına giren cevher reaksiyona girer. Isı derecesi 500–900°C olan bu bölgedeki reaksiyonu şu denklemler ile ifade etmek mümkündür.





Redüksiyon sahasında cevherden CO vasıtası ile ayrılan demir katı haldedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, karbon alma sahasından geçip erime sahasına girdikten sonra oradaki yüksek ısı derecesi ile akar hale gelir. Yukarıdaki denklemlerde ayrılan CO₂ gazları, üst tabakadaki gazların arasından geçerken tekrar karbon (C) olarak, karbonmonoksit (CO) gazı haline geçer.

Ocağa verilen kireç taşı da bu sahanın ısısı ile yanmış kireç (CaO) ve karbondioksit (CO₂) gazına ayrışır. Bununla birlikte cevherle bulunan silis (SiO₂), bu sahada ayrılan demirle beraber o da serbest kalıp kalsiyum oksit (CaO) ile birleşerek aşağı iner.



4.2.4. Isınma Sahası :

Isı derecesi 200–500°C arasında olan bu sahada, aşağıdan sıcak halde yükselen CO, CO₂ ve havanın azot gazı ile ocağa doldurulan cevher, kömür, katık malzeme ile birlikte ısınma devresi geçirir. [10]

4.3. Yüksek Fırında Demir Cevherinin Redüksiyonu

Yüksek fırında redüksiyon iki çeşit olur.

4.3.1. Direkt Redüksiyon :

Fırının durak kısmında gerçekleşen kızgın karbon ile demir oksidin doğru birleşmesidir. Bu birleşme aşağıda belirtilen denklemlerle ifade edilebilir.



4.3.2. İndirekt Redüksiyon :

Aşağıdan yükselen CO gazının etkisi ile gerçekleşen reaksiyondur. İndirekt redüksiyonda daha az yakıt sarf edildiği için mümkün olduğu kadar CO gazının redüksiyonu ile çalışılmaya gayret edilir. Direkt redüksiyon indirekt redüksiyona göre daha az ısı gerektirir. Bu yüzden şarja katılan kok miktarı daha az olur.

Yüksek fırından çıkan gazın içeriği fırının çalışması hakkında bir fikir verebilir. Çıkan gazda CO ne kadar az ise fırının çalışması o kadar iyi demektir. Zira CO ile olan redüksiyonda daha az yakıt kullanıldığı için karbonmonoksitin büyük bir kısmının redüksiyon vazifesini gördüğü anlaşılır. [10]

4.4. Yüksek Fırınlara Şarj Edilecek Cevherlerde Aranacak Özellikler ve Verime Olan Etkileri

Yüksek fırın işletmeciliğinin geliştirilmesinde üretim hızı, üretim verimi, ürün kalitesi ve ekonomiklik gibi önemli özellikler, kullanılan hammaddelerle yakından ilgilidir. Demir cevherlerinin yüksek fırınlarda kullanılabilir olmaları cevherlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile saptanmaktadır. [10]

4.4.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Parça ve toz demir cevherlerinden ASTM Standartlarına göre istenen fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıda Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.1 : ASTM Parça Demir Cevheri Standartları (Kimyasal Özellikler).

Elemanlar	Kimyasal Formülü	İçerik(%)
Demir	Fe	63.00(min)
Demir Oksit	FeO	3.00(max)
Silika	SiO ₂	3.50(max)
Alümina	Al ₂ O ₃	1.50(max)
Kalsiyum Oksit	CaO	1.00(max)
Magnezyum Oksit	MgO	1.00(max)
Fosfor	P	0.05(max)
Kükürt	S	0.02(max)
Arsenik	As	0.02(max)
Alkali	K ₂ O+Na ₂ O	0.10(max)
Krom	Cr	0.05(max)
Çinko	Zn	0.02(max)
Kurşun	Pb	0.02(max)
Bakır	Cu	0.02(max)

Tablo4.2 : ASTM Parça Demir Cevheri Standartları (Fiziksel Özellikler).

Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)
+ 31.75 elek üstü	5.00(max)
- 31.75 arası	85.00(min)
-6.35 elek altı	10.00(max)

Nem Miktarı : Cevherin 105 °C'de serbest nem kaybı maksimum % 4 olmalıdır.

Kızdırma Kaybı : Cevherin 1100°C'de kızdırma kaybı maksimum % 3 olmalıdır.

Tablo 4.3 : ASTM Toz Demir Cevheri Standartları (Kimyasal Özellikler).

Elemanlar	Kimyasal Formülü	İçerik(%)
Demir	Fe	60.00 (min)
Demir Oksit	FeO	4.00 (max)
Silika	SiO ₂	5.00 (max)
Alümina	Al ₂ O ₃	1.50 (max)
Kalsiyum Oksit	CaO	1.00 (max)
Magnezyum Oksit	MgO	1.00 (max)
Fosfor	P	0.05(max)
Kükürt	S	0.02(max)
Arsenik	As	0.02(max)
Alkali	K ₂ O+Na ₂ O	0.15(max)
Krom	Cr	0.05 (max)
Çinko	Zn	0.02 (max)
Kurşun	Pb	0.02 (max)
Bakır	Cu	0.02 (max)

Tablo 4.4 : ASTM Toz Demir Cevheri Standartları (Fiziksel Özellikler).

Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)
+ 9.52 (3/8)" elek üstü miktarı	5.00 (max)
- 9.52 + 0.150 arası	80.00 (min)
-0.150 elek altı miktarı	15.00 (max)

Nem Miktarı : Cevherin 105°C’de serbest nem kaybı maksimum % 6 olmalıdır.

Kızdırma Kaybı : Cevherin 1100°C’de kızdırma kaybı maksimum % 4 olmalıdır.

Tane Büyüklüğü: Yüksek fırına şarj edilecek malzemelerin boyutları kok kullanım oranının düşürülmesinde ve verimin artırılmasında büyük rol oynamaktadır. Şarj malzemesinin boyutlarının farklılığı ne kadar az olursa, fırın ısısının artmasında ve şarj malzemesinin içerisindeki gaz geçirgenliğini hızlandırmasında o kadar yüksek verim sağlanır. Şarj malzemesinin içerisindeki ince boyutlu taneciklerin artması yüksek fırın geçirgenliğini düşürmekte, fırın baca tozlarına toz kayıplarını artırmakta ve üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca ebatların belirli boyuttan daha büyük olması halinde cevher kitlesinin tamamı redüklenme imkanı bulamadan curufa geçeceği için curuf içerisindeki demir kayıpları artacaktır.

Belirli limitler içerisinde kalmak kaydı ile parça demir cevherinin ortalama boyutu küçüldükçe, özgül yüzey alanı, dolayısıyla katı/gaz temas yüzeyi artmakta ve indirgenmesi kolaylaşmaktadır. Bu bakımdan her iki etkenin optimal parça demir cevherleri için 20–50 mm üst sınır, 5–10 mm de alt sınır olarak kabul edilmektedir. Dünyada bir çok ülkede yapılan deneyler sonucunda, yüksek fırına şarj edilecek demir cevheri ebatları Tablo 4.5’te olduğu gibi saptanmıştır. [10]

Tablo 4.5 : Demir Cevheri Boyutları.

Demir Cevheri	İnç	Cm
Pelet	3/16 – 3/4	0.476 – 1.9
Sinter	3/16 – 11/4	0.476 – 3.17
Parça Cevher	3/8 – 11/4	0.95 – 3.17

Sonuç olarak; homojen olmayan farklı fiziksel boyutlardaki malzeme şarjı sonucunda, gaz akışında düzensizlikler meydana gelir. Bu düzensizlik üretim kayıplarına, kok kullanım oranının yükselmesine ve pik kalitesinin bozulmasına sebep olur.

4.4.2. Mineralojik Özellikler

Genel olarak demir cevherleri mineral cinslerine göre redüklenme kabiliyetleri en kolay olandan en güç olana doğru sıralanacak olursa; limonit, hematit, gotit, pelet, sinter, manyetit olduğu görülmektedir.

Cevherin Porozitesi (Gözenekliliği)

Gözenekli cevherler, gözeneksiz cevherlere göre daha hafif gelmektedir. Bu nedenle gerek sinter üretiminde ve gerekse yüksek fırında hacim yönünden daha fazla yeri işgal edeceği ve buna karşılık daha az tonajda üretim yapılacağı için üretimin düşmesine neden olurken, yüksek fırında gözeneksiz cevherlere göre daha kısa zamanda indirgeneceği için zamandan kar sağlar.

Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı

Yüksek fırına şarj edilecek parça cevherlerin şarj edilinceye kadar tozlanmaması gerekmektedir. Yüksek fırın şarj malzemesinin aşınmaya dayanıklı, fazla tozlu olmayan ve yük taşıyabilen özellikte olması istenmektedir. Şarj malzemesinin tozlanması yüksek fırın içerisinde gaz geçirgenliğini, gaz kullanımını ve dolayısıyla demir kalitesini etkiler. Yapılan denemeler sonucunda % 1’lik tozlanma yüksek fırın hacminde % 1.3’lük hacim daralmasına neden olmaktadır. Dünyada kullanılan çeşitli nitelikteki parça demir cevherleri, sinterler ve peletlerin ASTM tambur testi sonuçları Tablo 4.6’da gösterilmiştir. [10]

Tablo 4.6 : ASTM Tambur Testi Sonuçları.

Test Numunesi	% + 6.3 mm	% - 30 mesh
Parça Manyetit Cevheri	59.8 – 97.6	1.8 – 28.0
Parça Hematit Cevheri	69.0 – 93.6	5.3 – 21.6
Sinter	60.0 – 80.0	5.0 – 10.0
Pelet	85.0 – 96.0	3.0 – 7.0

Peletler için yük altında kırılma mukavemeti önemlidir. Kırılma mukavemetinin ortalama olarak 250 kg/pelet'ten yüksek olması istenir.

Cevherlerin Yüksek Fırındaki Şişme Özellikleri ve Fırına Olan Etkileri

Yüksek fırındaki indirgenme sırasında meydana gelen büzülme veya şişmenin, belirli oranlardan fazla olması fırın üretimini aksatır ve çalışma düzenini bozar. Şişme özelliği daha çok yüksek fırına yüklenecek peletler için sorun olabilmektedir. Şişme endeksi % 20'yi geçmeyen peletlerin yüksek fırınlarda sorun yaratmadığı, % 20–40 arasında olan peletlerin yüksek fırına şarjına ağırlık olarak en çok % 65 oranında katılabileceği, % 40'ın üzerindeki peletler için fırın şarjının % 65'ten az pelet içermesi ve yükleme hızının yavaş olması hallerinde bile yüksek fırınların düzensiz çalıştığı görülmüştür.

5. DEMİR CEVHERLERİNİN AGLOMERASYON İŞLEMLERİ

Toz demir cevherlerini ve çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilmiş demir cevherleri konsantrelerini yüksek fırınlarda kullanılabilecek hale getirme işlemlerine genel olarak “**Aglomerasyon**“ adı verilir. Aglomerasyon genelde toz cevherlerin ve konsantrelerin boyut büyütme işlemi olarak görülürse de, boyutla beraber demir cevherlerinde aranan diğer özellikler de (sertlik, mukavemet, porozite, redüklenabilirlik vs. gibi) aglomerasyon yöntem ve işlemlerini yakından ilgilendiren çok önemli koşullardır. [8]

Kimyasal bileşim açısından kullanılabilir demir cevheri tozları veya zenginleştirilmiş konsantrelerin yüksek fırında kullanılabilir hale getirilmesi için iri taneli ufalanmaya karşı dayanıklı ve gaz ortamındaki redüksiyonun uygun biçimlere getirilmesi aglomerasyon yöntemleri ile mümkün olmaktadır.

Demir cevherlerine uygulanan aglomerasyon işlemleri; briketleme, nodülleme, vakum ekstürüzyonla şekillendirme, sinterleme ve peletleme olarak sıralanabilir.

Günümüzde, demir cevheri ve konsantrelerine uygulanan aglomerasyon yöntemlerinden sinterleme ve peletleme en çok kullanılan iki yöntemdir.

5.1. SİNERLEME

Sinterleme işleminde; rutubetlendirilmiş demir cevheri tozları ve diğer toz haldeki malzemeler katı yakıt (kok tozu) ile beraberce karışık olarak sinter makinesinin ızgarası üzerine 10-35 cm kalınlığında bir tabaka oluşturacak şekilde yüklenir. Izgaraya şarj edilen bu karışımın altında 4-6 cm kalınlığında ve 15-25 mm boyutunda geçirgen bir tabaka olan sinter tozu bulunur. Bu malzeme oldukça gözenekli olduğundan hava giriş ve gaz çıkışını temin eder. Kok tozu, doğal gaz yada yanma yağı kullanılarak karışımın üst yüzeyinden itibaren yanmaya başlar. 1300-1400°C gibi bir sıcaklık yüksek bir sıcaklık elde edildiği bu ortamda alttan gaz emiciler sayesinde yanış gazlar bacaya gönderilirken hava emişi de sağlanmış olur. Üstte oluşan sinter emilen soğuk hava etkisiyle soğur. [10] Günümüzde demir cevheri ve konsantreleri için uygulanan sinterleme yöntemi **Dwight-Lloyd** sinter ızgara

bandının geliştirilmiş şeklidir. Sinterleme sonucunda toz demir cevheri ısı ve oksidasyon yoluyla termik sertleştirilmeye uğradıktan sonra kompakt duruma getirilmiş olurlar. Demir cevherlerinin sinterlenmesinde başlıca üç amaç rol oynar.

- a) Fazla tozlu cevherlerin tozlarını aglomera ederek yüksek fırında kullanılabilir boyutlara erdirmek
- b) Demir cevherlerinde mevcut olan kükürdü oksitlemek suretiyle gidererek zararsız miktarlara indirmek
- c) Yüksek fırın çalışma şartlarında rahatlıkla kullanılabilecek ve redüklenme kabiliyeti yüksek, mukavemetli, ufalanmaya dayanıklı şarj malzemesi elde ederek üretim verimini artırmak ve işletme arızalarını azaltmak.

5.2. NODÜLLEME

Nodülleme işleminde de sinter prosesinde olduğu gibi bağlayıcı madde kullanılmaz. Döner fırına toz haldeki demir konsantresinin şarj edilip, erime noktasına kadar ısıtılması işlemidir. Malzeme döner fırın içinde bir yandan karışırken bir yandan da eriyen malzeme nodül şeklini almaya başlar. Bu prosesin birkaç avantajı vardır. Bunlar beslenen malzemenin nem miktarının ve büyüklüğünün çok önemli olmaması ve yapılan peletlerin çok sağlam olması sayılabilir. Bu avantajlarının yanında; yüksek fuel-oil ihtiyacı, işletme ve kontrol zorlukları, heterojen boyut dağılımı ve nodüllerin düşük redüklenebilir nitelikte olmaları gibi nedenlerle yüksek fırınlarda bu malzemelerin kullanımı sakıncalıdır ve bu proses çok tercih edilmez. [11]

5.3. BRİKETLEME

Toz boyutundaki malzemenin rulo, matkap, pres cihazı yada bunlara benzer aletler kullanılarak sıkıştırılıp küçük kompakt parçalar haline getirilmesi işlemidir. Briketleme işlemi birçok malzeme için kullanılan bir yöntemdir. Fakat demir tozlarının ısıtılmadan sıkıştırılmasında dayanıksız peletler üretildiğinden demir tozları aglomerasyonunda pek tercih edilen bir yöntem değildir. Briketleme direkt redüksiyon proseslerinde daha çok tercih edilir. Bu proses diğer aglomerasyon yöntemlerine göre daha fazla enerji gerektirmesi ve briketlerin dayanıksız olması gibi nedenlerle pek yaygın değildir. [11]

5.4. PELETLEME

Düşük tenörlü veya yüksek empürileri nedeniyle yüksek fırınlarda kullanılamayacak nitelikteki cevherler, yüksek fırına beslenmeden önce zenginleştirme işlemine tabi tutulur. Cevher içerisindeki empürite veya yantaşların serbest kalma sınırına kadar kırma ve öğütme işlemine tabi tutulan cevherler bilahere içindeki empürite veya yantaşın cevher karışımından ayrılmasını sağlayacak zenginleştirme yöntemi ile ayırma işlemine tabi tutulurlar. Zenginleştirme veya empüritelerden arındırılmaya tabi tutulmuş cevherler yüksek fırınlarda doğrudan kullanılmaya elverişli değildir. [10]

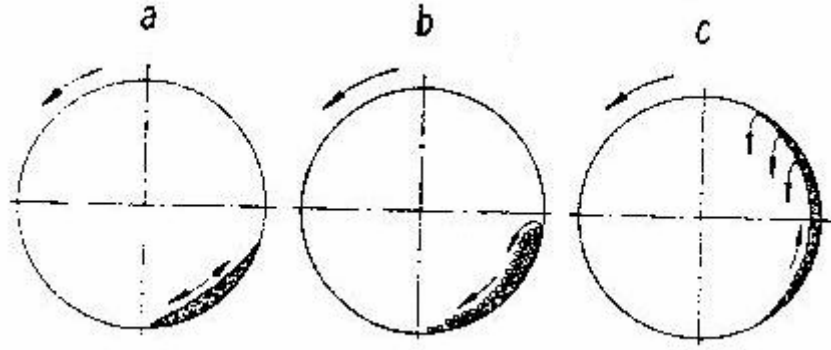
Maden çıkarımı ve cevher zenginleştirme operasyonu sırasında özellikle yaş konsantrasyon için gerekli olan toz öğütme sırasında büyük miktarda -0.05 mm boyutunda toz üretilir. Toz halindeki cevher parçacıkların bağlayıcı bir madde ile karıştırılarak nem ve ısı yardımıyla belirli ebatlarda sertleştirilmesi işlemine “*Peletleme*” denilir. [12]

Peletleme işleminin amacı; aglomerasyon–sertleştirme prosesleriyle demir yönünden zengin, ince taneli mineralleri “*Pelet*” tabir edilen yüksek fırın şarj materyali haline getirmektir. Peletler sert küresel nodüller olup, yüksek fırına beslenebilmeleri için aşağıdaki özelliklerde olmalıdır:

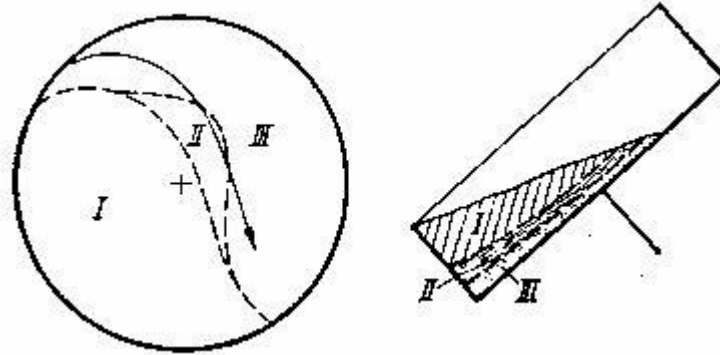
1. Toz, kırıntı ve ince kısımdan temizlenmiş olmalıdır.
2. Taşınma ve stoklanma sırasında meydana gelecek ufalanmaya karşı direnç göstermeye fiziksel olarak elverişli olmalıdır.
3. Yüksek fırında, ısıtılırken veya çeşitli kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar sırasında meydana gelecek zamansız ufalanmaya karşı direnç göstermeye metalurjik olarak elverişli olmalıdır.

Öğütme işlemine tabi tutulmuş toz cevherler yüksek fırın şarjındaki geçirgenliği olumsuz yönde etkiler ve baca gazları ile bir kısmı uçarak kayba sebebiyet verirler. Bu nedenle zenginleştirmeye tabi tutulmuş cevherler konsantre aglomerasyon işlemi ile sertleştirilerek topaklar haline getirilirler. Peletlerin topaklanıp bilya şeklini alması suyun yüzey gerilimi ve parçaların birbirine çarpması sonucundadır. Başlangıçta su eklenerek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur. Bu çekirdek büyür, bilya şeklini alarak pelet haline gelir. Tambur içindeki aç pelet boyutu ve üretimini belirler. Tamburun boyutu ve şekli hareket ve basınç açısından en uygun pozisyonda

olmalıdır. Topaklama, prosesin en önemli aşamasıdır ve bu aşamada mukavemet, boyut, çarpma mukavemeti ve diğer pelet özellikleri tayin edilir. İşlem tambur, koni, diskler gibi döner aletler kullanılarak yürütülür. [12] Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de peletlerin tamburdaki topaklanma hareketleri, hareket bölgeleri ve peletleme diski gösterilmiştir.

