

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rahile İYİDİKER

**İSKENDERUN DEMİR-ÇELİK FABRİKASI HADDEHANE
TUFALLERİNİN BRİKETLENMESİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA-2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ**

**İSKENDERUN DEMİR-ÇELİK FABRİKASI HADDEHANE
TUFALLERİNİN BRİKETLENMESİ**

Rahile İYİDİKER

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

Bu Tez 25/10/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN
ÜYE

.....
Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2015-3637**

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSKENDERUN DEMİR-ÇELİK FABRİKASI HADDEHANE TUFALLERİNİN BRİKETLENMESİ

Rahile İYİDİKER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
Yıl: 2017, Sayfa: 87
Jüri : Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
: Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN
: Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Bu çalışma İskenderun Demir-Çelik Fabrikası Haddehane tufallerinden elde edilen briketlerin standart test sonuçlarını ve briketleme deneylerini kapsamaktadır. Deneylerde, ısıtılma sıcaklığı ve süresi, nem içeriği, presleme basıncı ve bağlayıcı miktarının briketlerin mekanik dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Briketlerin dayanımları ile ilgili bilgiler elde etmek için briketlerin eksenel(axial) ve merkezkaç(radial) dayanım testleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmaların sonucuna göre briketlenen numunelerin optimum tane boyutu ve nem miktarı sırasıyla -3,15 mm ve %4'tür. Briketleme basıncı 30 Mpa olduğunda en iyi mekanik dayanıma ulaşıldı. Optimum bağlayıcı miktarı, ısıtılma süresi ve sıcaklığı sırası ile %6, 40 dk ve 600 °C'dir.

Anahtar Kelimeler: Haddehane Tufali, Bağlayıcı Briketleme, Mısır Şurubu, Briketleme Testleri

ABSTRACT

MSc. THESIS

İSKENDERUN İRON And STEEL FACTORY MILL SCALE BRIQUETTING

Rahile İYİDİKER

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

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
Year: 2017, Pages: 87
Jury : Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
: Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN
: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPU

This study covers briquetting experiments and the standard test results of the briquettes obtained from İSDEMİR mill scale. In the experiments, effects of binder content, heat treatment period, temperature and particle size on mechanical strength of the briquettes were investigated. Axial and radial strength tests were conducted in order to find out information related to durability of the briquettes..

As a result of the experimental studies, optimum particle size and moisture content of the sample briquetted, were found as – 3,15 mm and %4 respectively. The best mechanical strength was achieved when the briquetting pressure was 30 Mpa briquette surface. The optimum binder content was %6, heat treatment period and temperature were 40 min and 600 °C respectively.

Key Words : Mill Scale, Briquetting with Binder, Mechanical Resistance, Corn syrup, Briquetting Test

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Günümüzde demir, demir-çelik sanayinin temel hammaddesini oluşturmakta ve ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır (Avşaroğlu , 2003 ; Sarıkaya , 2013). Sanayide demire olan gereksinimin hızla artması ve yüksek fırına doğrudan yüklenebilir özellikteki cevherin giderek azalması, düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Demir-çelik sanayinde, üretim için kullanılan iki sistemden biri, demir cevherinden ham demir ve ham demirden çelik üretimi yöntemi, diğeri ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir (Sarıkaya, 2013 ; Mumcu, 2003). Bunun yanı sıra günümüzde gittikçe önem kazanan çevresel sorunlar göz önüne alındığında, demir-çelik endüstrisinde atık malzemelerin geri dönüştürülmesinin önemi artmaktadır. Demir ve çelik üretiminin bir kaçında, farklı özellikte yaklaşık 500 kg/ton yan ürün üretilmektedir. Bunlardan biri de çelik üretiminin %2'sini oluşturan tufal olmaktadır. Ancak haddehane tufallerinin direk olarak elektrik ark fırınına geri dönüşümü, demir oksit partiküllerinin atık gaz ile dışarı atılabileceği veya enerji tüketiminde ve çevresel olarak istenmeyen etkiye sahip olan cüruf miktarını artıracığından dolayı mümkün olmamaktadır. Ayrıca yüksek fırın için beslemede geçirgen bir yatak oluşturacak biçimde şekillenmeli, yüksek hızlarda homojen bir biçimde gaz akışına izin vermelidir. Bu yüzden toz halindeki demir konsantreleri, hem geçirgen olmayan yatak içerisinde topaklanma hem de hızlı gaz akışı sebebiyle tozların taşınma olasılığından dolayı üretildiği haliyle kullanılmaya uygun değildir. Bundan dolayı aglomera edilerek daha büyük parçacıklar haline getirilmelidir. İnce boyuttaki cevherlerin yüksek fırın şarjı olarak kullanılmasında uygulanan aglomerasyon yöntemlerinden biride briketlemedir. Briketlemede proseslerinde yan ürünlerin aglomerasyonları karbon taşıyan ya da azaltan bağlayıcıların ilavesiyle birlikte olmaktadır (El-Hussiyn ve ark, 2011).

Briketleme prosesinde kullanılan bağlayıcılar, gerek ergimiş çelik gerekse cüruf tabakası üzerinde negatif bir etkiye neden olmamalıdır. Eğer mümkünse emin

olunması gereken şey hiçbir zararlı maddenin proses boyunca ortaya çıkmamasıdır. Briketleme prosesinde bağlayıcı olarak kullanılan maddeler, suyun akışkanlığını azaltacak nitelikte olmalı, briketlenecek malzemenin yapısal özelliklerini bozmamalı, briketleme işlemindeki diğer bölümlere uyum sağlamalıdır.

Ayrıca briketlemede kullanılacak malzeme yeterli miktarda ve kolayca bulunabilmeli, ekonomik olmalıdır (Yıldız, 1990). Bu yüzden bağlayıcı seçimi demir cevheri briketlenmesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. İnorganik bağlayıcıların tersine organik bağlayıcılar içinde bulunan bazı maddeler, briketleme işleminin ısı işlem bölümlerinde yok olmakta, ürün briketlerin kimyasal yapısında bulunmamaktadır (Işık, 1990; Yıldız, 2012).

Briketleme prosesinde elde edilen briketin yeterli dayanıma sahip olması, elektrik ark fırınlarında kullanılması düşünülen briketler için oldukça önemlidir. Briketlerin yeterli dayanıma sahip olması yüksek sıcaklıklarda bile briketlerin mümkün olan en sağlam koşullarda ergimiş çeliğe ulaşabilmeleri amacıyla ergimemiş parçacıklar ile temas üzerine meydana gelen mekanik stres ve sıcaklık şoklarına direnç gösterebilecek güce sahip olması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada; İskenderun demir çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan ve laboratuvarında yapılan analizler sonucunda %95 oranında demir içeriğine sahip haddehane tufali kullanılmış olup, silikat mineralleri temelli kil veya diğer bağlayıcıların temel dezavantajının nihai üründe silisyumu arttırmasından dolayı bu tür bağlayıcılara alternatif olarak kullanılan organik bağlayıcılardan nişasta türevi olarak elde edilen mısır şurubu bağlayıcı olarak seçilmiştir.

Yapılan çalışmada laboratuvar ortamında ilk olarak tufal numuneleri 3,15 mm'lik eleklerden elenerek elde edilen elek altı kullanılmış ve 50 gr'lık numuneler hazırlanmıştır. Briketleme için tufal numunelerine bağlayıcı olarak önceden hazırlanan %10'luk mısır şurubu çözeltisinden belirli yüzdelerde ilave edilmiş ve elde edilen tufal-mısır şurubu karışımı etüvde istenilen nem seviyesine getirilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen numuneler briketleme işlemi için kullanılan presleme aparatına konularak briketlenmiş ve daha önce belirlenen farklı

parametreler (sıcaklık, nem, bağlayıcı miktarı, presleme basıncı) için her birinin tek tek deneyleri yapılacak şekilde hazır hale getirilmiş ve briket sağlamlığının ölçülmesi bu parametreler aracılığıyla belirlenmiştir.

Elde edilen briketlerde deney yapılacak ilk parametre ısıtıl işlem sıcaklığı olarak belirlenmiş, 200 °C, 240 °C, 300 °C, 400°C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C olmak üzere 10 farklı sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiş ve en uygun değer 600 °C olarak belirlenmiştir. İkinci parametre olarak briketlemeye ısıtıl işlem süresinin etkisi araştırılmış ve 30-40-50-60-70 ve 90 dk olmak üzere 6 farklı parametre kullanılmıştır. Elde edilen deneyler sonucunda en uygun değer 40 dk olarak belirlenmiştir. Üçüncü parametre olarak briketlemeye bağlayıcı miktarının etkisi belirlenmiş olup 4 ayrı parametre laboratuvar ortamında denenmiş ve en uygun sonuç %6 bağlayıcı miktarında elde edilmiştir. Son parametre olarak briketlemeye presleme basıncının etkisi araştırılmış 10-20-30-40 Mpa olmak üzere 4 ayrı parametrede çalışılmış ve en uygun sonucun 40 Mpa'lık basınçta elde edildiği tespit edilmiştir.



TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2013-2017 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM yönetiminde "YÜKSEK LİSANS TEZİ" olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmasının gerçekleşmesini sağlayan ve gerek yüksek lisans öğrenimim gerekse tez çalışmam süresince gösterdiği ilgi, verdiği destek ve çalışmaya yaptığı katkılardan ötürü danışman hocam Sn. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince benden desteklerini ve katkılarını esirgemeyen bana tezimin her aşamasında yardımcı olan değerli hocam Sn Ar. Gör. Mahmut ALTINER'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarımın yürütülebilmesi için sağladıkları olanaklar ve gösterdikleri ilgiden dolayı Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet M.KILIÇ ve hocam Sn. Prof. Dr. Suphi URAL'a teşekkür ederim.

Okulda bulunduğum ve çalışmalarımı yürüttüğüm süreler boyunca benden desteğini esirgemeyen tüm hocalarıma bana vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakârlıktan kaçınmayarak bana destek olan, hep doğru yolu gösteren ve beni bugünlere kadar getiren anneme, babama ve halama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Demir-Çelik Endüstrisi.....	3
1.1.1. Dünyada Demir-Çelik Sektörü	4
1.1.2. Türkiye’deki Demir-Çelik Sektörü.....	7
1.1.3. İsdemir.....	12
1.2. Yüksek Fırın Ve Cüruf Oluşumu.....	14
1.2.1. Yüksek Fırının Yapısı ve Meydana Gelen Reaksiyonlar.....	14
1.2.2. Cüruf Oluşumunun Yüksek Fırına Etkileri.....	19
1.2.3. Yüksek Fırın İçin Ham Maddenin Önemi ve Ham Maddede Aranılan Özellikler.....	22
1.2.4. Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı.....	26
1.3. Tufal	27
1.3.1. Tufal Oluşumu ve Yapısı.....	27
1.4. Aglomerasyon.....	34
1.4.1. Aglomerasyonun Amacı ve Aglomerasyon Prosesleri	34
1.4.1.1. Sinterleme	36
1.4.1.2. Peletleme	38
1.4.1.3. Briketleme	39
1.4.2. Demir –Çelik Fabrikalarında Karşılaşılan Aglomerasyon Sorunları.	40

1.5. Briketlemede Kullanılan Bağlayıcılar	43
1.5.1. Organik Bağlayıcılar:	44
1.5.2. İnorganik Bağlayıcılar	46
1.6. Amaç	49
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	53
3. MATERYAL VE METOD	59
3.1. Materyal.....	59
3.2. Metod.....	60
3.2.1. Elek Analizi	60
3.2.2. Tufal Karışımlarının Hazırlanması	60
3.2.3. Briketlemeye Isıl İşlem Sıcaklığının Etkisi	62
3.2.4. Briketlemeye Isıl İşlem Süresinin Etkisi	62
3.2.5. Briketlemeye Bağlayıcı Miktarının Etkisi	63
3.2.6. Briketlemeye Presleme Basıncının Etkisi.....	63
3.2.7. Briketlemeye Nem İçeriğinin Etkisi	63
3.3. Dayanım Testleri	64
3.3.1. Shatter (Düşme Sağlamlığı) Testi.....	64
3.3.2. Briketlerin Mekanik Dayanım Testleri.....	65
3.3.2.1. Axial Dayanım Testi.....	66
3.3.2.2. Radial Dayanım Testi	67
3.3.3. Briketlerin Suya Dayanımı	67
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	69
4.1. Deney Numunelerinin Elek Analizi	69
4.2. Briketlemeye Isıl İşlem Sıcaklığının Etkisi	70
4.3. Briketlemeye Isıl İşlem Süresinin Etkisi	74
4.4. Briketlemeye Bağlayıcı Miktarının Etkisi	76
4.5. Briketlemeye Presleme Basıncının Etkisi.....	77
4.6. Briketlemeye Nem İçeriğinin Etkisi	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81

KAYNAKÇA.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87





ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	Demir Cevheri Üretimi ve Tüketimi (milyon ton)	5
Çizelge 1.2.	Küresel hurda ithalatı	5
Çizelge 1.3.	Demir-Çelik üretiminde başlıca ülkeler (bin ton)	6
Çizelge 1.4.	Türkiye’de üretimin kullanılan yöntemle göre dağılımı (milyon ton)	9
Çizelge 1.5.	İsdemirde Yıllık Üretilen Tufal Miktarları.....	13
Çizelge 1.6.	ASTM Parça demir cevheri standartları (Kimyasal Özellikler)	23
Çizelge 1.7.	ASTM Parça demir cevheri standartları (Fiziksel Özellikleri).....	23
Çizelge 1.8.	ASTM Toz demir cevheri standartları (Kimyasal Özellikleri).....	24
Çizelge 1.9.	ASTM Toz demir cevheri standartları (Fiziksel Özellikler)	24
Çizelge 1.10.	ASTM tambur testi sonuçları	27
Çizelge 1.11.	Yüksek fırında kullanılan sinterin kimyasal bileşimi	38
Çizelge 1.12.	Yüksek fırında kullanılan peletin kimyasal özelliği.....	39
Çizelge 3.1.	Tufal numunesinin XRF sonuçları	59
Çizelge 4.1.	Tufal numunesinin elek analizi	69
Çizelge 4.2.	Isıl işlemin briketlerin axial dayanımına olan etkisi.....	71
Çizelge 4.3.	Isıl işlemin briketlerin radial dayanımına olan etkisi	71
Çizelge 4.4.	Isıl işlem süresinin briketlerin axial dayanımına olan etkisi	74
Çizelge 4.5.	Isıl işlem süresinin briketlerin radial dayanımına olan etkisi	75
Çizelge 4.6.	Bağlayıcı miktarının briketlerin axial dayanımına olan etkisi.....	76
Çizelge 4.7.	Bağlayıcı miktarının briketlerin radial dayanımına olan etkisi	76
Çizelge 4.8.	Presleme basıncının briketlerin axial dayanımına olan etkisi	78
Çizelge 4.9.	Presleme basıncının briketlerin radial dayanımına olan etkisi	78
Çizelge 4.10.	Nem içeriğinin briketlerin axial dayanımına olan etkisi	79
Çizelge 4.11.	Nem İçeriğinin briketlerin Radial dayanımına olan etkisi	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Türkiye'nin hurda tedariki.....	8
Şekil 1.2. Türkiye toplam ham çelik üretimi	10
Şekil 1.3. Haddeleme sonucu oluşan tufal ve katmanları	29
Şekil 1.4. Tufal oluşumuna zaman ve sıcaklığın etkisi.....	30
Şekil 1.5. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitli tabakaların (tufalin) şematik yapısı.....	31
Şekil 1.6. Tufal oluşumunun sıcaklık-süre ile ilişkisi.....	32
Şekil 3.1. Briketleme testlerinde kullanılan ham tufal numunesinin XRD grafığı	60
Şekil 3.2 Tufal briketlemesinde kullanılan presleme aparatı.....	61
Şekil 3.3. Shatter düşme testi düzeneği şematik görünümü	64
Şekil 3.4. Axial dayanımın yapıldığı test cihazı	66
Şekil.3.5. Radial dayanımın yapıldığı nokta yükleme test cihazı.....	67
Şekil 3.6. Briketlerin suya dayanımı.....	68
Şekil.4.1. Tufal Numunesinin kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri	70
Şekil 4.2. Tufal-Mısır Şurubu Karışımlarına Isıl işlem sıcaklığının Etkisi	72
Şekil 4.3. Farklı ısı işlem sıcaklıklarına maruz kalmış briketlerin SEM görüntüleri	73
Şekil 4.4. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak briketlerin içerdiği C miktarları.....	74
Şekil 4.5. Tufal-Mısır şurubu karışımlarına ısı işlem süresinin etkisi	75
Şekil 4. 6. Tufal -Mısır Şurubu Karışımına Bağlayıcı Miktarının Etkisi.....	77
Şekil 4.7. Briketlemeye presleme basıncının etkisi	78
Şekil 4.8. Tufal-Mısır Şurubu Karışımına Nem İçeriğinin Etkisi.....	80



SİMGELER VE KISALTMALAR

EAF	: Elektrik Ark Fırını
EAO	: Elektrik Ark Ocağı
BOF	: Bazik Oksijen Fırın
SM	: Simens Martin Ocak
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
AB	: Avrupa Birliği
MKEK	: Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
KARDEMİR	: Karabük Demir Ve Çelik Fabrikaları
ERDEMİR	: Ereğli Demir Ve Çelik Fabrikaları
İSDEMİR	: İskenderun Demir Ve Çelik Fabrikaları
LD PROSESİ	: Lintz-Donawitz Prosesi
MTA	: Maden Teknik Arama
XRD	: X-Işını Difraktometresi
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi
MTA	: Maden Tetkik Arama
ASTM	: Uluslar Arası Amerikan Test ve Metaryaller Topluluğu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ISO	: Uluslar Arası Standartlaşma Enstitüsü
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDX	: Elektro Manyetik Veri Değişimi
°C	: Celcius derecesi
Kcal	: Kilokalori(1 kcal=4,19 kJ)
Mm	: Mikrometre (1 $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)
MPa	: Megapaskal (1 MPa = 10,197 kgf/cm ²)
Kgf/cm ²	: Kilogram kuvvet /santimetrekare
Δh	: Tepkime Entalpisi
Al	: Alimünyum

C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
K	: Potasyum
H	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
O	: Oksijen
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum

1. GİRİŞ

Yerkabuğundaki elementler arasında demir %5,60 bulunma oranı ile oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Demir doğada saf halde yer almayıp kimyasal bileşikler şeklinde bulunmaktadır. En çok rastlanılan demir-oksijen (demir oksitler) bileşikleridir. Demir bileşikleri daima'' gang'' olarak bilinen empüriteler ile karışık halde bulunurlar. Bu demir oksit ve gang karışımı ekonomik üretimin mümkün olduğu demir cevherleri olarak sınıflandırılırlar (Yıldız, 2012).

Günümüzde demir, demir-çelik sanayinin temel hammaddesini oluşturmakta ve ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Metal ana sanayiye oluşturan demir-çelik sektörü, birçok sektöre girdi sağladığı için sanayinin lokomotif sektörü niteliğini taşımaktadır. Ayrıca diğer sektörlerle bağlılığı yüksek ve bu nedenle ekonomik kalkınmada itici ve sürükleyici etkileri büyük olan demir-çelik sanayi gelişmekte olan ülkeler açısından ve özellikle de Türkiye açısından büyük önem ifade etmektedir. İnşaattan, otomotive, savunmadan, elektroniğe kadar birçok sektörün gelişiminin demir-çelik sektörüne bağlı olması, sektörü stratejik kılmaktadır.

Bu yüzden hızla sanayileşen ülkemizde sanayimizin lokomotif sektörü olan demir- çelik sanayinin geliştirilmesi ve özellikle yassı ürünler ve hurda ithalatının minimize edilmesine yönelik tesis yatırımlarının gerçekleştirilmesi ve bu gelişmeye bağlı olarak da artacak olan demir cevheri ihtiyaçlarının azami ölçüde ülke kaynakları açısından karşılanması hususu ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır (Avşaroğlu, 2003 ; Sarıkaya, 2013).

Demir-çelik sanayinde, üretim için kullanılan iki sistemden biri, demir cevherinden ham demir ve ham demirden çelik üretimi yöntemi, diğeri ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir.

Entegre tesislerde demir-çelik üretim süreci, demir cevherinin kırma, eleme, sinterleme işlemleri sonucunda hazırlanması veya parça cevherin doğrudan

doğruya yüksek fırına şarjı ile başlamaktadır. Geçmişte, yüksek fırında aranan özelliklere sahip demir cevheri doğrudan maden ocaklarında yapılan üretimle karşılanmıştır (DPT,2001). Ancak sanayi devriminden günümüze kadar geçen sürede çok büyük miktarlarda enerji ve kaynağın tüketilmesinin sonucu olarak sanayide demire olan gereksinimin hızla artması ve yüksek fırına doğrudan yüklenebilir özellikteki cevherin giderek azalması, düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır (Sarıkaya, 2013 ; Mumcu, 2003).

Bunun yanı sıra günümüzde gittikçe önem kazanan çevresel sorunlar göz önüne alındığında, demir-çelik endüstrisinde atık malzemelerin geri dönüştürülmesinin önemi artmaktadır.

Demir-çelik hurdanın geri dönüştürülmesi esasına dayanan üretim süreçlerinde, birincil kaynakların kullanıldığı üretime göre daha az enerji tüketilir, çevre kirliliği azalır, süreçler kısılır ve maliyetler düşer. Demir çelik üretiminde cevher yerine hurda kullanılmasının etkileri değerlendirildiğinde enerji kullanmada %74, maden atıklarında %95, hava kirliliğinde %86, su kullanmada %40, su kirliliğinde %76 azalma gibi yüksek rakamlara ulaşıldığı görülmekte; hammadde kullanmada tutumluluk oranı da %90'ı bulmaktadır.

Verilerden de anlaşılacağı gibi hurdanın hammadde olarak geri dönüştürülmesi kullanılan enerjinin ve çevresel sorunların büyük oranlarda azalmasını sağlamaktadır (Mumcu, 2003).

Tüm bu nedenlerden dolayı hammadde verimi oldukça önemlidir. Demir ve çelik üretiminin bir kaçında, farklı özellikte yaklaşık 500 kg / ton yan ürün üretilmektedir, bunlardan biri de çelik üretiminin %2'sini oluşturan tufal olmaktadır.

Haddehanelerde, sürekli döküm tesislerinde, tav fırınlarından çıkan çelik, slab ve kütük yüzeylerinde tavlama esnasında gerçekleşen oksitlenme sonucu oluşan demir oksit tabakası olan tufal, yüksek demir içeriği (yaklaşık %72 Fe),

düşük empürite ve stabil kimyasal kompozisyonundan dolayı değerli bir yan üründür. Tüm dünyada yıllık 13,5 milyon ton tufal üretilmektedir.

Yaklaşık olarak tufalin %90 direk olarak demir-çelik üretim endüstrisinde kullanılırken küçük miktarları ferro alaşımlar, çimento endüstrisi ve petrokimya sanayinde kullanılmaktadır.

Ancak haddehane tufalleri'nin direk olarak elektrik ark fırınına geri dönüşümü, demir oksit partiküllerinin atık gaz ile dışarı atılabileceği veya enerji tüketiminde ve çevresel olarak istenmeyen etkiye sahip olan cüruf miktarını artıracağından dolayı mümkün olmamaktadır. Ayrıca yüksek fırın için beslemede geçirgen bir yatak oluşturacak biçimde şekillenmeli, yüksek hızlarda homojen bir biçimde gaz akışına izin vermelidir. Bu yüzden toz halindeki demir konsantreleri, hem geçirgen olmayan yatak içerisinde topaklanma hem de hızlı gaz akışı sebebiyle tozların taşınma olasılığından dolayı üretildiği haliyle kullanılmaya uygun değildir. Türkiye'de sadece entegre demir-çelik tesislerde tufallerin geri kazanımı için çalışmalar yapılmış olup birkaç firmanın hazırladığı uygulamaya geçilmemiş Marzinc projesi dışında projeler mevcut değildir (Gündoğdu, 2013).

Tufalin değerlendirilmesi hem alternatif bir ürün olması hem de atık olarak görülen bir çıktıyı tekrardan tesis içine döndürmek açısından çok önemlidir. Tufalin değerlendirilmesi, doğrudan indirgeme yöntemiyle veya briketlenerek ve peletleme tesisinde demir cevheri ile kullanılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Son yıllarda ülkemizde tufalden, kurulan tesislerle doğrudan indirgenmiş demir üretimi yapıp, demir çelik sektörüne tufalin geri dönüşümü sağlanmaya başlanmıştır. Bu maddenin geri kazanımı, hem ekonomik olarak hem de çevresel açıdan kazanç sağlayacaktır (Işıkgül, 2012).

