

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ELAZIĞ BÖLGESİ KROMİT KONSANTRELERİNDEN FARKLI
BAĞLAYICILAR KULLANILARAK KOMPOZİT BRİKET
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ercan ÇAKIR

Yüksek Lisans Tezi

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Üretim Metalurjisi

HAZİRAN 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

**ELAZIĞ BÖLGESİ KROMİT KONSANTRELERİNDEN FARKLI
BAĞLAYICILAR KULLANILARAK KOMPOZİT BRİKET
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tez Yazarı
Ercan ÇAKIR

Danışman
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

HAZİRAN 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Elazığ Bölgesi Kromit Konsantrelerinden Farklı Bağlayıcılar Kullanılarak Kompozit Briket Üretiminin Araştırılması

Yazarı: Ercan ÇAKIR

İlk Teslim Tarihi: 03.05.2021

Savunma Tarihi: 21.06.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Tahsin BOYRAZ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Ali Kaya GÜR Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Elazığ Bölgesi Kromit Konsantrelerinden Farklı Bağlayıcılar Kullanılarak Kompozit Briket Üretiminin Araştırılması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

21.06.2021

Ercan ÇAKIR



ÖNSÖZ

Fırat Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Fakültesi'nde gerçekleştirilen bu Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında ile ülkemiz için önem teşkil eden ferrokrom üretiminde faydalı olabilecek soğukta sertleşen pelet ve kompozit pelet üretiminde ekonomik olarak kullanılabilir bağlayıcı türü ve oranının tespiti, kullanılan organik bağlayıcıların kromit peletlerinin mukavemeti üzerine etkilerinin araştırılması ve toz halindeki kok kömürünün kompozit pelet üretiminde kullanılarak kendiliğinden redüklenebilen kompozit peletlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle gelecekte yapılacak olan çalışmalara bir referans sunulması amaçlanmıştır.

Uzun soluklu tez çalışmam sırasında katkısını, değerli zamanını ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ ve bana her zaman destek olup ve tecrübelerini paylaşıp yönlendiren hocam Doç. Dr. Mustafa BOYRAZLI 'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, deneylerde kullanılan kromit cevheri, bağlayıcı ve kok temini ve gerekli bilgi paylaşımlarından dolayı Elazığ Eti Krom A.Ş. 'ye ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Bu uzun ve meşakkatli süreç boyunca, her zaman yanımda olup beni destekleyen, vazgeçmeyi düşündüğümde devam etmem için beni yüreklendiren, gülümsemesiyle, şefkatiyle her zaman içimi ısıtan eşim Zeynep ÇAKIR'a ve her ihtiyacımda yardımını esirgemeyen çok değerli ablam Yüksek Makine Mühendisi Meltem ÇAKIR'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Okumamı ve durmadan ilerlememi isteyen aileme ithafen biricik oğulları olarak benden bir hatıra sunarım.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen 'Elazığ Bölgesi Kromit Konsantrelerinden Farklı Bağlayıcılar Kullanılarak Kompozit Briket Üretiminin Araştırılması' başlıklı TEKF.19.13 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Ercan ÇAKIR
ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kromit Mineralinin Yapısı ve Özellikleri.....	4
2.2. Krom Mineralleri	6
2.3. Ürün Standartları	9
2.4. Kromun Kullanım Alanları.....	11
2.4.1. Krom Cevherinin Metalurji Sanayinde Kullanımı	12
2.4.2. Kimya Sanayisinde Kullanımı.....	13
2.4.3. Krom Cevherinin Refrakter Sanayinde Kullanımı	13
2.5. Kromun Teknolojileri ve Üretim Yöntemleri.....	13
2.6. Kromit Zenginleştirme	14
2.6.1. Triyaj (Elle Ayıklama, Tavuklama)	16
2.6.2. Özgül Ağırlık Farkından Yararlanarak Zenginleştirme.....	17
2.6.3. Flotasyon ile yapılan zenginleştirme işlemleri	18
3. TOPAKLAŞTIRMA İŞLEMLERİ	19
3.1. Biriketleme	19
3.2. Nodülleme	20
3.3. Sinterleme.....	21
3.4. Peletleme	22
3.4.1. Yaş Pelet Bağlantı Teorileri	22
3.4.2. Peletlerde Aranılan Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.....	24
3.4.3. Peletlerin Sertleştirilme Yöntemleri	25
3.4.4. Peletleme İşleminde Kullanılan Bağlayıcı Maddeler	26
4. SOĞUKTA SERTLEŞEN PELET ÜRETİMİ.....	27
4.1. Soğuk Bağlı Peletlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	27
4.2. Soğukta Sertleşen Pelet Üretimi İle İlgili Çalışmalar	27
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
5.1. Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri	30
5.2. Deneylerde Kullanılan Yöntem ve Kullanılan Cihazlar	32
6. DENEY SONUÇLARI.....	36
6.1. Pelet Üretimi ile İlgili Yapılan Deneysel Çalışmalar	36
6.1.1. Pirinç Nişastasının Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler	36
6.1.2. Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler	39
6.1.3. CMC'nin Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler.....	47