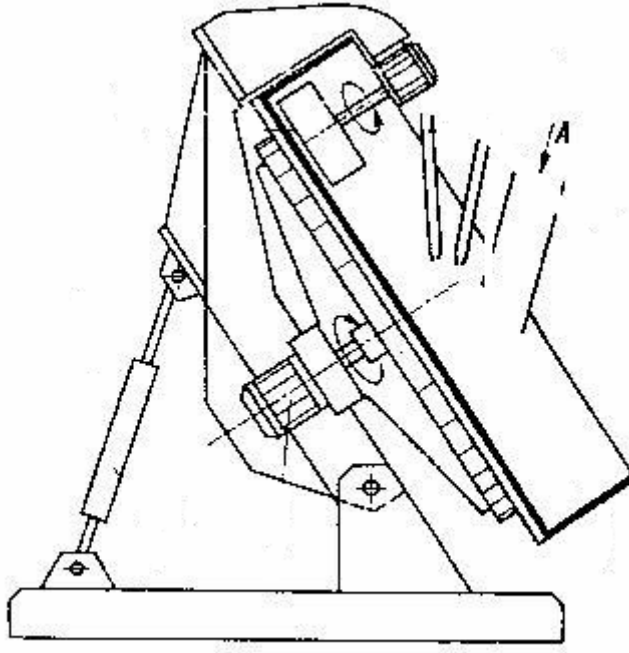


Şekil 5.1 : Peletlerin Tambur İçindeki Topaklanma Hareketleri. [13]



Şekil 5.2 : Peletlerin Peletleme Diskindeki Hareket Bölgeleri. [13]

Peletler peletleme diskinden sonra 1200–1350°C arasında kavrulur ve sertleştirilmiş olurlar. Kavrurma işlemi hem şaft fırında hem de döner ızgara da yapılabilir. Daha sonra kurutma, ön ısıtma, yanma ve soğutma işlemleri yer alır. Yanma sırasında kritik sıcaklığa nem buharlaştıktan sonra erişilir. Az miktarda bentonit yada kireç (% 0.5-% 2) eklenmesi taneler arasında yapışma sağlar.



Şekil 5.3 : Peletleme Diski. [13]

Peletlerin ortalama rutubet miktarı % 5-10 arasında olmalıdır. Tanelerin büzülmesi ile ihtiyaç artar. Ortalama rutubet miktarını bulmak çok önemlidir. Çünkü az miktardaki su boşluklara hava girmesine, çok fazla su da yapıştırıcı özelliğin tahribine sebep olur. Tam yapıştırıcı etkiye sahip olabilmek için konsantrenin % 94–100’ünün -0.01 mm ve % 60–80 ‘inin -0.05 mm olması gerekmektedir.

Peletler, ince taneli demir yönünden zengin bir mineral kaynağının ekonomik olarak bulunduğu zamanlarda üretilir. Bu kaynaklar demir minerallerinin öğütülmek ve konsantre edilmek suretiyle kazanıldığı düşük tenörlü demir cevheri veya direk yüksek fırın şarjı olarak nakledilecek fiziksel sağlamlıkta bulunmayan yüksek tenörlü cevherler olabilir.

Hammaddenin tanımı: Saptanan kapasitede sabit veya dengeli pelet üretimi için konsantre filtre keki veya tesise giren malzeme üniform olarak istenilen miktar ve belirtilen sınırlar içindeki özelliklerde tedarik edilmelidir. Tesise giren malzemenin nem içeriği % 9–10 arasında olmalıdır. Katı içeriği % 81-88 ve yüzey alanı 1680–1780 cm²/gr arasında olacak şekilde bir tane büyüklüğü dağılımına sahip olmalıdır. Ham maddenin % 16,3–17,3 Fe içermelidir. Bu maddeyi aglomere etmek için en azından % 0,7 (ağırlıkça) oranında yüksek şişme kabiliyetine sahip bentonit kili ilave etmek gereklidir. [14]

5.5. Yaş ve Pişmiş Peletlerde Aranan Özellikler

A) Kimyasal Özellikler :

Peletlerde ASTM Standartlarına göre istenilen kimyasal özellikler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Kimyasal Bileşimi : Modern yüksek fırın pratiğinde demirce zengin, düşük silisli, düşük kükürt ve fosforlu şarj malzemesi kullanma eğilimi giderek artmaktadır.

Peletler genellikle % 65 demir içerirler. Esas gang bileşimi silikattır, genellikle düşük fosfor ve kükürt içerirler. Tipik bir pelet kimyasal bileşimi %65.35 Fe, %0.45 CaO, %4.72 SiO₂, %0.42 MgO, %0.33 Al₂O₃ , % 0.008 P, %0.006 S’tür.

Yüksek fırında, şarjın homojen bir bileşimde olması işlemin etkinliğini arttırmak için çok önemlidir.

Redüklenebilirlik : Peletler redüklenebilirlik özellikleri açısından yüksek fırında fazla problem yaratmazlar. Ancak curufun bağlayıcı bir bileşen olması, pişirme esnasında boyutsal küçülmelere ve mikroporozitenin azalmasına, dolayısıyla redüksiyon esnasında gerekli zamanın uzamasına neden olur. [10]

B) Fiziksel Özellikler :

Peletlerden ASTM Standartlarına göre istenilen fiziksel özellikler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Boyut : Yüksek fırında optimum bir üretim hızına ulaşmak için şarjın birbirine yakın boyutlarda olması gereklidir.

Pelet boyutunun, redüklenebilirlik ve yumuşama özellikleri üzerinde büyük bir etkinliği vardır. Pelet boyutunun azalması ile dış yüzey ve hacim arasındaki bağıntı çok daha uygun olur, peletler kolaylıkla oksitlenir ve redüklenirler. Hacim dönüşümleri ve faz dönüşümleri nedeniyle oluşan iç gerilimler azalır. Ayrıca küçük peletlerin mukavemeti daha iyi olduğundan nakiller esnasında toz haline gelme olasılıkları daha azdır. Üretilen peletler öyle bir tane büyüklüğüne sahip olmalıdır ki % 85’i (ağırlıkça) 8 ile 15 mm arasında % 5 veya daha azı -5 mm olmalıdır. Modern uygulamalarda optimum pelet boyutunun 12.5 mm ve boyut aralığının ise -16+9.5 mm olması istenir. [14]

Fiziksel Mukavemet ve Plastiklik : Yaş peletler disk veya tamburda üretildikten sonra pişirme fırınlarına besleninceye kadar çeşitli baskılara uğrarlar. Pişirme

fırınlarına beslendikten sonra ise süratle kurutulduklarından, kapiler kuvvetlerin bağlayıcı etkisinin kaybolduğu ve oksit bağlarının henüz tam oluşmadığı bir kritik safhaya erişirler. Bu nedenlerden ötürü gerek yaş ve gerekse ham peletlerin yeterli dayanıklılıkta olması gereklidir. Bu yüzden 12.5 mm'lik peletlerin 1-2 kg'lık yaş mukavemete ve 1.8-2.3 kg'lık kuru mukavemete sahip olması istenir. Ayrıca yaş peletler 45 cm yükseklikten çelik bir plaka üzerine düşürüldüklerinde düşme sayısı en az 4 olmalıdır.

Pişmiş peletlerdeki mukavemet değerleri üründen ürüne ve yığından yığına büyük bir aralıkta değişir. Sonuçlar belirtilirken esas mukavemet değeri ile birlikte standart sapma sonuçları da aktarılmalıdır. Normal olarak pişmiş peletlerden istenen mukavemet 250 kg'dır. Yığındaki en az mukavemet değerinin ise 135 kg olması gereklidir.

Porozite : Porozite, ham ve pişmiş peletlerde önemli ve temel bir özelliktir ve peletleme prosesinin bütün kademelerinde önemli bir rol oynar. Yaş peletlerin kurutma kademesinde oluşan buhar, peletleri porlardan geçerek terkeder. Pişirme kademesinde de manyetiti oksitlemek için gerekli oksijen porlardan geçerek peletin iç kısımlarına nüfuz eder. Oksidasyon hızı por boyutu ve por boyut dağılımı ile yakından ilgilidir [14]. Ham peletlerden istenen optimum porozite %31-36, pişmiş peletlerden istenen ise %22-32'dur.

Aşınma Direnci : Pişmiş peletlerde mukavemetin diğer bir göstergesi mukavemet (tambur) indeksi ve toz (aşınma) indeksidir. İyi pişmiş peletler için ASTM prosedürüne göre [16] tambur indeksinin, (+6.3 mm) % 92-97, aşınma indeksinin ise (595 mikron) %2.5-5.0 olması gereklidir.

Tablo 5.1 : ASTM Pelet Standartları (Kimyasal Özellikler).

Elemanlar	Kimyasal Formülü	İçerik(%)
Demir	Fe	65.00(min.)
Silika	SiO ₂	3.00(max.)
Alümina	Al ₂ O ₃	0.50(max.)
Kalsiyum Oksit	CaO	1.00(max.)
Magnezyum Oksit	MgO	1.00(max.)
Fosfor	P	0.05(max.)
Kükürt	S	0.01(max.)
Arsenik	As	0.01(max.)
Alkali	K ₂ O+Na ₂ O	0.01(max.)
Krom	Cr	0.04(max.)
Çinko	Zn	0.01(max.)
Kurşun	Pb	0.01(max.)
Bakır	Cu	0.01(max.)

Tablo 5.2 : ASTM Pelet Standartları (Fiziksel Özellikler).

Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)
+ 16 elek üstü	5.00(max.)
- 16 + 9.52 arası	85.00(min.)
-9.52 + 6.35 arası	7.00(max.)
-6.35 elek altı	3.00(max.)

Nem Miktarı : Cevherin 105 °C'de serbest nem kaybı maksimum % 3 olmalıdır.

Basma Dayanımı : 250 kg/pelet (minimum) olmalıdır.

Tumbler Endeksi : + 6.35 mm'de Tumbler endeksi % 95 (minimum) olmalıdır.

Aşınma Endeksi : -0.6 mm'de aşınma endeksi % 5 (maksimum) olmalıdır.

Yığın Yoğunluğu : 2.22 g/cm³

Porozite : % 25-32 arası olmalıdır.

Şişme : % 20 (maksimum) olmalıdır.

Peletlemenin avantajları:

1. Curuflaşma yada füzyondan dolayı boşlukların kapanması minimumdur. Fazla gözeneklerden dolayı çok güzel indirgenebilirliğe sahiptir.
2. Yumurtamsı şekil ve ufak düzenli boyut (10–12 mm) çok iyi yatak geçirgenliği verir. Şekil, boyut ve düşük repose açısı minimum yığılma ve düzgün şarj dağılımına sebep olur.
3. Yüksek yoğunluktan dolayı 3–3.5 ton/m³ birim ağırlık başına daha fazla erişebilir ve birim fırın hacmi başına daha fazla demir elde edilebilir. Geniş yüzey ve cevherin birim ağırlığı başına düşen zaman artar. Böylece daha uzun gaz/katı teması sağlanır ve ısı transferi artar.

4. Yüksek demir muhtevası, öğütme ve cevher zenginleştirmeden dolayı daha düzenli kimyasal kompozisyona sahiptir. Fırında daha düşük flaks ve yakıt ihtiyacı, düşük curuf hacmi sağlar.
5. Yüksek yumuşama sıcaklığı, 1200–1350°C gibi dar aralıkta; dolomitlenmiş peletler kireçli peletlere göre 80°C daha fazla yumuşama sıcaklığına sahiptir.
6. Yüksek mukavemet – ortalama sıkıştırma mukavemeti verir. (150–250 Kg)
7. Isı tüketimi sinterden çok daha azdır.
8. Üretimi kolaydır.
9. Direkt indirgenme prosesleri için idealdir.
10. Fırının içinde özellikle düşük sıcaklık bölgelerinde cevher ve sintere göre indirgenebilirliği daha fazladır.

Peletlemenin dezavantajları :

1. Öğütme ve özellikle yağ burnerleri ile yanmadan dolayı yüksek üretim maliyetine sahiptir.
2. Fırın içinde şişme ve mukavemet kaybına neden olur.
3. Sinterle aynı boyut aralığında olsa dahi düşük boşluk yüzdesi nedeniyle gaz oluşma mukavemeti daha fazladır.

5.6. Peletleme İşleminde Kullanılan Bağlayıcı Maddeler

Pelet yapımı sırasında cevher konsantresine katılan bağlayıcılar genellikle bentonit, kireç, olivin, organik bağlayıcılar gibi bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. [10]

Bağlayıcı maddelerin iki önemli görevi vardır.

1. Cevher konsantresi içindeki serbet suyu tutmak
2. Peletlerin ısıtıl işlem sırasında curuf bağları oluşmadan önceki devrelerde (ön ısıtma işlemleri sırasında) parçalanıp dağılmalarını önlemek.

Yaş peletlerin kurutulması işleminde pelet bünyesindeki rutubet buharlaşır. Ancak peletin sertleşmesini sağlayan pelet bağları oluşmadan peletteki bünye suyu buharlaşacağından kuru peletin bu süre içinde dağılmaması gerekmektedir. Bunun için peletlerde bağlayıcı olarak kullanılan katkı maddeleri; hem pelet üretimi

sırasında serbest suyu kontrol eder ve hem de kuru peletin dağılmasını önleyici rol oynar.

Yukarıda bahsedilen bağlayıcıların dışında farklı amaçlar için peletlemede su, yağ, bentonit, sodyum ve potasyum silikatlar, sodyum, kalsiyum ve amonyum sülfonatlar, melas, çeşitli nişastalar, glikoz, tuzlar, sülfatlar, reçineler, katran, zamk, sodyum boratlar vs. gibi bağlayıcılar kullanılmaktadır. Tablo 5.3'te bağlayıcı maddeler ve pelette oluşturduğu bağ tipine göre sınıflandırılmıştır.

Bu bağlayıcıların dışında bağlayıcı madde maliyetini azaltmak yada daha kaliteli bağlayıcı madde bulmak amacıyla bir çok deneysel çalışma yapılmıştır.

Örneğin pirit külü, melas ve kireç karışımı [15], termik santrallerden çıkan uçucu kül [17] ve karboksi metil selüloz (CMC), peridur, sülfite likörü gibi alternatif bağlayıcılar kullanılmıştır. Pelet yapımı sırasında cevher konsantresine katılan bağlayıcılar genellikle bentonit, kireç, olivin, organik bağlayıcılar gibi bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. [10]

Tablo 5.3: Pelette Oluşturdukları Bağ Tipine Göre Bağlayıcı Madde Çeşitleri. [11]

İnaktif Film (Kapiler Bağ)	Kimyasal Film	İnaktif Matriks	Kimyasal Matriks	Kimyasal Reaksiyon
Su, Alkol, Yağlar, Bentonit, Atapulgit kili, Sodyum silikat, Potasyum silikat, Sodyum lignosülfonat, Kalsiyum lignosülfonat, Amonyum lignosülfonat, Polivinil alkol, Melas, Buğday nişastası, Tapyoka nişastası, Patates nişastası, Buğday unu, Kazein, Glukoz, Dekstrin, Tuzlar, Sülfatlar, Zamklar, Sakızlar, Sodyum borat	Sodyum silikat + CO ₂ Sodyum silikat + zayıf asit Sodyum silikat + kireç	Katran, zift, Asfalt petrolü, Parafin, Odun katranı, Reçineler, Bentonit, Atapulgit kili, Buğday nişastası, Kuru şekerler, Kuru lignosülfonatlar Kollidal alümina, Kolloidal silika Metal buharları	Kireç + su Sönmüş kireç + CO ₂ Kireç + melas Portland çimentosu + su Alçı + su	Su (az çözünür ve birçok malzeme ile reaksiyona girer) Zayıf sülfirik asit (alkalilerle reaksiyona girer) Zayıf fosforik asit (alkalilerle reaksiyona girer) Magnetit ve su Magnezyum klorit ve su

Bentonit ((Na,Ca)(Al,Mg)6(Si₄O₁₀)3(OH)6.nH₂O)

Yoğunluğu 2.6 gr/cm³'tür. Rengi beyaz, gri, sarı, pembe ve yeşil olabilir. Bentonit, volkanik külün yerinde ayrışmasıyla oluşan ve büyük ölçüde montmorillonit kil mineralinden oluşan su emip şişen, ticari olarak sondaj çamurunda, katalist, boya, plastik dolgu işlerinde kullanılan toprağımsı bir madendir.

Na ve Na-Ca bentonitler sondaj, döküm ve demir konsantrelerinin peletlenmesi gibi işlerde kullanılırken Ca bentonitler ağartma vb. işlerde kullanılmaktadır. Mühendislik ve sondaj çalışmalarında akışkanlık özellikleri geliştirilmiş bentonite olan gereksinim Ca bentonitlerinin soda gibi katkı maddeleriyle aktifleştirilmesini zorunlu kılmıştır. Ayrıca ağartma toprağı olarak kullanılan Ca bentonitlerin de ağartma gücünü istenen düzeye çıkarmak için asitle aktiflendirme yapılmaktadır. Bentonitin en çok tüketildiği alanlar sondaj, peletleme ve döküm sanayileridir. Ayrıca yağların ağartılmasında kullanıldığı gibi temizlik maddeleri yapımında ve kağıt sanayinde de kullanılmaktadır.

Bentonit aynı zamanda, demir cevheri peletlenmesinde kullanılan bağlayıcı özelliğe sahip önemli katkı maddelerinden biridir. Cevher özelliğine bağlı olarak % 0.5–2.0 arasında değişen miktarlarda cevher içerisine karıştırılmaktadır. Bentonit, hacminin 10–15 katı kadar su emme özelliğine sahip bir kil çeşididir. Kurutulduğunda dış cidarda dayanıklı bir film oluşturur. Bentonitin bu özelliği, ham peletteki serbest suyu kontrolde ve ön ısıtma işlemleri esnasında ham peletin dağılmasını önlemede ve pişmiş peletlerde curuf bağları oluşturarak mukavemetin artmasında etkili rol oynar [17]. Ancak bununla birlikte cevher bünyesine katılan bentonit, yüksek fırınlar için arzu edilmeyen bir katkı maddesidir. Bu nedenle cevher içerisine katılan miktar kadar cevherin kalitesini düşürdüğü gibi bünyesinde ihtiva ettiği silis, alimüna ve alkalilerden dolayı cevherdeki empüriteleri yükselterek yüksek fırın veriminin düşmesine neden olur. Her % 1 bentonit ilavesi, cevher konsantresi demir tenörünün % 0.6 oranında düşmesine neden olur. Divriği Pelet Tesisleri’nde kullanılan bentonitin özellikleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4 : Divriği Pelet Tesisleri’nde Kullanılan Bentonitin Özellikleri. [10]

Bentonitin Özellikleri	Değeri
Kimyasal Özellikler	
SiO ₂	% 58 – 65
Al ₂ O ₃	% 18 – 25
Fe ₂ O ₃	% 6 (Maksimum)
Na ₂ O + K ₂ O	% 4 (Maksimum)
CaO + MgO	% 5 (Maksimum)
Ateşte Zayıyat	% 6.5 (Maksimum)
Fiziksel Özellikler	
Tane Boyutu	200 Meshlik elek altı
Rutubet	% 5- 7
Geling Endeksi	12 (Minimum)

6. DİVRİĞİ KONSANTRASYON VE PELETLEME TESİSİ

Ülkemizde kurulan ilk demir cevheri zenginleştirme tesisi Divriği Konsantrasyon ve Peletleme Tesisi'dir. Demir cevherinin içerisinde bulunan gang malzemesinin veya empüritelerin cevher bünyesinden ayrılması, cevher zenginleştirme operasyonu ile mümkün olmaktadır. Her düşük tenörlü veya empürüteli demir cevheri, kendi bünyesine uygun olarak cevher zenginleştirme yöntemi belirlendikten sonra zenginleştirme tesisinin ekonomik yönü araştırılır ve araştırma sonuçlarına göre yatırım kararı verilir. [8]

6.1. Cevher Yatağının Geometrisi

A Kafa cevherleşmesi;

Siyenit-kireçtaşı dokanakları

Serpantinlerin siyenitlerle olan dokanakları çevresinde serpantinler içinde

olmak üzere 2 ana oluşum biçiminde yerleştikleri yapılan sondajlarla ortaya konmuştur.

Siyenit kireçtaşı dokanağında yerleşmiş olan cevher A Kafa'nın halen işletilmekte olan bölümü olup Karo mevkiinin doğusunda yer almaktadır. Cevher doğu-batı doğrultulu ve 40°–50° güneye eğimlidir.

Siyenit–Serpantin dokanakları çevresinde, serpantin içinde yerleşmiş olan cevher ise Karo mevki güney ve güneybatısında yer almaktadır. Siyenit yükseliminin çevresinde geometrik olarak onu çevrelemekte olup 40°–50° eğimli güneybatı ve batıya dalımlıdır. Siyenit yükseliminden batıya doğru uzaklaştıkça eğimler düşmektedir.

B Kafa cevherleşmesi, kuzeybatı-güneydoğu yönlü olarak uzanmakta 60°–65° eğimle güneybatıya dalmaktadır. Cevher serpantinler altında kireçtaşları üzerinde yerleşmiştir. Ancak ana cevher kütlesi üzerindeki serpantinler içinde cevher damarları gözlenmiştir.

6.2. Cevher ve Rezerv Kalitesi

TDÇİ Genel Müdürlüğü'nün 1998 yılına kadar yapılmış olan rezerv sondajları neticesine göre hazırlamış olduğu "A-B Kafa Yatakları Cevher Değerlendirme Raporu" üzerinden 2001 yılı sonu itibariyle hesaplanan rezerv durumuna göre; A Kafa yatağında % 2.16 S içeren % 53.9 Fe tenörlü 30.85 milyon ton, B Kafa cevher yatağında ise % 1.76 S içeren % 55 tenörlü 9.65 milyon ton olmak üzere toplam 40.5 milyon ton cevher rezervi vardır. Bu rezervin 1284 kotlu Nihai Açık İşletme Çukuru altında kalan yaklaşık 14 milyon tonluk kısmının 12 milyon tonunun Yeraltı İşletme Metotları ile alınması planlanmıştır. Tablo 6.1'de A ve B Kafa maden işletme sahalarının rezerv durumları gösterilmiştir.

Tablo 6.1 : A-B Kafa Maden İşletme Sahasının İşletme Durumuna Göre Rezerv Durumu.