1.1. Demir-Çelik Endüstrisi

Demir-çelik endüstrisi dünya sanayisi için önemli bir yer teşkil etmektedir. Gelişen dünya şartlarında bu sektöre olan talep her geçen yıl artmakta, bu da üretim kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır.

Demir-çelik endüstrisinde 2 farklı şekilde üretim yapılmaktadır. Demir-çelik ürünleri üretimi için kullanılan proseslerden biri, demir cevherinden ham demir ve ham demirden çelik üretimi yöntemi, diğeri ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir. Entegre tesislerde demir-çelik üretim süreci, demir cevherinin kırma, eleme, sinterleme işlemleri sonucunda hazırlanması veya parça cevherin doğrudan doğruya yüksek fırına şarjı ile başlamaktadır. Yüksek fırınlarda kok kömürünün yardımı ile demir oksit haline gelen cevherin oksijeni alınarak indirgenmekte ve sıvı ham demir elde edilmektedir. Çelik, sıvı ham demir içinde yüksek oranda bulunan; karbon, silisyum, fosfor, kükürt gibi elementler istenilen ölçüde arıtılarak ve gerekli alaşım maddeleri ilave edilerek üretilmektedir. Bunun için farklı çelik üretim metotları bulunmaktadır. En çok kullanılanları; Siemens-Martin Ocakları (SM), Bazik Oksijen Fırınları (BOF) ve Elektrik Ark Ocakları (EAO) kullanılarak yapılan çelik üretim metotlarıdır (Doğaka, 2014 ; Işıkgül, 2012).

1.1.1. Dünyada Demir-Çelik Sektörü

Dünyadaki demir-çelik üretimine baktığımızda, ham çelik üretiminin %71,2'si hammadde olarak demir cevherini kullanan BOF tabanlı tesislerde gerçekleşmektedir. 2000 yılından sonra özellikle Çin'in BOF tabanlı tesislere yaptığı yatırımlar bu ülkenin demir cevherine dönük talebini önemli seviyelere çıkarmıştır.

Çizelge 1.1. Demir Cevheri Üretimi ve Tüketimi (milyon ton) (2012) (Şahin, 2015)

Ülke	Üretim	Tüketim
Avustralya	525,0	4,9
Brezilya	367,0	40,5
Çin	280,8	1,026.2
BDT	200,9	13,7
Hindistan	140,0	114,4
Diğer Ülkeler	336,9	523,4
TOPLAM	1,85,6	1,840,1

Çin'in BOF tabanlı tesislere yaptığı yatırımlar dünya genelinde demir cevherine yönelik talebin artmasına neden olurken, madencilik sektörü firmalarının demir cevherine dönük yatırımlarının da hızlandığı izlenmiştir. Avustralya, Brezilya ve Çin önemli demir cevheri üreticileri olarak öne çıkmaktadır.

Bunun yanı sıra sektörde kullanılan diğer hammadde olan hurda üretiminde AB ülkeleri, ABD ve Çin başlıca ülkeler olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 1.2. Küresel hurda ithalatı (2013) (Şahin, 2015)

Ülkeler	İthalat (milyon ton)	Pay(%)
Türkiye	19,7	22
Güney Kore	9,3	10
Almanya	5,3	6
İtalya	5	6
İspanya	4,7	5
Çin	4,5	5
Tayvan	4,5	5
Meksika	4,2	5
ABD	3,9	4
Diğer Ülkeler	4,5	22
Dünya	90,5	100

Küresel olarak ham çelik üretimine bakıldığında, çelik üretiminin %71,2'si BOF tabanlı entegre tesislerde, %28,2'si EAO tesislerde, %0,6'sı ise SM ve diğer tesislerde gerçekleştirilmiştir.

Dünya çelik üretimi, Çin Halk Cumhuriyeti'nin öncülüğünde, 2000 yılından sonra hızlı bir yükseliş sürecine girmiştir. Dünyada demir çelik üretiminde ilk sırayı Çin Halk Cumhuriyeti ve onu sırasıyla Japonya ve A.B.D. takip etmektedir. 2013 yılı dünya çelik üretimi 1,606 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılında bu üretimin 779 milyon tonluk bölümü (%48,5) Çin tarafından üretilmiştir.

Çizelge 1.3. Demir-Çelik üretiminde başlıca ülkeler (bin ton) (Sarıkaya, 2013)

SIRA	ÜLKELER	2008	2009	%DEĞİŞİM
1	ÇHC	500,312	567,842	13,5
2	Japonya	118,739	87,534	26,3
3	Rusya	68,510	59,940	12,5
4	ABD	91,350	58,142	36,4
5	Hindistan	55,085	56,608	2,8
6	GüneyKore	53,625	48,598	9,4
7	Almanya	45,833	32,671	28,7
8	Ukrayna	37,279	29,757	20,2
9	Brezilya	33,716	26,507	21,4
10	Türkiye	26,806	25,304	5,6
	Toplam	1,326,500	1,219,700	8

Dünya genelinde toplam ekonomik faaliyetlerin artması ve ülke ekonomilerindeki büyümenin bir yansıması olarak konuta olan ihtiyacın, otomobile olan talebin ve başta beyaz eşya olmak üzere diğer demir çelik ürünleri talebinin her geçen gün büyük bir hızla artması dünya toplam çelik üretimini de artırmaktadır (Sarıkaya, 2013).

2009 yılı itibariyle 1,2 milyar ton olarak gerçekleşen dünya ham çelik üretiminin 2015 yılına kadar %37 oranında artışla 1,6 milyar tona yükselebileceği ve bu artışın özellikle Çin'den kaynaklanması beklenmektedir.

2015 yılında diğer büyük çelik üreticisi bölgelerin 171 milyon ton ile Avrupa Birliği (AB), 115 milyon ton ile BDT ve 108 milyon ton ile Hindistan olması tahmin edilmektedir (Alan, 2014).

1.1.2. Türkiye'deki Demir-Çelik Sektörü

Ülkemizde ilk demir çelik sanayi 1925 yılında Kırıkkale'de Askeri Fabrikalar Müdürlüğü'ne bağlı olarak, savunma sanayinin çelik ihtiyacını karşılaması amacıyla kurulan 50.000 ton üretim kapasiteli ve şu anda Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK) olarak bilinen fabrika olmaktadır.

Daha sonra sanayileştirme atağının bir parçası olarak Sümerbank'a bağlı olarak, Karabük'te, 15.000 ton/yıl kapasiteyle ülkemizin ilk entegre tesisi olan Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları (KARDEMİR) kurulmuştur. Bunu takiben ülkenin gelişen ekonomik koşulları ve üretimin talebi karşılayamaması nedeni ile 1965 yılında ülkemizin ikinci demir çelik fabrikası yassı ürün üretmek üzere, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) ve uzun mamul üretimi yapmak üzere, ülkemizin üçüncü entegre tesisi İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) kurulmuştur.

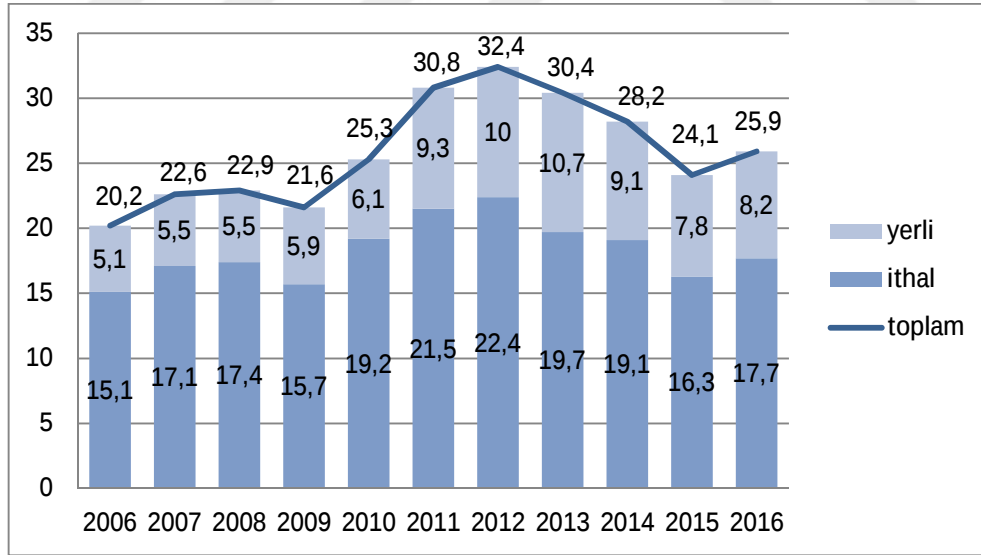
Sanayinin lokomotifi olarak kurulan, ancak aşırı istihdam, finansman sıkıntısı vb. nedenlerle ekonomiye büyük bir yük getirdiğinden İSDEMİR ve ERDEMİR 2006 yılı Mart ayında özelleştirilmiş ve Türk Demir Çelik Sektörü MKEK hariç özel kesim tarafından yürütülen bir sektör haline gelmiştir (Doğaka, 2014).

Türkiye de hammadde olarak kullanılan demir cevherine baktığımızda, sektörde toplam maliyetin %75-%80'ini hammadde maliyetleri oluşturduğu görülmektedir.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tahminlerine göre Türkiye’de 122 milyon ton işletilebilir demir cevheri rezervi karşılığı 82,5 milyon ton metal demir bulunmaktadır. Bilinen yurt içi demir cevheri kaynakları kalite ve miktarı açısından yetersizdir (Şahin, 2015).

Demir-çelik sektöründe ikincil kaynak olarak adlandırılan demir-çelik hurda kullanımına baktığımızda, üretim yöntemi açısından hammadde olarak hurdaya bağımlı ülkelerin başında Türkiye gelmektedir. Hurda üretimi konusunda kendine yeterli olmayan Türkiye, küresel hurda ithalatında %22 ile ilk sırayı almaktadır (Şahin, 2015; Işıkgül, 2012)

Sektör 2016 yılında tükettiği toplam 25,9 milyon tonluk hurdanın %9 oranında artışla, 17,72 milyon tonluk kısmını ithalat yoluyla, %4,5 milyon artışla, 8,16 milyon tonluk kısmını iç piyasadan karşılamıştır. Bu yönü ile çelik sektörü 2016 yılında gerçekleştirdiği hurda tüketiminin %68’ini ithalat yoluyla, %32’sini iç piyasadan karşılamıştır (TOBB, 2016).



Şekil 1.1. Türkiye’nin hurda tedariği (milyon ton) (TOBB,2016)

Türkiye’de çelik üretiminin büyük bir kısmının elektrik ark ocaklı tesislerden sağlandığı ve EAO’ların 1 ton sıvı çelik üretebilmek için 1,15 ton hurdaya ihtiyaç duyduğu göz önüne alındığında, Türkiye’nin EAO bazlı tesislere dayalı üretim kapasitesinin kullanılabilmesi için ciddi miktarda hurda ithal etmeyi sürdürmesi gerekmektedir.

2013 yılı sonu itibarıyla EAO tabanlı tesislerin toplam kapasitesi 38 milyon ton/yıla ulaşmıştır. Bu da yurt içinde üretim yapan EAO tabanlı tesislerin maliyetinde hurda demirin payı %76 civarında olduğunu göstermektedir.

Üretimde elektrikli ark ocaklı tesislerin tercih edilmesinin en büyük sebebi entegre demir çelik tesislerine nazaran daha düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olmasıdır. Ancak hurda fiyatlarının her geçen gün artması ve hurdada büyük miktarda dışa bağımlı olunmasının gelecekteki elektrikli ark ocaklı tesislerdeki üretimi etkileyebileceği düşünülmektedir.

Aşağıda, Türkiye’de ham çelik üretiminde üretim yönteminin sahip olduğu paylar görülmektedir (Şahin, 2015; Işıkgül, 2012).

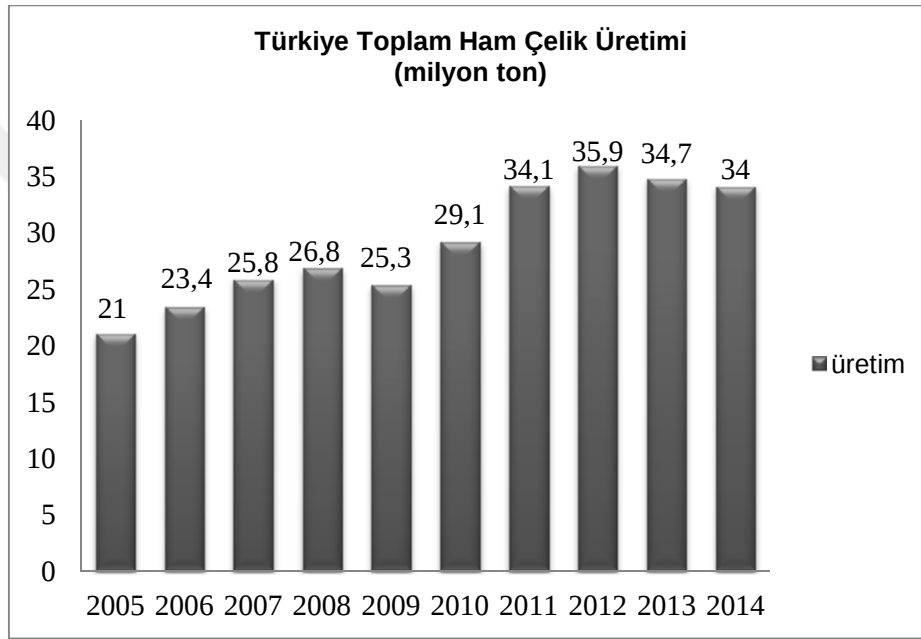
Çizelge 1.4. Türkiye’de üretimin kullanılan yöntemlere göre dağılımı (milyon ton) (Şahin, 2015)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
EAO	14,8	17,3	19,4	19,8	17,7	20,9	25,3	26,6	24,7	23,8
BOF	6,1	6,2	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,3	9,9	10,3
Toplam	21,0	23,4	25,8	26,8	25,3	29,1	34,1	35,9	34,7	34,0

Türkiye’de yalnızca üç firma BOF tabanlı tesislerde üretim gerçekleştirmektedir. Bunlar ülkenin üç temel entegre tesisi olan İsdemir, Erdemir ve Kardemir’dir.

BOF tabanlı fabrikaların 2012 yılı itibarıyla toplam kapasitesi 10,7 milyon ton/yıl olup, üretim rakamlarındaki gelişmeler incelendiğinde bu tesislerin çok yüksek kapasite kullanım oranlarına ulaştığı görülmektedir (Şahin, 2015).

Ancak üretim teknolojileri açısından, Türkiye’de ham çelik üretimi büyük oranda EAO tesislerde gerçekleştirildiğinden dolayı, sektöre dönük yeni yatırımlar da bu alanda yapılmaktadır. Sektörde 2013 yılında ham çelik üretiminin %71,3’ü, yani 24,7 milyon tonu elektrik ark ocaklı tesislerde, %28,72’si yani 9,9 milyon tonu bazik oksijen fırınlarda üretilmiştir (Sarıkaya, 2013; Doğaka, 2014).



Şekil 1.2. Türkiye toplam ham çelik üretimi(milyon ton) (Şahin, 2015)

Türkiye demir- çelik üretiminin yıllara göre dağılımına baktığımızda, küresel kapasite fazlası nedeniyle oluşan rekabetin olumsuz etkilerinden dolayı sektör 2012’den sonra gerileme eğilimine girdiği ve Türkiye’nin 2013 yılındaki 34.700.000 tonluk üretimiyle yaklaşık %2,1’lik bir paya sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye ham çelik üretimi 2013’de yıllık bazda %3,4, 2012 yılında yıllık %2 oranında gerilemiştir. Üretimdeki gerilemeye rağmen 2014 yılı itibarıyla gerçekleşen 34 milyon tonluk üretimle Türkiye, dünyadaki 64 çelik üreten ülke

arasında 8. sırada, Avrupa'daki çelik üreticileri arasında ise Almanya'dan sonra 2. sırada yer almaktadır (Şahin, 2015; Doğaka, 2014).

Türkiye'de Sektörün en önemli sorunlarından biri ağırlıklı olarak ithal girdiyle çalışması olup, EAO'larda hammadde olarak kullanılan hurdanın %70 civarındaki bölümü ithal edilmektedir (Işıkgül, 2012).

Ayrıca sektör hurdadan cevhere, kömürden ferro alyaja kadar hemen hemen tüm girdilerde de ihracatçı konumundadır (Şahin, 2015).

Demir-çelik sektörünün hurda ithalatını azaltmak için, Kasım 2014'te hazırlanan Onuncu Kalkınma Planının İthalata Olan Bağımlılığın Azaltılması Programı Eylem Planı Çerçevesinde, 2015 Haziran sonuna kadar hurda üretim ve tüketimine ilişkin güncel bir veri tabanı oluşturulması, yıllık bazda üretim ve tüketim projeksiyonları hazırlanması, 2015 yılı sonuna kadar hurda toplama işinin mahalli idareler aracılığıyla kontrol edilerek atık toplama merkezlerine getirilmesini sağlayan ikili toplama sisteminin alt yapısının oluşturulması sağlanarak 2018 yılı sonunda ise bu sistemin yurt içi hurda tedarikinin mevcut seviyelerin üstüne çıkması planlanmaktadır (Şahin, 2015).

Demir-çelik sektöründe dışa bağımlılığı azaltmak için 5. demir-çelik kongresi sonuç bildirisinde açıklanan stratejilerde ise tesislerin gereksinimi olan başta demir cevheri ve kömürün, öncelikle yerli kaynaklardan karşılanması, mevcut ve kurulacak demir çelik tesislerinin çevresel faktörleri göz önüne alınması ve demir çelik endüstrisinin ürettiği atıkların ekonomiye yeniden kazandırılması yönündeki çalışmalar, aktif bir şekilde desteklenerek teşvik edilmesi önerilmektedir.

Bu sayede Çelik sektörü, üzerindeki yüklerin hafifletilmesi ile kapasite kullanım oranını rahatlıkla %80'lerin üzerine çıkartacak, ihrac satışlarını çok daha yüksek seviyelere taşıyacak ve 2023 yılı için belirlenmiş olan ihracat hedefini aşacak potansiyele ve güce ulaşacaktır (Doğaka, 2014).

1.1.3. İsdemir

Erdemir Grubu şirketlerinden biri olan İsdemir, ülkemizin kuruluş tarihi itibari ile üçüncü, uzun ürün üretim kapasitesine göre en büyük entegre demir ve çelik fabrikası.

İsdemir, 2008 yılında devreye aldığı 3,5 milyon ton/yıl sıcak haddeleme kapasitesi ile de Türkiye'nin uzun ve yassı ürün üreten tek entegre tesisidir.

İsdemir, 3 Ekim 1970 tarihinde Türkiye'nin güneyinde Akdeniz kıyısında, İskenderun'a 17 km mesafede, Payas (Yakacık) yöresinde kuruldu. Kurulduğu tarihte sosyal tesisleri ile birlikte toplam 16,75 milyon m² alan (fabrika alanı 6,8 milyon m²) üzerine kurulmuştur.

1975 yılında 1,1 milyon ton/yıl çelik blum üretim kapasitesi ile işletmeye alınan İsdemir'in üretim kapasitesi, yapılan I. tesisatla 1985 yılından itibaren 2,2 milyon ton/yıl üretim kapasitesine çıkarılmıştır.

Uluslararası kalite standartlarında pik, blum, kütük, inşaat çelikleri gibi uzun ürün üretilmesi amacıyla kurulan İsdemir'de kok-sinter-yüksek fırın-çelikhane-sürekli döküm ve sıcak haddeleme prosesleriyle üretim yapılıyor. Ürünler iç piyasanın yanı sıra başta Güney Avrupa ve Orta Doğu ülkeleri olmak üzere tüm dünya ülkelerine ihraç edilmektedir.

İsdemir'de, yapılan Modernizasyon ve Dönüşüm Yatırımları (MDY) ile uzun ürünlerin yanı sıra Ağustos 2008'den itibaren yassı ürün üretimine de başlandı.

Türkiye çelik sektörünün gelişimi açısından hayati önem taşıyan yassı ürün üretim kapasitesinin artırılmasında önemli bir rol oynayan İsdemir'de kütük, kangal, slab, sıcak rulo, levha ve pik demir üretilmekte ve bu ürünlerin yanı sıra kok kömürü, oksijen, azot, argon, amonyum sülfat, granüle cüruf, katran ve benzol gibi yan ürünler de elde edilmektedir.

İsdemir'de, 2004 yılı içerisinde başlayan Modernizasyon ve Dönüşüm Yatırımları (MDY) tamamlanarak başlangıçta 2,2 milyon ton/yıl olan sıvı çelik kapasitesi 5,3 milyon ton/yıl seviyesine çıkarılmış, ayrıca kurulu tesislerinde 3,5

milyon ton/yıl yassı ürün, 0,6 milyon ton/yıl kangal ve 2,5 milyon ton/yıl kütük nihai mamul üretim kapasitesine sahiptir (www.isdemir.com.tr).

Yüksek fırınların kurulma amacı çelikhanenin ihtiyacı olan sıvı ham demirin üretilmesidir. Demir-çelik sektöründe üretimin yaklaşık %60'ı yüksek fırınlar ve çelikhane vasıtası ile geriye kalan %40'ı hurdaların eritilmesi ile elde edilmektedir. Hurda kaynağının da yüksek fırın olduğu göz önüne alınırsa çelik üretiminin %99'u yüksek fırınlardan elde edilmektedir.

Demir-çelik endüstrisinde ikincil ürün veya hurda olarak adlandırabileceğimiz tufal ısıtma ve haddeleme işlemleri sırasında çelik ile oksitleyici bileşiklerin kimyasal tepkimeleri sonucu meydana gelen bir demir oksit bileşiğidir. Tufal yüksek oranda demir içeriğine sahip bir malzeme olup yıllardır demir-çelik tesislerinde atık olarak düşünülüp satılmıştır. Ancak son yıllarda demir-çelik sektörüne tufalin geri dönüşümü sağlanmaya başlamıştır (Işıkgül, 2012)

Çizelge 1.5. İsdemirde Yıllık Üretilen Tufal Miktarları

Aylar	Tufal Miktarı(kg)	
	2015	2016
Ocak	5900	5900
Şubat	6000	5775
Mart	6300	5600
Nisan	6350	5700
Mayıs	6250	5450
Haziran	6300	5000
Temmuz	6000	4700
Ağustos	5925	4200
Eylül	5750	4500
Ekim	6050	
Kasım	6175	
Aralık	6000	

1.2. Yüksek Fırın Ve Cüruf Oluşumu

1.2.1. Yüksek Fırının Yapısı ve Meydana Gelen Reaksiyonlar

Demir içerikli hammaddelerin kok ve kireç taşı ile bir arada ergitilmesinde kullanılan ve kapasitelerine göre yükseklikleri 30 - 90 m arasında değişen, içerisindeki reaksiyonlar sonucu oluşan C ve CO'in cevheri redüklediği, (indirgeme reaksiyonuna uğradığı) oluşan ısı ile demirin ergitildiği fırınlara yüksek fırın denir. Dünya çelik üretimi her yıl 700 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Bu üretimin yaklaşık %60'ı yüksek fırınlar ve çelikhane vasıtası ile geriye kalan %40'ı hurdaların eritilmesi ile elde edilmektedir.

Hurda kaynağının da yüksek fırın olduğu göz önüne alınırsa çelik üretiminin %99 ' u yüksek fırınlardan elde edilmektedir (Coşar, 2006).

Yüksek fırınlarda fırının kendisi dairesel kesitli dikey şaft ve 5 ana parçadan oluşmuştur. İlk olarak likit metal ve cürufun toplandığı, paralel eksenli hazne bulunmaktadır ve bunun üzerinde karın olarak da bilinen ters kesik koni ile birleşmiştir.

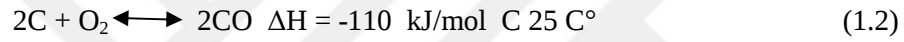
Karın ile bağlantılı, varil veya bel adı verilen kısa dikey parçanın üzerinde gövde olarak bilinen kesik dik koni bulunmaktadır ve bunlar sırasıyla boğaz kısmını desteklemektedir (Eliot, 1962).