7. SONUÇLAR.....	55
ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Elazığ Bölgesi Kromit Konsantrelerinden Farklı Bağlayıcılar Kullanılarak Kompozit Briket Üretiminin Araştırılması

Ercan ÇAKIR

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri
Haziran 2021, Sayfa: xii + 61

Bu çalışmada, sünger demir üretiminde gerçekleştirilen pelet üretimine benzer bir şekilde kromit konsantresi kullanılarak, soğukta sertleşebilen pelet ve soğukta sertleşebilen kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde Elazığ Kovancılar ilçesinde bulunan ETİKROM 'dan temin edilen sarsıntılı masa konsantresi kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak, pirinç nişastası, melas, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve sodyum karboksimetil selüloz (CMC) kullanılmıştır. Ayrıca, kendinden redüklenebilen peletler üretebilmek için de cevherle aynı boyuta getirilen kok kömürü kullanılmıştır. Kromit cevherlerinden soğukta sertleşen kompozit pelet üretimi kapsamında, peletlemede kullanılan bağlayıcı cinsi, karışım içerisine ilave edilen bağlayıcı miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi özellikler optimize edilerek her bir bağlayıcı için en uygun parametreler belirlenmiştir. Pirinç nişastası ile soğukta sertleşebilen küresel pelet üretimi için yapılan çalışmalarda, farklı oranlarda pirinç nişastası ilave edilerek üretilen kromit cevheri peletlerinin kuru basma dayanımlarının, soğukta sertleşen pelet mukavemet standartlarına uymadığı görülmüştür. Diğer yandan, %2 CMC, %20 kok ve %4 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilave edilerek üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 90 dakika kurutulmaları sonucu elde edilen 725 N/Pelet mukavemet değeri soğukta sertleşebilen pelet standartlarının çok üzerinde bir değer olup, kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılacak vasıflara sahip olduğu ortaya konulmuştur. Melasla yapılan çalışmalar sonucu ise, (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltilisinden toplam malzemenin %10 u kadar alınıp ve %20 kok, %4 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve cevherden oluşan karışıma pelet yapım esnasında püskürtülmek koşuluyla, üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 120 dakika bekletilmeleri sonucu 611 N/Pelet kuru basma dayanımına, 15-19 ham pelet düşme sayısına sahip oldukları ve bu değerlerinde soğukta sertleşen pelet standartlarının üzerinde bir değer olduğu, kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılacak vasıflara sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kok kömürü, Kromit cevheri, Bağlayıcılar, Briketleme, Pelet.

ABSTRACT

Investigation of Composite Briquette Production Using Different Binders in Elazig Region Chromite Concentrates

Ercan ÇAKIR

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Metallurgical and Materials Engineering Technologies

June 2021, Pages: xii + 61

In this study, it is aimed to produce cold setting pellets and cold setting composite pellets by using chromite concentrate, similar to the pellet production in sponge iron production.

In the experiments, oscillating table concentrate obtained from ETI KROM Inc. in Kovancılar district in Elazig; rice starch, molasses, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and sodium carboxymethyl cellulose (CMC) as the binder were used. Besides, coke coal, which is arranged as the same size as the ore, was used to produce self-reducible pellets. Within the scope of cold setting composite pellet production from chromite ores, features of binder type used in pelleting, the amount of binder added into the mixture, drying temperature and time have been optimized, and the most suitable parameters for each binder have been determined.

In the studies conducted with rice starch to produce cold setting spherical pellets, it has been observed that the dry compressive strength of produced chromite ore pellets by adding different proportions of rice starch does not comply with the cold setting pellet strength standards. On the other hand, as a result of produced pellets by adding 2% CMC, 20% coke and 4% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and drying at 200 °C for 90 minutes, the pellet strength value of 725 N/pellet was obtained. This value is much higher than the cold setting pellet standards, and it might be stated that it has the qualities that can be used in palletisation of chromite ores and concentrates.

As a result of the pellet production with molasses studies, it is seen that using 10% of the total material of the molasses solution, which was prepared to be (Molasses / Water) ratio is (60/100) and sprayed it to the mixture consisting of 20% coke, 4% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and ore during the pellet production, the manufactured pellets gave 611 N / Pellet dry compression strength and 15-19 crude pellet falling numbers after drying 200 °C for 120 minutes. These values are above the cold hardening pellet standards, and therefore they have qualities that can be used in pelleting chromite ores and concentrates.