İşletme Durumu	A Kafa Gör + Muh (ton)	B Kafa Gör + Muh (ton)	TOPLAM (ton)
1284 taban kotlu Açık İşletme Çukuru Üzerindeki Rezerv Durumu	16 807 718	9 652 853	26 460 571
1284 taban kotlu Açık İşletme Çukuru Altındaki Rezerv Durumu	14 402 536	-	14 042 536
TOPLAM REZERV	30 850 254	9 652 853	40 503 107

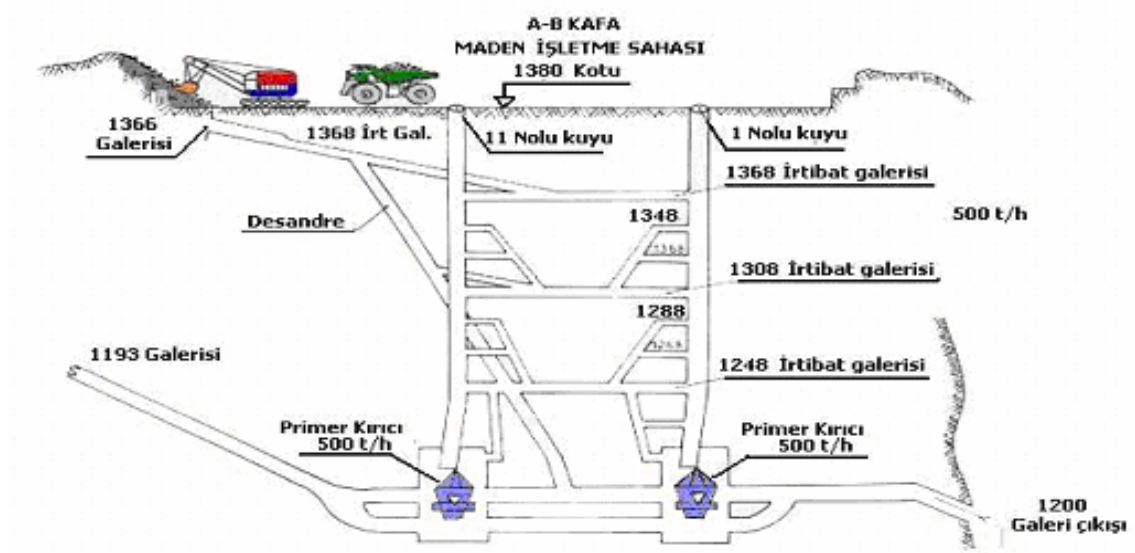
6.3. A Kafa Maden İşletmesi

A ve B Kafa açık ocaklarından cevher, Delme + Patlatma + Kepçe + Kamyon sistemiyle üretilmektedir. Patlatılarak -0.9 m boyutu altına kırılan cevher, 4.6 m³ kapasiteli elektrikli ekskavatörlerle 50 tonluk kamyonlara yüklenerek istihsal kuyularına taşınmaktadır. 1998 yılında yapılan 1384 taban kotlu Nihai Açık İşletme Projesine göre Dekapaj/Cevher oranı 1.2 m³/ton'dur.

B Kafa cevheri zenginleştirilmek üzere kamyonlarla tesise taşınmakta, A Kafa cevheri ise 1384 kotunda döküş ağzı bulunan iki adet üretim kuyularına dökülmektedir.

Üretim kuyuları, 3 m çapında 2 adet olup kuyuların 180 m aşağısında 1200 kotunda Escwerk dönel (Gyratory) primer kırıcılar mevcuttur. Kuyu tabanında zincirli besleyici ve titreşimli besleyiciler yardımıyla her biri 500 ton/saat kapasiteli kırıcılara beslenen cevher 0-170 mm'lik toplam tamburlar arası 2500 m olan

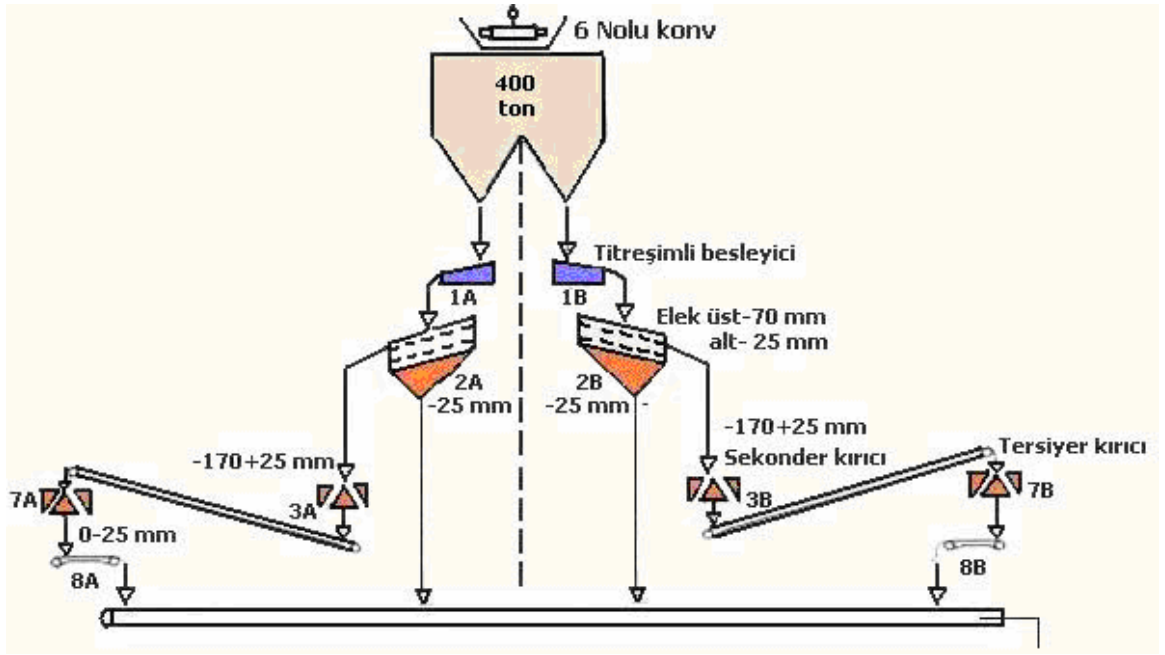
galeriler içerisine yerleştirilmiş 3 adet yeraltı bant konveyörler ile yine 1200 kotundaki Sekonder ve Tersiyer Kırma-Eleme Tesisine taşınmaktadır. [8] Şekil 6.1’de A-B Kafa Maden Sahaları nakliye ve üretim sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : A-B Kafa Maden Sahaları Cevher Üretimi ve Nakliye Sistemi

6.4. Sekonder–Tersiyer Kırma Eleme Tesis

Sekonder-Tersiyer kırma/eleme tesisi her biri 500 ton/ saat kapasiteli birbirine paralel 2 devrede oluşmaktadır. Devrelerin her birinde sekonder ve tersiyer kırma yapan Symons tipi kırıcılar döner kırıcılar mevcuttur. Sekonder/Tersiyer kırma eleme tesisinde –25 mm‘ ye kırılan cevher daha fazla ayrışım sağlanması için 4. Kademe – 10 mm Kırma/Eleme Tesisine beslenmektedir. Divriği Tesisine ait Sekonder-Tersiyer Kırma/Eleme Tesisinin akım şeması Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 : Sekonder-Tersiyer Kırma/Eleme Tesisi Akım Şeması.

A Kafa maden işletmesinde manyetit demir cevheri, B Kafa maden işletmesinde ise hematit demir cevheri üretilmektedir.

Şirket Divriği İşletmesinde 1938 yılından 2003 yılı sonuna kadar A Kafa'da 51.45 milyon ton, B Kafa'da 9.8 milyon ton ve C Plaserinde 10.2 milyon olmak üzere toplam 71.45 milyon ton tüvenan cevher üretimini gerçekleştirmiştir. Tablo 6.2'de 1998–2004 yılları arasındaki üretim miktarları verilmiştir.

Tablo 6.2 : 1998–2004 Yılları Arası Üretimler (ton). [8]

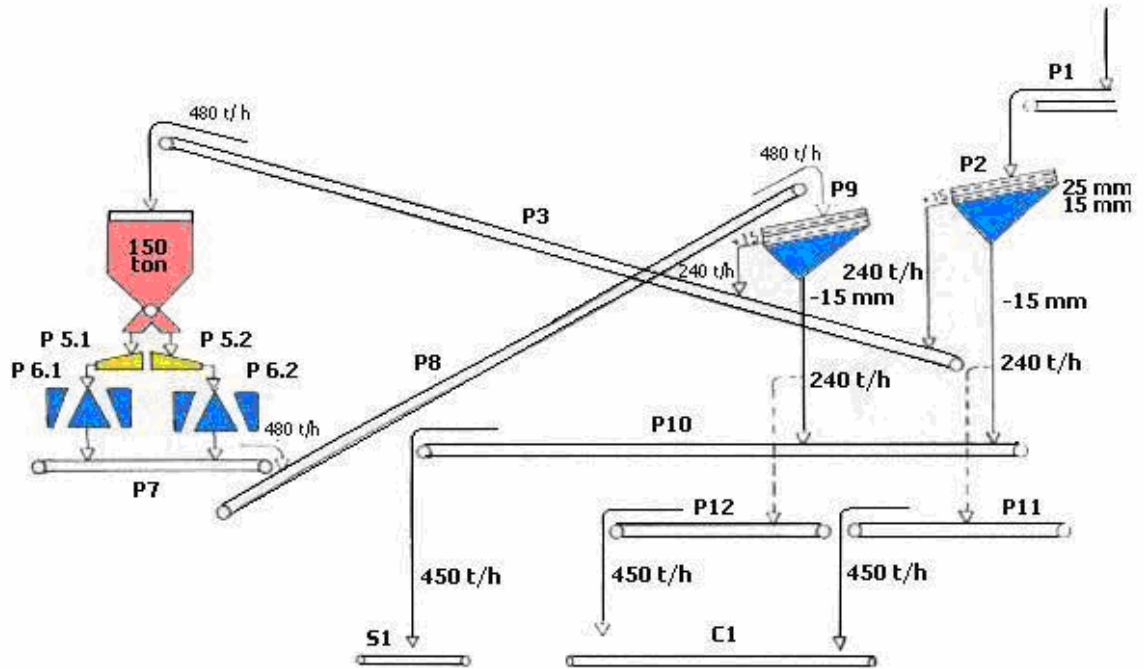
YILLAR	Harmanlama	Konsantre Besleme	Filtre Keki	Sinterlik Ürün	Artık	Artık Oranı %
1998	1.980.800	2.099.483	1.033.644	348.654	717.185	34.2
1999	1.902.400	1.829.155	944.675	175.365	744.068	40.7
2000	2.024.350	2.029.403	987.109	266.339	775.955	38.2
2001	1.767.200	1.777.803	969.526	210.393	597.628	33.6
2002	1.614.400	1.573.205	838.173	91.671	548.248	34.8
2003	1.617.600	1.635.041	805.344	202.151	629.181	38.5
2004	1.900.000	1.802.031	932.705	238.705	238.682	35.0

6.5. 4. Kademe -10 mm Kırma Eleme Tesisi

4. Kademe kırıcı, Svedala Abra (İsveç) Firması tarafından dizayn edilmiş olup, Nace Makine Sanayii A.Ş. tarafından inşaa edilmiştir.

Kırıcı, ASR PLUS bilgisayar programı ile desteklenmektedir. Bu program sayesinde, kırıcı üzerindeki basınç ve motor gücü kontrol edilerek sistemin zarar görmesi engellenmektedir.

4. Kademe kırıcının kuruluş amacı; ürün boyutunu -10 mm altına düşürerek atığa giden malzeme içerisindeki cevher miktarını minimuma indirmek ve aynı zamanda konsantrasyon tesisinde enerji tasarrufu sağlamaktır. Tesisin proje kapasitesi 450 t/saat'tir. Şekil 6.3'te 4.Kademe -10 mm Kırma/Eleme Tesisi akım şeması verilmiştir.



Şekil 6.3 : 4. Kademe -10 mm Kırma/Eleme Tesisi Akım Şeması.

Sekonder-Tersiyer Tesisi'nden alınan -25 mm boyutunda cevher numune alma binasından P1 bandı ile 2 katlı P2 eleğine beslenmektedir. Elek üstü malzeme P3 bandı ile kırıcı üzerindeki 150 tonluk besleme silosuna gelmektedir. 450 t/saat kapasiteli ve birbirleriyle yedeklemeli olarak çalışan iki adet konik kırıcıya beslenen cevher, -10 mm'ye kırıldıktan sonra P7-P8 nakil bantlarıyla P9 eleğine beslenmektedir. P9 eleğinin 10 mm elek üstü yeniden kırıcıya verilerek sistemin kapalı devre çalışması sağlanır. P2 ve P9 eleklerinin -10 mm elek altı malzemesi, P10 bandı ile harmanlama sahasında stoklanmak üzere S1 bandına veya

istenildiğinde direk tesise beslenmek amacıyla P11 ve P12 bantları vasıtasıyla C1 bandına verilmektedir.

A Kafa cevher yatağından üretilen ve Konsantrasyon tesisine zenginleştirilmek amacıyla beslenen cevherin kimyasal analiz değerleri aşağıdaki Tablo 6.3'te verildiği gibidir.

Tablo 6.3 : A Kafa Cevher Yatağında Üretilen Cevherin Kimyasal Analiz Değerleri.

Bulunan Madde	%	Bulunan Madde	%
Fe (HCl)	47.00	Cu	0.03
Fe ₃ O ₄	62.86	TiO ₂	0.12
Mn	0.07	K ₂ O	0.83
SiO ₂	6.92	Na ₂ O	0.05
CaO	2.36	S	1.92
MgO	3.13	P	Eser
Al ₂ O ₃	2.79		

6.6. Konsantrasyon Tesisi

Konsantrasyon tesisi Türk Batı Alman (Krupp Technick ve Fenni Gama A.Ş.) Konsorsiyumu tarafından inşaa edilmiştir. Tesisin devreye alınması için çalışmalar Temmuz 1985 yılında başlamış ve ilk konsantre 15 Eylül 1985 tarihinde elde edilmiştir.

Cevher bünyesinde FeS₂ minerali şeklinde bulunan kükürt serbest hale gelinceye kadar cevheri kırıp öğüttükten sonra manyetik seperasyonla FeS₂ mineralini elimine etmek, aynı zamanda gang malzemesini cevherden ayırt edecek cevher tenörünü yükseltmek prensibine göre yapılmıştır.

Tesisin proje kapasitesi 4.2 milyon ton/yıl tüvenan cevher beslenmesi halinde 1.9 milyon ton/yıl sinterlik konsantre ve 1.3 milyon ton/yıl peletlik ince konsantre elde edilmesi olarak planlanmıştır. [8]

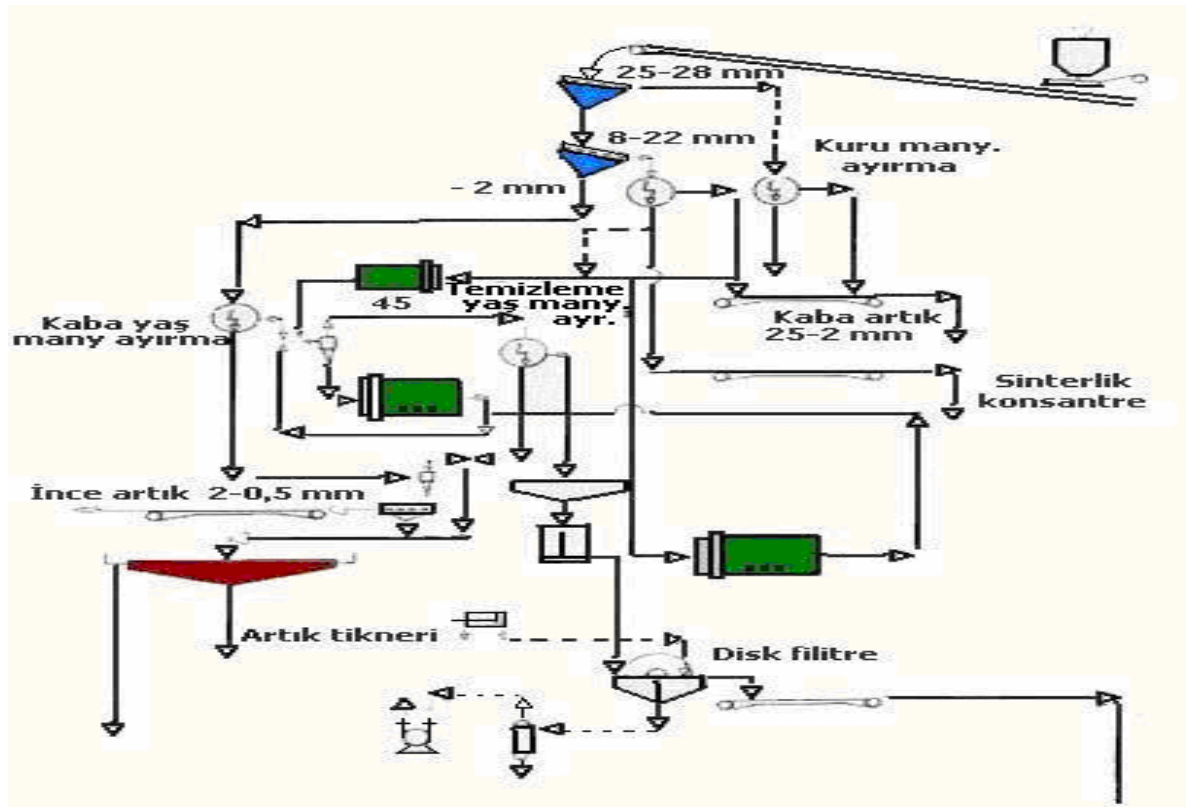
Ancak cevher üretimi ve nakliye sisteminden ortalama olarak 2 milyon ton/yıl cevher beslemesi yapılabilmektedir. İşletmeye alındığı tarihten bugüne kadar konsantrasyon tesisinde ortalama olarak yılda; 650 bin ton -10+2 mm boyutunda % 56 Fe tenörlü sinterlik konsantre ve 1 milyon ton -45 mikron boyutunda % 69 Fe tenörlü peletlik ince konsantre üretimi gerçekleştirilmektedir.

Cevherler -25 mm ebadına kırılarak tesise girmektedir. Tesise giren cevherler önce 10 ve 2 mm'lik eleklerden elenir. Sonra kuru manyetik ayırıcılarla zenginleştirilerek

konsantre, ara ürün ve artık madde elde edilmektedir. Konsantreler birleştirilerek sinterlik malzeme olarak (nihai ürün) fabrikalara gönderilmektedir. [10]

Ara ürün çubuklu değirmende -2 mm ebatta öğütülüp -2 mm elek altı ile birleştirilerek birlikte yaş manyetik zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Buradan alınan ve % 63-64 Fe içeren konsantreler bilyalı değirmenlerde -0.1 mm'ye öğütüldükten sonra yeniden manyetik ayırıcılarda zenginleştirilerek nihai konsantre elde edilir (Fe %67-68). Elde edilen nihai konsantrelerin boyutlarının peletlemeye uygun olmaması nedeniyle başka bir bilyalı değirmende % 80'i 45 mikronun altında (BLAINE 1650-1750 cm²/g) olacak şekilde pelet tesisine beslenmek üzere filtrelerde filtrelenirler. [10]

Konsantrasyon tesisinden elde edilen sinterlik konsantre ve peletlik ince konsantrenin kimyasal analiz değerleri Tablo 6.4'te, tesisin akım şeması ise Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Konsantrasyon Tesisi Akım Şeması.

Tablo 6.4 : Konsantrasyon Tesisinden Elde Edilen Konsantrenin Kimyasal Analiz Değerleri.