Hammaddeler fırının üst kısmından bu sistemler vasıtasıyla içeriye gönderilmektedir. Malzemelerin ve gazın ısınması sonucu hacimlerin artması nedeniyle rahat bir şekilde hareket edebilmeleri için gövde çapı aşağı doğru genişlemektedir. Gövdenin bittiği yerde başlayan ve dikey eksenle çapı sabit olan bel (Belly) bölgesi fırının en geniş bölgesidir. Cüruf ve metalin ergimesi ve sonuç olarak hacimlerinin azalması bu noktada başlar. Karın (Bosh) bölgesi ters koni şeklindedir. Üst kısmı bel, alt kısmı hazne ile birleşmektedir. Karın bölgesinde erime işlemi ve cüruf oluşma işlemi tamamlanır. Eriyen metal ve cüruf, karın bölgesinin altında bulunan ve dikey eksenle çapı sabit olan hazne bölgesine birikir (Bartın edu tr).

Fırın şekil ve bölümlerinin ölçüleri çalışma metodu, hava sıcaklığı ve kullanılacak malzeme cinsine göre değişmektedir. Malzemenin rahat hareketi ve yukarıya çıkan gazın malzeme ile fırın çapı boyunca temasının çok iyi ve düzenli olabilmesi için bu ölçülerin dikkatli belirlenmesi gerekmektedir

İndirgeme Kimyası: Bölümün amacı cevherin metale indirgenmesi vasıtasıyla oluşan kimyasal reaksiyonların temel tanımlarını açıklamaktır.

Karbonun yanması: Kok içeriği %90 civarında karbon içerir ve bu yüksek fırının temel kaynağıdır. Karbon aşağıdaki gibi iki oksit formunda oluşur.

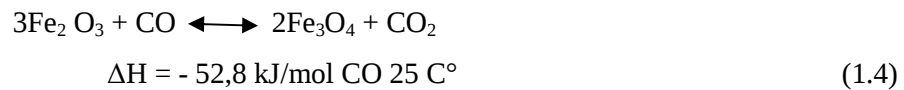


25 C° sıcaklıkta entalpi değişimleri fırın içerisinde yanma boyunca yayılan potansiyel ısının göstergesidir

Herhangi bir durumda fazla karbonun varlığında gazın yanmasının bileşimi boudouard dengesi olarakta bilinen C-CO-CO₂ dengesi tarafından kontrol edilmektedir (Elliot, 1962).



Demir Oksitleri İndirgeyen Gazlar: Karbon monoksit magnetit ve hematiti demire indirgeme yeterliliğine sahiptir ve 570 C° 'nin üzerindeki sıcaklıkta başlangıç üretimi olarak wüstit ortaya çıkar (Elliot, 1962).

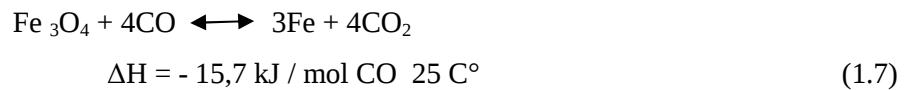




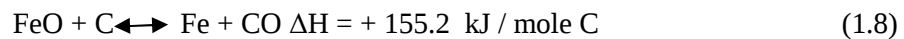
Yüksek fırın ters akımlı bir proses olduğundan yüksek CO içeren tüyer gazı, demire indirgenebilmesi için yüksek indirgeme potansiyeli gereken FeO ile tepkimeye girer. Sonuçta açığa çıkan düşük potansiyelli gaz malzeme içerisinde yükselirken indirgenmeleri için daha az CO/CO₂ oranı gereken magnetit ve hematit ile karşılaşır.

Bu nedenle wüstitin indirgenmesi demir oksit indirgenme reaksiyonları arasında en önemli sırayı alır. Çünkü yaklaşık %70 hematit oksijeni FeO halinde bulunur. (1.4), (1.5), (1.6) reaksiyonları *dolaylı (indirek) reaksiyonlar* diye adlandırılırlar ve bu reaksiyonlar sonucunda CO₂ açığa çıkar (Elliot, 1962).

Her bir durumda reaksiyon tersinirdir ve denge, gazın devamlı basınçta sadece sıcaklığa bağlı bir niteliğe ulaştığı zaman kurulur. 1.2 ve 1.3 no'lu reaksiyonların denge ilişkileri 1.7 no'lu reaksiyonda magnetitin düşük sıcaklıklarda demire indirgenmesi ile birlikte gösterilmiştir.



Katı Karbon Tarafından İndirgenme: Bölgesine giren yük önceden ısıtılmış ve kısmen de indirgenmiştir fakat kalan oksijen 1.8 no'lu reaksiyonda gösterildiği gibi katı karbon ile indirgenme vasıtasıyla ortadan kaldırılmalıdır (Elliot, 1962).

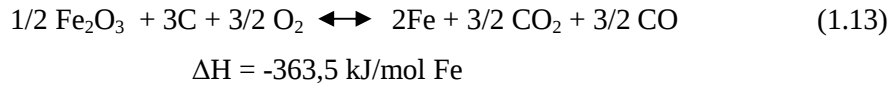
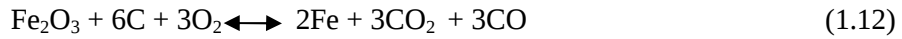


Karbon indirgemesi son derece endotermiktir ve tüketilecek iyi bir ısı elde etmek için kokun yanmasını gerektirir.

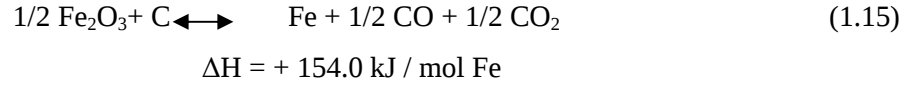
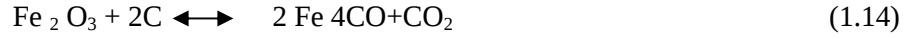
Karbon İndirgemesinde Gazlar vs: Yüzeysel olarak karbon indirgenmesinin endotermik doğası, egzotermik olan gaz indirgemeleriyle kıyaslandığında karbon indirgemesini endotermik doğasını itici kılacak şekilde ortaya çıkar. Ancak gerçek nispeten daha karışıktır. Ekstrem durumları göz önüne alırsak ilk olarak CO daha sonrada katı karbon tarafından hematitin tamamen metalik demire indirgenmesiyle örnek olarak gösterilen aşırı durumları da göz önüne almamız gerekmektedir.

Ancak unutulmaması gereken CO'nun kok'tan meydana gelmesi ve denge sınırlarının CO₂ 'nin tamamen yanmasını engellemesidir.

Bundan dolayı nihai CO/CO₂ oranının 1,0 olarak varsayılmalıdır.



Yukarıdaki reaksiyonlardan gaz indirgemelerinin büyük bir termal fazlalık ürettiği görülebilir. Karbon indirgenmesi termal eksiklikle ilgilidir fakat her bir mol demir üretmek için sadece üçte bir oranında karbon kullanılır (Elliot, 1962).



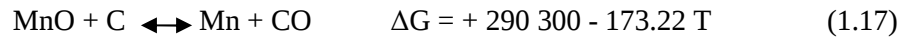
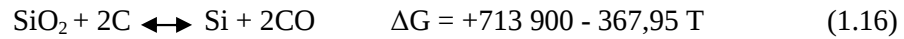
Burada iki indirgenme mekanizmasının kombinasyonuna dikkat çekilmektedir. Çünkü gaz indirgenmeleri vasıtasıyla üretilen ısıнын çoğu (ya da daha doğru bir şekilde koktaki CO'nun yanması) karbon indirgenmelerinde yakıt tasarrufu gerektiren sıcaklıkları tazmin etmek için kullanılabilir. Bundan dolayı her iki tip reaksiyonla da yüksek fırında karşılaşılabilir.

Yüksek Sıcaklık Reaksiyonları: Karın ve haznedeki indirgemeler sadece demir oksitle sınırlı değildir. Örneğin yükteki tüm P_2O_5 içeriğinin nerdeyse tamamı fosfora indirgenir ki bu da metalde çözünür ve çelik yapım proseslerinde ortadan kaldırılmalıdır.



Bu yüzden demir cevherinde bulunan fosfor içeriği ticari değeri belirlemede hayati öneme sahiptir çünkü fosforik demiri işlenmiş çelikten arındırmak oldukça uzun sürmektedir. BOF için demirin normal fosfor içeriği yaklaşık % 0,1–0,2 civarında olmalıdır.

Silisyum (SiO_2) ve manganez oksit (MnO) gibi diğer oksitler kısmen indirgenirler (Elliot, 1962).



Denklem 1.16 ve 1.17'ye eklenmiş serbest enerji ilişkilerinden şu sonucu çıkarılabilir; artan sıcaklık her iki durumda da sağa doğru bir kayma göstermektedir. Bundan dolayı metal içindeki manganez ve silisyum oranı yükselmektedir.

Ancak Silisyumun indirgenme mekanizması, gaz halindeki silisyum monoksit ara ürün olarak oluştuğundan dolayı 1.16 no'lu reaksiyonda gösterildiği gibi basit olmamaktadır. Ama yine de çelik yapımında BOF için silisyum ve manganez içeriğinin her biri için yaklaşık %8 olması beklenebilir.

Metal fazına girerek kalan elementler sülfür ve karbondur. Daha sonra kolayca erirler ve mevcut diğer çözümlerin varlığına da bağlı olarak, muhtemelen demir konsantrasyonu %4 mertebesine ulaştığında karbonla doymuş olacaktır.

Karbon içeriğini kontrol edecek hiçbir kontrol uygulaması yoktur fakat diğer bir taraftan yüksek fırındaki sülfür kontrolü oldukça önemlidir çünkü buradaki şartlar desülfirizasyona çelik yapımında karşılaşılan şartlardan daha elverişlidir (Elliot,1962).

1.2.2. Cüruf Oluşumunun Yüksek Fırına Etkileri

Önemli miktarlarda cüruf ve çamur yan ürün veya atık materyal olarak üretilmektedir ve bunlar önemli miktarlarda metal ve materyal içermektedir. Çelik tesis cürufları temel olarak yüksek fırın cürufu ve çelik eritme cürufunu içermektedir ve yüksek fırın ve çelik cürufundan faydalanmak için çeşitli çabalar gösterilmektedir.

Yüksek fırın cürufu, demir çelik üretimi sırasında kireç, kok külü ve demirin indirgenerek ayrılmasından sonra kalan silis ve alümin füzyonu sonucu oluşur. Silis (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) gang olarak anılmaktadır ve bunlar fırının hazne kısmında toplanan cürufun temelini oluşturmaktadırlar. Kokun yanmasıyla oluşan külde bu yolla cüruf içinde bulunmaktadır.

Eriyebilir cürufun oluşması yük içerisindeki flakslarında dahil olmasıyla desteklenir ve kireç (CaO) ve magnezyum (MgO) içeren materyal arzu edilen

kompozisyona sahip cüruf üretimde kullanılır. Optimum kompozisyonu belirleyen koşullar fiziksel kimyasal ve ticaridir.

Cüruf fırından kolayca akabilmesi için yeterli akışkanlığa sahipken aynı zamanda da sülfürü absorblayacak yüksek kapasiteye sahip olmalıdır.

Metaldeki silisyum ve manganez seviyeleri ile alkalilerin resirkülasyonu cüruf bileşimi tarafından etkilenir çünkü bunların kimyasal fonksiyonları farklı olmaktadır.

Yüksek fırın cüruflarının temel bileşenleri 4 oksittir; CaO, MgO, SiO₂ ve Al₂O₃ ve bunların konsantrasyonları genellikle %95'ten fazladır. Bu bileşimde çok az miktarda diğer oksitler bulunmaktadır.

Bu konsantrasyonda oksitlerin oranları; CaO %38-44, MgO %8-10, SiO₂ %34-38, Al₂O₃ %10-12, MnO %0,5-1, S %1-2, K₂O %0,1-0,6 ve FeO % < 0,2 (Elliot, 1962).

Cüruf oksitlenme düzeyine baktığımızda cüruftaki FeO oranı çelik yapımı ve reaksiyonlar için çok önemlidir. Metal banyosuna oksijen verir.

Konvertörde yüksekten Oksijen üflenmesi cürufta FeO seviyesini artırır. Bir kısmı oksitlenerek cürufa karışan demir oksit cürufa akıcılık sağlar (Bilen, 2010).

Genellikle okside cürufların kimyasal karakteri onun kompozisyonu tarafından belirlenir ve çeşitli bileşenler asidik veya bazik olarak sınıflandırılmaktadır.

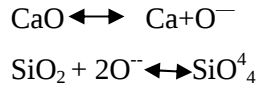
Asidik oksitler: SiO₂, P₂O₅, B₂O₃

Bazik oksitler: CaO, MgO, MnO, FeO, Na₂O₃, K₂O

Orta derece oksitler: Al₂O₃, Fe₂O₃

Cüruf içerisindeki yüksek miktardaki kireçten dolayı baziktir ve yüksek silisyum içeriğine sahip olanlar da asidiktir.

Asidikler ve bazikler arasındaki ayrım cüruf solüsyonunda bunların davranışları nedeniyle yapılmaktadır. Örneğin asidik oksitler oksijen anyonlarını ortadan kaldırırken bazik oksitler iyonizedir ve eriyikteki oksijen anyonlarına katkı sağlar.



Asidite veya bazikliğin derecesi orta düzeydeki oksitlerin iyonlaşması ile ilgili bazı belirsizliklerden dolayı kolaylıkla tanımlanamaz, fakat basit bir oran olarak cürufun bileşimini açıklamak normaldir, bundan dolayı baziklik olarak adlandırılan sayılar verilmiştir.

Tipik açıklamalar aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}, \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}, \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

Bazikliğin değeri cüruf ve metal arasındaki elementlerin dağılımıyla sıkı bir bağlantıya sahiptir. Ayrıca cürufun baziklik özelliği, reaksiyonlar ve çelik yapımında önemlidir (Elliot, 1962).

Baziklik; özellikle düşük fosforlu sıcak metal, BOF için tercih edildiğinden fosfor ve kükürdü gidermenin başarılı olabilmesi için minimum %3,5 (teorik) olmalıdır.

Kaliteli bir çelik, iyi bir cüruf ile elde edilir. Bu nedenle çelikhanelerde pratiğe uygun cüruf bileşimiyle çalışılmalıdır. Yüksek fosforlu sıcak metal kullanımında %8-12 SiO₂ bulunurken, düşük fosforlu çalışmada %15-20 SiO₂ bulunur. Cüruf içerisindeki silisyum miktarının artışı yanmış kireç kullanımını da artırır (Şahan, 2006).

[%Si] / (%SiO₂) oranı artan cüruf bazıklığı ve azalan sıcaklıkla azalır . Bir önceki bölümde verilen 10. denklemdeki dengeye yakın bir yaklaşım çok sayıdaki fırın uygulamasında başarılmıştır.

MnO miktarının artışı, cüruf akışkanlığını ve cüruf hacmini artırır; buna bağlı olarak akışkan cüruflla çalışılması fırın taşmasına ve verimliliğin düşmesine neden olur. [%Mn] / (MnO) oranı cüruf bazıklığı ve sıcaklığın artması ile artar. Ancak bir önceki bölümde verilen 11. reaksiyon pratikte uygulanamamaktadır.

Düşük manganlı çalışmanın mahsuru ise metal banyosundan sıçrayan parçacıkların oksijen lansına yapışmasıdır. Manganın %80'i, fosforun %90'ı oksitlenerek cürufa geçer (Elliot, 1962).

1.2.3. Yüksek Fırın İçin Ham Maddenin Önemi ve Ham Maddede Aranılan Özellikler

Yüksek fırında kullanılan besleme materyalinin kimyasal bileşimi ve fiziksel yapısı bunların arzu edilen bileşimde olmasını belirlemede önemli bir faktördür. En iyi cevherler yüksek demir içeriği ve düşük titanyum, çinko, silisyum ve alüminyum içeriğine sahip cevherlerdir.

Genellikle, hematit (Fe₂O₃) magnetitten (Fe₃O₄) daha az yoğundur ve daha hızlı indirgenir. Ancak indirgeme hızı partikül boyutuyla ters orantılıdır. Bu yüzden cevher topraklarının boyutu cevherin minerolojik olarak hazırlanması gibi uygulamalar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca cevherde en yaygın bulunan gang mineralleri silisyum ve alüminyumdur ve düşük alüminyum ve silisyum içeriği düşük cüruf hacmi ve bundan dolayı da kok oranında düşüş olacaktır (Metu library, 2014).

Demir cevherlerinin yüksek fırınlarda kullanılabilir olmaları cevherlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile saptanmaktadır (Coşar, 2006).

A. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler: Parça ve toz demir cevherlerinden ASTM Standartlarına göre istenen fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıda çizelge 1.6, 1.7, 1.8 ve 1.9'da verilmiştir.

Çizelge 1.6. ASTM Parça demir cevheri standartları (Kimyasal Özellikler) (Coşar, 2006)

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)
MagnezyumOksit	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)

Çizelge 1.7. ASTM Parça demir cevheri standartları (Fiziksel Özellikleri) (Coşar, 2006)

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.

Çizelge 1.8. ASTM Toz demir cevheri standartları (Kimyasal Özellikleri) (Coşar, 2006)

Elemanlar	Kimyasal formülü	İçerik(%mm)
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)

Çizelge 1.9. ASTM Toz demir cevheri standartları (Fiziksel Özellikler) (Coşar, 2006)

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 arttırılmasında büyük rol oynamaktadır. Şarj malzemesinin boyutlarının farklılığı ne kadar az olursa, fırın ısıısının 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 cürufa geçeceği için cüruf 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 (Coşar, 2006).

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

Cevherin Porozitesi (Gözenekliliği): Gözenekli cevherler, gözeneksiz cevherlere göre daha hafif gelmektedir. Bu nedenle gözenekli cevherler 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.

1.2.4. Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı

Yüksek fırın işletmeciliğinin geliştirilmesinde üretim hızı, üretim verimi, ürün kalitesi ve ekonomiklik gibi önemli özellikler kullanılan hammaddelerle yakından ilgilidir.

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 (DocSlide, 2017).

Yapılan çalışmalarda yüksek fırında kullanılacak şarj malzemesinin şarj noktasından elenmeleri (3 - 6 mm civarındaki tozun alınması işlemi), yani şarj malzemelerinin tozdan temizlenmelerinin üretimde %92'ye varan bir artma sağladığı belirlenmiştir (Ayışkan, 1997).

Yüksek demir içerikleri (%65-67 Fe), yüksek dayanım ve taşınabilme olanakları sayesinde, ufalanıp toz cevher haline dönmeme konusunda üstün dirençleri, birbirine yakın boyutlarda olmaları nedeniyle iyi gaz geçirgenliği ve düzgün gaz dağılımı, yüksek porozitelerinden dolayı iyi redüklenebilme özellikleri gibi istenen özellikleri sağlamak koşuluyla, yüksek fırında aglomera edilmiş şarj malzemesi kullanılması kok tüketiminin azaltılması, cüruf miktarının azalması üretim hızının artışı gibi olumlu sonuçların alınmasını sağlamaktadır (Y.T.Ü, 2013).

Dünyada kullanılan çeşitli nitelikteki parça demir cevherleri, sinterler ve peletlerin ASTM tambur testi sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 1.10.ASTM tambur testi sonuçları (Coşar, 2006)

Test Numunesi	% + 6.3 mm	% -30 mesh (-6 mm)
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

Yüksek fırın şarjını oluşturan unsurlardan biri olan sinter, demir-çelik üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Sinter mukavemeti yüksek fırın rejimini doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Sinter mukavemeti, süreçte sirküle edilen sinter tozu oranına bağlıdır. Harman yatak kalınlığının artırılması, sinter tozu yüksek olduğunda kok tozunun da artırılması sinter mukavemetini artırmaktadır.

Yüksek fırın şarjını oluşturan unsurlardan biri de sinterleme için uygun boyutta olmayan 0,05 mm gibi küçük boyutlarda tozların aglomerasyonunda kullanılan peletlerdir.

Peletler taşınma ve stoklanma esnasında meydana gelebilecek kırılmalara karşı fiziksel dirence ve yüksek fırında ısıtılırken çeşitli reaksiyonlar sırasında meydana gelebilecek zamansız ufalanmalara karşı direnç gösterecek yapıya sahip olmalıdır (Yıldız, 2012).

1.3. Tufal

1.3.1 Tufal Oluşumu ve Yapısı

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak önce çelik kütüğün, blumun veya slabın yüksek sıcaklıkta hava ile temas ettiği tüm sürelerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında deformasyon sıcaklığına getirilme aşamalarında veya çeliğin tüm yüksek sıcaklık altında yapılan işlemlerinde çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ince demir oksit tabakasına tufal denmektedir.

Tufal tabakası, döküm makinesinde, haddeleme veya deformasyon işlemi esnasında kırılarak küçük pulcuklar şeklinde kütük veya malzeme yüzeyinden ayrılır (Bilgiç, 2012).

Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde Wüstit (FeO), Manyetit (Fe_3O_4) ve Hematit (Fe_2O_3) olmak üzere üç tip demir içeren tufal tabakası bulunmaktadır (Bilgiç, 2012).

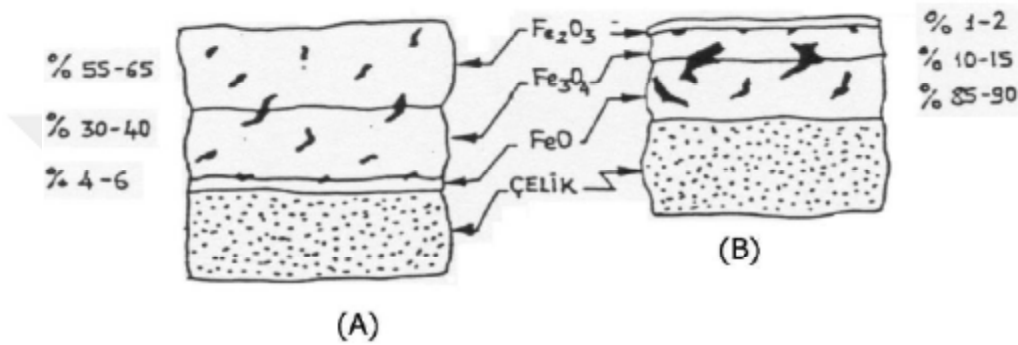
Tufal oluşumunda oksitlenme veya kuru şartlarda meydana gelen korozyon, metallerle karbon dioksit, oksijen, kükürt gibi oksitleyici gazlar veya karışımları arasında ortam sıcaklıklarında veya yüksek sıcaklıklarda meydana gelen bir reaksiyondur. Metal oksitlenmesi en genel tanımlamasında; oksijen ile birlikte oksit bileşiklerinin oluşumu ve bunların gelişimi olarak tanımlanmaktadır.

Sıcaklık-zaman ve oksijen ölçüsü başta olmak üzere çelik malzemenin oksidasyonuna birtakım nedenler etkindir. Fe-C alaşımlarının tavlama sırasında yüzeyde oluşan 3 ayrı demir oksit fazı katmanlı bir yapı oluşturarak meydana gelmesi sonucu metalden ayrılmaya çalışırlar. Tufal olarak tanımlanana bu tabakada aktif karbon bulunmamaktadır (Işıkgül, 2012 ; Gündoğdu, 2013).

Oksitlenmenin ilk kademesi, metalin temiz olan yüzeyine oksijenin kimyasal adsorbsiyonudur. Oksijen molekülleri metal yüzeyinde adsorbe edilir, daha sonra metal atomları ile elektronlarını paylaşacak olan bu oksijen molekülleri atomik hale geçerler.

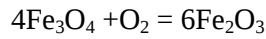
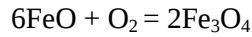
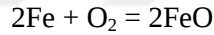
Bazı metal atomlarında da adsorbe edilmiş oksijen atomları düzlemlerine doğru hızlı bir hareketlenme meydana gelir. Bu oluşum 1 nm kalınlığında oldukça yüksek bir kararlılığa sahip, yüzeye bağlı ve sürekli bir tek tabakayı meydana getirir. Bu oksit filminin ilerlemesi, oksijenin kimyasal adsorbsiyonu ve elektronların, metal ve oksijen iyonlarının yayılımı ile devam eder (Işıkgül, 2012).