Keywords: Coke coal, Chromite ore, Binders, Briquetting, Pellet,

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Kromit minerali. 4
Şekil 2.2.	Kromitin spinel kristal yapısı 5
Şekil 2.3.	Türkiye’deki ana kromit yataklarının dağılımı. 9
Şekil 2.4.	Kromun Kullanım alanları. 12
Şekil 2.5.	Açık işletme yapılan bir krom ocağı. 14
Şekil 2.6.	Flotasyon hücresi 18
Şekil 3.1.	Briketleme cihazı ve üretilen briketler 20
Şekil 3.2.	Sinterleme işleminde kullanılan ızgara, üretilen sinter ve sinterleme işlemine beslenen malzemelerle birlikte temsili görüntü 21
Şekil 3.3.	(a) Peletleme diski, (b) Üretilmiş yaş petlerin görüntüsü..... 23
Şekil 3.4.	Pelet oluşum mekanizması..... 24
Şekil 5.1.	CMC molekül zinciri. 31
Şekil 5.2.	Labaratuvar ölçekli peletleme diski 32
Şekil 5.3.	Pelet oluşum aşamaları ve elde edilen peletlerin görünümü 33
Şekil 5.4.	Peletlerin kurutulduğu sirkülasyonlu etüv 34
Şekil 5.5.	Peletlerin kuru mukavemetlerini ölçmek için kullanılan pelet mukavemeti ölçüm cihazı..... 35
Şekil 6.1.	%2,5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve kurutma süresine bağlı pelet mukavemeti değişimi. (N/Pelet=Newton/Pelet) 37
Şekil 6.2.	%5 pirinç nişastası ilave edilen kromit cevheri peletlerinin kurutma işlemi sonrası mukavemet diyagramları. (N/Pelet =Newton/Pelet) 38
Şekil 6.3.	Melasın TG/DTA analizi (a) ve analiz sonrası görüntüsü (b)..... 39
Şekil 6.4.	(Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %5’i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim. 41
Şekil 6.5.	(Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10’u kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim. 42
Şekil 6.6.	(Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %15’i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim. 43
Şekil 6.7.	Konsantre içerisine farklı oranlarda ilave edilen kok kömürünün pelet mukavemetine etkisi ((Melas/Su=0,6) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10’i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletler T=200°C, t=120 dakika)..... 44

Şekil 6.8.	İlave edilen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oranına göre değişen mukavemet değerleri((Melas/Su=0,6, Kok/ Σ Malzeme =0,2, T=200°C, t=120 dakika, Hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'ı kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletler)	46
Şekil 6.9.	Karboksimetil selülozun moleküler yapısı.....	48
Şekil 6.10.	%0,5 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	49
Şekil 6.11.	%1 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	50
Şekil 6.12.	%2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	52
Şekil 6.13.	% 2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.....	53
Şekil 6.14.	% 2 CMC, %20 kok ve farklı oranlarda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	54



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Başlıca krom cevheri mineralleri ve özellikleri.	6
Tablo 2.2. Kromitin yantaşları.	6
Tablo 2.3. Dünya krom üreticisi ülkeler.	7
Tablo 2.4. 2002 ve 2016 yılları Dünya kromit cevheri ve konsantre üretimi (ton/yıl).....	8
Tablo 2.5. Metalurji sanayisinde talep edilen kromun bileşim özellikleri.	9
Tablo 2.6. Metalurji sektöründe kullanılan kromitin ticari ölçüde aranan özellikleri.	10
Tablo 2.7. Refrakter sanayinde aranan krom konsantresinin özellikleri.	10
Tablo 2.8. Kimya sanayinde istenen kromun konsantre haldeki özellikleri.....	11
Tablo 2.9. Ülkemizde çıkarılan krom cevherlerinin özellikleri ve kullanıldığı alanlar.....	13
Tablo 2.10. Cevher hazırlama ve zenginleştirme proseslerinin sınıflandırması.....	15
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan kok kömürü analizi	31
Tablo 6.1. % 2,5 pirinç nişastası ilave edilerek üretilen peletlerin süre ve sıcaklığa bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	37
Tablo 6.2. %2,5 pirinç nişastası ilave edilerek üretilen peletlerin süre ve sıcaklığa bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	38
Tablo 6.3. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %5'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	40
Tablo 6.4. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerleri.	41
Tablo 6.5. Tablo 6.4. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %15'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerleri.	43
Tablo 6.6. Farklı oranlarda ilave kok edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	44
Tablo 6.7. Farklı oranlarda Ca(OH) ₂ ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerlerindeki değişim.	45
Tablo 6.8. %0,5 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri....	49
Tablo 6.9. % 1 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.....	50
Tablo 6.10. % 2 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.,.....	51
Tablo 6.11. % 2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.	52
Tablo 6.12. % 2 CMC, %20 kok ve farklı oranlarda Ca(OH) ₂ ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k	: Konsantrasyon kriteri
kg/Pelet	: Kilogram Pelet
N/Pelet	: Newton Pelet
ρ_A	: Ağır minerallerin özgül ağırlığı gr/cm^3
ρ_H	: Hafif minerallerin özgül ağırlığı gr/cm^3
ρ	: Akışkan ortamın özgül ağırlığı gr/cm^3

Kısaltmalar

MCA	: Monoklor Asetikasit
SMCA	: Sodyum Monoklor Asetat
TG/DTA	: Termogravimetrik ve Diferansiyel Termal Analiz Cihazı
CMC	: Sodyum Karboksimetil Selüloz
MGS	: Multi Gravity Seperator
AOD	: Argon, Oksijen, Dekarbürizasyon