Bulunan Madde	Sinterlik Konsantre (%)	Peletlik Konsantre (%)
Fe (HCl)	55.96	68.55
Fe ₃ O ₄	75.22	94.44
Mn	0.05	0.04
SiO ₂	9.66	1.85
CaO	2.35	0.60
MgO	5.09	0.91
Al ₂ O ₃	2.27	0.50
Cu	0.05	0.02
TiO ₂	-	-
K ₂ O	0.48	0.12
Na ₂ O	0.01	0.04
S	0.34	0.21
P	0.02	Eser

6.7. Peletleme Tesis

Peletleme tesisi, Türk–Batı Alman (Kutlutaş ve Thyssen Rheinstahl Technik GmbH) konsorsiyumu tarafından inşaa edilmiştir. Tesisin devreye alınması çalışmaları 1986 yılı başında başlamış ve ilk pelet 23 Nisan 1986 tarihinde üretilmiştir. [8]

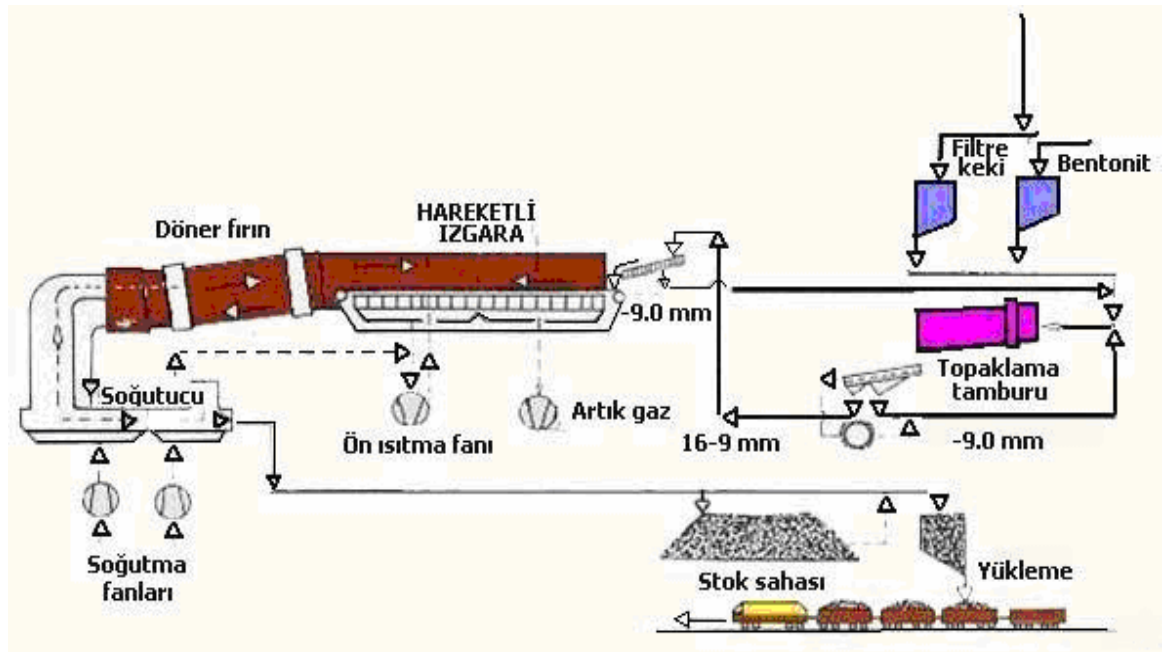
Konsantrasyon tesisinde ince boyutlarda zenginleştirilen cevher (Filtre keki), ince tane boyutunun yüksek fırınlarda yaratacağı ters etkilerden dolayı doğrudan şarja elverişli değildir. Peletlemeye hazır hale getirilmiş cevherler (konsantre olmuş cevher tozları) pelet tesisine verilmek üzere yükleme silolarına konur ve bağlayıcı madde (bentonit) ile uygun oranda karıştırılarak yaş pelet üreten topaklama bölümüne gönderilir. Yaş peletleme bölümünde bağlayıcı madde ve suyun yüzey gerilimden istifade edilerek cevher tozları küçük topaklar halinde (9–16 mm) ve tambur içinde yuvarlama yaptırılıp kartopu büyümesine benzer yapı oluşturularak istenilen boyutta peletlerin oluşumu sağlanır. İstenilen boyuttan daha küçük ebatlı peletler tekrar devreye sokularak yeni oluşacak peletlerin çekirdek peletini oluşturmasına yardımcı olurlar.

Elde edilen ham peletler istenilen niteliklere sahip olduğunun tespiti yapıldıktan sonra (düşme sayısı, basma dayanımı, sertlik) sertleştirilmek üzere tesisin sıcak bölümüne gönderilir.

Ham peletler 15-18 cm derinliğinde düzgün bir yatak oluşturacak şekilde hareketli ızgara üzerine yığılır. Izgara ve hareketli ızgara, kurutma bölümü ve ön ısıtma bölümlerinden oluşur. Divriği Pelet Tesisleri’nde bu ızgaranın uzunluğu 31.7 m’dir.

Bu uzunluğun 14 m'lik kısmı kurutma bölümü, 11.6 m'lik kısmı ise ön ısıtma bölümüdür. Hareketli ızgara 1-3 m/dakika'lık bir hızla sonsuz zincir şeklinde hareket eder.

Divriği Peletleme Tesisi'nde kullanılan standart hareketli ızgara–döner fırın–döner soğutucu sisteminin, tasarım kapasitesi 1.43 milyon ton/yıl'dır. Peletleme tesisinden yılda ortalama 1 milyon ton % 67 Fe tenörlü pelet üretilerek Demir Çelik Fabrikalarına sevk edilmektedir. Peletleme Tesisi akım şeması Şekil 6.5'teki gibidir.



Şekil 6.5 : Peletleme Tesisi Akım Şeması.

Görüleceği gibi pelet üretimi iki aşamada meydana gelmektedir.

- Yaş pelet üretim safhası
- Yaş peletlerin pişirilme safhası

6.7.1. Yaş Pelet Üretim Safhası

Topaklama tamburu ve ebatlandırma eleklerinden ibarettir. Bu bölüm konsantre cevher ve bağlayıcıların belirli oranlarda ve belirli rutubet ile karıştırılarak cevherlerin topaklanmasının sağlandığı bölümdür.

Peletleme yapan tambur; diskli peletleyici, silindirik tambur peletleyici veya çok konikli tambur peletleyici şeklinde olabilir. Bu bölümlerde yaş pelet olarak gerçekleştirildikten sonra ikinci bölüme yani pişirme safhasına gönderilir.

A) Yaş Peletlerin Pişirilme Safhası

Kurutma, ön ısıtma, döner fırın (pişirme) ve soğutucular olarak dört bölümde ele alınır.

a) KURUTMA :

Kurutma bölümündeki sıcaklık 380°C civarındadır. Bu bölümde peletlerin yüzey rutubeti ve kısmende yapısal suları alınır. Bu kısımda hareket halindeki peletlerin normal hızla ilerlemesi gerekir. Şayet aşırı hızda kurutma işlemi yapılırsa peletlerin patlamasına neden olur. Kurutulmuş peletlerin basma dayanımları 2-3 kg/pelet civarında olmalıdır.

b) ÖN ISITMA BÖLGESİ :

Sıcaklık 970–1130°C civarındadır. Bu bölümde yapısal suların atılması tamamlanır. Hidratlar, karbonatlar ve sülfatlar ayrışır. Curuf bağları oluşmaya başlar. Manyetit ekzotermik bir reaksiyonla hematite dönüşmeye başlar. Ön ısıtma bölgesinin sonuna gelmiş peletler artık kırılmadan döner fırına dökülebilecek dayanıma sahiptirler (50–60 kg/pelet). Peletlerdeki dayanım sağlamlığı yeniden kristalleşme, tane büyümesi ve curuf bağlarının oluşması ile meydana gelmektedir.

c) DÖNER FIRIN :

Fırın sıcaklığı 1250–1320°C civarındadır. Ön ısıtma bölgesinde başlayan curuf bağları ve kristal büyümesi bu bölgede tamamlanır. Böylece yüksek fırın şarjına uygun peletler elde edilir. Divriği Tesisindeki döner fırın 5.2 m çapında, 34.5 m boyunda ve 3° eğimle çalışmaktadır. İşletme tonajına bağlı olarak 0.5–1.5 dev/dakika hızla dönen fırında yakıt olarak fuel-oil kullanılmaktadır.

d) SOĞUTUCU :

1300°C civarındaki peletlerin soğutulması işlemidir. Soğutucular peletlerin pişirilmesi esnasında meydana gelen ısı enerjisinin tesiste kullanılmak amacına yönelik olarak dizayn edilmişlerdir. Peletleme Tesisinden elde edilen peletin kimyasal analiz değerleri Tablo 6.5'te ve fiziksel özellikleri Tablo 6.6'da verildiği şekildedir.

Tablo 6.5 : Peletleme Tesisinde Üretilen Peletin Kimyasal Analiz Değerleri.

Bulunan Madde	Değer (%)
Fe (HCl)	66.40
Fe ₃ O ₄	9.50
Mn	0.05
SiO ₂	2.01
CaO	0.52
MgO	1.22
Al ₂ O ₃	0.54
K ₂ O	0.12
Na ₂ O	0.04
S	Eser
P	0.01

Tablo 6.6 : Peletleme Tesisinde Üretilen Peletin Fiziksel Özellikleri.

Parametre	Değer
Ebat (+16 mm)	Max % 5
- 16 + 9.52 mm	Min % 85
-9.52 + 6.35 mm	Max. % 7
- 6.35	Max % 3
Serbest Nem Kaybı	Max % 3
Basma Dayanımı (Pişmiş Pelet)	Min 250 kg/pelet
Basma Dayanım (Ham Pelet)	1-3 kg/pelet
Tumbler Endeksi	+ 6.35 mm’de Min % 95
Aşınma Endeksi	- 0.6 mm’de Max % 5
Yığın Yoğunluğu	2.22 g/cm ³
Porozite	% 25-32
Şişme	Max % 25
Düşme Sayısı	≥4

6.8. B Kafa Kırılmış Cevher Üretimi

B Kafa Maden Ocağından yaz aylarında delme+patlatma+yükleme+kamyon sistemi ile üretilen tüvenan cevher 10 km mesafedeki tesisler bölgesinde bulunan Tüvenan Stok Sahasına müteahhit marifeti ile taşınarak stoklanmaktadır. Bütün yıl boyunca bağımsız bir kırma–eleme ünitesinde –60 mm’ye kadar kırılan cevher 10 mm’lik elekten elendikten sonra, elek üstü Demir Çelik Fabrikaları’na sevk edilmekte, elek altı da daha sonra değerlendirilmek üzere toz cevher stoğunda stoklanmaktadır.

B Kafa Açık Maden ocağından yılda ortalama 500 bin ton üretilen tüvenan hematit cevherden % 58 Fe tenörlü 375 bin ton parça cevher ve % 47 Fe tenörlü 125 bin ton toz cevher elde edilmekte iken İSDEMİR'in bu parça cevher talebini cevherde bulunan alkali değerlerinin yüksek oluşu nedeni ile durdurması sonucu B Kafa cevher üretimi de buna bağlı olarak durdurulmuştur.

Kırma–eleme tesisinden elde edilen parça cevherin kimyasal analiz değerleri Tablo 6.7’de verildiği gibidir.

Tablo 6.7 : Kırma-Eleme Tesisinde Üretilen Parça Cevherin Kimyasal Değerleri.

Bulunan Madde	Değer (%)
Fe (HCl)	57.00 – 58.00
SiO ₂	7.50
K ₂ O	0.48
S	1.80
P	0.04
Zn	0.02
Mn	0.20
CaO	1.70
Cu	0.04
MgO	1.75
Na ₂ O	0.05
Al ₂ O ₃	1.72

6.9. Toz Cevher Zenginleştirme Tesis

Divriği Madenlerinden eskiden işletilen C Plaseri cevheri ile B Kafa cevherinin düşük tenörlü ve alkalisinin yüksek olması nedeniyle Demir Çelik Fabrikaları’na sevk edilemeyen –10 mm tozları ileri bir tarihte değerlendirilmek üzere stoklanmıştır. Bu stok 1997 yılı sonu itibari ile yaklaşık 3.5 milyon ton civarındadır.

Stokta bekleyen toz cevherin gerek düşük tenörlü olması ve gerekse empüritelerin varlığı nedeni ile Demir Çelik Fabrikaları’nda kullanılma imkanı bulunmamaktadır. Toz cevherin değerlendirilmesi amacıyla MTA Enstitüsüne, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi’ne laboratuvar ve pilot çapta deneyler yaptırılmış ve zenginleştirilmesinin mümkün olacağı tespit edilmiştir. Yap–İşlet–Devret modeli ile özel bir firmaya yaptırılan zenginleştirme tesisi manyetik ayırma

esasına dayanmaktadır. Şubat 1998 tarihinde işletmeye alınan tesisten 2002 Ekim ayı sonuna kadar 1.301.816 ton –10 mm boyutunda % 62 Fe tenörlü ve % 0.20–25 K₂O + Na₂O olan kaliteli bir sinterlik konsantre elde edilmiş ve stokta bulunan toz cevherin bitmesiyle birlikte tesis durmuştur. Tesisin zenginleştirilmiş cevher kapasitesi 1200 ton/gün (50 t / h)’tir.

Tesisten üretilen –10 mm zenginleştirilmiş toz cevherin kimyasal analizi Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8 : Toz Cevher Zenginleştirme Tesisinde Üretilen Cevherin Kimyasal Analiz Değerleri.

Bulunan Madde	Değer (%)
Fe (HCl)	60.00 – 62.00
SiO ₂	5.50
Al ₂ O ₃	1.85
S	0.30
P	0.05
Mn	0.06
CaO	0.52
Cu	0.04
MgO	1.12
K ₂ O	0.25
Na ₂ O	0.04
Zn	0.02

7. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE BOR MADENCİLİĞİ

7.1. Bor Hakkında Genel Bilgi

Bor, ülkemizin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bünyelerinde değişik oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren bor minerallerinin en önemlileri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bor mineralleri bazı alanlarda ham olarak kullanılabildiği gibi, genel olarak rafine bor bileşiklerine ve uç ürünlere dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor mineralleri günümüz teknolojisinde önemli bir role sahiptir. [18]

7.2. Bor Kullanım Alanları

Borun başlıca kullanım alanı, cam endüstrisi (tekstil tipi cam elyafı, izolasyon tipi cam elyafı ve borosilikat camları)’dır. Roskill 2002’ye göre ikinci büyük borat pazarı ise deterjan ve ağırlatıcılardır. Borun diğer önemli kullanım alanları ise emaye-sır ve tarımdır. Dünya emaye-sır sektöründe bor tüketim miktarı 195.000 ton B_2O_3 olup; bu sektör dünya bor tüketiminde dördüncü sıradadır.

Bor bunlardan başka; metalurji, refrakterler, aşındırıcılar, polimerler, tıp, nükleer mühendislik ve makine dahil bir çok alanda kullanılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 7.1’de ayrıntılı olarak borun kullanım alanları sıralanmıştır.

Tablo 7.1 : Bazı Önemli Konsantre ve Rafine Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları.
[18]

Ürün	Kullanım Alanları
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı, bor alaşımları, metalurjik curuf yapıcı, nükleer atık depolama
Sodyum Bor Cevherleri (Üleksit ve Prebertit)	Yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar, gübre
Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Rafine borların üretimi (deka-penta), sodyum perborat, susuz boraks, disodyum oktaborat, pentaborat, netaborat
Borik Asit (H_3BO_3)	Antiseptikler, bor alaşımları, nükleer uygulamalar, yangın geciktiriciler, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre, katalistler, cam, cam elyaf, emaye, sır, antiseptikler, kozmetik
Susuz Boraks	Gübreler, cam elyaf, cam, metalurjik curuf yapıcı, emaye-sır, yangın geciktirici, kaynak – lehimcilik
Sodyum Perborat ($\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	Deterjan ve beyazlatıcılar, tekstil, dezenfektan ve bazı diş macunları
Disodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjanlar, zirai ilaçlama, fotoğrafçılık, tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın geciktiriciler
Rafine Boraks Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Yapıştırıcılar
Rafine Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Çimento, ilaç ve kozmetikleri, korozyon önleyici, böcek ve mantar zehirleri, elektrolitik rafinasyon, gübreler, yangın geciktiriciler, cam, cam elyafı, böcek ve bitki öldürücü, deri ve tekstil
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat	Yangın söndürücüler, gübreler, tarım ilaçları ve ağaç koruyucular
Amorf Bor ve Kristalin Bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörlerinde muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık ve spor malzemeleri için kompozitler
Bor Halojenürleri	İlaç sanayii, katalizörler, elektronik parçalar, bor flamentleri ve fiber optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık kimyasalları, yapıştırıcılar, tekstil, “ finishing “ bileşikleri, deterjan ve temizlik malzemeleri, yangın geciktiricileri, gübre ve zirai ilaçlar
Fluborik Asit	Kaplama çözeltileri, fluborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Trimetil Borat	Kaplama çözeltileri, fluborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflaştırma, kağıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerin temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalizör, polimer stabilizatörleri, yangın geciktiriciler

Bu çalışmada borun kullanılmasının nedeni ise borun çelik sanayiinde önemli işlevlerinin olmasıdır. [19]

Bor ve bileşiklerinin çelik sanayiinde özellikle tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir :

- Çelik üretiminde florit yerine curuf yapıcı, pota örtücü olarak kullanılabilmesi ve ergitmeyi hızlandırması
- Çeliklerde alaşım elementi olarak kullanılabilmesi
- Çeliğin sertliğini arttırması
- Bazı karakterli olduklarından yüksek fırında kullanılacak kireç miktarını azaltması
- Yüksek fırında indirgenme sıcaklığını düşürdüğünden dolayı maliyeti azaltması
- Doğal flaks özelliğe sahip olduklarından peletlerde bentonite alternatif teşkil etmesi
- Oluşan çok miktardaki bor atığının değerlendirilmesi

Metal ve/veya alaşımlarının yüzeylerine bor elementinin yayındırıldığı ve **“Borlama İşlemi”** olarak isimlendirilen yöntem, ilk kez 1895 yılında Moisson tarafından Rusya’da uygulanmıştır.

Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert, sürtünme katsayısının ise çok düşük olmasının yanı sıra, asit ve bazların oluşturacakları korozyona ve yüksek sıcaklık korozyonuna direnç göstermesidir. Ayrıca borlama işleminin alaşımsız çeliklere uygulanabilmesi ekonomik açıdan bir üstünlük teşkil etmektedir.

Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayiinde koruyucu curuf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri, elektrolit elde edilmesinde sarf edilmektedir. Borik asit nikel kaplamada, fluboratlar ve fluborik asitler ise; kalay, kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metaller için elektrolit olarak kullanılmaktadır. Alaşımlarda, özellikle çeliğin sertliğini artırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ferrebor oldukça önem kazanmıştır. Çelik üretiminde 50 ppm bor ilavesi çeliğin sertleşme niteliğini geliştirir

ABD Flinkote Company'nin aldığı bir patentte Bazık Oksijen Fırını (BOF) yöntemi ile çelik üretiminde kireç ergimesinin çabuklaştırılması ve curuf kontrolünde flor yerine bor kullanılmasının daha avantajlı olacağı tespit edilmiştir. Kanada, Batı Almanya, Japonya ve ülkemizde çelik üretiminde florit yerine kolemanit kullanılmaktadır.

Bor elementi, periyodik sistemin 3. grubunun başında yer alır. Simgesi B, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, ergime noktası 2190 ± 20 °C' dir. Elmaştan sonra en sert madde olan ametal bor gri-siyah veya yeşilimsi sarı renkli bir yapıdadır. Yer kabuğunda ortalama 10 ppm olan bor konsantrasyonu denizlerde 3–5 ppm arasında değişmektedir. Ekonomik konsantrasyonlarda en fazla bulunan bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyuma hidrate olmuş boratlarıdır. [20]

Bor, doğada serbet olarak bulunmaz, oksijenle birleşerek bor tuzları şeklinde veya silikatlar halinde bulunur. En yaygın bileşikler sodyum, kalsiyum ve magnezyumlu bileşikleridir. Borun yeryüzünde bilinen 100'e yakın mineralinden yalnızca 7 tanesinin ekonomik değeri bulunmaktadır. Bunlar suda eriyebilen boraks ve kernit (rozarit) ile erimeyen kolemanit, üleksit, pandermite, boraksit ve sassolittir. Tablo 7.2'de önemli bor mineralleri ve bileşimleri gösterilmiştir. [21]

Tablo 7.2 : Önemli Bor Cevherleri ve Bileşimleri.

Adı	Formülü	% B ₂ O ₃	% H ₂ O
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.50	47.20
Tinkal Konit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47.80	30.90
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	50.90	26.40
Üleksit	Na ₂ Ca ₂ B ₁₀ O ₁₈ .16H ₂ O	43.00	35.60
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.90	21.90
Pandermite	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.80	18.10
Boraksit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.20	-
Hidroboraksit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.50	26.10
Sassolit	H ₃ BO ₃	56.40	43.60

Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)

Sertliği 4.5 mohs, özgül ağırlığı ise 2.42 g/cm^3 'tür. Renksiz; beyaz, şeffaf-yarı şeffaf, renklerde. B_2O_3 içeriği % 50,9'dur. Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek, Kırka, Sultançayır borat yataklarında yaygın olarak oluşmuştur. Kırka hariç diğer yatakların esas cevheridir. [18]

Endüstride; tekstil kalite cam elyafında, bor alaşımlarında, metalurjik curuf yapıcı olarak ve nükleer atık depolama gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Demir-çelik sanayiinde çeliğin sertliğini arttırıcı niteliğe sahip olduğundan dolayı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Kolemanit; ısı altında patlama (dekrepitasyon) özelliği gösterir. Bu nedenle fazla miktarda kullanılması pelet ve çelik kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Sertliği 2–2.5 mohs, özgül ağırlığı 1.715 g/cm^3 'tür. Renksiz, beyaz, grimsi, yeşilimsi, mavimsi renklerde, şeffaf–yarı şeffaf görünümündedir. Çizgi rengi beyazdır. B_2O_3 içeriği % 36.5'tir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir. Boraks, evaporitik ortamlarda oluşan bir mineraldir. Tuzlu göl sularının evaporasyonu ile oluşur. Karbonatlar, sülfatlar ve halit gibi diğer evaporasyon mineralleri ile birlikte bulunur.