Oksit oluşumunun bu kademesinde, çekirdeklenme için tercih edilen yüksek enerjili epitaksiyel bölgelerde oksit birikimin oluşması ile oksitlenmenin ilerleyişi durur. Çekirdek bu durumda metalin ve oksijenin yüzey yayınımları ile yatay olarak büyümeye başlar ve homojen kalınlıkta ve sürekli bir ideal tabaka meydana gelir (Işıkgül, 2012).



Şekil 1.3.Haddeleme sonucu oluşan tufal ve katmanları (Gündoğdu, 2013)

Tufal oluşum reaksiyonları aşağıda verildiği gibidir.



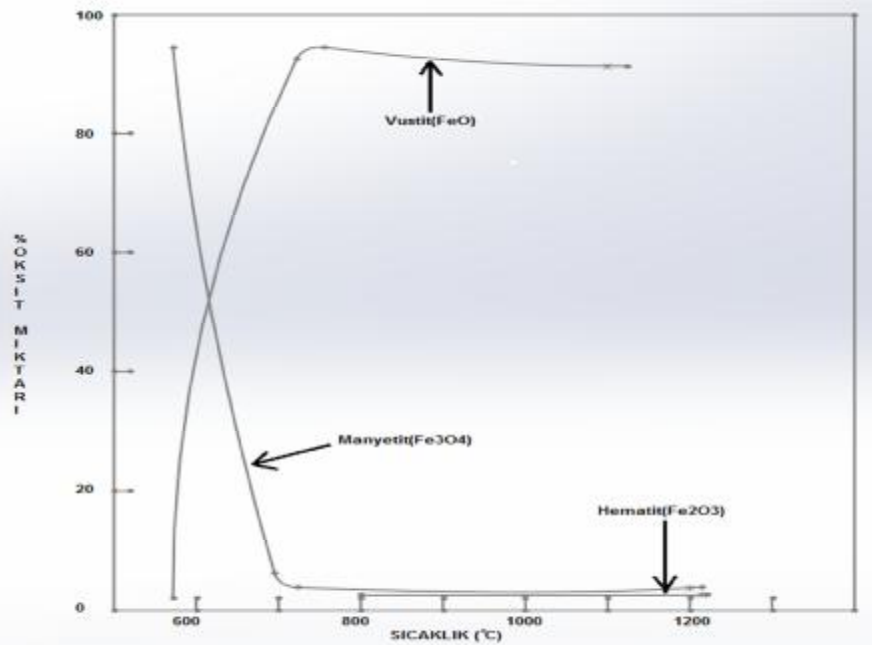
Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde Wüstit (FeO), Manyetit (Fe₃O₄) ve Hematit (Fe₂O₃) olmak üzere üç tip demir içeren tufal tabakası bulunmaktadır (Bilgiç, 2012).

Metal yüzeyinden itibaren sırasıyla;

1. Wüstit (FeO); Diğer demir oksitlere göre en düşük oksijen miktarına sahip, metale en yakın yüzeyde oluşan, oksit tabakasıdır. Wüstit artan sıcaklıkla beraber tufaldeki miktarı artmaktadır ve çelik sıcaklığı 700 °C aştığında wüstit tufal tabakasının %95'ini oluşturmaktadır. Çelik ve tufalin diğer

fazlarına göre 1370-1425 °C düşük ergime fazlarına sahiptir. Wüstit tabakasının ergimesiyle tufalleşme hızı artmaktadır. Bu da tabakanın çelik yüzeyinde erimesine ve yüzey kalitesini bozarak aynı zamanda yakıt sarfiyatını arttırmasına ve fırın verimliğinin azalmasına yol açar.

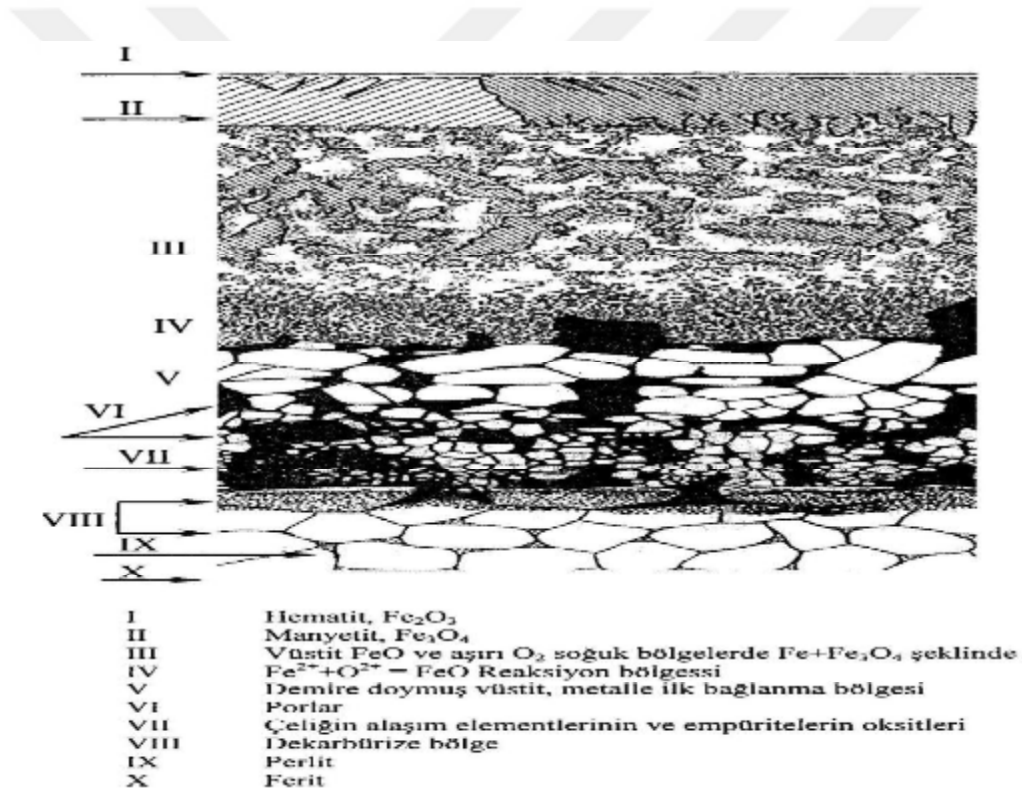
2. Manyetit (Fe_3O_4): Tufalin orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik yüzey sıcaklığı 500 °C altında olduğunda tufal ağırlıklı olarak manyetitten oluşur. Sıcaklık 700 °C' nin üstüne çıktığında wüstit oluşumu başlar. Yüksek sıcaklıklarda manyetit, tufal yapısının %4' ünü oluşturur. Manyetit wüstitten daha aşındırıcıdır ve serttir.
3. Hematit: Tufalin dış yüzey tabakasıdır. Hematit, çelik yüzey sıcaklığı 800 °C'ye eriştiği zaman oluşur. Tufal tabakasını %1'ini işgal eder. Manyetit gibi, hematit de sert ve aşındırıcıdır (Gündoğdu, 2013 ; Işıkgül, 2012).
4. Tufal oluşumu genellikle zaman ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tarif edilebilmektedir.



Şekil 1.4. Tufal oluşumuna zaman ve sıcaklığın etkisi (Gündoğdu, 2013)

Tufal normal olarak %70 civarında Fe içerir. Haddeleme esnasında, hadde ekipmanlarından kaynaklı yağ yüzünden tufalde yağ kalıntıları oluşmaktadır. Yağ içeriği genellikle %0,1-2,0 arasında olmaktadır, ancak kimi zaman %10'lara kadar ulaşabilmektedir. Tufal pulsu (yonga) yapıya sahiptir.

Hava atmosferinde oluşan oksit tufalı küçük porlar içerir. Katı halde metal yüzeyine bağlanmış olan tufal plastik şekil değişimlerinde metal ile çok iyi uyumluluk gösterir. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitli tabakaların şematik yapısı aşağıda gösterilmektedir (Işıkgül, 2012).

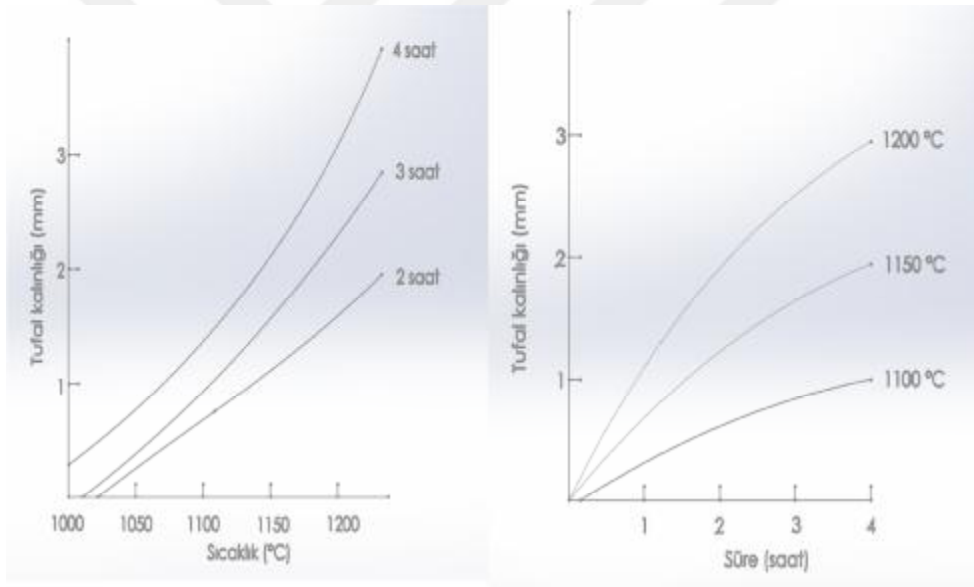


Şekil 1.5. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitli tabakaların (tufalin) şematik yapısı (Işıkgül, 2012)

Çelik yüzeyinde tufal oluşum hızını etkileyen üç temel faktör bulunmaktadır. Sıcaklık, süre ve fırın atmosferidir. Ayrıca çeliğin fiziksel ve kimyasal yapısı da tufalleşme miktarını etkilemektedir (Gündoğdu, 2013).

Sıcaklık ve Süre: Tav fırınında ideal ısı rejimi uygulanarak, çelik yarı ürününü istenilen sıcaklıkta tavlama sağlanır. Yarı ürünün fırında kalış süresi uzadığında aşırı tufalleşme olur

Fırın Atmosferinin Etkisi: Tav fırınlarında çeliği kuşatan fırın atmosferi kullanılan yakıtın cinsine göre değişen miktarlarda gaz gruplarından oluşur. Oksitleyici atmosferin yanı sıra, redükleyici atmosfer de tufal oluşumuna sebep olmaktadır. Oksitleyici atmosferde oluşan tufal yüzeyden kolay uzaklaşırken redükleyici atmosferde oluşan tufal metal yüzeyine sıkıca bağlıdır. Bu tufal çok incedir. Oluşum hızı da çok yavaştır.



Şekil 1.6.Tufal oluşumunun sıcaklık-süre ile ilişkisi (Gündoğdu,2013)

Çelik Bileşimlerinin Etkisi:

Karbondiyoksit; fırın atmosferindeki oksitleyici gazlardan olup tufalleşmeyi arttırmaktadır.

Su Buharı; fırın atmosferinde tufal oluşumunu hızlandırır. 700°C’de karbon çeliklerinin oksidasyonu üzerinde yapılan çalışmalarda oksidasyonu artırıcı yönde etki yaptığı kanıtlanmıştır.

Kükürt Dioksit: Korozyon özelliğe sahip olup, fırın atmosferinde çelikte karşılaştığında yüzeyde metal sülfür fazı oluşarak tufalleşme artabilir.

Karbon: Çelikteki karbon miktarı %0,07 den %0,49’a artarken tufal miktarı azalmaktadır. Çeliğin karbon miktarı bu miktarın üzerinde artarken tufalleşme de artmaktadır.

Manganez: %1,75 manganez sıcaklığına kadar ve yüksek sıcaklıklarda tavlama tufalleşme artmakta, kalın bir tufal tabakası oluşmaktadır (Gündoğdu, 2013).

Krom: %1,45’e kadar çelikte ve özellikle yüksek sıcaklıklardaki tavlama tufalleşme engellenmektedir. Kromun diğer elementlerle olan bileşikler çelikte tufalleşmeyi artırmaktadır.

Silisyum: Çelik yüzey oksidasyonu sırasında metal/oksit ara yüzeyinde, çelik iç bölgesine yayılan oksijen çelikte SiO₂ taneciklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Fayalit fazı da tufalleşme hızını artırmaktadır. Silisyum ile deoksit edilmiş çelikler genellikle %0,25 silisyumun oluşturduğu silikatlar, tufalin çeliğe yapışmasına sebep olur ve tufalleşmeyi artırırlar.

Nikel: Alaşım elementleri etrafında oluşan ince nikel tabakası tufalleşmeyi azaltır. %5’e varan yüksek konsantrasyonlarda tufal kalınlığı artmaktadır.

Alüminyum: Sert alümina tabakası tufalleşme hızını artırır (Gündoğdu, 2013).

Tufal temiz bir demir oksit kaynağıdır. Aynı zaman da maliyet açısından nispeten ucuz olduğundan indirgeme teknolojileri açısından iyi bir kaynak olarak görülmektedir. %70-76 metalik demir içeren tufal haddeleme operasyonunda %0,1 den %10 kadar uzanan değişik oranlarda oluşabilmektedir.

Ancak genel olarak 35-40 kg/ton yani %3,5-4 oranının pratikte görüldüğünü söylemek yanlış olmaz. Tufalleşme proses parametrelerine son derece bağlı bir sonuçtur (Bilgiç, 2012).

Sürekli dökümlerde proses esnasında ve sıcak haddehanelerde slab yüzeylerinin basınçlı su püskürtülerek temizlenmesi esnasında oluşur.

Yüzey temizlemede kullanılan su çöktürme havuzlarına alınır. İçerisinde çökelen tufal vagonlara nakledilerek sinter de silolardan beslenerek kullanılır (Gündoğdu, 2013). Ayrıca tufal, entegre demir çelik tesislerinde briketlenerek BOF' da ve peletleme tesisinde demir cevheri ile kullanılmaktadır. EAF'lı tesislerde ise tufal, doğrudan indirgenmiş demir olarak kullanılmaktadır (Işıkgül, 2012).

1.4. Aglomerasyon

1.4.1. Aglomerasyonun Amacı ve Aglomerasyon Prosesleri

Yüksek fırın uygulamalarında, fırında sıcaklıkla meydana gelen hava akışlarında ince tane boyutundaki baca tozu gibi malzemeler ileri uçarken, iri taneli malzemeler sonunda yüklerle birlikte çökerler. Fakat burada ne yüklerle birlikte çöken nede gazlarla birlikte ileri uçan, kaçınılmaz bir malzeme boyutu vardır ki bunlar fırının tepesinde kalarak kabuk formunda şekillenerek buraya yerleşirler. Yüksek fırındaki patlama hacmi düştüğünde tüm bu malzemeler fırının aşağısına doğru uçarlar ve fırının kalp bölgesi soğur. Bu nedenden dolayı fırını düzenli aralıklarla kontrol ederek fırının aşağısına doğru hareket eden malzemenin tolere edilebilir boyutta olmasını sağlamak gerekmektedir. Bu da fırının üretimini düşürür ve metalin homojenitesi bu yüzden azalır (Cordier, 1965).

Yani yüksek fırınlarda cevher ebadı istenilen ölçülerin altında olur ise fırında geçirgenlik sorunları başlar ve düzgün bir çalışma elde edilemez. Cevherlerin madenden çıkarılışı ve sınıflandırılışı sırasında oluşan ince yapılı kısım (belirli miktar Fe içermesi nedeni ile) değerlendirilerek tekrar yüksek fırınlarda kullanılabilir.

Bu nedenlerden dolayı bu malzemelerin aglomerasyonu teknik ve ekonomik bir gereklilik olmaktadır. Aglomerasyonu cevherin tekrar değerlendirilebilmesi için yapılan bazı ön hazırlıklar olarak tanımlayabiliriz.

Bu ön hazırlıklar tane boyutu küçük parçaların bir araya gelerek kalıcı kütleler haline gelmesi yani boyut büyüme/aglomerasyon olarak tanımlanır (Gündoğdu, 2013).

Dört tip aglomerasyon prosesi geliştirilmiştir (sinterleme, peletleme, briketleme ve nodülleme). Sinterleme ve peletleme proses için temel bir öneme sahiptir.

Bunun nedeni yalnız demir cevheri kireçtaşı ve dolomit tozlarının değerlendirilmesi değil aynı zamanda aglomera edilmiş cevherin yüksek fırın içerisinde, ham cevhere oranla çok daha hızlı reaksiyona girmesi, homojen kimyasal ve fiziksel özelliklerde olması, çok daha az kok ve katkı maddelerine ihtiyaç duyulması sebebiyle, yüksek fırın üretim ve verimini artırması da demir-çelik sanayinde aglomera cevher kullanımını teşvik etmektedir.

Ticari kurulum üzerinde nihai karara varmadan önce hedeflenen üretim ve aglomera edilecek materyal için dikkatli bir proses değerlendirilmesi yapılmalıdır (Poveramo, 2006).

Aglomerasyon işleminin 2 temel amacı vardır;

- 1) Boyut büyütme
- 2) Mukavemet ve geçirgenliği artırma .

Çok küçük cevher parçacıklarının yüksek fırına şarj edilmesi uygun değildir. Bunun nedeni, küçük partiküller fırın içerisinde reaksiyona girmeden baca gazına karışarak uzaklaşabilecek olmasıdır. Bu yüzden küçük partiküller aglomerasyon işlemiyle daha büyük boyutlu hale getirilirler.

Ayrıca aglomerasyon işlemiyle daha boşluklu (poroz) bir yapı elde edilir. Bu sayede özellikle katı-gaz reaksiyonlarında reaksiyon temas alanı artar, redüksiyon daha fazla gerçekleşir (Yıldız, 2012).

Yüksek fırın uygulamalarında kükürt içermeyen cevherlerin gittikçe azalması, az veya çok kükürt ihtiva eden cevherlerin kullanılması, gerek maden işletmelerinde gerekse demir çelik tesislerinde birikmekte olan cevher, kok, kireçtaşı, dolomit tozları gibi ince malzemelerden faydalanılma zorunlulukları ve aglomera malzemenin yüksek fırın verimini artırıcı nitelikte olması, bu malzemelerin aglomera edilerek kullanılmalarını gerekli kılmıştır.

1.4.1.1. Sinterleme

Sinterleme demir-çelik fabrikalarında elek altı olarak biriken demir cevheri, kok, kireç taşı ve dolomit tozlarının değerlendirilmesi amacıyla uygulamaya konulmuş bir aglomerasyon sistemidir.

Sinterleme ile;

- i- Kısmi ergime metodu ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları,
- ii- Yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların erimeden birbirine yapışmalarını sağlayan hematit ve magnetit kristalinin büyümesi işlemidir.

Bütün bu işlemler toz cevherlerle karıştırılmış olan kok tozunun yanması sırasında meydana gelir. Karbonun tamamıyla yanmasından dolayı 1300–1400 °C sıcaklık kolaylıkla elde edilir. Bu proses sabit yada hareketli sinter makinelerinde uygulanabilir. Bu tip makinelerde 40-50 cm kalınlığında sinter karışımı kullanılabilir. Karışımı şarj etmeden önce ızgaraların üzerine 5 cm kalınlığında - 10+8 mm boyutlarında sinter serilir. Bunun amacı sinter karışımının ızgara açıklıklarından dökülmesinin önlenmesidir (Bilen, 2011).

Kok tozunun yanması, karışımın üst yüzeyinde başlar. 800-1000 mm su sütunu bir emme ile sinter karışımının geçirgenliğine de bağlı olarak, karışımın alt kısımlarına kadar sinterleşme gerçekleşir.

Sinter karışımı yüksek fırın baca tozu, elek altı malzemeler, kireçtaşı, dolomit gibi malzemeleri de ihtiva eder.

Ortalama bir geçirgenlik sağlayabilmek için sinter karışımının ihtiva ettiği su miktarının %5-20 arasında olması gerekmektedir. Çok yüksek su miktarı, yeniden çökme sonucu topaklanmayı artırarak boşlukların dolmasıyla geçirgenliğin düşmesine sebep olur. Uygun geçirgenlik ve ısı transferini sağlayabilmek için cevher boyutunun 5-6 mm, kok ve kireçtaşı boyutunun 3 mm'yi geçmemesi gerekir (Bilen,2011).

Sabit yakıt oranında eğer kok boyutu çok büyükse bölgesel aşırı ısınma nedeniyle çok fazla sıvı oluşumundan dolayı yüksek fırında çok zor indirgenebilen fayalit oluşur. Aynı zamanda diğer bölgelerde uygun olmayan ısınmadan dolayı sinter bağ mukavemeti olumsuz yönde etkilenir, kireçtaşının kalsinasyonu tamamlanmaz, bu da sinter mukavemetini ters yönde etkiler.

Sinter kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ve kalitesinin düzgün olması açısından şarjı yapılmadan önce kireçtaşı ve kok cevher ile düzgün olarak karıştırılmalıdır.

Elde edilen sinterin %65–70 ' i 12 mm' lik boyutun üzerinde olabilmesi için ortalama kok oranı %4 ile 8 arasında değişmelidir. Eğer cürufun akışkanlığı ve erime sıcaklığı yüksekse yakıt ihtiyacı artar. Eklenen kireçtaşı miktarı istenen baziteye göre değişir.

Kireçtaşının sinterleme sırasındaki kalsinasyonu Yüksek Fırındaki kalsinasyonuna göre daha az enerji sarfına neden olur. Kireç sinterin indirgenebilirliğini de büyük miktarda artırır (Bilen, 2011).

Yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli bir sinterin kimyasal kompozisyonu şu özelliklerde olmalıdır;

Çizelge 1.11. Yüksek fırında kullanılan sinterin kimyasal bileşimi (Bilen, 2011)

Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Mn	CaO	S
(min)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
58	5	1,6	1,2	0,03	0,12	1,0	10	0,02

SiO₂ seviyesinin %5 olduğu demir cevherinde, CaO-SiO₂ oranı yüksek fırına direk olarak şarj edilecek ham flux ihtiyacını azaltmak ya da ortadan kaldırmak, fiziksel ve metalurjik olarak iyi bir sinter elde etmek için yaklaşık 1,5 ila 2,5 arasında kurulmalıdır.

Cürufun metalurjik özellikleri iyi bir sinter elde etmek ve yüksek fırın cürufundaki MgO seviyesini de belli bir seviyede tutmak için biraz MgO içermesi gerekmektedir. Ancak yüksek fırın cürufundaki MgO hedefleri cüruf kimyasal optimizasyonları için farklı stratejilere göre dünya çapında farklıdır (Bilen, 2011).

1.4.1.2. Peletleme:

Tenörleri düşük ve safsızlık miktarları yüksek fırında kullanılamayacak kadar çok olan cevherler, cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutulurlar. Özellikle öğütme işlemlerinde çıkan ve 0,05 mm 'den küçük tozlar ortaya çıkar. Zenginleştirme sonrası elde edilen bu konsantre ürünlerin yüksek fırına şarj edilmesi uygun değildir. Ayrıca sinterleme prosesinde sinter geçirgenliğini de düşüreceğinden sinter yapmaya da uygun değildir.

Böyle durumlarda konsantre ürünün içerisine katılan bir *bağlayıcı* ile, ayrıca nem ve ısı ile belirli boyutlara getirme işlemine *peletleme* adı verilmektedir (Yıldız, 2012).

Toz cevher içersine bentonit, kireç taşı gibi bir takım ilaveler katarak topaklama işleri yapılır. Sonuçta çapı 8–20 mm arasında, yumuşak (yaş) yapıda hammaddeler elde edilir. *Yeşil pelet* olarak adlandırılan bu hammaddeler 1200–1350 °C arasında pişirilerek sertleştirilir.

Topaklama, pelet üretim prosesinin en önemli aşamasıdır ve bu aşamada pelete mukavemet, boyut, çarpma mukavemeti ve diğer özellikleri kazandırılır. Peletleme işlemi; tambur, koni, disk gibi döner ekipmanlar kullanılarak yapılır.