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Metalik cevherler grubunda yer alan krom, özellikle metalurji, kimya, refrakter ve döküm sanayilerinin ana ham maddesidir. Krom, atmosfer korozyonuna, kimyasal etkileşimlere, aşınmaya karşı dayanıklı ve sert bir metal olması sebebiyle sanayinin çeşitli alanlarında özellikle metalürji, kimya, döküm ve silah sanayisinde başlıca ham madde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kromit cevher kaynaklarına sahip olan ülkeler, kaynaklarının büyük bir kısmını ferrokrom ve paslanmaz çelik üretiminde değerlendirmektedirler. Bu strateji, dünya çapında krom üretiminde genel olarak benimsenmiştir. Fakat, Türkiye, Arnavutluk ve Kazakistan, paslanmaz çelik sanayilerinin yeterince gelişmemiş olması sebebiyle bu stratejiden bağımsız olan plansız ticari yaklaşım benimsenmektedir [1]. Bu konuda acilen devlet yetkililerinin, sanayi ve üniversite iş birliğine dayalı olarak çözümler üretmesi gerekmektedir.

Avşaroğlu [1] tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye 25 milyon tonluk cevher rezervi ve %6'lık üretim oranı ile dünya kromit pazarında önemli bir yere sahiptir ve ülkemizin hali hazırda 2,000,000 ton/yıl tüvenan krom cevheri ile 160,000 ton/yıl ferrokrom üretim kapasitesi olduğu bilinmektedir. Başlıca krom maden yataklarımız Elazığ-Guleman, Erzincan-Kopdağ, Köyceğiz-Fethiye, Muğla, Eskişehir, Karsantı-Pozantı- Adana, Harmancık, Orhaneli-Bursa ve Pınarbaşı-Kayseri' de yer almaktadır.

2001 yılında 24 milyon USD gelir elde edilen krom ihracatımız, 2018 yılına gelindiğinde %12 'inin üzerinde bir artış göstererek yaklaşık 307 milyon USD' ye ulaşmıştır. Krom ihracatı yaptığımız en büyük pazarlar: Çin, Rusya, Norveç, Ukrayna ve Slovakya iken, ferrokrom ihracında katkı payı en yüksek olan pazarlar ABD, Hollanda ve Belçika olmuştur [1].

Ülkemiz krom rezervlerinin büyük çoğunluğunun sahip olduğu Alpin tipi Türk kromitleri, dünya çapında metalürjik niteliği yüksek kaliteli cevherler olarak kabul edilmektedirler. Kullanıldığı alanlarda başka alternatiflerinin olmaması nedeniyle Alpin tipi kromit ve ferrokromu, Amerika, Japonya ve çoğu Avrupa ülkelerinde içinde bulunduğu gelişmiş ülkeler tarafından stratejik bir malzeme kaynağı olarak adlandırılmaktadırlar. Bu nedenle bu ülkeler, ferrokrom ve paslanmaz çelik üretiminde cevherlerin katma değerlerini artırmaya yönelik stratejilerini geçmişten günümüze yenilemekte, geliştirmekte ve uygulamaktadırlar. Ülkemizde ise, krom üretimi ile ilgili ilk resmi adım, Antalya' da 1958' de kurulan düşük karbonlu ferrokrom kapasiteli tesis ile atılmıştır. Bu tesis, günümüzde varlığını korumakta olup 10.000 ton/yıl kapasitesiyle ferrokrom üretmeye devam etmektedir. İlerleyen zamanlarda, önce 1977 yılında Elazığ' da 100.000 ton/yıl kapasiteli yüksek karbonlu ferrokrom tesisi ve sonrasında 1984 yılında faaliyete başlayarak kimyasal kaliteli kromit cevheri üreten özel sektöre bağlı Mersin Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası kurulmuştur [1].

Dünya genelinde krom cevherlerinin %90'lık gibi büyük bir kısmı, ferrokrom üretiminde kullanılır, aynı zamanda bu üretilen ferrokromun ise yaklaşık olarak %90'ı paslanmaz çelik üretiminde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, paslanmaz çelik üretiminde meydana gelebilecek arz-talep dengesinin, krom cevheri ve ferrokrom üretimini ve bunların piyasa/ pazar payını etkileyeceği kaçınılmaz bir gerçektir [1].

Buna örnek olarak, 2002 yılında ferrokrom fiyatlarının tarihteki en düşük seviyeye indiği halde üretim maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle, yüksek karbonlu ferrokrom üretiminin bir süreliğine durdurulması verilebilir. Hatta, 2001 yılında dünya ferrokrom ihtiyacının %52'sini karşılayan Güney Afrika' da %70 oranında devalüasyon olması sonucunda, ferrokrom üretiminin düşürerek, paslanmaz çelik üretiminde dünya çapında % 3.2 oranında bir küçülme yaşanmasına neden olmuştur. Bu durum, ABD' de dahil olmak üzere azalan pazar kapasitesi ve üretim oranı ile dünya genelinde ferrokrom üretimi ve krom ihracatında büyük bir düşüş yaşanmasına neden olmuştur [1].

Krom cevheri, ferrokrom ve paslanmaz çelik üretimi dışında, refrakter sanayisinde yılda 15.000 ton, döküm sanayisinde ise yılda 1000 ton oranlarında tüketilmektedir [1].