Endüstride en çok kullanılan bileşikler; susuz boraks, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrattır. Gübre, emaye-sır, cam ve cam elyaf, böcek ve mantar zehirleri, ilaç ve kozmetik ürünlerinin yapımında, ayrıca metalurjik curuf yapıcı ve korozyon önleyici olarak kullanılmaktadır. [18]

Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Sertliği 2.5 mohs, özgül ağırlığı 1.955 g/cm^3 'tür. B_2O_3 içeriği % 43'tür. Beyaz, renksiz, ipeksi ve şeffaf yapıdadır. Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç borat yataklarında yaygın olarak ve Bigadiç yatağında ikinci cevher olarak bulunur. Masif, karnabahar, lifsel, koni, rozet, pamuk yumağı ve çubuksal görünüm sergiler. Emet yataklarında üç farklı düzeyde rastlanır. Burada kolemanit ve hidroborasit ile birlikte. Kırka'da borat yatakları içinde boraks, kolemanit ve inyonit, kil tabakaları içinde ise kurnakovit ve inderit ile birlikte bulunur. Yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar ve gübre yapımında kullanılır. [18]

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda; Divriği Konsantrasyon ve Peletleme Tesisi'nden alınan demir cevheri konsantresi ile çalışılmıştır. Öncelikle, demir konsantresi, bor mineralleri (kolemanit, üleksit ve boraks), bor atığı ve bentonitin sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, ardından peletleme diskinde optimum bağlayıcı oranın saptanabilmesi için farklı miktarlarda bağlayıcı eklenerek 19 tip pelet yapılmıştır. Söz konusu peletlerin tesislerde kullanılabilirliğini belirleyen testlerden; basma dayanımı, düşme, porozite, şişme indeksi ve yığın yoğunluğu testleri yapılmış, bağlayıcı madde tipine ve bağlayıcı madde oranına bağlı olarak pelet özelliklerinin ne şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Pişirmenin pelet karakteristiğine olan etkisinin anlaşılabilmesi için peletlerin bir kısmı 1200°C'de pişirilmiş ve aynı testler pişmiş peletlere de uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre; en uygun bağlayıcı tipi, optimum bağlayıcı oranı, bağlayıcı maddelerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları, pelet özellikleri ve ekonomi göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

8.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Pelet özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerde Erdemir Madencilik Divriği Konsantrasyon ve Peletleme Tesisi'nden alınan manyetit konsantresi, sodyum bentoniti, Kütahya–Emet Kolemanit Tesisleri'nden alınan bor mineralleri ve atığı kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

Manyetit Konsantresi :

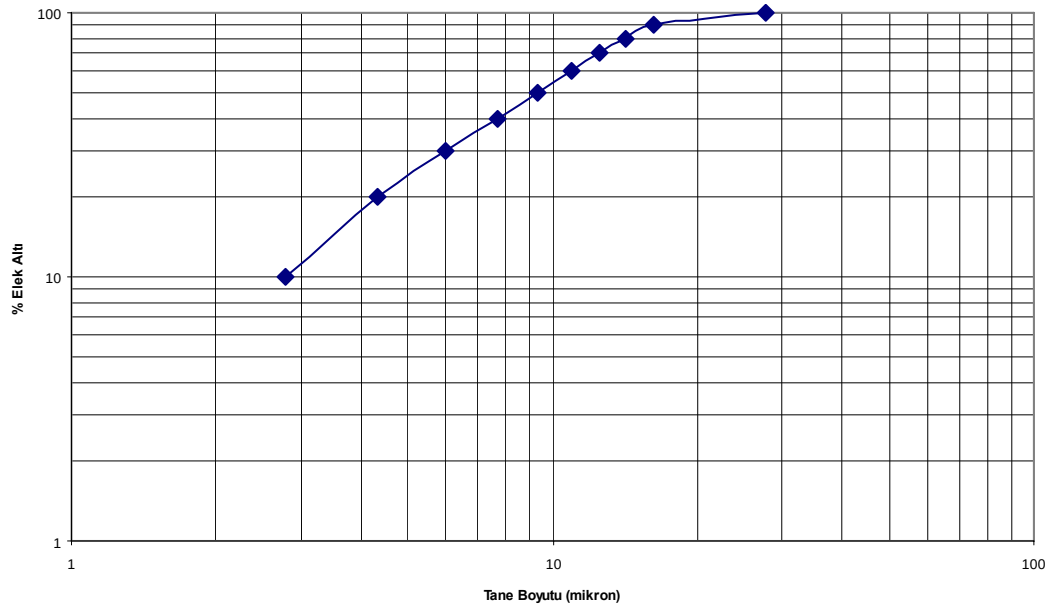
Deneysel çalışmalarda, Sivas–Divriği yöresindeki Konsantrasyon ve Pelet Tesisi'nden getirtilen manyetit konsantresi kullanılmış olup numunenin kimyasal analiz sonuçları Tablo 8.1, boyut analizi sonuçları Tablo 8.2 ve boyut dağılım eğrisi Şekil 8.1'de verilmiştir.

Tablo 8.1 : Manyetit (Fe_3O_4) Konsantresi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Element	İçerik(%)
Fe	68.85
S	0.30
SiO_2	1.50
Al_2O_3	0.78
Na_2O	0.04
K_2O	0.08
CaO	0.65
MgO	0.55
Ni	0.23
Co	Eser
H_2O	8.00

Tablo 8.2 : Manyetit (Fe_3O_4) Konsantresi Boyut Analizi Değerleri.

Tane Boyutu (μm)	Değer (%)
-27.71 + 16.28	10.00
-16.28 + 14.13	10.00
-14.13 + 12.52	10.00
-12.52 + 10.98	10.00
-10.98 + 9.35	10.00
-9.35 + 7.67	10.00
-7.67 + 6.01	10.00
-6.01 + 4.34	10.00
-4.34 + 2.78	10.00
-2.78	10.00
Toplam :	100.00

**Şekil 8.1 :** Manyetit Konsantresi Boyut Dağılım Eğrisi.

Bağlayıcı Maddeler

Deneylerde bağlayıcı madde olarak; sodyum bentonit ve pelete olan etkisinin araştırıldığı bor mineralleri (kolemanit, üleksit, boraks) ve bor atığı kullanılmıştır. Bor minerallerinin ve atığının kimyasal analiz sonuçları Tablo 8.3'te verilmiştir. Malzemeler laboratuvarında bilezikli değirmende öğütülmüş olup boyut analizleri "*Fritsch Boyut Analiz Cihazı*" kullanılarak yapılmıştır.

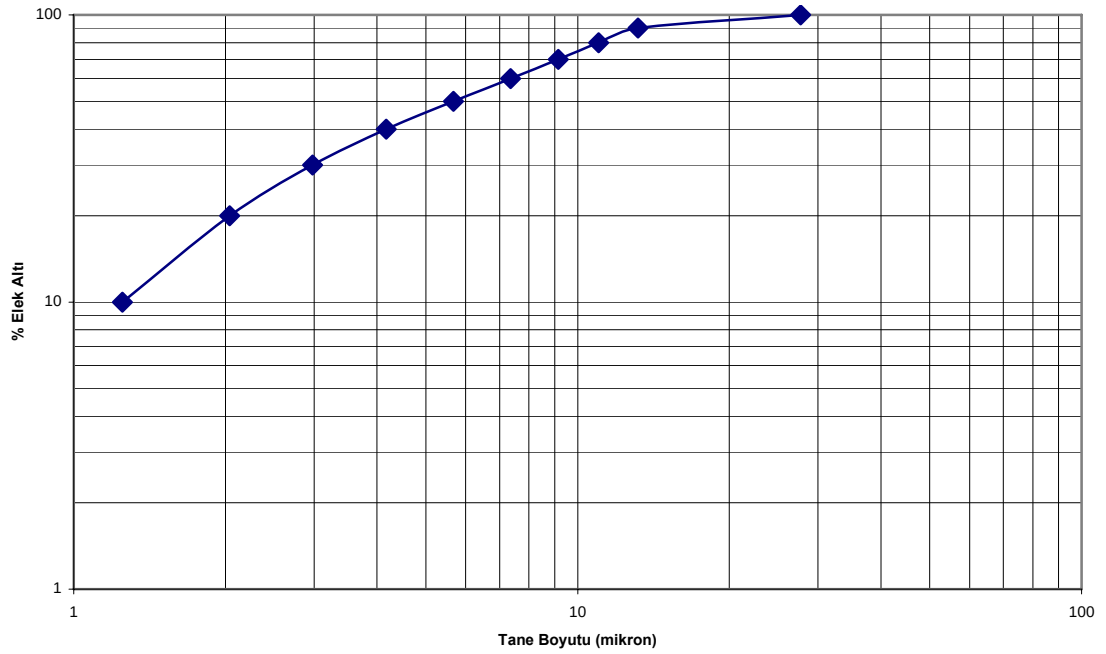
Tablo 8.3 : Bor Mineralleri ve Bor Atığının Kimyasal Bor İçeriği.

Bor Minerali	Kimyasal Analiz(%)	Teorik Değer(%)
Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	49.35	50.90
Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	31.19	33.16
Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	39,19	42.95
Bor Atığı	10.00	---

Bor atığının % 100'ü 90 mikronun altına öğütülmüştür. Kolemanit, boraks, üleksit ve bentonitin boyut analizi sonuçları Tablo 8.4, 8.5, 8.6 ve 8.7'de, boyut dağılımı eğrileri ise Şekil 8.2, 8.3, 8.4 ve 8.5'te verilmiştir.

Tablo 8.4 : Kolemanit Numunesinin Boyut Analizi Değerleri.

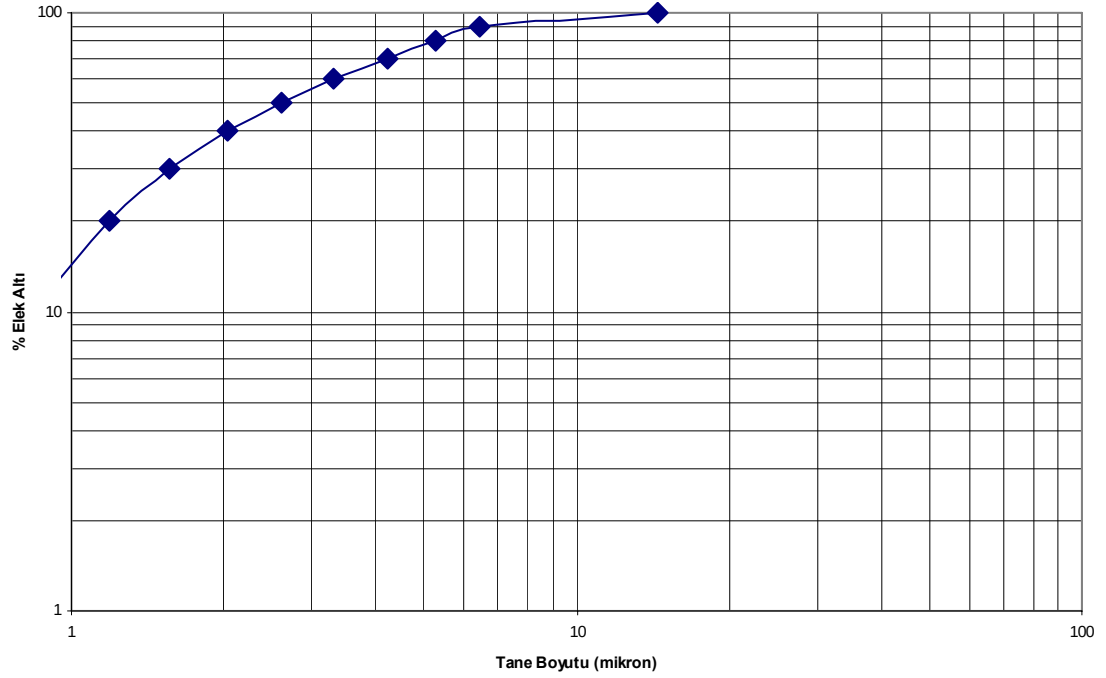
Tane Boyutu (μm)	Değer (%)
-27.70 + 13.17	10.00
-13.17 + 11.00	10.00
-11.00 + 9.15	10.00
-9.15 + 7.36	10.00
-7.36 + 5.67	10.00
-5.67 + 4.17	10.00
-4.17 + 2.98	10.00
-2.98 + 2.04	10.00
-2.04 + 1.25	10.00
-1.25	10.00
Toplam :	100.00



Şekil 8.2 : Kolemanit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.

Tablo 8.5 : Boraks Numunesinin Boyut Analizi Değerleri.

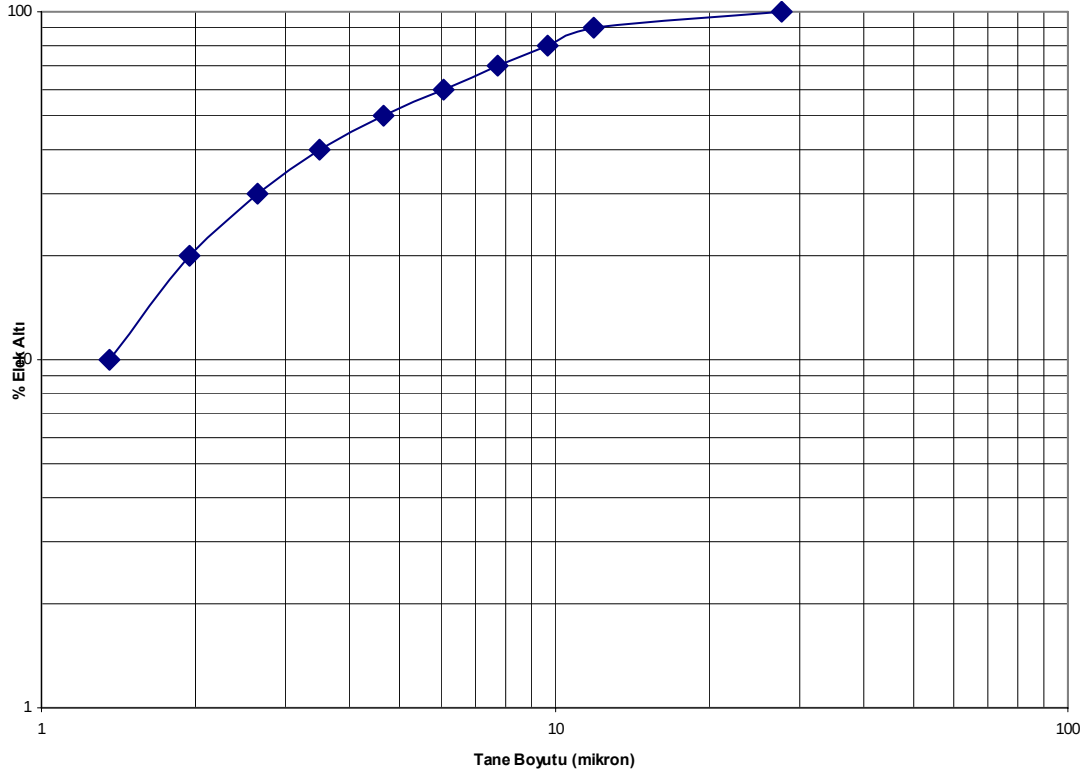
Tane Boyutu (μm)	Değer (%)
-14.47 + 6.41	10.00
-6.41 + 5.26	10.00
-5.26 + 4.22	10.00
-4.22 + 3.31	10.00
-3.31 + 2.60	10.00
-2.60 + 2.03	10.00
-2.03 + 1.57	10.00
-1.57 + 1.19	10.00
-1.19 + 0.83	10.00
-0.83	10.00
Toplam :	100.00



Şekil 8.3 : Boraks Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.

Tablo 8.6 : Üleksit Numunesi'nin Boyut Analizi Değerleri.

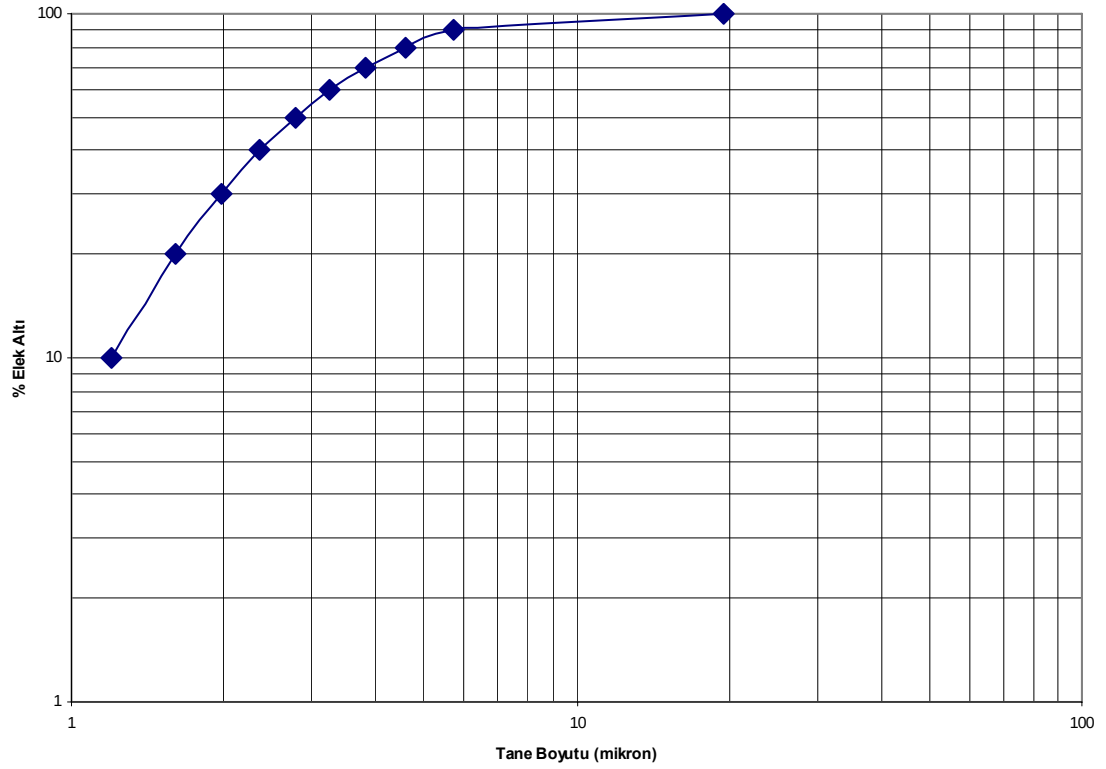
Tane Boyutu (µm)	Değer (%)
-27.68 + 11.95	10.00
-11.95 + 9.68	10.00
-9.68 + 7.75	10.00
-7.75 + 6.08	10.00
-6.08 + 4.63	10.00
-4.63 + 3.48	10.00
-3.48 + 2.63	10.00
-2.63 + 1.95	10.00
-1.95 + 1.36	10.00
-1.36	10.00
Toplam :	100.00



Şekil 8.4 : Üleksit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.

Tablo 8.7 : Peletleme Deneylerinde Kullanılan Bentonitin Boyut Analizi Değerleri.

Tane Boyutu (μm)	Değer (%)
-19.51 + 5.71	10.00
-5.71 + 4.57	10.00
-4.57 + 3.82	10.00
-3.82 + 3.24	10.00
-3.24 + 2.77	10.00
-2.77 + 2.36	10.00
-2.36 + 1.98	10.00
-1.98 + 1.60	10.00
-1.60 + 1.20	10.00
-1.20	10.00
Toplam :	100.00



Şekil 8.5 : Bentonit Numunesinin Boyut Dağılım Eğrisi.

8.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Peletleme ve pelet özelliklerini belirlemede kullanılan test cihazları hakkında bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

8.2.1. Peletleme Cihazı (Diski) (Multipex Laboratory Process Equipment)

Peletleme işlemi için çapı 50 cm olan laboratuvar ölçekli peletleme cihazı kullanılmıştır. Peletleme cihazının eğimi 45°, hızı ise 20 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Daha önceden 15 dakika süre ile karıştırılan manyetit konsantresi ve bağlayıcı maddeden, kuru ağırlık olarak 2.5 kg peletleme diskine beslenmiştir. Peletleme işlemi sırasında piset yardımı ile malzemeye ağırlığının % 10–12'si kadar su ilave edilmiştir. Eklenen su miktarı pelet kalitesini doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu nedenle tesis değerleri ve su miktarının pelet kalitesini nasıl etkilediği konusunda yapılan çalışmalar göz önüne alınmıştır. Yapılan bir çalışmada optimum suyun % 12 olduğu belirtilmiştir [22]. Peletleme süresi yaklaşık 30–60 dakika kadardır. Peletleme cihazının ve yapılan peletlerin şekilleri Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'de verilmiştir.

8.2.2. Basma Dayanımı Test Cihazı (Losenhausen Universal Test Cihazı)

Peletlerin basma dayanımı değerini ölçmek için kullanılan bu cihazın çalışma prensibi; paralel iki plaka arasına malzeme yerleştirilerek, malzemenin kırılışı andaki yükün belirlenmesi şeklindedir. Paralel plakalardan bir sabit diğeri ise hareketlidir. Hareketli plaka üzerine yerleştirilen malzeme taşıyıcı kol yardımı ile sabit plakaya doğru hareket ettirilir. Malzemenin bu iki plaka arasında sıkıştırılarak kırılması için kullanılan yük o malzemenin basma dayanımı değerini verir. Basma dayanımı test cihazı Şekil 8.9'da gösterilmiştir.



Şekil 8.6 : Deneylerde Kullanılan Peletleme Diski.



Şekil 8.7 : Peletleme Diskinin Yakından Görünüşü.



Şekil 8.8 : Peletler.



Şekil 8.9 : Basma Dayanımı Test Cihazı.

8.2.3. Yüksek Sıcaklık Hidrojen Dilatometresi

Peletler yüksek sıcaklık altında belli oranlarda genişerek şişerler. Yüksek fırına şarj edildiklerinde hangi oranda şiştikleri işletme açısından önemlidir. Bu nedenle yapılan peletlere şişme testleri uygulanmıştır. Şişme testlerinde “Yüksek Sıcaklık Hidrojen Dilatometre” cihazı kullanılmıştır. Cihazda peletler 900°C sıcaklıkta 60 dakika bekletilerek peletteki hacim değişimi ölçülmüş ve peletlerin şişme endeksleri ölçülmüştür. Test sırasında pelete ölçüm için azot gazı verilmiştir. Testlerde kullanılan dilatometre Şekil 8.10’da gösterilmiştir.