Peletlerin topklanıp bilya şeklini alması, suyun yüzey gerilim kuvveti ve karışımındaki tozların birbirine çarpması sonucu oluşur. Başlangıçta su eklenerek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur. Bu çekirdek büyür, bilya şeklini alarak pelet olarak adlandırılan hammaddeye dönüşür.

Ortalama rutubet (su) miktarını belirlemek çok önemlidir. Çünkü az miktardaki su karışım taneleri arasındaki boşluklara hava girmesine, çok miktardaki su da birleştirici özelliğin bozulmasına sebep olur. Ortalama rutubet miktarı %5-10 arasındadır. Tane ebadının azalması ile rutubet ihtiyacı artar (Bilen,2011)

Yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli bir peletin kimyasal kompozisyonu şu özelliklerde olmalıdır;

Çizelge 1.12. Yüksek fırında kullanılan peletin kimyasal özelliği (Bilen, 2011)

Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Mn	S
(min)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
66	5	1	2,5	1,5	0,05	0,05	1,0	0,02

1.4.1.3. Briketleme:

Çok sayıda farklı sistem ince boyuttaki cevherlerin aglomerasyonunda denenmektedir. Bunların bir tanesi de değişik bağlayıcıların kullanıldığı briketleme prosesi olmaktadır. Briketleme prosesini, toz halindeki bir maddeyi katkı maddesi ile karıştırarak basınç altında şekillendirdikten sonra ısıtmak suretiyle aglomere etmek olarak tanımlayabiliriz (Erten, 1967; Cordier, 1965).

Briktleme prosesleri her hangi bir uçucu içermeyen saf cevherler için umut vaat etmektedir. Ancak şu ana kadar 2000 F° (1093,3 °C) civarında sinterleme sıcaklığına karşı koyabilecek ucuz, yeterli bağlayıcılar bulunamamıştır.

Sıcak briktleme klasik sinter prosesine direk rakip olmaktadır. Yüksek fırın dışındaki egzotermik reaksiyonların gerçekleştirilmesinde bazı avantajlara sahiptir ancak akışkan yatak veya fırında kok tozu ve kömürün yerine ucuz ve kirli gazlar kullanılabilir. Bu da ince taneli yapıya sahip cevherlerin minerolojik konfigrasyonunu korumada daha fazla avantaja sahiptir.

Böylece erime fazına doğru giden kötü kalitedeki sinterde bulunabilen cürufllu klinker oluşumundan kaçınılır. Ayrıca sıcak briktlerin şekilleri sintere göre daha yakından kontrol edilebilir (Cordier, 1965).

1.4.2. Demir –Çelik Fabrikalarında Karşılaşılan Aglomerasyon Sorunları

Demir-çelik fabrikalarında ince boyutta malzemeyi aglomera etmek için çeşitli teknikler vardır bunlar; sinterleme, peletleme, briktleme ve nodüllemedir.

Sinter yüksek fırın uygulamaları için popüler bir şarj malzemesidir. Ancak sorun bu form içindeki konsantrenin sinter tesislerinde oldukça sınırlı miktarda kullanılabilmesidir. Sinter karışımı içerisine fazla miktarlardaki konsantrasyon ilavesi yatak geçirimliliğini ve bundan dolayı sinter üretim hızı ve üretim kalitesinin istenmeyen bir şekilde etkiler (Mbele, 2012).

Neredeyse 10 yıldır iyi bir sinterin onu oluşturan cevherden daha iyi bir materyal olduğu kabul edilmektedir. Genel kabul sert cevherlerin 1 inch (2,54 cm) altına ve yumuşak cevherleri 2 inç (5,08 cm) altına kırılarak elenmesi ve cürufllarla birlikte sinteri oluşturan tane fraksiyonunun 3/8 inç(0,95 cm) altında olması istenmektedir.

İyi bir kimyasal kaliteye sahip sinterin çok oksitlenmiş, bazik ve düşük yığın yoğunluğu olmalıdır. Ne yazık ki bu türden sinterler kolay kırılmaktadır ve dikkatlice taşınmalıdır (Poveramo, 2006).

Taşıma sırasında bozulma kaçınılmaz olduğu için fırına şarj etmeden önce tekrardan sinterlerin kontrol edilmesi gerekmektedir. 1/4 inç (6,32 mm) altındaki fraksiyonlar elenmeli ve yeniden kazanılmalıdır.

İyi bir sinter yükü, cürufu cevherlerden oldukça fazla indirgenme özelliğine sahiptir çünkü uçuculardan arınmıştır ve bu özellik indirgenmiş gaz akışındaki zehirleri ve indirgeyici gazların cevherin merkezine ulaşmasını engeller.

Bunun nedenleri kendiliğinden eritkenli sinterin; eğer yeteri kadar indirgenmiş gaz yanma zonundan temin edilirse dolaylı indirgenme katsayısının daha yüksek olabilmesi, karbonat ve hidratların sinter zincirinde ayrılmış olmasıdır. Bu faktörler fırında, cevher ve cürufu sinterden kendinden eritkenli sintere geçildiğinde kok oranlarındaki önemli düşüşü açıklamaktadır (Cordier, 1965).

Fakat şu anda sinterler erimiş cevher yükü olarak fırın içerisinde eritmek üzere dizayn edilmiştir. Bundan dolayı kendiliğinden eritkenli sinterin özelliklerinden faydalanamamaktayız. Özellikle sinter mevcut tesislerde işlenmek üzere soğutulmaktadır. Sinter ısıya dayanıklı materyal olduğu için büyük parçalar halinde soğutmak ve yüksek fırının merkezinde ısıtmak oldukça zordur (Cordier, 1965).

Yüksek fırın şarj malzemesi olarak kullanılan aglomerasyon yöntemlerinden biride nodüllemedir. Nodülleme ince boyuttaki cevherin döner fırında ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılması suretiyle yapılan bir aglomerasyon prosesidir. Bu yöntemin zorluğu üretim boyutlarının kontrolündeki zorluk, nodüllerin düşük indirgenme kapasitesine sahip olması ve tüm prosesin enerji tüketimi bakımından pahalı olmasıdır.

Yüksek fırın şarj malzemesi olarak sıklıkla kullanılan aglomerasyon proseslerinden biride peletlemedir. Peletleme prosesinde, prosesin başarısında bağlayıcılar önemli bir rol oynamaktadır. Bentonit yüksek miktarda suyu adsorblama kapasitesinden ve kuru film dayanımı özelliklerinden dolayı oldukça efektif olarak kullanılan bağlayıcılardan bir tanesidir. Ancak yüksek silika ve

alüminyum içeriğinden dolayı demir-çelik üretim ekonomisinde istenmeyen etkilere sahiptir. Bunlara ilaveten gang içeriğini arttırması da çelik üretim maliyetlerinde artışa neden olmaktadır (Sivrikaya, 2011)

Bundan dolayı araştırmacılar alternatif bağlayıcılar bulma arayışına girmişlerdir. Bentonite alternatif olarak organik bağlayıcıların kullanımı dikkat çekmektedir, organik bağlayıcıların iyi kalitede pelet üretimine fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

Ancak organik bağlayıcılar cüruf bağlarındaki azalmanın sonucu olarak ısıtılmış ve önceden ısıtılmış peletlerde yeterli dayanımı göstermediği gözlemlenmiştir ki bu dayanım oksit bağlarındaki eksiklikten dolayı özellikle hematit cevherlerinin peletlenmesinde önem teşkil etmektedir (Sivrikaya, 2011)

Cevher tanelerinin aglomerasyonunda çok sayıda farklı yöntem denemiştir. Bunların çoğu farklı tipteki bağlayıcıları kullanarak yapılan briketleme prosesi olarak adlandırılırlar. Bunlar herhangi bir uçucu içermeyen saf cevher taneleri için oldukça umut verici görünmektedir. Fakat şu ana kadar 2000 F° (1093,33 °C) sinter sıcaklığına dayanabilecek özellikte ucuz ve memnun edici hiçbir bağlayıcı bulunamamıştır.

Sıcak briketleme klasik sinter prosesine direk rakip olmaktadır. Sıcak briketleme yüksek fırın dışarısında endotermik reaksiyonların gerçekleştirilmesinde bazı avantajlara sahiptir. Ancak akışkan yatak veya fırınlarda bulunan ucuz ve kirli gazlar kok tozu veya kömür yerine yakıt olarak kullanılabilir. Bu ince taneli yapıya sahip cevherlerin minerolojik konfigrasyonunun korunmasında avantaj sağlamaktadır. Böylelikle ergime aşamasında geçen ve bu yüzden kolaylıkla indirgenemeyen kalitesiz sinterde bulunan cürufllu klinker formasyonundan kaçınılabilmektedir. Buna ilaveten sıcak briketlerin şekilleri sinterden daha kolay bir şekilde kontrol edilmektedir.

Sıcak briketlemeyle peletleme ve sinterlemede olduğu gibi benzer standartlarda ürün elde edilebilmektedir. Ancak prosese baktığımızda düşük

üretim kapasitesine sahiptir ve yıpranmış briketleme kalıplarının muhafaza edilmesi maliyetli bir iştir (Mbele, 2012).

1.5. Briketlemede Kullanılan Bağlayıcılar

Bağlayıcılar hem demir çelik endüstrisinde kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilen cevherin aglomerasyon işlemlerinde hem de doğrudan indirgenmiş demir üretiminde demir oksitlerin peletlenmesi veya briketlenmesi işleminde kullanılmaktadır. Bağlayıcının iki ana görevi vardır biri cevher konsantresi-demir oksit içindeki serbest suyu tutmak, diğeri ise peletlerin veya briketlerin dağılmasını önlemektir.

Bağlayıcılar genellikle partikülleri kütleler halinde bir arada tutmada kullanıldığı söylenebilir. Bağlayıcılar partikülleri bir arada tutma işlemini çok sayıda farklı şekilde gerçekleştirebilmektedir.

Bağlayıcıların hepsi mümkün olan tüm uygulamalarda kullanılamaz bundan dolayı bazı sistematik yollarla bağlayıcıları kategorize etmek faydalı olacaktır. Birkaç farklı sınıflama şekli önerilmiştir bunlardan en faydalı olanlarından biri bağlayıcıların 5 grup içerisinde sınıflandırıldığı sistemdir.

1. **İnaktif Film:** Bağlayıcı partiküllerin üzerinde yapışkan bir tabaka olarak şekillenmiştir. Film kapiler güç veya adhezyonal ya da kohezyonal güçler tarafından bağlanır.
2. **Kohezyonal Film:** Bağlayıcı partikül yüzeyinde film olarak şekillenir, ki bu da daha sonra kimyasal reaksiyona girer ve sertleşir.
3. **İnaktif Matriks:** Bağlayıcı az veya çok devamlı partiküllere gömülü olan matriksi oluşturur. Katran zift veya mum gibi bağlayıcılar akışkan hale getirilmek için ısıtılır veya emülsiyon haline getirilir daha sonra soğutma veya kurutmayla sertleşir. Bu tipteki bağlayıcılar yüksek sıkıştırma gücü ve yüksek bağlayıcı miktarına ihtiyaç duyar.

4. **Kimyasal Matriks:** Bağlayıcı kimyasal reaksiyonlar altında sertleşen nerdeyse sürekli bir matriks oluşturur.
5. **Kimyasal Reaksiyon:** Bağlayıcı materyal ile kimyasal reaksiyona girmektedir bu da oldukça güçlü kimyasal bağlara yol açar. Bu bağlayıcılar belli materyal tipleri için spesifik ve bu tipler demir cevherleri için geliştirilmemiştir (Eisele ve Kawatra, 2003).

Bağlayıcı maddeler 2 ana grupta toplanabilir:

- İnorganik kimyasal maddeler,
- Organik maddeler

İnorganik bağlayıcıların tersine, organik bağlayıcıların içinde bulunan bazı maddeler, peletleme işleminin ısısal bölümlerinde yok olmakta; ürün peletlerin kimyasal yapısında bulunmamaktadır (Gündoğdu, 2013).

1.5.1. Organik Bağlayıcılar

Silikat mineralleri temelli kil veya diğer bağlayıcıların temel dezavantajı nihai üründe silisyumu arttırmalarıdır. Demir cevheri proseslerinin amacı cevherden silikat minerallerini uzaklaştırmak olduğu için bağlayıcıyla birlikte gelen silikatlar zarar verici olmaktadır. Bu, uzun vadede ilgiyi silisyum içermeyen bağlayıcıların keşfi veya geliştirilmesi yönünde teşvik etmekte ve çeşitli karbon bazlı polimerler ya da lifli bileşikler içeren organik bağlayıcılara özel bir ilgi verilmektedir. Birçok araştırmacı briket veya peletin asit gang içeriğini azaltmak için çoğu organik polimer orijinli alternatif bağlayıcılar araştırmaktadır. Ticari olarak mevcut olan organik bağlayıcıların çoğu selülozdan elde edilmektedir.

Organik bağlayıcılardan bazıları: Peridur, Ciba, ALCOLATE, CMC (karboksi metil selüloz), nişasta (mısır nişastası, patates nişastası, buğday unu), dekstrin, vb (Eisele ve Kawatra, 2003 ; Sivrikaya, 2011).

Selüloz türevleri: Bazı başarılı organik bağlayıcılar selüloz ve karboksimetil selüloz yapılı olmaktadır. Bu bağlayıcıların çoğu anyonik yan

gruplarında sodyum içerdiğinden dolayı önemli miktarda sodyum içeriğine sahiptir.sodyum yüksek fırında sıkıntılı olduğu için ,bu istenmeyen bir özelliktir.

Nişasta türevleri: Nişasta ve selüloz aslında izomerdir ve böyle olunca genellikle benzer olduğu düşünülür fakat aynı özelliklere sahip değildir. Nişastalar genellikle selülozdan elde edilenlerden daha ucuzdur. Bunlar kuru veya jel şeklinde kullanılabilir. Nişastalar mısır, patates veya buğday gibi bitkisel maddelerden elde edilir ve bunların özellikleri kısmen elde edildikleri maddeye bağlı olmaktadır.

Orman ürünleri: Bu materyaller ağaç işleme proseslerinde yan ürün olarak özellikle de kağıt imalatında yan ürün olarak üretilir ve hemiselüloz, lignin sülfonat ve kostik leonardit'i içerir. Yan ürün olduğu için, üretilen diğer bağlayıcılarla kıyaslandığında ucuzdur.

Doğal olarak oluşan bağlayıcılar: Çok çeşitli katranlar, sakızlar ve benzer materyaller doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Prensipte bu türden doğal bağlayıcılar sentetik polimerlerden daha ucuza üretilirler çünkü bunlar çok fazla işlenmeye gerek duymazlar. Ancak pratikte bu materyallerin çoğu özelliklede sakızlar sınırlı kaynakları, taşıma maliyetleri ,diğer piyasalardaki materyallerle rekabet gibi nedenlerden dolayı nispeten pahalıdır.

Organik atık üretimleri: Düşük maliyetli organik bağlayıcılar bir veya başka bir tür atık üretimlerdir. Bu bir avantajdır çünkü üreticiler bunları ellerinden çıkarma da isteklidir ve bu yüzden nakliye masrafından biraz daha fazla maliyetle elde edilebilir.

Bazı durumlarda atık üreticileri atıkları elden çıkarma konusunda ödeme yapmaya da isteklidir. Bunların dez avantajı şudur; atık materyallerin özellikleri kontrol edilemez ve bu yüzden iyi bağlayıcı özellikleri ve sürekli performansa sahip kaynaklar bulmak zor olabilir.

Bağlayıcı özelliği sergileyen atıklar gıda ve süt (laktoz, peynir altı suyu), kağıt fabrikası çamurları ve belediyenin atık çöplerini de içerir.

Tüm bu materyallerin sıkıntısı şudur; bunlar çabuk bozunur ve bunlarla çalışmak oldukça zordur. Bu çabuk bozunma problemi ya biyosit ekleyerek ya da materyali kurutma vasıtasıyla azaltılabilmektedir (Eisele ve Kawatra, 2003).

Organik bağlayıcılar yüksek oranda etkili olma, belli tipteki partiküller için özellikle dizayn edilmiş bağlayıcı olabilme, yüksek derecede tekrar üretilebilir yapıya sahip olma ve silis içermeme gibi avantajlara sahiptir. Araştırmalar toz partiküller arasında organik bağlayıcılardan kaynaklanan doğal adhezyonun gelişimini, bağlayıcının cevher taneciklerini dispersiyonunu arttırmanın yanı sıra, konsantre yüzeyindeki ıslanabilirlik üzerindeki artan etkisine de bağlamaktadırlar. Organik bağlayıcılar ince partiküller için dağıtıcı olmaktadır. Organik bağlayıcılar kullanıldığında partiküllerin dağılma derecesinin artması katı partiküller arasındaki boşlukların dolması vasıtasıyla briket dayanımının artmasına yol açmaktadır (Dilsky ve diğerleri, 2013).

Yapılan çalışmalar da organik bağlayıcıların yeşil ve ıslak peletler için kaliteyi arttırdığı bulunmuştur. Ancak cüruf bağlarında azalmaya yol açacağından dolayı önceden ısıtılmış ve fırınlanmış peletler yeteri kadar dayanıma sahip olmamaktadır. Organik bağlayıcıların bu eksikliği temel dezavantajdır çünkü belli minimum kompresif dayanım briketlerin ön ısıtma, ürün işleme, nakliye gibi işlemlere dayanabilmesi için gereklidir (Sivirikaya, 2011).

1.5.2. İnorganik Bağlayıcılar

Bağlayıcılar briketleme prosesinin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. İnorganik bağlayıcılar suda çözünmeyenler; çimento, kil, kireç, magnezyum oksit, jips ve suda çözünenler; sodyum ve diğer alkalilerin silikatları olmak üzere ikiye ayrılır (Bayar, 2012).

Demir cevherini briketleme veya peletleme proseslerinde kullanılan bağlayıcılar arasında kil mineralleri oldukça sık kullanılmaktadır. Kil minerallerinin temel avantajları iyi ıslanabilirlik, nihai ürünün termal stabilitesini sağlamanın yanı sıra yeterli mekanik stabilitesini de sağlayan, büyük adhezif ve

kohezif kuvvetlere sahip olmasıdır. Kil ve diğer silika temelli bağlayıcıların dezavantajı ise nihai ürünlerdeki silika içeriğini artırmalarıdır (Dilsky ve diğerleri, 2013).

Demir-çelik proseslerinde kil mineralleri arasında en çok kullanılan bağlayıcı bentonittir. Bentonit demir cevheri briketleme ve peletleme proseslerinin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Çoğu bağlayıcı arasında, bentonit yüksek miktarda su adsorbsiyon kapasitesi ve kuru film dayanımından dolayı en etkili bağlayıcılardan biri olmaktadır. %0,5–1,5 oranında kullanılır. Ancak yüksek miktardaki SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğinden dolayı saflığı bozduğu düşünülmektedir. Bu asit oksitlerin demir-çelik üretim ekonomisine zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Örneğin %1' lik bentonit ilavesi demir cevherinde ton başına 7 kg' lık bir azalmaya neden olacaktır. Buna ilaveten şarj içeriğindeki gang miktarının artması çelik üretiminde birim maliyette bir artmaya da yol açacaktır (Sivrikaya, 2011).

Demir cevheri briketlemede kil minerallerinin yanı sıra bağlayıcı olarak kalsiyumlu bileşikler kullanılabilmektedir. Kalsiyumlu bağlayıcılar kohezif güç vasıtasıyla briket veya peletlerin mekanik stabilitesini artırmak ve pozitif metalurjik etki oluşturmak gibi avantajlara sahiptir. Su ile reaksiyona giren CaO (kalsiyum oksit) hidrasyon olarak adlandırılan reaksiyonda sulu kireç verir. Bu reaksiyon egzotermiktir ve sulu kirecin hacmi CaO hacminden yaklaşık 3 kat daha fazladır.

Hidrasyon prosesi cevherle bağlayıcı karışmadan önce tamamlanmalıdır. Aksi takdirde, eğer kalsiyum oksit proses boyunda hidrate olursa, hacim genişlemesinden dolayı pelet veya briket yapısında zarara neden olacaktır (Dilsky ve diğerleri, 2013).

Kalsiyum bileşimli bağlayıcılardan biride çimentodur. Çoğu kil mineralleri ve diğer organik minerallerin aksine çimentolu bağlayıcılar su ile kimyasal reaksiyona girer ve sertleşir. Bunların bağlama eylemi geri dönüşümlü değildir çünkü sertleşmiş çimento hala hidrasyon suyunu içermektedir. Sonuç olarak çimento ıslanır ve tek seferde sertleşir, eğer kurursa yeniden sertleşmez ve yeniden ıslandığında parçalanır.

Çimentolu bağlayıcıların temel dez avantajı peletlerin tamamen sertleşmesi için biraz zamana (tipik olarak birkaç saat) ihtiyaç duymalarıdır. En yaygın çimentolu bağlayıcı portland çimentosudur.

Kireçle veya diğer alkali formlarıyla reaksiyona girebilen puzolanik metaryaller çimento benzer. En yaygın puzolan tipi kömürün yanmasıyla oluşan uçucu küllerdir. Büyük fraksiyonlarda uçucu küller çimento katkı maddesi olarak kullanılır. Ancak, biz büyük miktarlarda uçucu kül büyük maliyetlerle atık sahalarında bertaraf ediyor ve faydalanamıyoruz. Bunun nedeni çoğu uçucu külün sahip olduğu bileşimin pazar için uygun olmaması ve bu yüzden bunlardan faydalanmak oldukça zordur (Eisele ve Kawatra, 2013).

Çok sayıda çeşitli materyal bağlayıcı olarak önerilmiştir fakat kötü performansları, yüksek maliyetleri, peleti ya da briketi kırılma gibi problemlerden dolayı büyük ölçüde takip edilmemektedir.

Eğer çözülebilir tuzlar pelet veya briketin içerdiği suda çözünürse, daha sonra su kurudukça tuz kristalize olur mineral taneciklerini bağlar. Eğer tuzdan başka bir bağlayıcı kullanılmazsa pelet veya briket yüzeyinde büyük fraksiyonlarda tuz kristalize olur bu da iyi bir abrazyon direnci veren sert kabuk oluşturur.

Ancak, peletin veya briketin merkezindeki tuz kristallerinin eksikliği düşük kırılma dayanımına yol açacaktır. Merkezdeki tuz kristalinin miktarı bentonit veya kuruma hızını yavaşlatacak diğer materyallerin ilavesi vasıtasıyla artırılabilir.

İnorganik polimerler zincir formunda oluşabilen ve bağlayıcı olarak çapraz bağlı ağlar şeklinde hareket edebilen kompleks inorganik moleküllerdir.

İnorganik polimerlerin en yaygın örneği sodyum silikatlerdir. Sodyum silikatler genel materyaller sınıfında olmaktadır ve soda külü flaksı ve erimiş kuvars kumunun karışımı vasıtasıyla sentezlenmektedirler. Sodyum silikatler spesifik bir bileşime sahip olmamaktadırlar, tersine bileşimleri ve özellikleri $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ oranına bağlı olarak değişmektedir. $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ oranı 3,22 ise nötr, daha küçük oranlarda ise (yüksek miktarlarda Na_2O) alkali olarak tanımlanmaktadır.

Sodyum silikatler genellikle $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ şeklinde formülize edilmektedir. Buradan da bileşenler arasındaki oranının oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır (Eisele ve Kawatra, 2013).

1.6. Amaç

Haddehane tufali yüksek demir içeriği, düşük empüritesi ve stabil kimyasal bileşiminden dolayı değerli bir ikincil metaryaldir. Türkiye'deki haddehanelerde miktarı tam olarak bilinmemekle birlikte çelik üretiminin %3'ü oranında tufal olduğu varsayılmaktadır. Ancak haddehane tufalini elektrik ark fırınına direk olarak beslemek demir oksit parçacıklarının atık gazlarla birlikte atılması veya cüruf miktarını artırması gibi enerji tüketimi ve çevre için istenmeyen etkilere neden olacağından dolayı mümkün olmamaktadır.

Tufaller, çelik kütük üzerinden püskürtmenin etkisiyle farklı boyutlarda ayrışır. Ancak boyut farklılığı ve toz halinde taneciklerin çok olması yüksek fırın veya doğrudan indirgemenin yapıldığı mini fırınlar için uygun değildir. Bundan dolayı aglomera edilerek daha büyük parçacıklar haline getirilmelidir.