Metalürji endüstrisinde kullanılacak kalitedeki krom cevheri rezervlerinin giderek azalması nedeniyle, ince boyutlu ve düşük tenörlü kromit cevherlerinin ya da bu cevherlerin zenginleştirilmesi ile elde edilecek küçük boyutlu konsantrelerin ferrokrom tesislerinde kullanılabilmesi için briketleme, sinterleme ya da peletleme yapılarak aglomera edilmeleri gerekmektedir.

Elazığ bölgesi kromit cevherlerinden ferrokrom üretimi için, cevher yeterli tenörde ise, uygun boyuta parçalanıp, direkt olarak elektrik ark ocaklarına beslenmektedir. Kromit tenörü uygun olmayan cevherler, kırma, öğütme ve zenginleştirme işlemini müteakip, briketleme tesislerine beslenerek topaklaştırma işlemlerine tabi tutulup, daha sonra fırınlara beslenmektedir. Mevcut durumda bağlayıcı olarak portland çimentosu kullanılmaktadır. Portland çimentosu kullanıldığı çalışmalarda belirli bir süre (ortalama 4-21 gün arasında) kürlenmesi gerekmektedir. Bu bekleme süresi dolmadan alınıp fırınlara beslenen briketler, fırın içerisinde malzeme kaybı, fırın hacminin verimli kullanılmaması, ısı kayıplarının olması gibi problemlere yol açabilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Elazığ bölgesinde faaliyet gösteren Eti Krom tesislerindeki sarsıntılı masa konsantrelerinin peletlenmesi işlemlerinde ekonomik olarak kullanılacak bağlayıcı türü ve oranının tespiti yapılacaktır. Mevcut sistemde, briketleme işlemleri yapılmakta, Briketlemede ise inorganik bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan inorganik bağlayıcılar yerine, kullanılacak organik bağlayıcıların kromit peletlerinin mukavemeti üzerine etkilerinin araştırılması, ayrıca Elazığ-Ferrokrom tesislerinde bulunan toz haldeki kokun kompozit pelet üretiminde kullanılarak kendiliğinden redüklenebilen kompozit peletlerin üretilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla tezde, önce kromit cevherleri hakkında genel bir bilgi verilmiş olup, sonraki bölümlerde kromit cevherlerinin zenginleştirilmesi yöntemleri, bu konuda yapılmış olan literatür çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Son bölümde ise kromit konsantresinin farklı bağlayıcılar kullanılarak peletlenmesi ve n redüksiyon işlemleri için hazır hale getirilmesine çalışılmıştır.

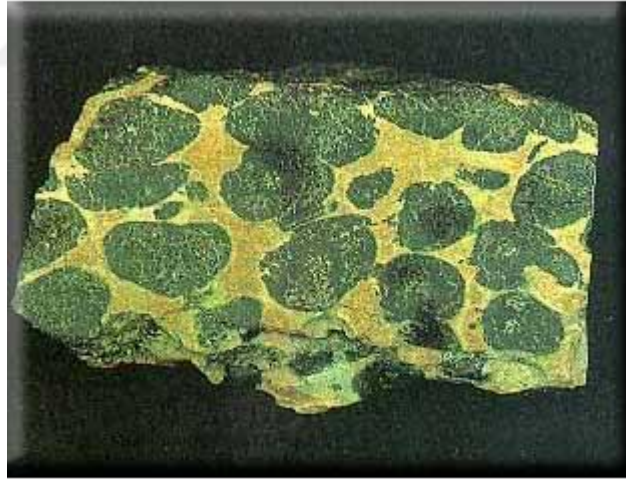


2. GENEL BİLGİLER

Kromit cevheri, siyah renğinde yarı metal parlaklığında olan bir mineraldir. Kübik kristal yapısına sahip olması, kahverengi çizgilere içinde barındırması ve doğada farklı bulunma koşulları sebebi ile diğer cevherlerden ayırt edilmesi mümkündür. Kromit'in ergime noktası 1890°C, kaynama sıcaklığı 2480 °C (Şekil 2.1) [7].

Kromit minerali 1797 yılında, Alman Martin H. Klaprath tarafından Sibirya'da kurşun cevheri içinde krokoit mineralinin ($PdCrO_4$) bulunmasıyla saptanmıştır. Bir yıl sonra Vauquelin kırmızı renkli CrO_3 'den, kömür ile yüksek sıcaklıkta redüksiyon sonucunda yeni bir metal elde ettiğini açıklamıştır. Aynı yıllarda Emerald'da bulunan yeşil renkli madenin yeni bulunan bu krom içeriğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. İlk kromit örnekleri ise 1798 yılında Rusya'da J.T. Lowitz tarafından bulunmuştur [2,3].

1799 yılında Urallar'da mineralojik anlamda ilk kromit bulunmuştur. 19. yüzyıl başlarında sadece refrakter hammadde olarak kullanılan kromit ancak aynı yüzyılın sonlarında, çelik üretimi ile başlayan, metalurjide kullanım alanı bulmuştur. Kromit, Türkiye'de ilk kez 1848 yılında Jeolog Lawrence Smith tarafından Bursa Harmancıkta bulunmuş ve işletilmesine 1850'li yıllarda başlanmıştır [4-6].