Şekil 8.10 : Yüksek Sıcaklık Hidrojen Dilatometresi

8.2.4. Civalı Porozite Test Cihazı

Peletin yüksek fırında gerçekleşen reaksiyonları olumsuz yönde etkilememesi için belirli bir gözenekliliğe sahip olması gerekmektedir. Yüksek fırının alt bölgesinde oluşan gazların yukarı doğru yükselerek fırını terk edebilmesi için bu gerekli bir unsurdur. Fakat peletin çok fazla gözenekli olması da malzeme kaybına neden olduğundan yani aynı hacimdeki pelete göre daha az çelik elde edilebileceğinden dolayı istenmez. Bu nedenle peletlere porozite (gözeneklilik) testleri uygulanır.

Civalı porozite test cihazında, pelete belli bir basınç altında civa verilir. Peletin gözenekleri basınçtan dolayı civa ile dolar. Peletin ilk ve son ağırlıklarından yararlanılarak hacim farkı dolayısıyla gözenekliliği bulunur. Testlerde kullanılan Civalı Porozimetre Test Cihazı Şekil 8.11’de verilmiştir.



Şekil 8.11 : Civalı Porozite Test Cihazı

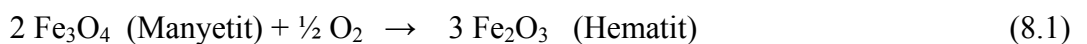
8.3. Metot

Peletleme işlemi için manyetit konsantresi ve bağlayıcı maddeler (bentonit, bor mineralleri (kolemanit, üleksit, boraks) ve bor atığı) kullanılmıştır. Öncelikle konsantrenin kuru ağırlığının % 0.6, % 0.7, % 0.8, % 1, % 1.5 ve % 2'si kadar bentonit ilave edilerek peletler yapılmış ve optimum bağlayıcı oranı bulunmuştur. Yapılan testler neticesinde ve bentonit miktarının bulunması ile ilgili yapılan çalışmalarda optimum bentonit miktarının % 0.7 olduğu görülmüş [17] ve bor mineralleri ile yapılan peletlere konsantrenin kuru ağırlığının % 0.7'si oranında bentonit ilave edilmiştir. Bor minerallerinden % 0.05, % 0.1, % 0.15 ve % 0.2 şeklinde 4 farklı oranda ilave edilerek 12 tip pelet yapılmıştır. Bor minerallerinden belirtilen miktarlarda katılırken minerallerin özellikleri göz önüne alınmıştır. Daha fazla bor minerali ilavesinin peletin fırında pişirilmesi esnasında patlama yada dağılmalara neden olduğu bilinmektedir. Kolemanitle yapılan peletlerde kavurma işlemi sonucunda çatlama olduğu gözlenmiştir. Literatürde ısı işlem altında kolemanitin dekrepitayona (patlama, uflanma) uğradığı, üleksitin büzülme ve boraksın da şişme özelliği gösterdiği belirtilmektedir [23-25]. Bor atığı ile yapılan peletlerde de % 0.7 oranında atık kullanılmıştır.

Manyetit konsantresi peletleme işleminden önce etüvde 105°C'de 24 saat kurutularak nemi alınmıştır. Daha sonra bağlayıcı madde ile 15 dakika karıştırıcıda karışması sağlanmıştır. Karıştırılan malzeme alınarak peletleme diskinde peletleme işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan peletler 9 ve 19 mm'lik eleklerden elenerek çok büyük ve çok küçük peletlerin ayrılması sağlanmıştır. Peletleme diskiden nemli halde alınan peletler "*Ham (Yaş) Pelet*" olarak isimlendirilmektedir. Ham peletlere; düşme, basma dayanımı, yığın yoğunluğu testleri uygulanmıştır.

Ham peletlerin 105°C'de 24 saat kurutulması ile ham pelete göre daha kompakt özellikte peletler yapılmıştır. Bu peletlere "*Kuru (Ürün) Pelet*" denir ve kuru peletlerin de özellikleri test edilmiştir.

Ham peletlerin bir bölümü ise 1200°C'de 30 dakika süre ile pişirilmiştir. Pişirme işlemi sırasında yüksek ısıdan dolayı manyetit bünyesine oksijen alarak hematite dönüşmekte ve peletlerde ağırlık artışı olmaktadır. Bu nedenle peletler fırına verilmeden önce ve sonra tartılmıştır. Fırında pişirme işlemine tabi tutulan peletlere "*Pişmiş Pelet*" adı verilmektedir.



8.4. Uygulanan Testler

Testlerde, Türk Standartları Enstitüsü standartları ve ASTM (American Society for Testing and Materials Standards) Standartları baz alınmıştır.

8.4.1. Basma Dayanımı Testi : [26,27]

Kuru pelet basma dayanımı değeri; peletleme tesisinde, peletin döner fırına giderken ızgaraya üzerinde birbirlerinin ağırlıkları ve basınçları altında ezilmemeleri için önemli bir değerdir [28]. Pişmiş pelet basma dayanımı değeri ise; peletin taşınma, stoklanma ve yüksek fırında şarj ağırlığı altında peletin ezilip kırılmaması için gerekli olan dayanım değeridir.

Test, kuru ve pişmiş, 5 adet pelete uygulanmıştır. Peletler basma dayanımı test cihazında basma yüküne tabi tutularak kırıldıkları andaki yükler tayin edilmiştir. Bulunan değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu değerlerden çok düşük ve çok yüksek olanları iptal edilmiştir. Kuru peletler için basma dayanımı değeri 1–3 kg/pelet arasında, pişmiş pelet basma dayanımı değeri ise minimum 250 kg/pelet olmalıdır. [28]

8.4.2. Düşme Sayısı Testi : [13]

Bu test, peletleme tambur yada disklerinden elde edilen ham(yaş) peletin, pişirme işleminin uygulanacağı bölgeye kadar taşınması sırasında kırılmaması için gerekli dayanımda olup olmadığının kontrolü için yapılır. Kullanılan katkı maddeleri, bağlayıcılar, cevher tozu nemi, özgül yüzey alanı, peletleme koşulları ve karıştırma, düşme sayısını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Test yalnız ham ve kuru peletlere uygulanır.

Ham ve kuru peletler, çelik bir plaka üzerine 45 cm yükseklikten bırakılmıştır. Pelet çatlayana yada kırılana kadar işlem tekrarlanmış ve peletin kırıldığı düşme değeri peletin düşme sayısını (shatter index) vermektedir. 10 pelet için bu test yapılmış ve değerlerin ortalamaları alınmıştır. En az 4 düşme sayısına kadar pelette çatlak oluşmaması yada peletin dağılmaması istenmektedir. [28]

8.4.3. Porozite : [29]

Bu metodla, peletin gözenekliliği tayin edilir. Peletin civalı düzeneğe ağırlığı ölçülür ve kuru ağırlığı ile oranından gözeneklilik hesaplanır.

8.4.4. Şişme Testi : [30]

Belirli şartlar altında indirgenme sırasında demir cevherlerinde oluşan hacim artışının tayininde kullanılır. Azot içeren bir gaz kullanılarak belirli boyut aralığındaki pişirilmiş peletlerde indirgenme sırasında meydana gelen şişme miktarı 900°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle yapılan, indirgenme öncesi ve sonrası peletlerin hacimleri ölçülerek yapılır.

8.4.5. Yığın Yoğunluğu : [31]

Peletlerin stoklanması sırasında peletlerin kaplayacağı alanın tespiti için önemlidir. Bu değerin 2.22 g/cm^3 civarında olması istenmektedir. Peletler eğer çok iri boyutlarda ise bu değer azalacak, çok küçük peletlerde ise bu değer artacaktır. Peletlerin genel olarak 8–20 mm arasında kalması tercih edilir. Yığın yoğunluğu testi ham ve pişmiş peletler için yapılmıştır. Ham peletlerin birbirine yapışma yada şekil değiştirmeleri daha kolay olduğundan ham peletin yığın yoğunluğu değeri daha yüksek bulunmuştur.

Yığın yoğunluğu testi için 9.9 cm çapında ve 23.4 cm yüksekliğinde silindirik bir kap kullanılmıştır. Silindirik kabın darası alınarak alabildiği kadar pelet doldurulmuştur. Peletler 5 defa doldurulup boşaltılarak her seferinde kap+numune tartılmıştır. Kabın hacmi hesaplanarak, ağırlık hacme bölünmüş ve yığın yoğunluğu bulunmuştur. 5 tartımın ortalaması yığın yoğunluğu değeri olarak kabul edilmiştir.

9. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

Deney sonuçları kullanılan bağlayıcı madde tipine göre aşağıda sırasıyla verilmiştir.

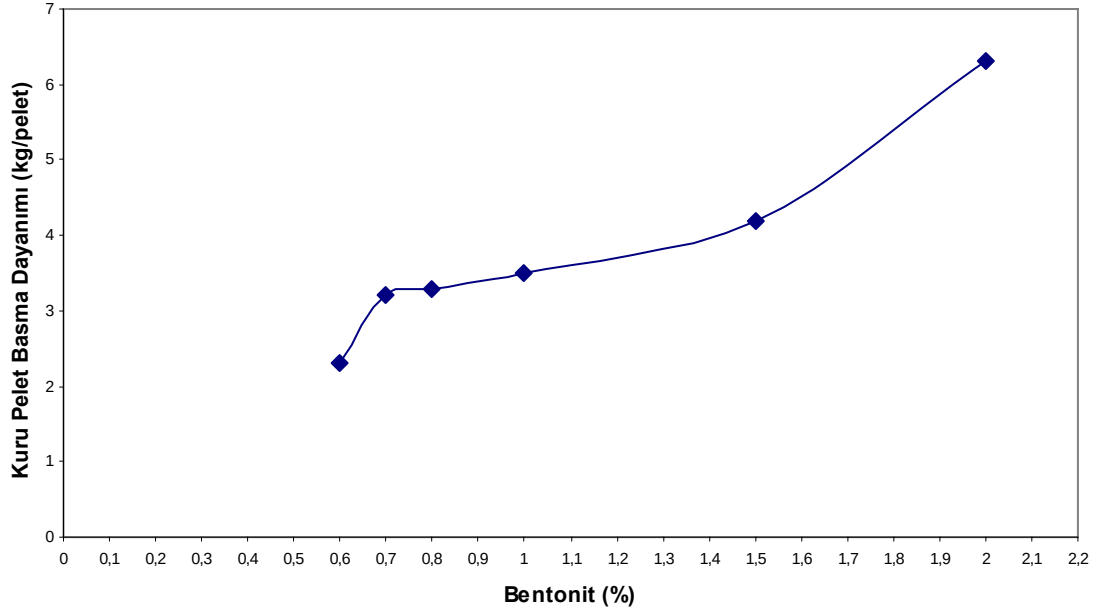
9.1. Bentonit Katkılı Peletler

Bentonit ilavesini (%0,6-2,0) değiştirerek yapılan peletlere ait test sonuçları Tablo 9.1’de ve sonuçlara ait grafikler Şekil 9.1, 9.2 ve 9.3’te verilmektedir.

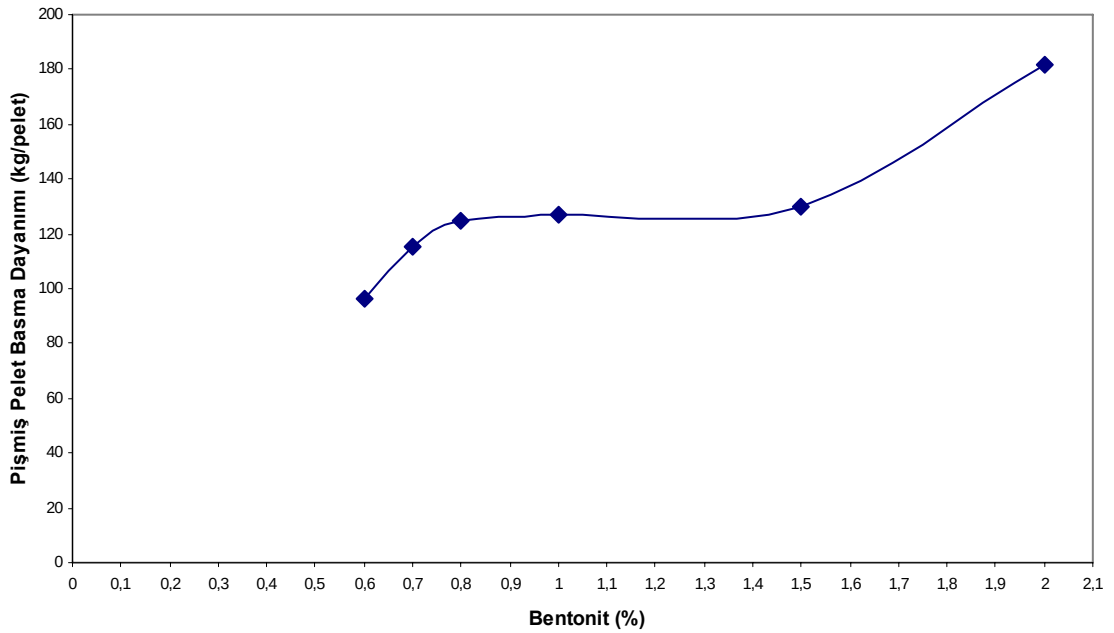
Tablo 9.1 : Bentonit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.

Bentonit İlavesi (%)	Kuru (Ürün) Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Pişmiş Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Ham ve Kuru Pelet Düşme Sayısı (10 Pelet Ort. Değeri)				Porozite (%)	Şişme (%)
			Ham Pelet	Kurutma Süresi (dak)				
				10	20	30		
0.6	2.3	96.6	10.9	4.6	1.2	1	-	0.736
0.7	3.2	115.0	11.3	1.6	1	1.4	27.03	0.752
0.8	3.3	124.5	11.5	1.4	1	1	-	-
1.0	3.5	127.0	11.8	1.2	1	1.6	-	0.811
1.5	4.2	130.0	12.5	1.4	1.2	12*	-	-
2.0	6.3	182.0	13.3	2.4	1	2.2	-	0.838

Aşağıdaki Şekil 9.1’de, bentonit miktarı ile kuru (ürün) pelet basma dayanımı değerinin değişimi görülmektedir. Kuru (ürün) peletlere uygulanan basma dayanımı testlerine göre, eklenen bentonit miktarı arttıkça basma dayanımı değerleri artmıştır. Bunun nedeni bentonit miktarının artması ile pelet içinde daha fazla ve daha kuvvetli bağ oluşumu olabilir. Bentonit yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğundan miktar arttırıldığında daha fazla suyu bünyesine alıp peletin sertleşmesini sağlamıştır [22,32-34].Bentonit miktarı ile kuru pelet basma dayanımı değeri doğru orantılı olarak değişmektedir. [32]

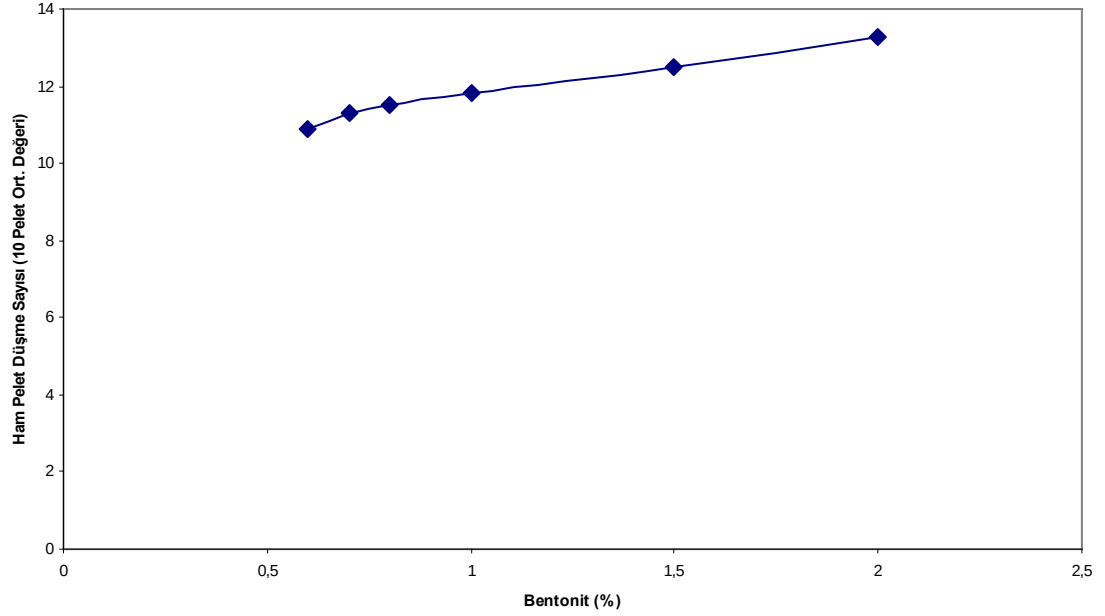


Şekil 9.1 : Bentonit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.



Şekil 9.2 : Bentonit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

Pişmiş peletlere uygulanan basma dayanımı değeri kuru pelet basma dayanımı değerinde olduğu gibi bentonit miktarının artması ile artış göstermiştir [22,28,33]. Bentonit katkılı peletlerin pişmiş pelet basma dayanımı değerleri yüksek sıcaklıkta artan bentonit miktarı ile daha fazla curuf bağlarının oluşarak peletin mukavemetini arttırmas olabilir.[17]



Şekil 9.3 : Bentonit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.

Yaş peletlere uygulanan düşme sayısı testleri sonucunda en yüksek düşme sayısı % 2 bentonit ilavesi ile 13.3 olarak bulunmuş, bentonit miktarının arttırılması ile düşme sayısının arttığı görülmüştür [17,22,28,33]. Bunun nedeni, miktarı arttırıldığında bentonitin pelette oluşturduğu bağın daha kuvvetli olmasıdır. Peletle yapılan bir çok çalışmada da bentonit miktarının artması ile yaş pelet düşme sayısının arttığı görülmüştür. [17,22,32]

Bentonit katkılı peletlerden yalnız %0.7 bentonit katkılı peletlere porozite testi yapılmış ve bulunan değerin standart değerleri sağladığı görülmüştür. Pişmiş peletler için porozite değerinin %25-32 arasında olması istenmektedir.

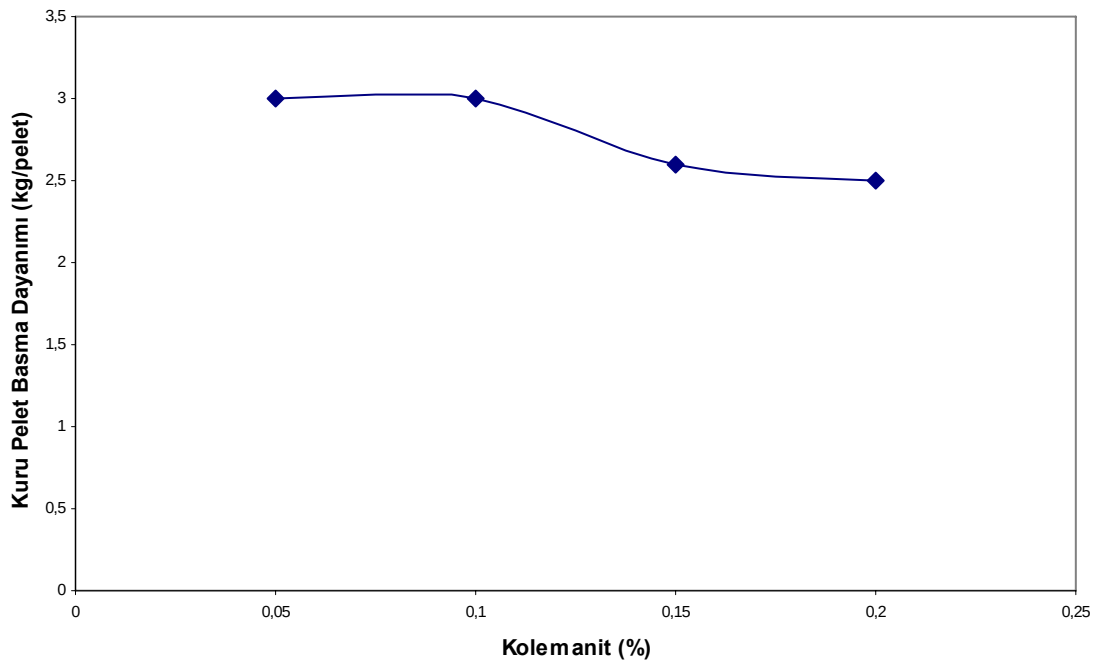
Şişme indeksi değerleri bentonit miktarının artması ile artış göstermiştir. Yani en yüksek şişme % 2 bentonitle yapılan peletlerde %0.838 olarak ölçülmüştür. Tüm bentonitli peletler için şişme indeksi değerleri sınır değerinin altında olduğundan dolayı yüksek fırında kullanımında hacim değişiminden kaynaklanan bir problem olmayacaktır.

9.2. Kolemanit Katkılı Peletler

Bu grup deneyler %0,7 bentonit ilavesi sabit tutularak değişik miktarlarda kolemanit katkısıyla (%0,05-2,0) gerçekleştirilmiştir. Peletler üzerinde yapılan testlerin sonuçları Tablo 9.2’de, grafikler ise Şekil 9.4, 9.5 ve 9.6’da verilmektedir.