Haddehane tufallerinin aglomerasyonunda geleneksel yöntemler sinterleme ve peletlemedir. Ancak son zamanlarda ekonomik olarak daha çekici, teknik ve çevresel olarak daha güvenli teknolojilerin kullanımına ihtiyaç vardır.

İnce boyuttaki cevherlerin yüksek fırın şarjı olarak kullanılmasında uygulanan aglomerasyon yöntemlerinden biride briketlemedir. Briketlemede proseslerinde yan ürünlerin aglomerasyonları karbon taşıyan ya da azaltan bağlayıcıların ilavesiyle birlikte olmaktadır (El-Hussiyn ve ark, 2011).

Briketleme prosesinde kullanılan bağlayıcılar, gerek ergimiş çelik gerekse cüruf tabakası üzerinde negatif bir etkiye neden olmamalıdır. Eğer mümkünse emin olunması gereken şey hiçbir zararlı maddenin proses boyunca ortaya çıkmamasıdır. Briketleme prosesinde bağlayıcı olarak kullanılan maddeler, suyun akışkanlığını azaltacak nitelikte olmalı, briketlenecek malzemenin yapısal özelliklerini bozmamalı, briketleme işlemindeki diğer bölümlere uyum sağlamalıdır.

Ayrıca briketlemede kullanılacak malzeme yeterli miktarda ve kolayca bulunabilmeli, ekonomik olmalıdır (Yıldız, 1990).

Bu yüzden bağlayıcı seçimi demir cevheri briketlenmesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Briketleme proseslerinde bentonit en çok tercih edilen silika bazlı bağlayıcıdır. Fakat bentonit, içerdiği yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 den dolayı safsızlıklar içermektedir. Demir üretim ekonomisi, bentonit veya diğer silika bazlı bağlayıcıların ilavesi ile olumsuz etkilenir. Son yıllarda, safsızlık içermeyen alternatif bağlayıcılar, bentonit kullanımı yerine veya bentonit kullanımını azaltmak üzere test edilmişlerdir. Organik bağlayıcılar ile yeterli yaş ve kuru briket kalitesine sahip briketler üretilebildiği belirlenmiştir (Sivrikaya, 2011).

İnorganik bağlayıcıların tersine organik bağlayıcılar içinde bulunan bazı maddeler, briketleme işleminin ısı işlem bölümlerinde yok olmakta, ürün briketlerin kimyasal yapısında bulunmamaktadır (Işık, 1990 ; Yıldız, 2012).

Ayrıca organik bağlayıcılar, oldukça etkili oldukları, çeşitli tipteki partiküllerle kullanılabilmesi, tekrar üretilebilir yapıda olmaları ve silika içeriğini artırmama gibi avantajlara sahiptir.

Briketleme prosesinde elde edilen briketin yeterli dayanıma sahip olması, elektrik ark fırınlarında kullanılması düşünülen briketler için oldukça önemlidir. Briketlerin yeterli dayanıma sahip olması yüksek sıcaklıklarda bile briketlerin mümkün olan en sağlam koşullarda ergimiş çeliğe ulaşabilmeleri amacıyla ergimemiş parçacıklar ile temas üzerine meydana gelen mekanik stres ve sıcaklık şoklarına direnç gösterebilecek güce sahip olması anlamına gelmektedir.

Briketler ergimiş çeliğin yüzeyinde bulunan cüruf tabakasına nüfuz edebilecek yapıda olmalıdır. Aksi takdirde, toz gibi evreler içerisinde briketlerin erken çöküşü atık gaz, toz yükü ve cüruf miktarının artmasına yol açabilir. Buna ilaveten yüksek dayanım, briketlerin diğer güçlüklerle özellikle taşıma, depolama ve elektrik ark fırınına briketlerin beslenmesinin dahil olduğu güçlüklerle karşı koyabileceğinden emin olmak gibi avantajlara da sahiptir (Meynerts ve ark, 2013).

Tüm bu etkenlerin yanı sıra (başka bir açıdan bakıldığında) proses artıklarının veya yan ürünlerinin farklı sektörlerde hammadde kaynağı olarak kullanımı, atık bertarafı, maliyet azaltımı, etkin kaynak kullanımı ve benzeri nedenlerden ötürü günümüz teknolojilerinin önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır. Endüstriyel atıkların değerlendirilmesi kavramı, çevresel ve ekonomik katkıları nedeniyle son yıllardaki en önemli konulardan biri haline gelmiştir (Bilgiç, 2012).

Üretilen yan ürünler konusu; sadece çevre ile ilgili yönetmelikler ve çelik üreticilerinin yaşadığı çevre sorunları nedeni ile değil, ayrıca fiili üretim maliyeti, uzun dönemde atıklarının bertarafı veya yönetmeliklerin gerektireceği koruma, işleme alma gibi ilave maliyetler, sürdürülebilir bir üretim ve içinde yaşadığımız topluma olan sorumluluklarımız nedeni ile de son derece önemlidir (Bilen, 2010).

Türkiye demir-çelik sektörü diğer konularda gösterdiği dinamizmi elde edilen yan ürünlerin yönetimi ve geri kazanımı konusunda da göstermeli ve sorunu çağdaş dünyada çelik üretiminin gerektirdiği sürdürülebilirlik, maliyet, bilgiye dayalı üretim, yaşadığımız doğaya ve toplumumuza saygı gibi kavramlar kapsamında değerlendirmelidir.

Bu çalışmada; İskenderun demir çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan haddehane tufalı kullanılmış olup, bağlayıcı olarak mısır şurubu seçilmiş, 35 mm tane boyutuna sahip haddehane tufalı, laboratuvar da hazırlanan %10' luk mısır şurubu solüsyonu kullanılarak briketlenmiş ve bu yöntemle yeterli dayanıma sahip briketler elde edilerek tufal geri kazanılmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada laboratuvar ortamında elde edilen briketler üzerinde daha önce belirlenen farklı parametrelerin (sıcaklık, nem, bağlayıcı miktarı, presleme basıncı) her birinin tek tek deneyleri yapılmış ve briket sağlamlığının ölçülmesi bu parametreler aracılığıyla belirlenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Meynerts ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada demir oksit içeren tufal ve haddehane tufali gibi atık maddeleri sıcak briketleme vasıtasıyla aglomera etmişlerdir. Bu sebeple elektrik ark fırınına beslenecek yeterli dayanımda briketler elde etmek için bağlayıcı olarak çimento, hidrate kireç, bentonit, kağıt çamuru (paper sludge) kullanılmış ve bunların dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu atık maddeyi ve kağıt hamurunu 70 ila 350 °C arasında değişen sıcaklıklarda ağırlıkça %15 ila %35 'lik kağıt çamuru karıştırılarak 10 ila 500 MPa basınçta tercihen 30 ila 350 MPa basınçta briketlenmiş ve yaklaşık 150 MPa basınçta ve %20' lik bağlayıcıda iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Gündoğdu (2013) demir-çelik tesislerinde açığa çıkan tufalden demirin geri kazanımını hedeflemiştir. Yapılan çalışmada tufal kömür ile karıştırılarak melas ile peletlenmiş ve bu peletlerin indirgenme kabiliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında tufal, - 1 mm tane boyutu altına öğütülmüş ve tufal içinde %30, %40, %50, %60 konsantre cevher (Divriği Ermadenden gelme) olan dört farklı oranda karıştırılmış ve karışım konsantre demir cevheri oranına bağlı olarak 5-20 mm arasında peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletlerde %40 tufal ve %60 konsantre içererek elde edilen peletlerin yaş ve kuru dayanım bakımından en iyi sonuçları verdiği ortaya konmuştur. Çalışmada optimum sonucu veren peletlerin yaş mukavemet değeri 1300 gr kuru mukavemet değeri 2100 gr bulunmuştur. Elde edilen peletlerde en yüksek indirgeme süresi ve oranı %30 konsantre cevher ve %70 tufal olan karışımda görülmüş karışım 20. dk sonunda %92,83 metalizasyon derecesine ulaştığı tespit edilmiştir. %60 Konsantre cevher ile %40 Tufal karışımında 60 dakika sonunda metalizasyon oranı %88'de kalmıştır.

Işıkgül (2012) yaptığı çalışmada tufali demir cevheri konsantresiyle karıştırarak pelet üretiminde kullanılabilirliğini ve indirgenebilirliğini incelemiş, -1 mm boyutundaki tufali peletleme boyutundaki manyetit konsantresi ve bentonit ile

karıştırarak entegre tesislerde yüksek fırında kullanılabilecek özellikte peletlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında çeşitli oranlardaki tufali manyetit ve bentonitle karıştırarak peletlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş, %40 tufal ve %60 manyetit cevheri konsantresi ile %1 bentonit karışımı ile hazırlanan peletlerin, peletleme boyutu ve basma mukavemeti açısından ideal karışım olduğu yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca tufalin pelet üretimi ile geri kazanımında çok ince boyutlara öğütülmesinin gerekli olamdığı da yapılan çalışmalar sonucu ortaya konmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında -1 mm boyutndaki tufal, peletleme boyutundaki manyetit konsantresi, bentonit ve indirgeyici olarak soma linyit kömürü ile farklı oranlarda karıştırılarak briketlenmiş, elde edilen briketler 1100 °C sıcaklıkta farklı sürelerde indirgenmiş ve tufal ilavesinin indirgenme davranışlarına etkisi ve indirgenen briketlerin kimyasal analizler ile metalizasyon oranları incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda %60 konsantre, %40 tufal ile hazırlanan briketlerde %92,02 metalizasyon değerine ulaştığı, deneyin gerçekleşmesi için gerekli olan 1100 °C sıcaklığın, indirgeyici olarak seçilen soma linyit kömürü ve indirgeyici miktarının stokiometrik olarak gerekli karbonun 1,5 katı karbon sağlayacak şekilde seçilmesinin doğru bir tercih olduğu yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

Coşar (2006) yaptığı çalışmada demir cevheri konsantrelerinin peletlenmesinde sodyum bentonitle birlikte bor mineralleri ve bor atıklarını kullanmış ve elde edilen peletlerde TSE standartlarını baz alarak basma dayanımı, düşme, porozite, yığın yoğunluğu ve şişme testlerinin sonuçlarını incelemiş ve optimum şartları sağlayan bağlayıcı yüzdesinin bulunmasına çalışmıştır. Çalışmada peletleme işlemi için manyetit konsantresi ve bağlayıcı madde olarak bentonit, bor mineralleri ve bor atığı kullanılmış, yapılan deneyler sonucunda optimum bentonit miktarı %0,7 olarak belirlenmiştir. Kolemanitle yapılan deneylerde en az kolemanit miktarında (%0,05) kuru pelet basma dayanımı testlerinde 3,0 kg/pelet, basma dayanımı testlerinde 98,0 kg/pelet ve düşme testlerinde 9,7 olarak bulunmuştur. Üleksitle yapılan peletlerde kuru basma dayanımı testi için en yüksek olan 2,8

kg/pelet değerinin %0,05 oranında elde edildiği bulunmuştur. %0.1 oranının pişmiş pelet için 133,5 kg/pelet ve düşme testi için yüksek değerin 9 olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada boraksın miktarının artışıyla kuru pelet basma dayanım değeri arasında doğru orantılı bir değişim olduğu, ilave edilen boraksın %0,05'ten %0,2'ye çıkarılmasıyla basma dayanımının 2 kg/pelet'ten 2,8 kg/pelet'e çıktığı belirlenmiştir.

Su ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada atık sahalarına atılan ince çamur ve tozları, bağlayıcı olarak çimento kullanarak laboratuvar ölçekli ve bunun yanı sıra pilot tesiste soğuk peletleme yaparak bu atık malzemelerin geri kazanımını arttırmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada BF baca tozları, yağlı haddehane tufali atığı ve BOF ince boyutta çamurların, soğuk dayanımı, peletlerin indirgenme kapasiteleri ve dereceleri istatistiksel prosedürler kapsamında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada tozlar ve çamur %20-60 oranında demir oksit içermektedir. Bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun %97'sinin tane boyutu 32 µm'yi geçmekte ve bu boyutlar lazer difraksiyon tarafından belirlenmektedir. BF baca tozunun ve diğer materyallerin partikül boyutunun %80'i 250 µm'yi geçmektedir. Çalışmada yapılan testlerin sonucuna göre yağlı haddehane tufali atığının tane boyutunu temsil eden iri partiküllerin soğuk dayanım üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan deneyler BOF ince çamurunun indirgenme derecesi üzerinde pozitif bir etkiye sahipken onun BF baca tozuyla etkileşiminin indirgenme derecesi üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu gözlenmiştir.

Eisele ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada demir oksit içeren ince boyuttaki demir cevheri partiküllerini yüksek fırın prosesinde gerekli olan iri boyuttaki partiküllere dönüştürmek için aglomera edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışmanın asıl amacı demir cevheri aglomerasyonunda kullanılan bağlayıcıları araştırıp, inceleyerek bu bağlayıcıların her birinin mekanizmasını, avantajlarını, her bir tip bağlayıcının sınırlarını, çeşitli tipteki bağlayıcıların performanslarını kıyaslamak ve bunların her birini değerlendirmektir.

Hoffman ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada demir-çelik partiküllerini selüloz lifli bağlayıcı ve indirgeyici materyal ile kombinleme yoluyla aglomere ederek metalize demir elde etmişlerdir. İndirgeyici ve selüloz lifli bağlayıcı %15'e kadar su ile karıştırılmıştır. Aglomeratların ısıtılma sıcaklığı 1000 °C ila 1300 °C arasında, 6 ila 20 dk'lık zaman aralıkları seçilmiştir. Tercih edilen süre aralığı 7 ila 9 dk olmaktadır. %0,5 ila %15 oranında demir taşıyan besleme materyali 6 mm boyuta kadar getirilmiş, ancak bağlayıcıdan en iyi verimi alabilmek için partikül boyutları 0,25 ve 1 mm arasında tercih edilmiştir. Selüloz bağlayıcı ilavesi %0,5 ile %25 aralığında değişen oranlarda kullanılmış ve %0,5 ile %2 arasındaki oranlarda çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bogdan (1995) yaptıkları çalışmada haddehane tufali, çelikhane cürufu, yüksek fırın tozu içeren bileşenleri, çimento bileşenleri eklenen bentonit ile briketleyerek aglomera etmişleridir. Çimento bileşimi portland çimentosu, granüle yüksek fırın cürufu çimentosu ve bunların karışımından oluşan grup içerisinde seçilmiştir. Tanecik boyutu -12,5 + 10 mm arasında belirlenmiştir. 1040 °C'de sıcak dayanım indeksi avantajlı bir şekilde artmıştır. Çalışmada demir içeren materyal ağırlıkça % 90 oranında ve %10 oranında bağlayıcı seçilmiş bağlayıcının ağırlıkça %75 ila %85' i çimento bileşimli, %15 ve %25 oranında bentonit seçilmiş ve bentonitin briketlerin soğuk ve sıcak dayanımları arttırdığı söylenmiştir.

Strange ve ark. (1983) yaptıkları çalışmada çelik üretim fırınlarına şarjın bir kısmını oluşturan besleme stoku olarak adapte edilmiş demir içeren malzemeyi briketlemişlerdir. Briketler büyük oranda, geri kazanılmış hadde atıkları ve dökme demir ve çelik talaşları gibi yan ürünlerden oluşmaktadır. Briketler yaklaşık olarak %50 oranında metalik tozlar, %41 haddehane tufali, %2 bentonit, % 3 zift atığı, %2 yanmış kireç taşı ve %2 molozdan oluşmaktadır.

Haley (1979) yaptığı çalışmada hadde pulları ve kok partikülleri gibi çelik fabrikası atıklarını aglomera etmiştir. Portland çimentosuyla karıştırılan atıklar plaka içerisine dökülmüş ve daha sonra kırılarak belir bir boyutta elenmiş ve bu da otomatik taşıma ve tartı sistemleri vasıtasıyla metalurjik fırına şarj edilmiştir.

Aglomera edilecek materyal ağırlıkça %80-92 atık materyal, %5 ila 15 arasında portland çimentosu ve %2 ila 5 oranında sudan oluşmaktadır.

Wienert (1975) yaptıkları çalışma silika içermeyen demir oksit taşıyan materyallerin indirgenmesi için geliştirilmiş bir prosestir. Proseste karbon partikülleri döner fırında yanıcı gazlara karşı akımla hareket etmekte ve bu yolla peletlerin küçük parçalara ayrılması minimize edilmekte ve peletler yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Bu da hızlı bir indirgenme ve arzu edilebilir özelliklere sahip indirgenmiş peletlerin oluşumuna yol açmaktadır. Çalışmada peletlerin sıcaklığının gittikçe ve devamlı bir şekilde arttığı ve sıcaklığın 1100 °C'yi aştığı görülmektedir.

Komarek ve ark. (1952) yaptıkları çalışmada çelik endüstrisi özellikle yüksek fırın uygulamalarında sorun oluşturan baca tozlarını briketlemişlerdir. Çalışmada baca tozlarının inorganik amonyum bileşenleri tercihen de amonyum sülfat ve su ile karıştırılarak briketlenmesi sonucu oldukça memnuniyet verici briketler elde etmişlerdir. Çalışmada tercihen, briketlerin dayanımını arttırması için karışıma bentonit gibi uygun kil minerali eklenmiştir. Ayrıca çalışmada baca tozları ve demir içeren materyaller istenen herhangi bir oranda yaklaşık %6 su ve %1 amonyum sülfat ve tercihen %3 bentonit kullanılarak briketlenmiştir. Çalışmada briketler tamamen baca tozundan oluşuyorsa % 1 ¹/₂ ila oranında kil ve inorganik amonyak bileşiği %1 oranında kullanılmıştır.



3. MATERYAL VE METOD

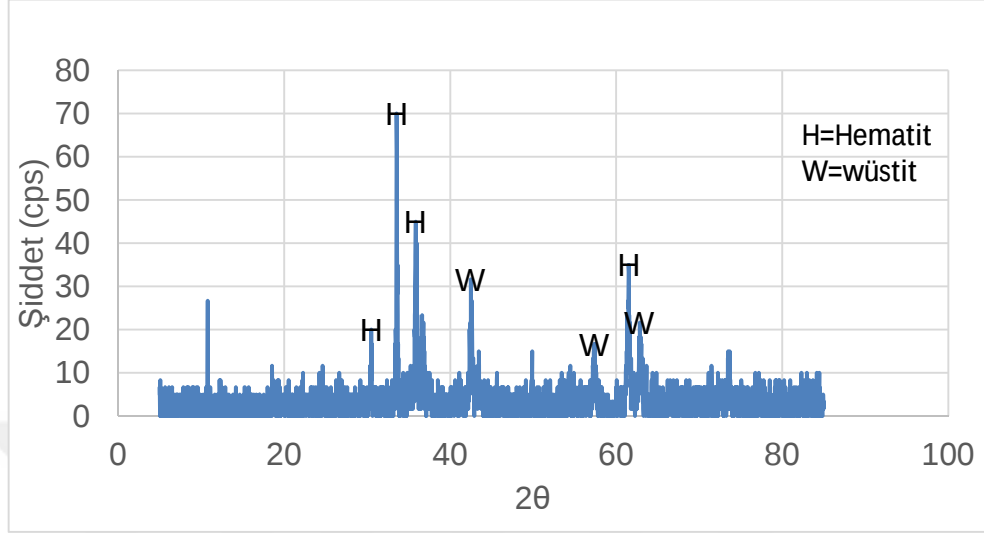
3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında kullanılan haddehane tufali İskenderun Demir – Çelik fabrikasından temin edilmiştir. Deneyler Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Numunenin kimyasal bileşimi X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) ve X-Işını difraktrometre cihazı (XRD) yöntemlerine göre belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan tufal numunesinin kimyasal içeriği Çizelge 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, briketleme testlerinde kullanılan tufal numunesi hematit mineralinden oluşmaktadır.

Çizelge 3.1. Tufal numunesinin XRF sonuçları

Bileşim	MgO	SiO ₂	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
(%)	0,6	2,4	0,24	1,019	95,80	0,36

Yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli cevherlerin demir oranı ASTM toz demir cevheri standartlarına göre demir içeriği minimum %60 oranında olmaktadır. Laboratuvarda yapılan deneylerde kullanılan tufal numunesinin demir içeriği yapılan analizler sonucu yaklaşık %95 oranında olmaktadır. Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan mısır şurubu Sunar mısırdan (Sunar Mısır Ent.Tes.Tic A.Ş. Adana) temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Briketleme testlerinde kullanılan ham tufal numunesinin XRD grafiği
(Hematit pdf kart numarası = 01-084-0311)
(Wüstit pdf kart numarası = 00-002-1180)

3.2. Metod

3.2.1. Elek Analizi

İlk aşamada bölüm laboratuvarına getirilen tufal numunelerinin elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Tane boyu dağılımı için kullanılan elekler 4 mm, 3,15 mm, 2,8 mm, 2 mm, 1 mm, 850 µm, 600 µm, 425 µm ve 355µm'dir. Elek analizi işlemi sonrasında briketleme testleri için -3,15 mm boyutundaki tufal numuneleri kullanılmıştır.

3.2.2. Tufal Karışımlarının Hazırlanması

Deneyler için kullanılacak olan Tufal numunesi 3,15 mm'lik eleklerden elenerek, elek altı kullanılmış ve her bir briketleme deneyi için 50 gr'lık numuneler hazırlanmıştır. Briketleme için tufal numunelerine bağlayıcı olarak önceden hazırlanan %10'luk mısır şurubu çözeltisinden farklı yüzdelerde ilave edilmiştir.

Bağlayıcılar için çözelti hazırlanmasının nedeni ise, karıştırılma esnasında bağlayıcının, tufal yüzeylerinin tamamına temas etmesini sağlamaktır. Böylece tufal-bağlayıcı karışımlarında homojen bir karışma sağlanmaktadır.

Bu karışımlar hazırlandıktan sonra etüvde (Heraeus T 6060) nemi belirli bir seviyeye getirilmiş ve istenilen nem seviyesine gelen numunelerin daha fazla nem kaybetmemesi için hava alması; kap içerisinde bulunan numunelerin ağzının sterç filmle kapatılarak desikatöre konmasıyla önlenmiştir.

Şekil 3.2’de görülen, çapı 4,50 cm, uzunluğu 10 cm olan silindir şeklindeki presleme aparatına konulmuştur. Presleme aparatında bulunan 2 tane disk bulunmaktadır. Disklerden bir tanesi silindir haznenin içine konulmakta daha sonra homojen hale gelen tufal-bağlayıcı karışımı silindire boşaltılmaktadır. İkinci diskte karışımın üzerine yerleştirilerek presleme aparatının kapağı kapatılarak ve numuneler presleme için hazır duruma getirilmektedir. Elde edilen briket numunelerinin çapı kullanılan disklerin çapına eşittir.



Şekil 3.2. Tufal briketlemesinde kullanılan presleme aparatı

3.2.3. Briketlemeye Isıl İşlem Sıcaklığının Etkisi

Bu deneylerde, briketlemeye ısı işlem sıcaklığının etkisinin belirlenebilmesi için hazırlanan -3,15 mm altındaki numuneye (50 gram) %6 oranında bağlayıcı ilave edilmiş, 105 °C’de istenilen nem miktarına (%4) gelene kadar yapılan kurutma işleminden sonra 30 MPa presleme basıncında preslenmiştir. Protherm marka kül fırını kullanılarak 200 °C, 240 °C, 300 °C, 400°C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C olmak üzere 10 ayrı sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir ısı işlem için süre 40 dk olarak belirlenmiştir. Deney süresi sonunda kül fırını kapatılmış, ancak briketlerin kül fırınından çıkartılabilmesi için kül fırının iç sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi beklenmiştir. Daha sonra ise briketler desikatörün içinde bir sonraki aşamada kullanılmak üzere saklanmıştır. Her bir deney numunesinden 4 adet üretilmiştir. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan tufal briketlerinin axial ve radial dayanımları ELE marka tek eksenli nokta yük cihazı ve Loodvell marka dijital nokta yükleme test cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, Kahramanmaraş Üniversite Sanayi Kamu İşbirliği Merkezi’nde (ÜSKİM) bulunan Zeiss Marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak her bir sıcaklıkta üretilen briketlerin içerdiği karbon miktarları belirlenmiştir.