Şekil 2.1. Kromit minerali [7].

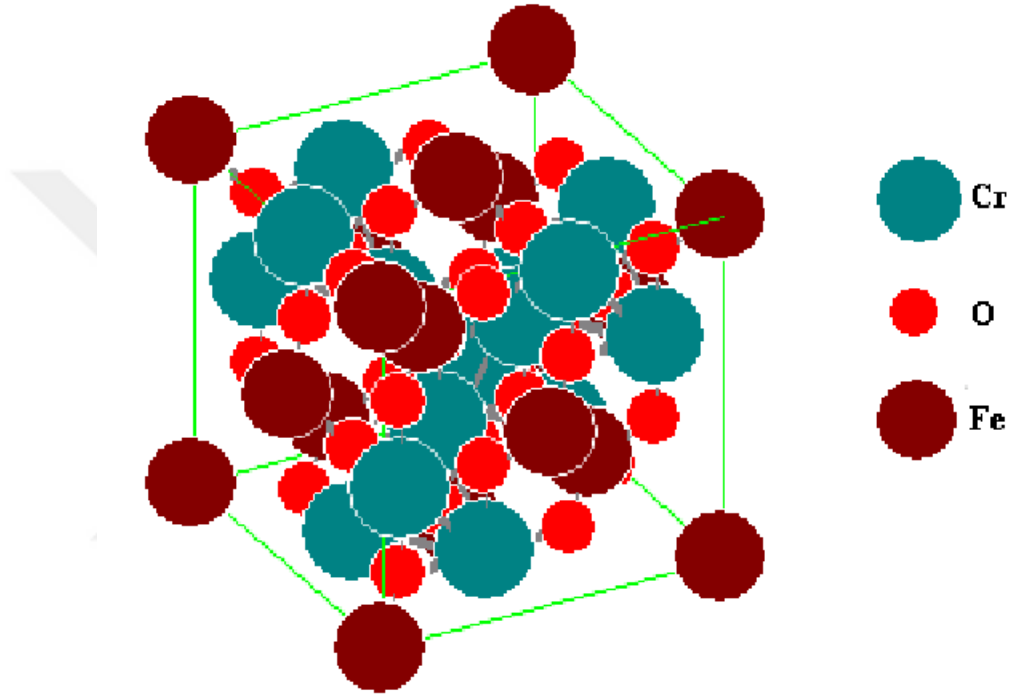
2.1. Kromit Mineralinin Yapısı ve Özellikleri

Kromit cevheri bünyesinde Co, Mg, Mn, Ni, Ti ve Zn elementlerine rastlamak mümkündür. Ancak, cevherde Mg olması durumunda, cevherin tenör değeri %40 oranında düşmektedir [2,8].

Dünya genelinde, yaklaşık 50 adet krom minerali tespit edildiği halde, bunlar içinden sadece kromit ekonomik olarak değer taşımaktadır [9].

Krom metali üretiminde, öncelikle cevher katıksız krom okside çevrilir; sonrasında bu krom oksidin, Al veya Si ile karıştırılarak bir fırında ısıtılması sağlanır. Termit işlemi olarak bilinen bu yöntem sonunda ergimiş halde krom elde edilmiş olur. Diğer yandan, krom ikinci bir metot ile elektrolizle üretim yöntemiyle de üretilebilir. Elektroliz ile üretim yöntemi krom cevheri ve sodyum kromatın ısıtılıp karıştırmak koşulu ile elektrik akımına maruz kalması sonucunda üretilir. [9].

Kromit bir spinel minerali olup $X^{+2}O Y_2^{+3}O_3$ genel formülü ile gösterilir. Buradaki X kationu Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} ve çok seyrek olarak da Zr^{+2} , Ni^{+3} 'den biriyle temsil edilebilir (Şekil 2.2). Y kationunu ise başta Cr^{+3} olmak üzere Al^{+3} , Fe^{+3} gibi iyonlar oluşturur.



Şekil 2.2. Kromitin spinel kristal yapısı [11].

Kromit mineralinin, özgül Ağırlığı: 4.1 4.9 gr/cm^3 , sertliği: 5.5, rengi: parlak siyah ve çizgi rengi: kahverengidir [7].

Krom cevherinin içerisindeki bazı kimyasal bileşimler sanayide hangi alanda kullanılacağını bildirmektedir. SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 oranları Cr/Fe kimyasal analizlerinde belirleyici rol almaktadır. Kromit minerali yer yüzünde en fazla % 68 Cr_2O_3 içeriği bulundurmaktadır. Sanayide krom cevherinin kullanım durumuna göre bazı fiziksel ve kimyasal kısıtlamalar mevcuttur. Bu kısıtlamalar teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha esnek bir hal almakla birlikte krom cevherinin metalürjisi sanayisinde de yer almasına neden olmuştur [10].

2.2. Krom Mineralleri

Krom elementi içeren ancak ekonomik olarak önem taşıyan tek mineral kromittir. Tablo 2.1’de kromit ve diğer krom cevher minerallerine ait özellikler verilmiştir.