Tablo 9.2 : Kolemanit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.

Kolemanit İlavesi (%)	Kuru (Ürün) Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Pişmiş Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Ham ve Kuru Pelet Düşme Sayısı (10 Pelet Ort.Değeri)				Porozite (%)	Şişme (%)
			Ham Pelet	Kurutma Süresi (dak)				
				10	20	30		
0.05	3.0	123.5	9.7	1.8	1	1	29.44	0.890
0.10	3.0	98.0	5.5	2.2	1	1	-	0.802
0.15	2.6	49.0	5.0	2.0	1	1	-	0.800
0.20	2.5	29.5	4.6	1.3	1	1	25.97	-

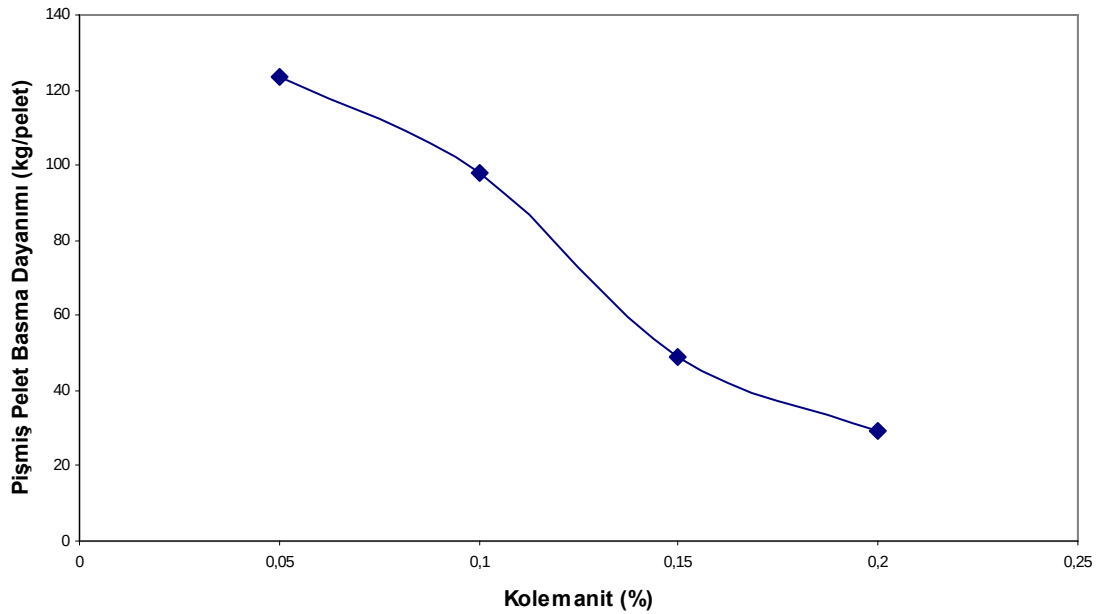


Şekil 9.4 : Kolemanit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

Şekil 9.4’te kolemanit miktarı ile basma dayanımı değerinin ters orantılı olduğu yani kolemanit miktarının artması ile kuru peletlerin basma dayanımı değerlerinin

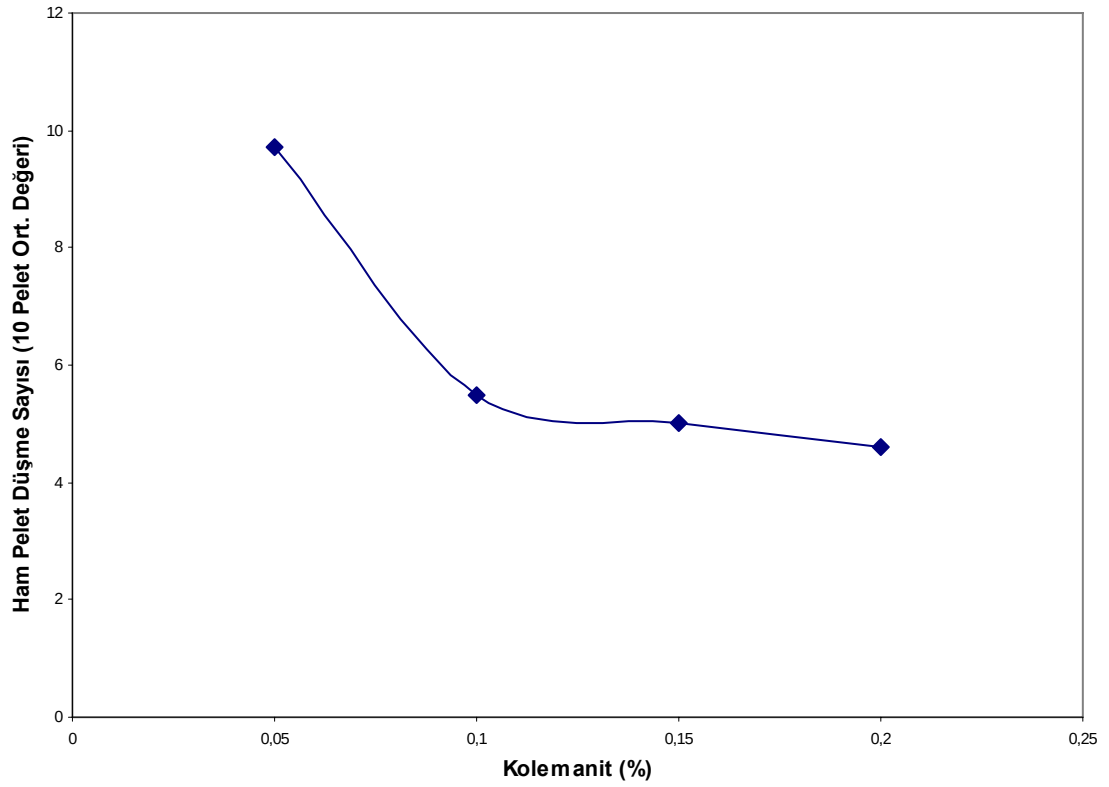
azaldığı, en yüksek basma dayanımının % 0.05 kolemanit değerinde sağlandığı görülmektedir.

Kolemanit sıcaklık etkisi ile çatlama, kırılma özelliği gösteren bir bor mineralidir [25,26]. ABD’de patent sahibi olan ABD Flinkote Company tarafından curuf yapıcı olarak CaF_2 yerine demir-çelik sanayiinde kullanılmakta, fakat fazla miktarda ilavesinin çelik sertliğini düşürdüğü bilinmektedir. Bu nedenle en az kolemanit ile en dayanıklı peletler elde edilmiştir. Kolemanit; kullanılan bor mineralleri içinde B_2O_3 değeri en yüksek olan mineraldir. Yaklaşık %50 oranında B_2O_3 içermektedir. B_2O_3 miktarına bağlı olarak, B_2O_3 oranı arttıkça dayanımın azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 9.5 : Kolemanit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

Şekil 9.5’e bakıldığında kolemanit ilavesinin pişmiş pelet mukavemetini düşürdüğü yani artan kolemanit %’si ile pişmiş pelet basma dayanımının azaldığı görülmektedir. Kuru pelet basma dayanımında da en az kolemanit ilavesi, en yüksek basma dayanımını sağlamıştır. Kolemanitin % 0.05 oranının en yüksek kuru ve pişmiş pelet basma dayanımını vermesinden dolayı bu oranın peletlemede yeterli olacağı sonucu çıkarılmaktadır.



Şekil 9.6 : Kolemanit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.

Ham pelet düşme sayısı değeri en az kolemanit miktarında en yüksek değeri vermiştir. Kolemanitle yapılan düşme testi, kuru ve pişmiş pelet basma dayanımı testleri göz önüne alındığında; hepsinde kolemanitin fazla miktarının peletin dayanıksız ve kırılabilir bir hale getirdiği görülmektedir. En iyi peletler en düşük kolemanit ilavesinde elde edilmiş, bu nedenle çok az miktarda kolemanit ilavesinin yeterli olacağı anlaşılmıştır.

Kolemanit katkı peletlerden sadece % 0.05 ve % 0.2 kolemanit katkı peletlere porozite testleri yapılmıştır. Testlerde % 0.05 kolemanitli peletler için % 29.44 ve % 0.2 kolemanitli peletler için % 25.97 oranında gözeneklilik bulunmuştur. Bu değerlerden kolemanitin artan miktarının gözenekliliği düşürdüğü anlaşılmaktadır.

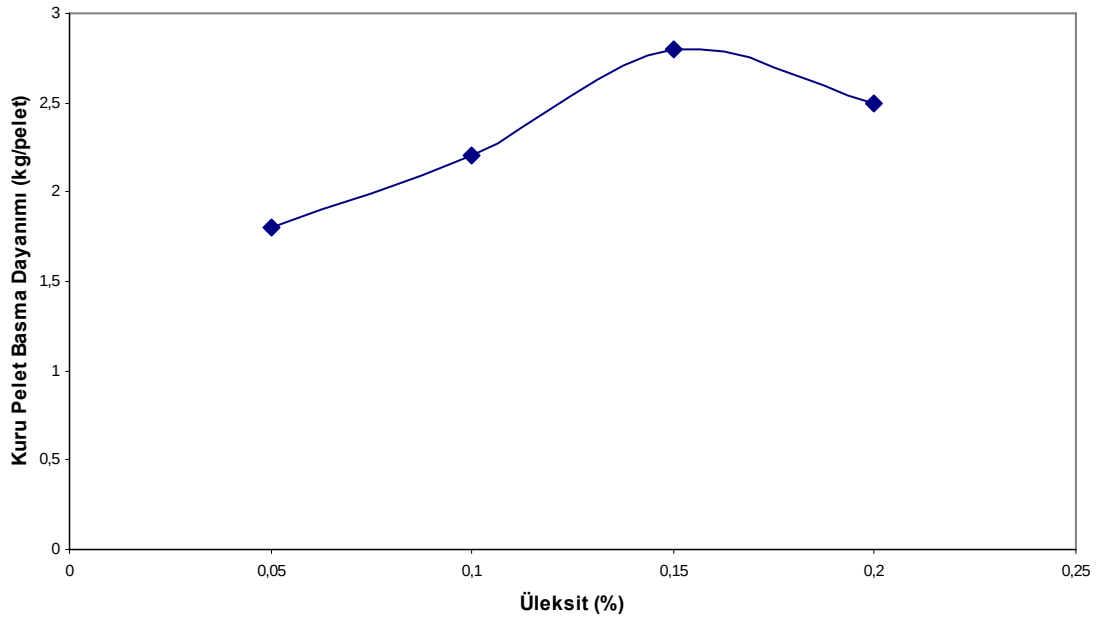
Kolemanitle yapılan peletlerde, kolemanit miktarının arttırılması ile şişme indeksi değerinin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle daha az kolemanit kullanılarak yapılan peletlerin daha avantajlı olacağı söylenebilir.

9.3. Üleksit Katkılı Peletler

Bu grup deneyler %0,7 bentonit ilavesi sabit tutularak değişik miktarlarda üleksit katkısıyla (%0,05-2,0) gerçekleştirilmiştir. Peletler üzerinde yapılan testlerin sonuçları Tablo 9.3, grafikleri Şekil 9.7, 9.8 ve 9.9’da verilmektedir.

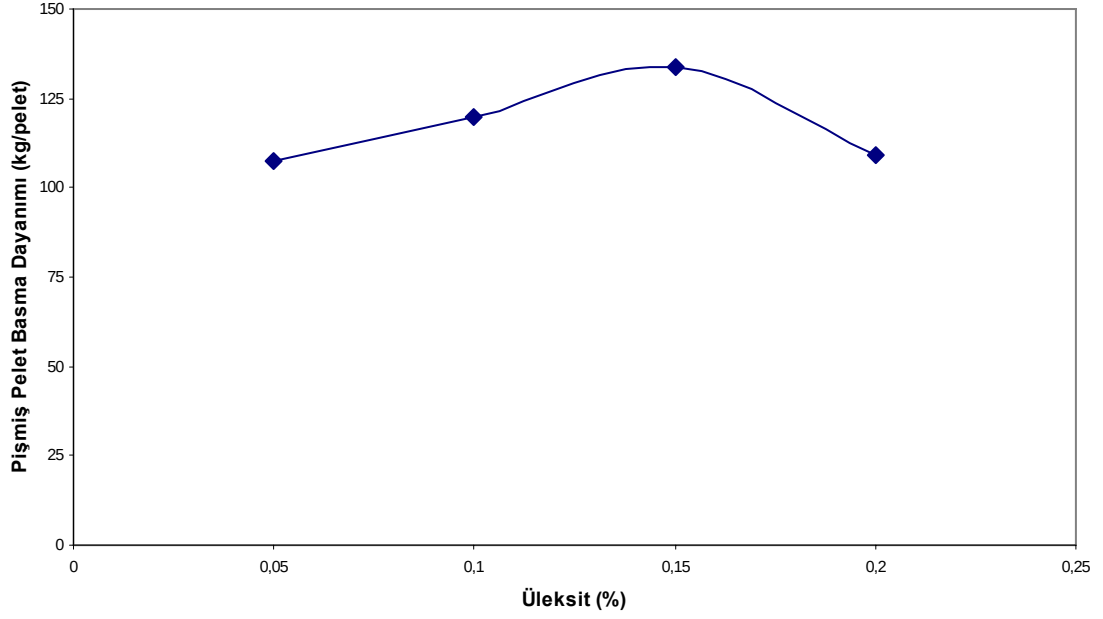
Tablo 9.3 : Üleksit Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.

Üleksit İlavesi (%)	Kuru (Ürün) Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Pişmiş Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Ham ve Kuru Pelet Düşme Sayısı (10 Pelet Ort. Değeri)				Porozite (%)	Şişme (%)
			Ham Pelet	Kurutma Süresi (dak)				
				10	20	30		
0.05	1.8	107.5	5.2	2.0	1	1	-	-
0.10	2.2	120.0	9.0	3.4	1	1	30.12	-
0.15	2.8	133.5	7.6	2.4	1.4	1	-	0.909
0.20	2.5	109.2	7.3	1.4	1	1	-	0.683



Şekil 9.7 : Üleksit Miktarı Değişiminin Kuru (Ürün) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

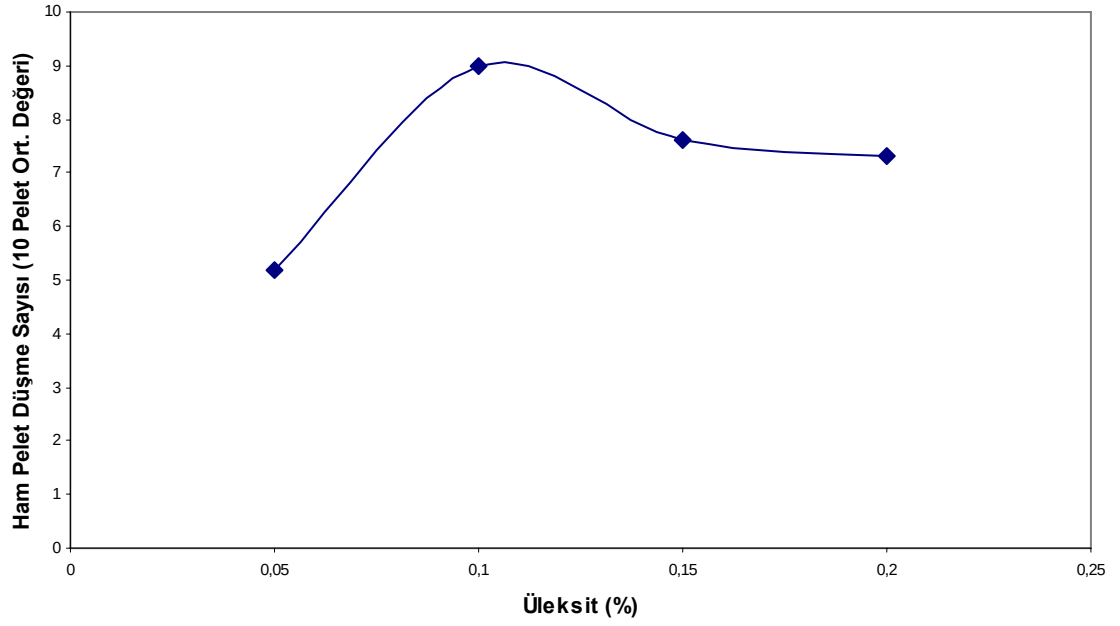
Şekil 9.7’ye göre üleksit katkılı peletlerin kuru pelet basma dayanımı değeri % 0.05’ten % 0.15’e kadar artış göstermiş fakat % 0.2 değerinde düşmüştür. Grafikten üleksitle yapılan peletler için optimum değer in % 0.15 olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9.8 : Üleksit Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

Şekil 9.8’de üleksit miktarı ile pişmiş pelet mukavemetinin değişimi görülmektedir. Pelet en yüksek mukavemete % 0.15 üleksit değerinde ulaşmıştır. Kuru basma dayanımı testinde de aynı değerde en iyi mukavemet sağlandığından üleksitin ideal miktarının % 0.15 olabileceğini söyleyebiliriz. Bor mineralleri arasında en yüksek pişmiş pelet basma dayanımı % 0.15 üleksitle yapılan peletlerde, 133.5 kg/pelet olarak bulunmuştur.

Aşağıda Şekil 9.9’da görüldüğü gibi üleksit miktarının % 0.1’in üzerine çıkarılması ile düşme sayısı azalmıştır. Üleksitle yapılan diğer testlerde göz önüne alındığında üleksitin %0.05-0.15 aralığındaki değerler için testleri sağladığı, bu nedenle daha dar aralıktaki değerler incelenerek üleksitin en iyi oranının bulunabileceği düşünülmüştür.



Şekil 9.9 : Üleksit Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.

Üleksitle yapılan peletlerden % 0.1 üleksit katkılı peletlere porozite testi yapılmış ve sonuç istenilen aralıkta bulunmuştur.

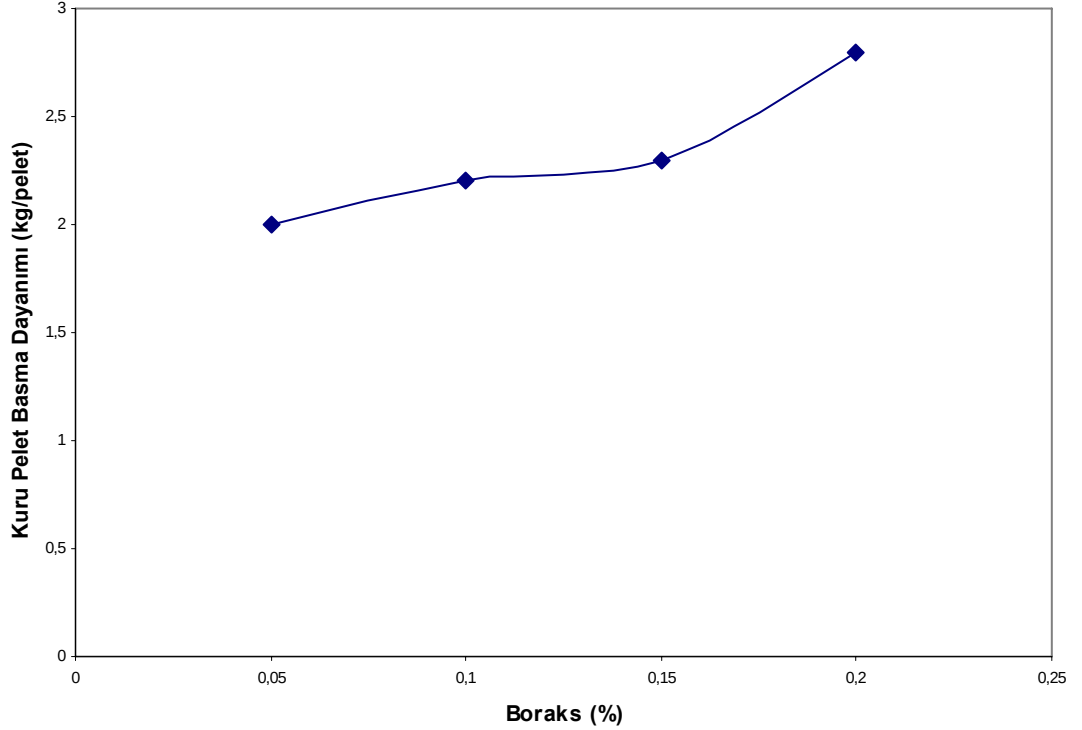
Şişme indeksi testi % 0.15 ve % 0.20 oranında üleksit ilave edilen peletlere uygulanmış ve artan oran arttıkça şişme indeksinin azaldığı görülmüştür. Fakat test sonuçları (% 0.909 ve % 0.683) peletlerde aranan standart değerlerin (%22-32) çok altında olduğundan dolayı kullanımları yüksek fırın için uygundur.

9.4. Boraks Katkılı Peletler

Bu grup deneyler %0,7 bentonit ilavesi sabit tutularak değişik miktarlarda boraks katkısıyla (%0,05-2,0) gerçekleştirilmiştir. Peletler üzerinde yapılan testlerin sonuçları Tablo 9.4, şekil 9.10, 9.11 ve 9.12’de verilmektedir.

Tablo 9.4 : Boraks Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.