3.2.4. Briketlemeye Isıl İşlem Süresinin Etkisi

Deneylerde ısı işlem süresinin briketlemeye etkisini incelemek için 7 ayrı parametrede çalışılmıştır. Briketleme için 50’şer gramlık numuneler %6 bağlayıcı miktarıyla 105 °C’de etüvde %4 nem miktarına gelene kadar kurutulmuştur. Isıl işlem sıcaklığı bir önceki aşamada elde edilen optimum değer kullanılmıştır. Elde edilen numuneler 30 MPa basınçta preslenerek briketlenmiş ve numuneler etüvde farklı sürelerde ısı işleme tabii tutulmuştur. Isıl işlem süreleri 30, 40, 50, 60, 70 ve 80 dk olmak üzere farklı günlerde denenmiştir. Her bir deney numunesinden 4 adet üretilmiştir.

3.2.5. Briketlemeye Bağlayıcı Miktarının Etkisi

Bu deneyler için 50'şer gramlık tufal numuneleri ile farklı günlerde %2'lik, %4'lük , %6'lık, %8'lik olacak şekilde 4 farklı bağlayıcı miktarıyla 16 adet tufal bağlayıcı karışımı hazırlanmıştır. Daha önceden hazırlanan %10'luk mısır şurubu solüsyonu için gerekli hesaplamalar yapılarak optimizasyonu yapılacak her bir parametreye karşılık gelen sayısal değer belirlenmiştir. Elde edilen karışımlar 105 °C'de %4'lük nem miktarına ulaşana kadar bekletilmiş daha sonra 30 MPa basınçta preslenmiş ve ısıtma işlemi tabii tutulduktan sonra desikatöre alınmıştır. Her bir deney numunesi 4'er adet üretilmiş ve numunelere suya dayanım ve mekanik dayanım testleri uygulanmıştır.

3.2.6. Briketlemeye Presleme Basıncının Etkisi

Bu deneyler için 50'şer gramlık tufal numunelerine %6 bağlayıcı eklenerek %4 nemliliğe gelene kadar 105 °C'de kurutulmuş ve kurutulan malzemeler presleme aparatında hazırlanarak preslenmiştir.

Basıncın briketler üzerindeki etkisini araştırmak için de 4 ayrı basınç uygulanmıştır. Presleme makinesinde ilk grup numuneler 10 MPa (101,97 kg/cm²), 20MPa (203,94 kg/cm²), 30 MPa (305,91 kg/cm²) ve 40 MPa (407,88 kg/cm²) basınçlarda preslenmiş ve her bir deney için ayrı ayrı dayanım testleri uygulanmıştır.

3.2.7. Briketlemeye Nem İçeriğinin Etkisi

Bu deneyler kapsamında hazırlanan 50 gram tufal numunelerine bağlayıcı ilave edildikten sonra karışımlar farklı günlerde, %3, %4, %5, %6, %7 ve %8 olmak üzere 6 ayrı nem içeriğinde deneyleri yapılmıştır. Daha önceden hazırlanan %10'luk bağlayıcı solüsyonu için gerekli hesaplamalar yapılarak optimizasyonu yapılarak her bir parametre için nem miktarları sayısal değer olarak tek tek belirlenmiş ve numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler istenilen nem miktarına gelene kadar 105 °C'de etüvde kurutulmuştur.

Numunelerin nem içeriğini kaybetmemeleri için etüvden çıkarılır çıkarılmaz ağız streç film ile kapatılarak desikatörde muhafaza edilmiştir.

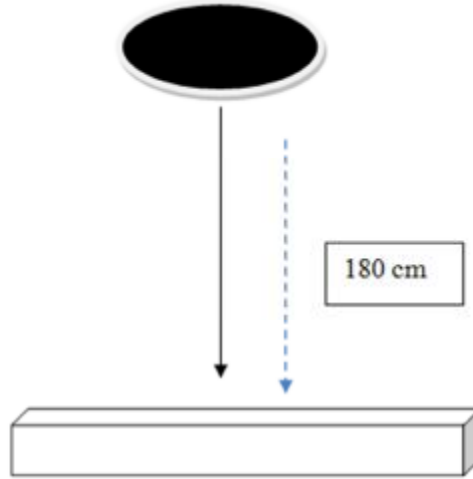
Elde edilen numuneler tek tek preslenmiş ve elde edilen briketler ısıtıl işleminden sonra mekanik sağlamlık ve suya dayanım testlerine tabii tutulmuştur.

3.3. Dayanım Testleri

3.3.1. Shatter (Düşme Sağlamlığı) Testi

Bu test, briketlerin, özellikle, yüksek bir yerden boşaltılacağı durumlar için, kırılmaya karşı göstereceği direnci göreceli olarak ölçmektedir. Hazırlanan briketler, 1,8 metre yükseklikten çelik bir plaka üzerine bırakılmaktadır (ISO-R616). Sonuçlar, elek üstü tartımlarla ifade edilir. TSE taslak standardında verilen Shatter testinde ise, briket numunesi, 30 cm x 30 cm x 30 cm boyutundaki bir kutuya yerleştirilip, 180 cm'lik yükseklikten tabana düşürülmektedir(Şekil 3.12).

Bu işlem altı defa tekrarlandıktan sonra, numunenin elek analizi, 35 mm'den büyük briketler için 10 mm, 20 mm, 31,5 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 71 mm'lik ; 35 mm'den küçük briketler için ise 5- 10- 16- 20- 25 ve 31,5 mm'lik yuvarlak göz açıklıklı elekler kullanılarak yapılmaktadır.(Bayar, 2012)



Şekil 3.3.Shatter düşme testi düzeneği şematik görünümü (Bayar, 2012)

Test sonunda, her bir elek üzerinde kalan kısım tartılarak ağırlık yüzdesi bulunmaktadır. En küçük eleğin altında kalan kısım ise, numunenin toplam kütesinden, elekler üzerinde kalanların toplam kütlesi çıkarılarak bulunur(Eşitlik 3,7-3,8). Briketlerin boyutları küçülüp ağırlığı azaldıkça, Shatter indeksi artmaktadır. Düşme testi yapıldıktan sonra kırılan numuneler, bir dizi elek serisinden geçirilmiştir. Elek serisi, çalışılan deney numuneleri için 31,5 mm, 20 mm, 10 mm, 8 mm ve 5 mm olarak belirlenmiştir (TS 12055).

$$l_{ort} = \sum_{i=0}^{k+1} (c_i * l_{ort.i}) / 100$$

$$\text{Düşme Stabilesi (\%)} = \frac{l_{ort}}{l} * 100$$

Burada;

l: silindir şeklindeki briketlerde aritmetik çap ortalaması, diğer şekillerdeki briketlerde (yumurta, yastık, prizma vb.) uzun eksenin orta noktasında bu eksene dik olan en uzun boyutun aritmetik ortalamasıdır.

l_{ort}: numunenin düşme sağlamlığı deneyinden sonraki ortalama tane boyu(mm)

λ: düşme testi sonucu numunenin elendiği elek sayısı

C_i: i'inci elek üzerinde kalan, i+1'inci elekten geçen numunenin kütle yüzdesi

l_{ort.i}: i'inci ve i+1'inci eleklerin elek açıklıklarının ortalaması (mm)'dir.

3.3.2. Briketlerin Mekanik Dayanım Testleri

Bu test, briketlerin, taşınma ve depolanma sırasında ve yüksek fıırında yük altında kaldıklarında, kırılmaya karşı gösterecekleri direnci ölçmektedir.

3.3.2.1. Axial Dayanım Testi

Bu test briketlerin taşınma, depolanma ve yüksek fırına beslendiğinde üzerine gelen diğer yüklere karşı gösterecekleri direnci ölçmede kullanılmaktadır. Test, briketin, paralel iki levha arasında sıkıştırılarak yatay yönde kırılması suretiyle yapılmaktadır.

Bu testte ilk olarak her bir briketin ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra her bir briketin üzerine ortalama 1000 kgF gücünde basınç uygulanmış ve briketlerin davranışları izlenmiştir. Deney sonunda briketler 5 ve 1 mm'lik eleklerde sırasıyla elenmiş ve elek altına geçen miktar için grafikler çizilerek briketin dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.4.Axial dayanımın yapıldığı test cihazı

3.3.2.2. Radial Dayanım Testi

Her bir briketin radial dayanım değerleri Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği bölümünde bulunan Loodvell marka dijital nokta yük cihazı ile belirlenmiştir. Bu testte briketler dikey yönde kırılarak elde edilen sonuçlara göre grafikleri çizilmiştir.



Şekil.3.5. Radial dayanımın yapıldığı nokta yükleme test cihazı

3.3.3. Briketlerin Suya Dayanımı

Briketlerin suya dayanım özelliklerini saptamak için, numuneler 600 ml su dolu bir kaptan 24 saat bırakılarak, sağlamlıkları ve bünyelerine su alma durumları izlenmiştir. Dağılma gösteren numuneler 500 μm 'lik elekten geçirilerek suya dayanım yüzdesi bulunmuştur (ASTM 3173-73; ASTM 3174). Genellikle, ilk büyük parçanın ayrıldığı veya kütlenin tamamıyla dağıldığı süreler önemlidir.



A

B

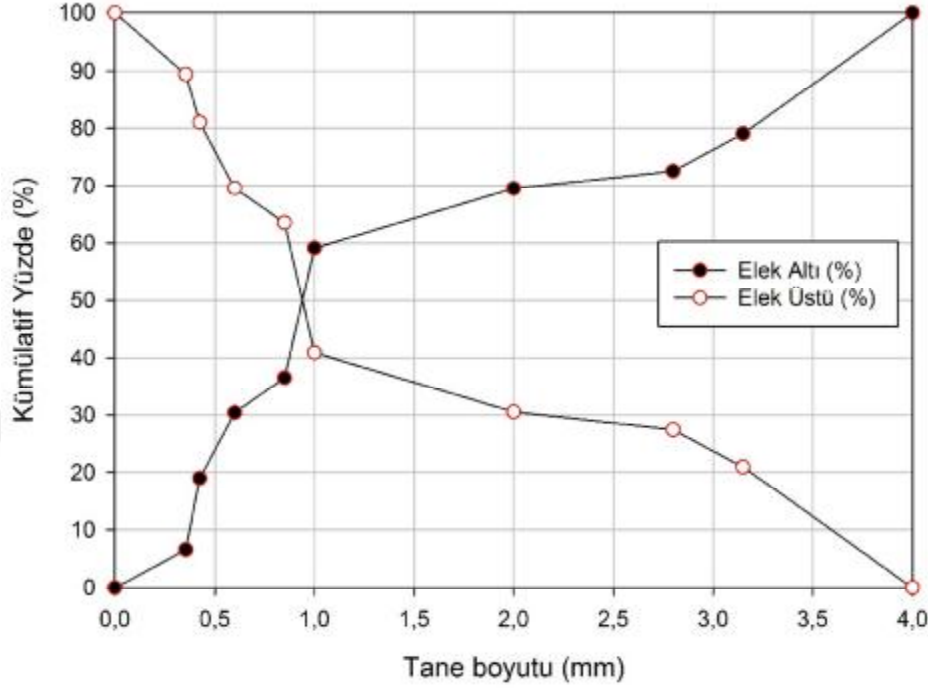
Şekil:3.6.Briketlerin suya dayanımı A) İlk hali B) Son hali

4. ARAŞTIRMA BULGULARI**4.1. Deney Numunelerinin Elek Analizi**

Deneyde kullanılan tufal numunesi elenerek ele altı ve elek üstü değerleri belirlenmiş ve bu değerler çizelge 4.1’de verilmiştir. Bulunan elek altı ve elek üstü değerleri bir grafik olarak çizildiğinde kullanılan tufal numunesinin d_{80} değerinin 0,60 mm olduğu Şekil 4.1’de görülmektedir.

Çizelge.4.1. Tufal numunesinin elek analizi

Tane Aralığı (mm)	Ağırlık		Kümülatif EA %	Kümülatif EÜ%
	(gram)	%		
-4+3,15	104,68	20,94	100	20,94
-3,15+2,8	32,42	6,48	79,06	27,42
-2,8+2	15,36	3,07	72,58	30,49
-2+1	52,01	10,40	69,51	40,89
-1+0,85	113,18	22,64	59,11	63,53
-0,85+0,6	30,58	6,12	36,47	69,55
-0,6+0,425	57,03	11,41	30,35	81,06
-0,425+0,355	61,84	12,37	18,94	89,43
-0,355	32,90	6,57	6,57	100



Şekil.4.1. Tufal Numunesinin kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri ($d_{80} = 0,6$ mm)

4.2. Briketlemeye Isıl İşlem Sıcaklığının Etkisi

Bu çalışmalarda 50'şer gramlık numuneler bağlayıcı ile karıştırılarak etüvde 105 °C'de ön deneylerle elde edilen %4 nem miktarına gelene kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler daha sonra 10 ayrı sıcaklık değerlerinde (200 °C, 240 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, 1000 °C) ısıtılma işlemine tabii tutulmuştur. Çalışmalarda tane boyutu -3,15 mm, nem içeriği %4 ve bağlayıcı miktarı %6, presleme basıncı 30 MPa ve ısıtılma işlem süresi 40 dk olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 4.2, 4.3 ve şekil 4.2'de görüldüğü gibi en iyi sonucun 600 °C'de elde edildiği görülmektedir.

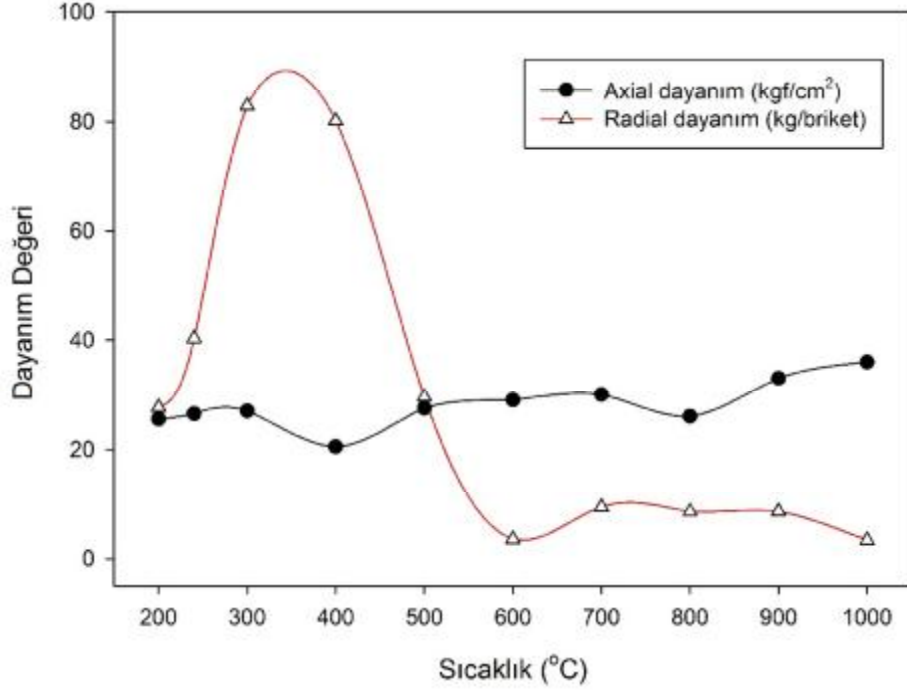
Çizelge.4.2. Isıl işlemin briketlerin axial dayanımına olan etkisi

Sıcaklık (°C)	Ağırlık (gram)		Ağırlık (%)	
	Elek Altı	Elek Üstü	Elek Altı	Elek Üstü
200	11,54	30,15	27,68	72,32
240	16,92	24,99	40,37	59,63
300	31,23	6,43	82,93	17,07
400	30,13	7,44	80,2	19,8
500	12,47	29,74	29,54	70,46
600	1,55	41,68	3,59	96,41
700	4,07	38,96	9,46	90,54
800	3,64	38,72	8,59	91,41
900	3,44	36,37	8,64	91,36
1000	1,46	41,47	3,4	96,6

Çizelge.4.3. Isıl işlemin briketlerin radial dayanımına olan etkisi

Sıcaklık (°C)	200	240	300	400	500	600	700	800	900	1000
Radial Dayanım (Kg)	25,5	26,5	27	20,5	27,5	29	30	26	33	36

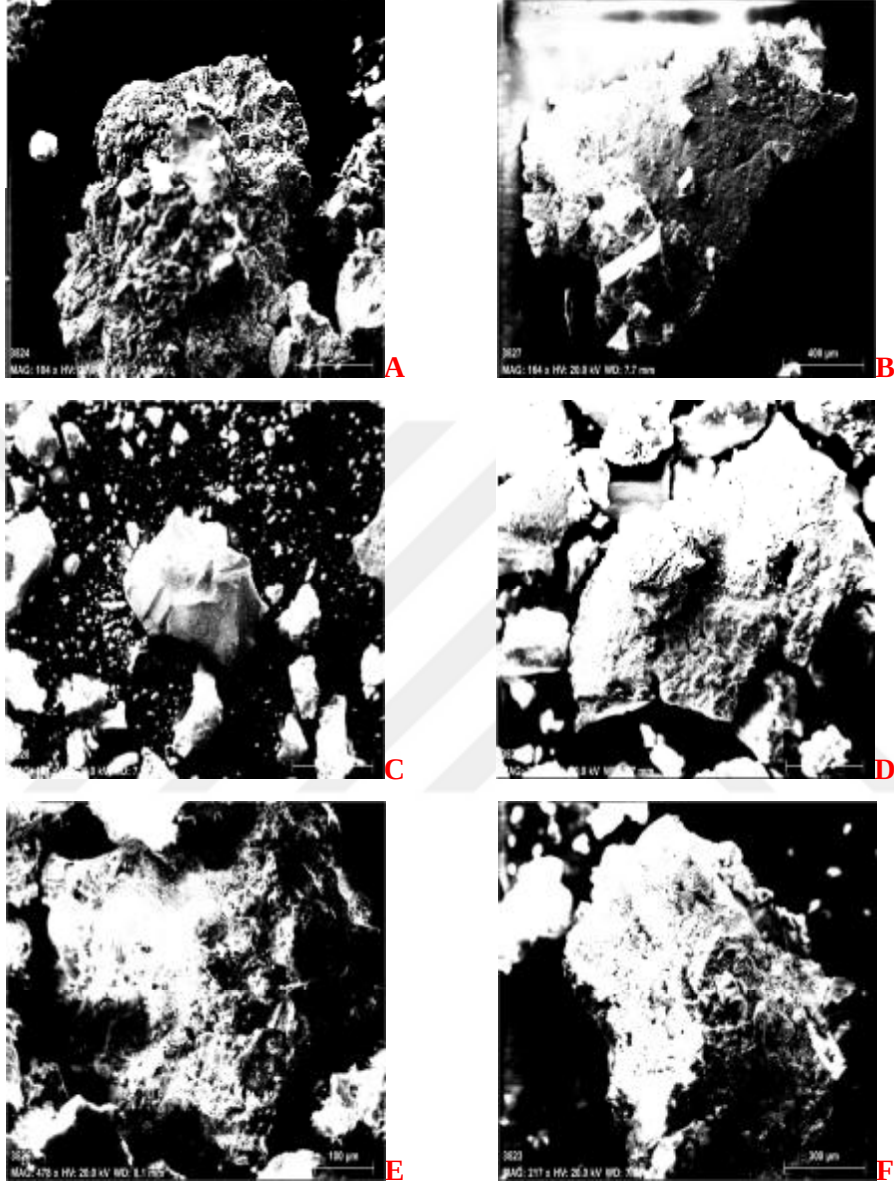
Isıl işlem sıcaklığının briketlemeye etkisini göstermek amacıyla 10 farklı sıcaklıkta briketler ısıtılma tabi tutulmuştur. Deneylere hazırlanan numuneler %4 nem içeriği, %6 bağlayıcı, 30 MPa presleme basıncı ve 40 dk ısıtılma süresi ile briketlendiğinde numunelerin dayanımı çizelge 4.2, çizelge 4.3 ve şekil 4.3’ te gösterildiği gibi olmaktadır.



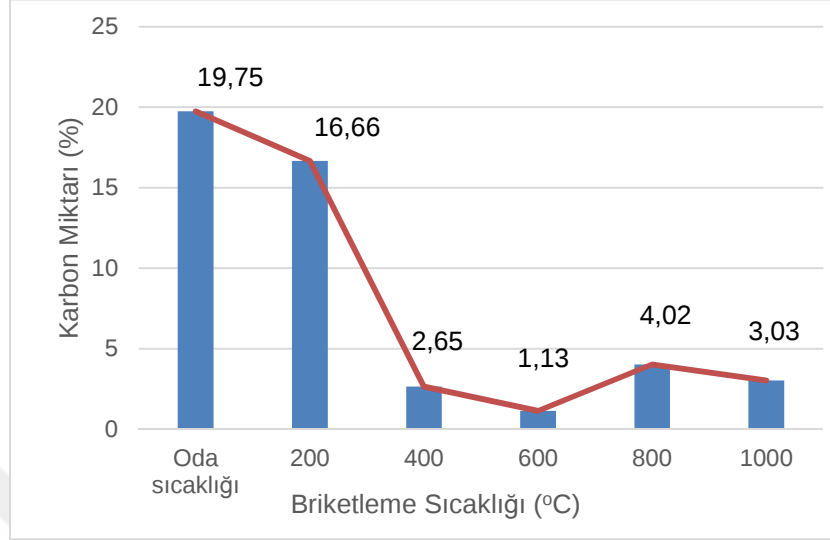
Şekil 4.2. Tufal-Mısır Şurubu Karışımlarına Isıl işlem sıcaklığının Etkisi

Şekildeki eğride görüldüğü üzere mısır şurubu ile hazırlanan briketler için Axial dayanım için 600 °C 'de oldukça iyi sonuçlar verdiği 600 °C'den sonraki sıcaklıklarda benzer bir dayanım gösterdiği, radial dayanımda ise briketlerin farklı kalınlıkta olmalarının yarattığı sonuç nedeniyle dalgalanmalar olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3'te farklı sıcaklıklarda elde edilen briketlerin SEM görüntüleri görülmektedir. Ayrıca, noktasal EDX analizleri gerçekleştirilmiş ve briketlerin içerdiği C miktarı belirlenmiştir. Şekil 4.4'den de anlaşılabileceği üzere, ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak briketlere eklenen mısır şurubunun uçtuğu, C miktarından anlaşılmıştır. Oda sıcaklığında hazırlanan briketin içerdiği C miktarı %19,75 iken, 400 °C ve daha yüksek ısıl işlem sıcaklıklarında bu değer %5'in altına düşmüştür.



Şekil 4.3. Farklı ısı işlem sıcaklıklarına maruz kalmış briketlerin SEM görüntüleri
a) Oda sıcaklığı, b) 200 °C, c) 400 °C, d) 600 °C, e) 800 °C, f) 1000 °C



Şekil. 4.4. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak briketlerin içerdiği C miktarları

4.3. Briketlemeye Isıl İşlem Süresinin Etkisi

Deneylerde ısıtıl işlem süresinin belirlenmesinde 6 farklı parametre kullanılmıştır. Deney boyunca çalışmalarda tane boyutu -3.15 mm, nem içeriği %4, bağlayıcı miktarı %6, presleme basıncı 30 MPa, sıcaklık 600 °C olarak sabit tutulmuştur.