Gang mineralleri kromitte % 5 – 25 civarı değişkenlik göstermektedir. Sıcaklığa olan direnci ise yan taşlarının oranı ve cinsine bağlı olarak değişmektedir. Redükleme ve oksidasyondan ötürü saf kromitte ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) yüksek oranda ergime meydana gelmeden parçalanma görülmektedir. [12]. Tablo 2.2’de kromit yanında en sık rastlanan yan taşları Tablo 2.3’de ise Dünya krom üreticisi ülkeler verilmiştir.

Tablo 2.1. Başlıca krom cevheri mineralleri ve özellikleri [13].

Mineral Adı	Cr_2O_3 (%)	Kristal Sistemi	Renk	Çizgi Rengi	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm^3)
Kromit	68	Kübik	Gri - Kahve	Koyu Kahve	5,5	4,1 – 4,9
Uvarovit	30,6	Kübik	Zümrüt Yeşili	-	7,5	3,4 – 3,5
Crocoit	30,1	Monoklinik	Sarı -Kırmızı	Turuncu	2,5 -3	5,9 – 6,1
Daubrejite	53,1	-	-	-	-	-
Dietzeite	15,3	Monoklinik	Altın sarısı	-	3 -4	3,7
Phoeni cochoite	17,5	Ortorombik	Sarı -Kırmızı	Tuğla kırmızısı	3	5,7
Belitle	17,3	Hexagonal	Sarı Turuncu	-	2,5	5,5
Kemererit	-	-	Kırmızı Pembe	-	-	-

Tablo 2.2. Kromitin yantaşları [13].

Kromit Yantaşları	Kimyasal Formülü	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm^3)
Serpantin	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3 -4	2,6
Olivin	$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	7	3,2 – 4
Kloritler	$5(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	-
Feldspatlar	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	-	-
Proksen Diopsit	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	-	-
Enstatit	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-
Bronzit	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	-	-

Tablo 2.3. Dünya krom üreticisi ülkeler [10].

Avrupa	Finlandiya, Yunanistan, Yugoslavya, Slovenya, Makedonya, Hırvatistan
Afrika	Mısır, Madagaskar, Güney Afrika Sudan, Zimbabve
Asya	Kıbrıs, Hindistan, İran, Japonya, Pakistan, Filipinler, Tayland, Myamar, Umman
Amerika	Arjantin, Brezilya, Kolombiya
Okyanusya	Avustralya, Yeni Kaledonya
Diğer Ülkeler	Arnavutluk, Kazakistan, Rusya Vietnam, Küba

Türkiye'de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin ultrabazik kayalar içinde ülke geneline yayılmış durumdadır. Türkiye'de 800 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri olduğu bilinmektedir.

Coğrafi yönden krom yataklarının dağılımını 6 bölgede toplamak mümkündür. Bunlar önem sırasına göre şöyle verilebilir:

- a) Guleman (Elazığ) yöresi
- b) Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- c) Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
- d) Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
- e) Erzincan-Kop dağı yöresi
- f) İskenderun-Kahramanmaraş yöresi

Krom cevherinin bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir yere sahip hale gelmiştir. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da, genellikle 3. ve 6.sıralar arasındaki yerini devamlı korumuştur [10]. Tablo 2.4' de Dünya kromit üreticisi ülkelerin 2002-2016 yılları verileriyle ortalama üretim rakamları verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin üretimi 2002 yılında 313.637 ton/yıl değerindeyken, 2016 yılında 1.161.210 ton/yıl değerine yükselmiştir.

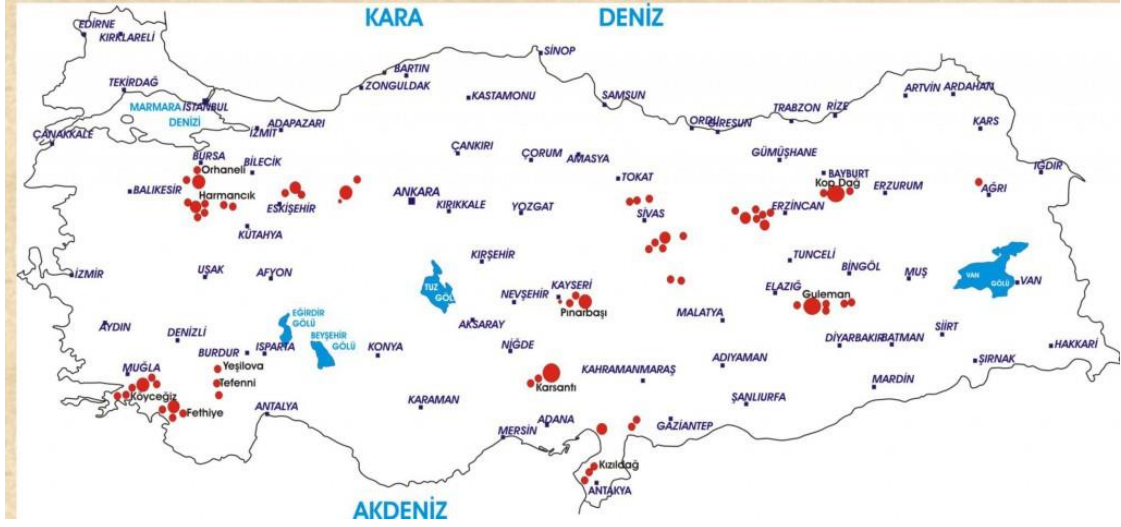
Tablo 2.4. 2002 ve 2016 yılları Dünya kromit cevheri ve konsantre üretimi (ton/yıl) [14]