Boraks İlavesi (%)	Kuru (Ürün) Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Pişmiş Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Ham ve Kuru Pelet Düşme Sayısı (10 Pelet Ort. Değeri)				Porozite (%)	Şişme (%)
			Ham Pelet	Kurutma Süresi (dak)				
				10	20	30		
0.05	2.0	67.0	12.1	2.2	1.2	1	31.96	0.879
0.10	2.2	91.6	8.3	2.4	1	1	-	0.908
0.15	2.3	61.5	7.0	2.0	1	1	-	0.672
0.20	2.8	56.0	5.8	2.0	1.2	1	28.38	0.622

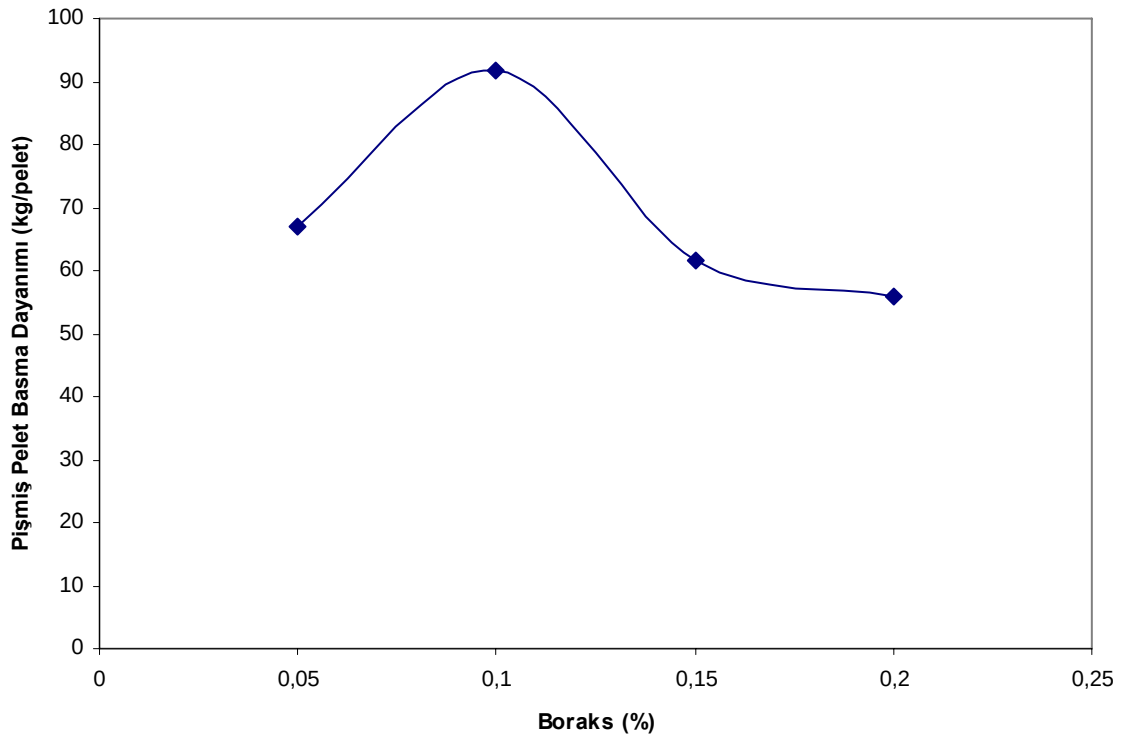


şekil 9.10 : Boraks Miktarı Değişiminin Kuru (rn) Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.

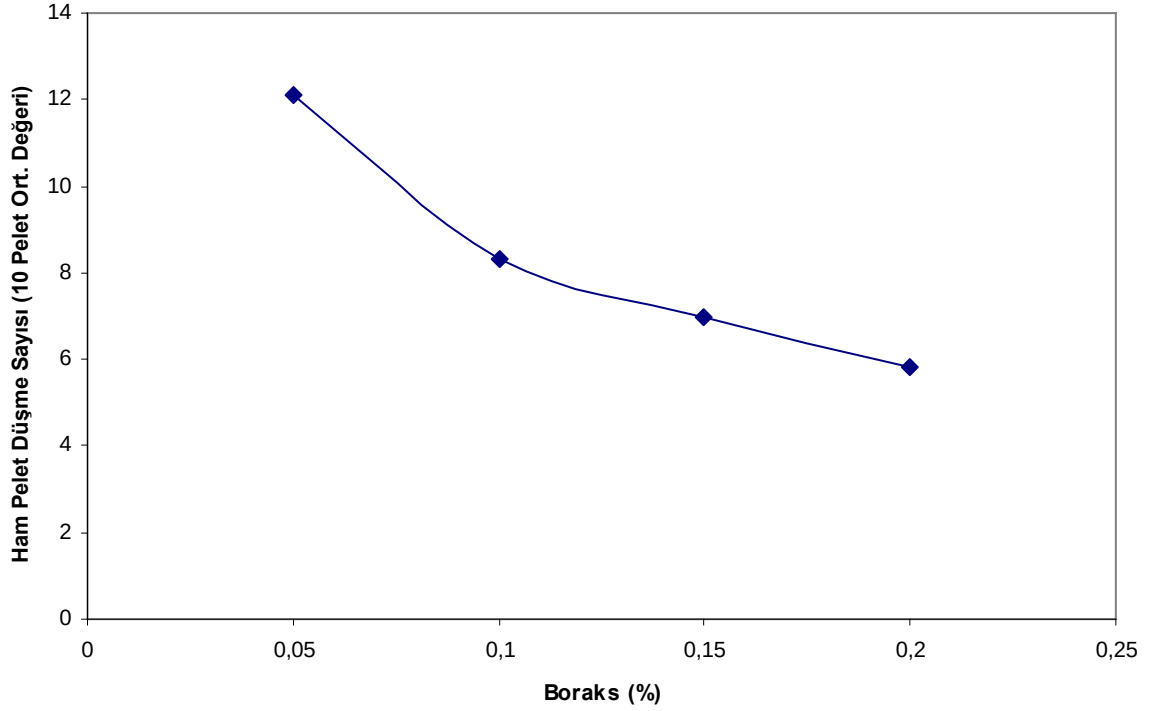
Şekil 9.10'da boraks miktarı değişimi ile kuru pelet basma dayanımı değeri arasındaki ilişki görülmektedir. Boraks miktarının artırılmasının basma dayanımı değerini arttırdığı anlaşılmaktadır. Boraks minerali ısıtılma işlemi sırasında büzülerek hacmi azalmaktadır. Daha küçük bir hacme sahip olan malzemenin gözenekliliği de azalmaktadır. Gözenekliliğin azalması peletlerin mukavemetini arttıran bir etkidir. [22]

İnorganik bağlayıcıların kalitesini ve etkisini gösteren en önemli değer kuru (ürün) pelet basma dayanımı değeridir [17,28,32]. Endüstriyel olarak kabul edilebilen ürün pelet basma dayanımı değeri 1-3 kg'dır. [28]

Aşağıda Şekil 9.11'de, boraksın % 0.1 değerinin en iyi basma dayanımını verdiği, bu değer üzerine çıktığında peletlerin mukavemetlerinin azalarak daha düşük değerlerde kırıldıkları görülmektedir.



Şekil 9.11 : Boraks Miktarı Değişiminin Pişmiş Pelet Basma Mukavemetine Etkisi.



Şekil 9.12 : Boraks Miktarı Değişiminin Ham (Yaş) Pelet Düşme Sayısına Etkisi.

Boraks miktarının artması ham (yaş) pelet düşme sayısını düşürmektedir. Boraksla yapılan düşme testlerinde de kolemanitle elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiş, artan miktarı düşme sayısının azalmasına sebep olmuştur.

Eklenen bor mineralleri arasında en düşük B_2O_3 içeriğine sahip olan boraks'tır ve en yüksek düşme sayısı (12,1) boraksla yapılan peletlerde elde edilmiştir. Burdan; fazla B_2O_3 ilavesinin peletin daha kırılgan bir yapı kazanarak esnekliğini kaybetmesine neden olduğu, peletin düşme sayısını azalttığı anlaşılmaktadır.

Porozite testi boraks katkılı peletlerden % 0.05 ve % 0.2 için uygulanmıştır. Testlerden peletlerin sırasıyla % 31.96 ve % 28.38 gözenekliliğe sahip oldukları bulunmuştur. Artan boraksın peletin gözenekliliğini azalttığı görülmektedir.

Boraks miktarının artması ile şişme indeksinin % 0.1 değerinden sonra giderek azaldığı görülmektedir. Pelet kalitesi göz önüne alındığında daha düşük şişme değerinde peletler daha yüksek kırılma değeri gösterdiklerinden dolayı şişme değerinin düşük olduğu boraks değerleri tercih edilmelidir.

9.5. Bor Atığı ile Yapılan Peletler

Bu deneyde bentonit ilave edilmeksizin %0,7 bor atığı ilavesiyle manyetit konsantresi peletlenmiş olup test sonuçları Tablo 9.5'te verilmektedir. Bor atığı ile yapılan pişmiş pelet basma dayanımı testleri sonucunda bor mineralleri ile yakın değerler bulunmuş, çıkan sonuçlar göz önüne alındığında bor atıklarının peletlemede kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bor atığı ile yapılan düşme testleri neticesinde, sonuçlar standart değer olan 4'ün çok üzerinde çıkmıştır. Bu da bor atıklarının pelette bağlayıcı olarak kullanılabilecek nitelikte olduğunu göstermektedir. Bor atığının yapısında borla birlikte kil, tuf, marn, kireçtaşı, jips, arsenik içeren mineraller ve bentonit olduğu bilinmektedir. [35]

Tablo 9.5 : Bor Atığı Katkılı Peletlerin Test Sonuçları.

Bor Atığı İlavesi (%)	Kuru (Ürün) Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Pişmiş Pelet Basma Dayanımı (kg/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (10 Pelet Ort. Değeri)				Şişme (%)
			Ham Pelet	Kurutma Süresi (dak)			
				10	20	30	
0.7	2.7	95.6	11.2	5.2	1.6	1	

Bor mineralleri ve atığı ile yapılan testler değerlendirildiğinde bunların peletleme işleminde bağlayıcı olarak kullanılabilecek nitelikte oldukları görülmektedir. Ancak sonuçlar bentonit katkı peletlerin özellikleri ile karşılaştırıldığında özellikle basma mukavemetlerinde belirgin düşüşler olduğu da belirlenmiştir. Bentonit yerine bor atıkları ilavesi konusunda daha detaylı çalışmalar yapılması önerilmektedir.

9.6. Yığın Yoğunluğu Test Sonuçları

Yığın yoğunluğu; ham peletler için 2.42 g/cm^3 ve pişmiş peletler için 2.18 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu; ham peletlerde kırılma, ezilme gibi durumlar da söz konusu olduğundan dolayı ham peletler için daha yüksek çıkmıştır. Ham peletler birbirlerinin ağırlıkları altında daha kolay ezilerek şekil değiştirdiklerinden aynı kütle ile daha az hacim kaplarlar. Pişmiş peletler ise daha kompakt yapıda olduklarından şekillerini korurlar ve diğer peletlerin etkisi ile şekil değiştirmeleri yada kırılmaları söz konusu değildir. Peletler (ham veya pişmiş) ne kadar dar boyut aralığında olurlarsa yığın yoğunluğu o kadar az değişim gösterir. Dolayısıyla gerekli stok sahası hesapları yada taşıma aracı kapasiteleri bunlara göre belirlenir.

10. GENEL SONUÇLAR

Peletleme deneylerinden elde edilen sonuçlar, peletleme işlemi sırasında bentonitle birlikte ilave edilen bor mineralleri (kolemanit, üleksit, boraks) ve atıklarının peletlerin özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermektedir:

- Bentonitle yapılan peletlerde, kuru ve pişmiş pelet basma dayanımı %2 oranında bentonit ilave edildiğinde en yüksek değerleri (6.3 kg/pelet ve 182.0 k/pelet) vermiştir. Eklenen bentonit miktarı arttıkça peletin mukavemeti de artış göstermiştir. Yaş peletlere uygulanan düşme sayısı tayini testleri sonucunda en yüksek düşme sayısı %2 bentonit ilavesi ile 13,3 olarak bulunmuştur. Düşme sayısı testlerinin sonuçlarına baktığımızda yine bentonit artışının peleti daha dayanıklı hale getirdiği ve düşme sayısının da basma dayanımı gibi artan bentonit miktarı ile arttığı görülmektedir. Bentonit katkılı peletlerden yalnızca % 0.7 bentonit katkılı pelete porozite testi yapılmış ve sonucun istenilen aralıkta olduğu görülmüştür. Peletlerde porozite yüksek fırınlarda işletme şartlarını etkilediğinden dolayı önemli bir parametredir. Son olarak peletlere şişme testleri uygulanmıştır. Peletlerin şişme değerleri genel olarak % 1'in altında bulunmuştur. Şişme indeksi de yine yüksek fırında kullanılabilir fırın hacmini değiştirmesi nedeniyle dikkat edilmesi gereken bir değerdir.
- Kolemanitle yapılan testlerde; artan kolemanit ilavesinin peleti olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. En yüksek değerler; kuru pelet basma dayanımı testlerinde 3.0 kg/pelet, pişmiş pelet basma dayanımı testlerinde 98.0 kg/pelet ve düşme testlerinde 9.7 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar en az kolemanit ilavesinde yani %0,05 değerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Sonuçları göz önüne alarak en az kolemanit ilavesinin yani % 0.05 değerinin kolemanit için optimum değer olduğu söylenebilir. Porozite testi % 0.05 ve % 0.2 kolemanit katkılı peletlere uygulanmış ve bulunan değerler standartları sağlamıştır. Şişme indeksi kolemanit miktarının artması ile % 0.89'dan %0.800'e doğru miktarın arttırılması ile azalmıştır ve değerler uygun aralıklardadır.

- Üleksitle yapılan peletlerde kuru basma dayanımı testi için en yüksek değer olan 2.8 kg/pelet değerinin %0,05 oranında elde edilmiştir. % 0.1 oranının pişmiş pelet için 133.5 kg/pelet ve düşme testi için 9 en yüksek değerleri verdiği görülmektedir. % 0.05 ve % 0.1 aralığında farklı değerler kullanılarak kesin bir değer elde edilebilir. Bor mineralleri ve atığı ile yapılan peletler arasında pişmiş pelet basma dayanımı testinde en yüksek değeri üleksitle yapılan peletler göstermiştir. Porozite testi % 0.1 üleksitle yapılan peletlere uygulanmış ve % 30.12 gözenekliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Şişme testi üleksit katkılı peletlerden yalnızca % 0.15 ve % 0.2 oranlarındaki peletlere uygulanmış ve miktarın artması ile şişme indeksi değerinin azaldığı görülmüştür.
- Boraksın artan miktarı ile kuru pelet basma dayanımı değeri doğru orantılı olarak değişmiştir. İlave edilen boraksın % 0.05'ten %0.2'ye çıkarılmasıyla basma dayanımı 2 kg/pelet'ten 2.8 kg/pelet'e çıkmıştır. Pişmiş pelet basma dayanımı değeri ise boraksın %0,1 değerine kadar artmış daha sonra ise düşüş göstermiştir. Boraksla yapılan peletler pişmiş pelet basma dayanımı testinde diğer bor katkılı peletlerle kıyaslandığında en düşük değerleri göstermişlerdir. Fakat düşme testinde en yüksek değer olan 12.1 % 0.05 oranında boraks katkılı peletlerde görülmüştür. Peletlerin % 0.05 ve %0.2 boraks katkılı olanlarına yapılan porozite testinden aralık değerlerde olan %31.96 ve %28.38 değerleri bulunmuştur. Bu değerler bize boraks katkılı peletlerin yüksek fırında kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Şişme testi sonuçları ise en yüksek hacim artışının % 0.1 boraksla yapılan peletlerde olduğunu ve bu değerden sonra şişme miktarının azaldığını göstermiştir.
- Bor atığı ile yapılan peletler tüm testlerde istenilen standartları sağlamıştır. Atık ile yapılan peletler maliyet açısından da daha ucuz olacağından dolayı peletleme prosesinde kullanılması araştırılabilir. Bu konuda daha detaylı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Narçin, N.**, 1990. Döner fırında katı esaslı redükleyici kullanılarak sünger demir üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Aydın, S.**, 1990. Dünya sünger demir üretiminin bugünkü durumu, *Metalurji Dergisi*, 67-68, 41-45.
- [3] <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik635.pdf>
- [4] http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel/350398.pdf.
- [5] <http://www.worldsteel.org/action=lateststeellist>
- [6] <http://www.mta.gov.tr/madenler/endustmin.asp>
- [7] **Kara, A.S.**, 2005. Türkiye ve Erdemir Maden'in sahip olduğu demir yataklarının değerlendirilmesi çalışma raporu, Erdemir Grubu Şirketleri, Türkiye
- [8] **Divriği Madenleri**, 2002. Brifing Raporu, Sivas.
- [9] **Aydın, Ö.**, 2005. yüksek fırın işletmeciliğinde optimizasyon, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Yeniçeri, M.**, 1991. Demir Çelik Madencilikinin El kitabı, Levent Ofset Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara.
- [11] **Eisele, T.C., Kawatra, K.**, 2003. "A review of binders in iron ore pelletization", *Mineral Processing & Extractive Metal*, U.S.A., 24, 1-90.
- [12] **Licence Allis Chalmers Corp.**, 1988. Divriği Peletleme Tesisi İşletme El kitabı, Sivas.
- [13] **Heinrich, S.**, 1984. Aufbereitung fester mineralischer rohstoffe, Deutcher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, German Democratic Republic.
- [14] **Aydın, S.**, 1979. Avnik batı yakası demir cevheri harman konsantresinden pelet üretim koşullarının briketleme modeli ile açıklanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. metalurji Fakültesi Demir-Çelik Üretim Kürsüsü, İstanbul.
- [15] **Jovanovic, V.D., Radulovic, D., Matinovic.**, 2001. Application of molasses and lime mixture as a binding agent pelletizing, *Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress*, İstanbul, 11-13 September, s. 133-137 (in Turkey)

- [16] **ASTM E 279-97**, 2005. Standart test method for determination of abrasion resistance of iron ore pellets and sinter by the tumbler test, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.
- [17] **Jayson Ripke, S., Kawatra, K.**, 2000. "Can fly-ash extend bentonite binder for iron ore agglomeration", *Int. J. Mineral Process*, U.S.A., 60, 181-198.
- [18] [http:// www.boren.gov.tr/element.htm](http://www.boren.gov.tr/element.htm)
- [19] http://www.balikesir.edu.tr/hguler/bo_kimyası.htm
- [20] **Koç, Ö.**, 1997. Bor atıkları, uçucu kül ve silis dumanının inşaat tuğlası üretiminde kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Sur, H.**, 1996. Bor konsantresi atıklarının seramik veya tuğla sanayinde kullanım alanlarının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Mohamed, O.A., Shalabi, M.E.H., El-Hussiny, N.A., Khedr, M.H., Mostafa, F.**, 2003. "The role of normal and activated bentonite on the pelletization of barite iron ore concentrate and the quality of pellets", *Powder Technology*, Egypt, 130, 277-282.
- [23] **Cirit, N.E., Perek, K.T., Batar, T., Çelik, M.**, 1996. Boraksın ısıtma işlemi altında büyüme davranışı ile optimum kazanma veriminin ilişkilendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi IX. Mühendislik Sempozyumu, Maden Müh. Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs, Isparta.
- [24] **Çelik, M.S., Uzunoğlu, H.A., Arslan, F.**, 1994. "Decrepitation properties of some boron minerals", *Powder Technology*, Vol.79, No.2, pp.167-172.
- [25] **Çelik, M.S., Batar, T., Akın, Y., Arslan, F.**, 1998. "Upgrading schemes for boron minerals through calcination", *Minerals and metallurgical processing*, pp. 53-56.
- [26] **TS-2026**, 2002. Demir cevheri peletlerinin kırılma dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [27] **ASTM E 382-02**, 1997. Standart test method for determination of crushing strength of iron ore pellets, *American Society for Testing and Materials Standards*, U.S.A.
- [28] **Tuğrul, N., Möröydor Derun, E., Pişkin, M.B., Pişkin, S.**, 2005. Pirit külü atıklarının pik demir üretiminde kullanılmak üzere peletlenmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2005/3, 118-125.
- [29] **TS-2244**, 1976. Demir cevherleri peletleri görünür yoğunluk ve gözeneklilik ölçme metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [30] TS-2502, 2001. Demir cevheri peletleri nispi serbest şişme indeksinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [31] TS-6919, 1989. Demir cevherleri yığın yoğunluğu tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [32] Kawatra, K., Jayson Ripke, S., 2002. “Effects of bentonite fiber formation in iron ore pelletization”, *Int. J. Mineral Process*, U.S.A., 65, 141-149.
- [33] Abouzeid, A.Z.M., Seddik, A.A., El-Sinbawy, H.A., 1979. “Pelletization kinetics of an earthy iron ore and the physical properties of the pellets produced”, *Powder Technology*, Vol.24, Issue 2, Egypt, 229-236.
- [34] Abouzeid, A.Z.M., Kotb, I.M., Negm, A.A., 1984. “Iron ore fluxed pellets and their physical properties”, *Powder Technology*, Vol.42, Issue 3, Egypt, 22-30.
- [35] Gül,A., Bulut, G., Tarkan, H.M., Kaytaz, Y., “Beneficiation of colemanite tailings”, VI SHMMT/XVIII ENTMME, 2001, Rio de Janerio, Brazil.

ÖZGEÇMİŞ

Şengül COŞAR, 22 Şubat 1980 yılında Yozgat'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karadeniz Ereğli'de, lise öğrenimini İstanbul'da Özel Coşkun Kız Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce ve başlangıç seviyesinde Almanca bilmektedir.