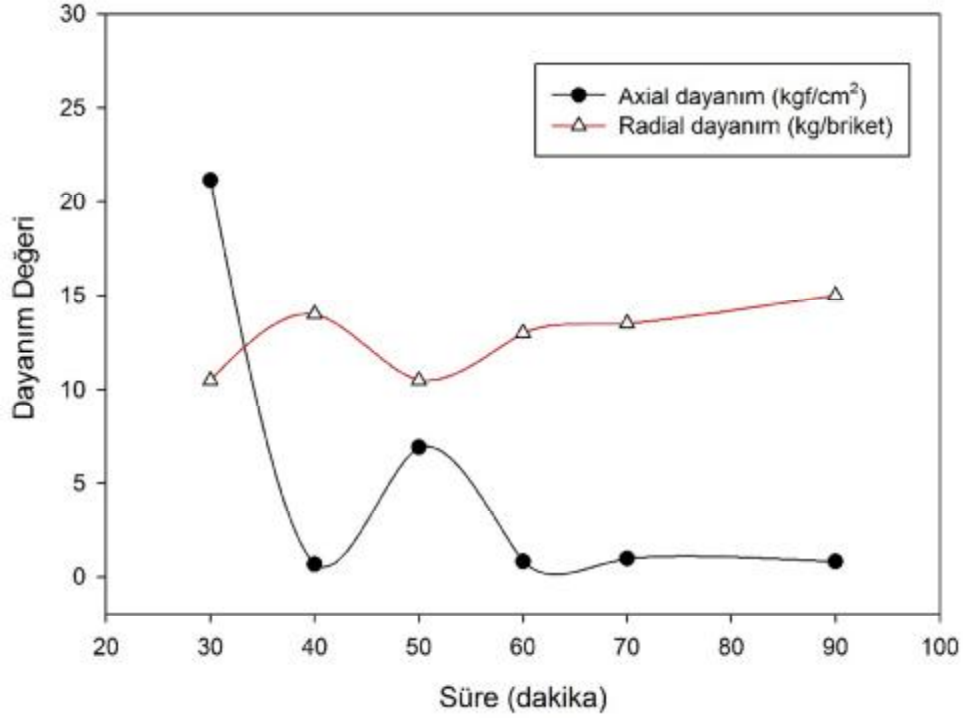
Çizelge.4.4. Isıl işlem süresinin briketlerin axial dayanımına olan etkisi

Süre (dk)	Ağırlık(gram)		Ağırlık (%)	
	Elek altı	Elek üstü	Elek altı	Elek üstü
30	8,6	32,04	21,16	78,84
40	0,29	43,79	0,66	99,34
50	3,12	42	6,91	93,09
60	0,38	47,03	0,8	99,2
70	0,43	43,87	0,97	99,03
90	0,38	47,02	0,8	99,2

Çizelge.4.5. Isıl işlem süresinin briketlerin radial dayanımına olan etkisi

Süre (dk)	30	40	50	60	70	90
Radial Dayanım (Kg)	10,5	14	10,5	13	13,5	14

Yukarıdaki çizelgede axial dayanım testleri yukarıda anlatılan yöntemle göre her bir briket için ortalama 1000 kg/f kuvvet verilerek kırıldıktan sonra 5 mm'lik ve 1 mm'lik eleklerden geçirilerek elek altı ve elek üstü değerleri yüzde cinsinden hesaplanmış ve elek altına geçen miktarların sayısal değerleri alınarak grafikler oluşturulmuştur. Radial dayanım sonuçları laboratuvarında nokta yük cihazı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil.4.5. Tufal-Mısıır şurubu karışımlarına ısııl işlem süresinin etkisi

Isıl işlem süresini belirlerken yapılan çalışmalarda ısıtma işlem süresi belli bir zamana kadar arttıkça briket dayanımı da artmış belirli bir zamandan sonra briket dayanımına etkisinde pek bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Yukarıdaki grafikten optimum sonuç 40 dk olarak belirlenmiştir. Ayrıca grafikte axial ve radial dayanım eğrilerinde görülen dalgalanmaların briketlerin kalınlılarındaki farklar dolayısıyla meydana geldiği görülmektedir.

4.4. Briketlemeye Bağlayıcı Miktarının Etkisi

Briketleme çalışmalarında bağlayıcı miktarının etkisini incelemek için 4 ayrı parametre laboratuvar ortamında denenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar çizelge 4.6 ve 4.7’de görüldüğü üzere %6 bağlayıcı miktarında iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

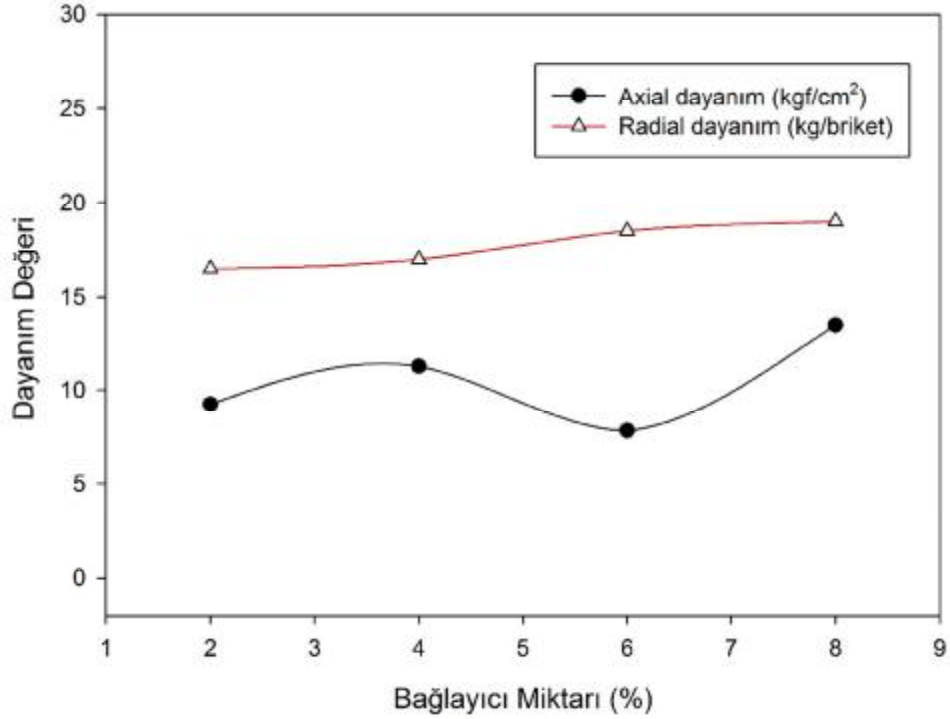
Bu deneyler kapsamında, tane boyutu -3,15 mm, nem içeriği %4, ısıtma işlem sıcaklığı 600 °C, ısıtma işlem süresi 40 dk, presleme basıncı 30 MPa olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge.4.6. Bağlayıcı miktarının briketlerin axial dayanımına olan etkisi

Bağlayıcı Miktarı(%)	Ağırlık (gr)		Ağırlık (%)	
	Elek Altı	Elek Üstü	Elek Altı	Elek Üstü
2%	4,53	44,55	9,23	90,77
4%	4,96	39,04	11,27	88,73
<u>6%</u>	<u>3,41</u>	<u>40,17</u>	<u>7,82</u>	<u>92,18</u>
8%	6,395	41,095	13,47	86,53

Çizelge.4.7. Bağlayıcı miktarının briketlerin radial dayanımına olan etkisi

Bağlayıcı miktarı(%)	%2	%4	%6	%8
Radial Dayanım (kg)	16,50	17	18,5	19



Şekil. 4. 6.Tufal -Mısır şurubu karışımına bağlayıcı miktarının etkisi

Bağlayıcı miktarının briketlemeye etkisi incelenirken yapılan bu deneyler gösteriyor ki bağlayıcı miktarı arttıkça briketin dayanımı da artmaktadır. Ancak yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde ekonomik bir briketleme için optimum sonucu veren değer, yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi %6 bağlayıcı ile hazırlanan briketlerde elde edilmiştir.

4.5. Briketlemeye Presleme Basıncının Etkisi

Presleme basıncını belirlemek için 4 ayrı parametrede çalışılmıştır. Deneyler süresince yapılan çalışmalarda tane boyutu -3,15 mm, bağlayıcı miktarı %6, ısıtma işlem süresi 40dk, ısıtma işlem sıcaklığı 600 °C ve nem miktarı %4 olarak sabit tutulmuştur.

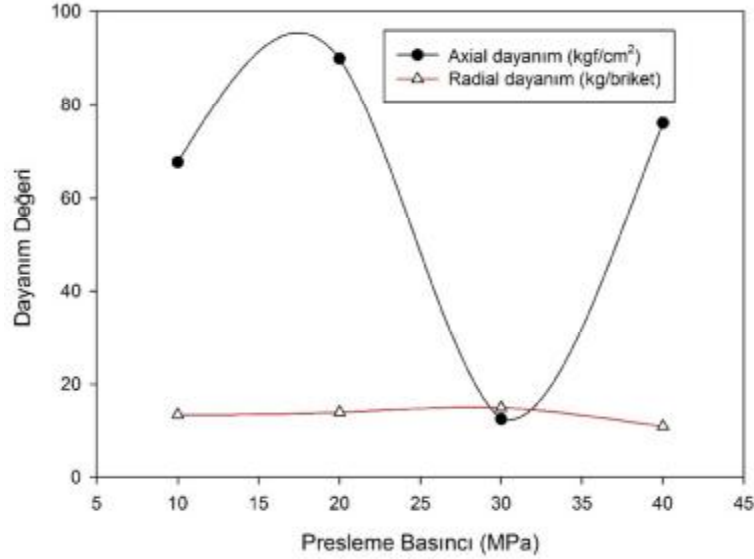
Çizelge .4.8. Presleme basıncının briketlerin axial dayanımına olan etkisi

Presleme basıncı(Mpa)	Ağırlık (gr)		Ağırlık (%)	
	Elek Altı	Elek Üstü	Elek Altı	Elek Üstü
10	26,57	12,56	67,66	32,34
20	40,78	4,59	89,95	10,05
30	5,65	38,98	12,56	87,44
40	33,19	10,62	76,06	23,94

Çizelge .4.9 Presleme basıncının briketlerin radial dayanımına olan etkisi

Presleme Basıncı(Mpa)	10	20	30	40
Radial Dayanım(kg)	13,5	14	15	11

Briketlemeye presleme basıncının etkisi incelendiğinde briketlerin dayanımında en iyi sonucun 30 MPa presleme basıncında elde edildiği görülmüştür. Laboratuvarda yapılan çalışmalarda briketlere uygulanan 40 MPa'lık basıncın meydana getirdiği fazla sıkıştırmadan dolayı yeterli kalitede ve sağlamlıkta briketler elde edilememiştir.



Şekil 4.7. Briketlemeye presleme etkisi basıncının

Presleme basıncı değerleri için yukarıdaki grafik incelendiğinde 30 MPa'ya kadar briket dayanımının arttığı ancak deney esnasında 40MPa basınçla çalışmanın meydana getirdiği zorluğun sonucu olarak yeteri kadar sağlam briketler elde edilemediğinden dolayı grafikte dalgalanmalar meydana gelmiştir.

4.6. Briketlemeye Nem İçeriğinin Etkisi

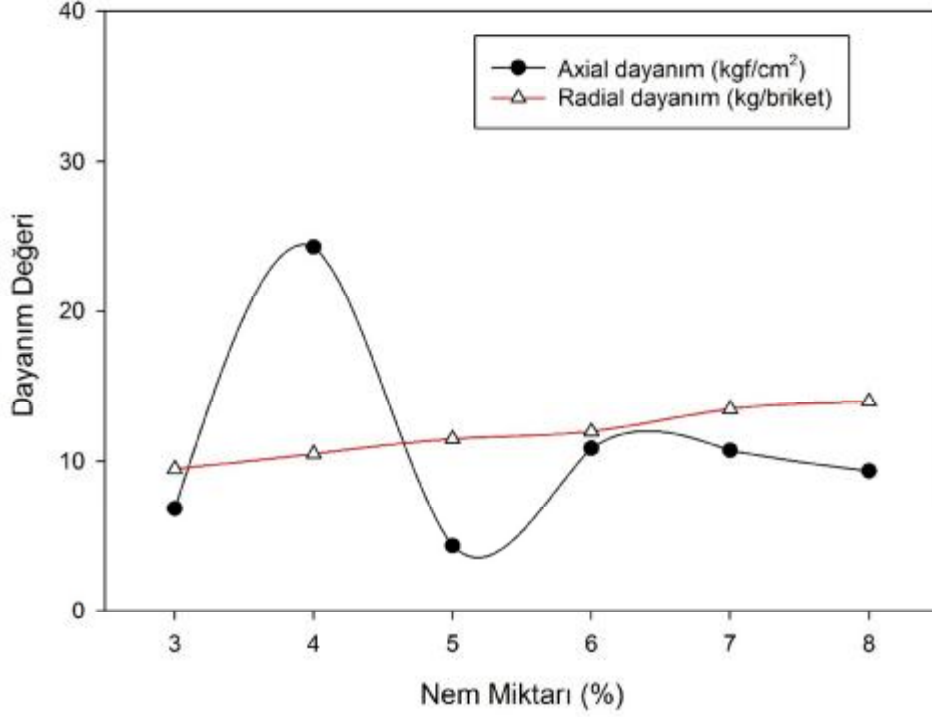
Briketlemeye etki eden faktörlerin belirlenmesine göz önüne alınması gereken faktörlerden biri de briketin nem içeriğidir. Nem içeriğinin belirlenmesi için 6 farklı parametrede (%3, %4, %5, %6, %7, %8) çalışılmıştır. Deneyler süresince tane boyu -3,15mm, ısıtma sıcaklığı 600 °C, ısıtma süresi 40 dk, presleme basıncı 30 MPa, bağlayıcı miktarı %6 olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 4.10 ve 4.11'de bu çalışma sonucu elde edilen kırılma dayanımları verilmiştir.

Çizelge.4.10. Nem içeriğinin briketlerin axial dayanımına olan etkisi

Nem Miktarı(%)	Ağırlık (gr)		Ağırlık (%)	
	Elek Altı	Elek Üstü	Elek Altı	Elek Üstü
3%	2,72	37,02	6,84	93,16
4%	11,18	34,87	24,28	75,72
5%	2,06	45,36	4,34	95,66
6%	4,98	40,85	10,87	89,13
7%	4,82	40,09	10,73	89,27
8%	4,53	43,85	9,36	90,64

Çizelge .4.11. Nem İçeriğinin briketlerin Radial dayanımına olan etkisi

Nem Miktarı(%)	%3	%4	%5	%6	%7	%8
Radial Dayanım (kg)	9,5	10,5	11,5	12	13,5	14



Şekil 4.8.Tufal-Mısır Şurubu Karışımına Nem İçeriğinin Etkisi

Nem miktarının briketlemeye etkisi için yapılan değerlerde nem miktarı için en uygun sonucun %5 olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda axial dayanım eğrisinde görülen lineer artışla radial dayanım eğrisinde görülen dalgalanmaların briketlerin kalınlığı ve kullanılan cihazlardan dolayı meydana gelen farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile İskenderun Demir-Çelik Fabrikasından getirilen haddehane tufalinin briketlenmesine etki eden faktörler incelenmiştir. Briketlemeye, nem içeriği, ısıtılma işlem süresi ve sıcaklığı, bağlayıcı miktarı, presleme basıncı olmak üzere 5 ayrı parametrenin etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenmiştir.

- Briketleme çalışmalarında, tane boyutu önceki çalışmalar ve yapılan ön deneyler göz önünde bulundurularak -3,15 mm olarak belirlenmiştir.
- Bentonit gibi inorganik bağlayıcıların briketleme ve peletleme gibi aglomerasyon işlemleri sonucunda yüksek fırında oluşturduğu istenmeyen etkileri ve önceki çalışmalar da göz önünde bulundurularak mısır şurubu bağlayıcı olarak belirlenmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda elde edilen briketlerin axial ve radial dayanımlarında meydana gelen dalgalanmaların briketlerin kalınlık farkından dolayı olduğu deneyler esnasında gözlemlenmiştir.
- %5 nemlilikte mısır şurubu kullanılarak elde edilen briketlerin hem suya dayanım hemde kırılma sağlamlığının oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir.
- Briketleme deneylerinde belirlenen bir diğer parametre ise presleme basıncıdır. 30MPa presleme basıncında briketler için oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. 30MPa'dan daha yüksek presleme basıncında aşırı sıkışmadan dolayı briketlerde kırılmalar meydana geldiği ve istenilen kalınlıkta briketler elde edilememiştir.
- Deneylerde ısıtılma işlem süresinin belirlenmesinde 20, 40, 50, 60, 70, 80 dk olmak üzere 6 ayrı parametre kullanılmıştır. Isıtılma işlem süresini belirlerken yapılan çalışmalarda ısıtılma işlem süresi belli bir zamana kadar arttıkça briket dayanımı da artmış optimum değer olarak belirlenen 40 dk'dan sonra briket dayanımına etkisinde pek bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

- ü Suya dayanım deneylerinde numuneler olumlu sonuçlar vermiştir. Çalıştığımız son parametreler olan, %5 nem içeriği, %6 bağlayıcı miktarı, 40 dk ısıtıl işlem süresi ve 600 °C ısıtıl işlem sıcaklığı ve 30MPa presleme basıncında üretilen briket numuneleri suda 24 saatlik bekletme süresinde dağılma gözlemlenmemiştir.
- ü Sonuç olarak; yapılan deneysel çalışmalar sonucunda optimum deney sonuçları sırasıyla; ısıtıl işlem sıcaklığı 600 °C, ısıtıl işlem süresi 40 dk, presleme basıncı 30 MPa, %6 bağlayıcı miktarı ve %5 nem miktarı olarak belirlenmiştir.
- ü Meynerts ve ark (2013) yaptıkları çalışmada demir oksit içeren atık tufal ve haddehane tufali gibi atık maddeleri sıcak briketleme vasıtasıyla aglomera etmişlerdir. Bu çalışmada bağlayıcı olarak kağıt çamuru kullanılmış elde edilen sonuçlara göre 150 Mpa basınçta ve %20'lik bağlayıcıda iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- ü Bu çalışmayla kıyaslandığında, bu çalışmada elde edilen 30 Mpa presleme basıncı ve %6' lık bağlayıcı miktarının çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- ü Gündoğdu (2013) yaptığı çalışmada tufal ve konsantre cevheri karıştırmış, %40 tufal ve %60 konsantre cevher içeren karışımdan elde edilen peletlerin yaş ve kuru dayanım bakımından en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuştur.
- ü Bu bakımdan, laboratuvar ortamında kullanılan tufal numunesine bir miktar konsantre cevher karıştırılarak briketlerin dayanımına bakılabilir.
- ü Eisele ve ark.(2003) yaptıkları çalışmada demir oksit içeren ince boyuttaki malzemeleri aglomera ederken kullanılan bağlayıcıları incelemiştir.
- ü Bu çalışma göz önüne alınarak laboratuvar ortamında farklı bağlayıcı kombinasyonları ile briketler hazırlanarak, briketlerin davranışları incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Alan, S., 2014. Demir- Çelik Sektör Rapor. Ankara Demir ve Demir Dışı Metaller İhracatçıları Birliği, Türkiye, 7.
- Ayışkan, Ö., 1977. Demir-Çelik Endüstrisinde Yüksek Fırın Öncesi Materyal'in Hazırlanmasının Önemi.TMMOB Maden Mühendisleri Odası,Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5.Kongresi, Ankara, 3-19.
- Avşaroğlu, N., 2003. Potada Eriyen: Demir mi? Demir-Çelik Sektörü mü? TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi, (135): 1-13.
- Bayar, G., 2012. Evsel Isıtmada Kullanılan Neme Dayanıklı Yakıt Briketlerinin Hazırlanması, ÇÜ,121.
- Bilen, M., 2010. Çelikhane Cürufurlarından Liç-Karbonlaştırma Prosesi ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması. Adana, Türkiye, 1-15.
- Bilen, M., 2011.Yakıtlar ve Fırın Teknolojileri Doktora Ders Notları,25-29.
- Bilgiç, M., 2012. Demir& Karbon Tuğla Üretimi ve EAO'larda Kullanımı.< <http://www.ecosid.com.tr>> (Erişim Tarihi:Kasım 2016), 2-4.
- Boğdan, A, E., Cole, L, R., 1993. Revert Briquettes for Iron Making Blast Furnace. Patent No: 5,395,441, USA, 1-8.
- Cordier, J., A., 1965. "The Developing Blast Furnace". "Steelmaking: The Chipman Conference''. MIT Press, Cambridge, 203.
- Coşar, Ş., 2006. Demir Konsantrelerinin Peletlenmesinde Bor Minerallerinin ve Atıklarının Kullanımının Araştırılması. İTÜ, 22-29.
- Demir-Çelik Üretimi, 2016. <<http://muh.bartın.edu.tr>>, (Erişim Tarihi:18,08,2016), 30-40
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyon, Metal Madenler Alt Komisyonu Demir Çalışma Grubu Raporu. Ankara, 6-7.

- Dilsky, S., Tooge, C., Arias, M., Bartolini, N., Santos, A., Da, S., Speck, C., 2013. Binder Composition for Agglomeration of Fine Minerals and Pelletizing Process, Patent No: WO 2013010629 A1, 4-6.
- Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2014. Demir-Çelik Sektör Raporu.<www.dogaka.gov.tr>, (Erişim Tarihi:18,03,2016), 5-27.
- El-Hussiny, N, A., Mohamed, F, M., Shalabi, M, E, H., 2011. Recycling of Mill Scale in Sintering Process. Central Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI), Science of Sintering, 43, 21-22.
- Elliot, F, J., 1962. Steelmaking: The Chipman Conference. MIT, Massachusetts, USA, 26-27.
- Eisele, T, C., Kawatra, S, K., 2003. A Review of Binders in Iron Ore Pelletization, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. An International Journal, Michigan, USA, 90 s.
- Erten, H., 1967. Divirği Demir Cevheri Tozlarının Peletleme Yoluyla Aglomerasyonu. Madencilik Dergisi, (6:1), 10-15.
- Gündoğdu, N., 2013. Demir-Çelik Tesislerinde Açığa Çıkan Tufalden Demirin Geri Kazanımı. İTÜ, Türkiye, 1-129.
- Haley, D, G., 1979. Agglomeration of Steel Mill Wastes. Patent No: 4,369,062, U.S.Patent Office, 1-2.
- Hoffman, E, G., McClelland, M, J., 2001. Method of Producing a Metallized Briquette. Patent No: US 2001/0047699 A1, 1-5.
- Işıkgül, O., 2012. Tufalin Demir Cevheri Konsantresi İle Karıştırılarak Pelet Üretiminde Kullanılabilirliğin ve İndirgenebilirliğin İncelenmesi. İTÜ, Türkiye, 117.
- İsdemir,< www.isdemir.com.tr> ,(erişim tarihi:21,8,2016)
- Komarek, G., Chapman, J, W., 1952. Briquettes and Method of Making Same. Patent No: 2,582,386, U.S.Patent Office, 1-2
- Metu Library, 2014. Anonymous

- Mbele, P., 2012. Pelletizing of Sishen Concentrate. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 221-228
- Meynerts, U., Rocha, S, H, S, D., Maurer, M., 2013. Mill Scale Briquetting. Patent No: US 2013/0192421 A1, 1-2.
- Mumcu, Z., 2003. Demir Çelik Hurda Raporu. İstanbul Ticaret Odası, Dış Ticaret Şubesi, Türkiye, 15-39.
- Poveromo, J., 2006. Agglomeration Process-Pelletizing and Sintering. Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets and Uses, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1391-1392
- Sarıkaya, S., 2013. Demir Çelik Sanayi Sektör Raporu. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Türkiye, 5-12.
- Sivirkaya, O., 2011, Use Of Boron Compounds as Binders in Iron Ore Pelletization, METU, 1-18.
- Strange, R, R., 1983. Method Of Making Briquettes and Product. Patent No: 4,369,062, 1-6.
- Su, F., Lampinen, H-O., Robinson, R., 2003. Recycling of Sludge and Dust to the BOF Converter by Cold Bonded Pelletizing, 770-776.
- Şahan, A, M., 2006. Cem I 42,5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufunun Etkinliği. İTÜ, Türkiye, 6-7.
- Şahin, İ., 2015. Demir Çelik Sektör Raporu. İş Bankası, İktisadi Araştırmalar Bölümü, Türkiye, 4-44.
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2016. Türkiye Demir ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu < <https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar> > (Erişim tarihi: 26.10.2017), 39-40.
- Yıldız, K., 2012, Hammaddeler ve Ön İşlemler. Demir Çelik Metalurjisi, 16-26.
- Yıldız, N., 1990. Demir Cevherinin Peletlenmesi. Madencilik Dergisi, (1), 18-19.
- Docslide, < <http://documents.tips/documents/kimyasal-metalurji-oedeve.html> > (erişim tarihi: 6.02.2016)

Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013. Peletleme, Metalurji Laboratuvarı Deney Föyü <
<http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr>> (Erişim Tarihi: 06.08.2016)
Wienert, O, F., 1975. Production of Metallurgical Pellets in Rotary Kilns. Patent
No:3,894,865, 1-14.



ÖZGEÇMİŞ

Rahile İyidiker, 1986 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2013 yılında Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2017 yılında aynı üniversitede İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansa öğrenimine başladı.