Ülke	2002	2016
G. Afrika	6.372.739	15907023
Kazakistan	2.349.640	4.111.657
Hindistan	2.698.577	3.945.786
Türkiye	313.637	1.161.210
Finlandiya	566.090	1.070.214
Brezilya	279.684	457.334
Diğerleri	797.024	1.655.203
TOPLAM	14.111.402	29.015.646

Türkiye’de krom cevheri üretim süreci boyunca bu zamana kadar 45 milyon ton olarak tespit edilmektedir. Geçmiş olduğumuz 25 yılın ortalaması olarak yılda 1 milyon ton olarak krom üretimi gerçekleşmiştir. Türkiye’de krom pazarı fiyat dünya krom pazar durumu açısından düşünüldüğünde artma ve azalmalar göstermek ile birlikte 5 yıllık periyotlarla bir inişler çıkışlar söz konusu olmuştur.

Türkiye’deki krom yataklarının dağılımı Şekil 2.3’deki Türkiye haritasında verilmiştir. Türkiye’deki krom yatakları ilksel oluşumlarından kaynaklanan düzensizliklerinin yanı sıra sonradan maruz kaldıkları tektonik hareketler sonucunda oldukça karmaşık ilişkiler sergileyen yapılar kazanmışlardır. Genelde kromitit kütlelerinin gidişi ile içinde buldukları peridotitin içyapısı arasında bir ilişki söz konusudur. Türkiye’de, belirli bir miktarda üretim gerçekleştirildikten sonra çeşitli nedenlerle (rezervin tükenmesi, göçük, tenör düşüklüğü, ocağın derinleşmesi, vb.) terkedilmiş çok sayıda krom ocağı bulunmaktadır. Geçmiş yıllarda Türkiye krom madenciliği, büyük oranda yatakların yüzeye yakın sığ kısımlarının işletilebildiği “yüzey madenciliği” şeklinde kalmıştır [10].

Krom cevherinin kimyasal bileşimini, kromit mineralinin kimyasal bileşimi ile kromitin içinde bulunduğu ve genelde olivin, piroksen ve serpantin minerallerinden oluşan gangın kimyasal bileşimi kontrol etmektedir. Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranına sahip krom cevherlerinin nispeten daha düşük kalitede ferrokrom (yüksek karbonlu ferrokrom) üretilmesinde kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Metalurji sanayinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.5 ve Tablo 2.6’ da özetlenmiştir.



Şekil 2.3. Türkiye’deki ana kromit yataklarının dağılımı [15].

2.3. Ürün Standartları

Krom cevherleri ticari olarak yalnızca Cr_2O_3 içeriklerine bakılarak sınıflandırılabilir gibi, kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak da sınıflandırılabilir. Sadece Cr_2O_3 içeriklerine bakıldığında; birinci, ikinci ve üçüncü kalite şeklinde sınıflandırılırlar.

- Cr_2O_3 içeriği %40'dan az olanlar (3. kalite),
- Cr_2O_3 içeriği %40-46 arasında olanlar (2. kalite),
- Cr_2O_3 içeriği %46'dan fazla olanlar (1. kalite)

Element içerikleri dikkate alınarak kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerine göre metalurji, kimya, refrakter ve döküm endüstrilerinde kullanıma uygun cevherler diye ayrıca sınıflandırılırlar.

Tablo 2.5. Metalurji sanayisinde talep edilen kromun bileşim özellikleri [10].

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler
Cr_2O_3	%46 -48	Tane Boyutu; 0-2 mm
SiO_2	%6 – 8	
Al_2O_3	%8 – 15	
MgO	%15 – 20	
CaO	%0,5 – 2	
Cr/Fe	2,6 -3 / 1	

Tablo 2.6. Metalurji sektöründe kullanılan kromitin ticari ölçüde aranan özellikleri [10].

Kimyasal özellikler	Fiziksel özellikler
Cr ₂ O ₃ %34 - 48	Parça boyu; 0-300 mm
SiO ₂ %8 - 12	
Al ₂ O ₃ %8 - 15	Toz (-25 mm), en fazla %25
MgO %16 – 22	
CaO %0,5 – 1	
P+S eser	
Cr/Fe 2 -3 / 1	

Karbon oranı düşük ferrokrom üretiminde istenilen Cr₂O₃ tenör oranı % 46 ve Cr/Fe oranının ise 3/1 oranda olması koşulu istenmektedir. Briketleme ve peletleme yöntemlerinin krom üretiminde faaliyet göstermesi ve plazma teknolojisi ile birlikte krom cevherlerinden ferrokrom üretimi mümkün olmuştur.

Refrakter sanayinde krom cevherinin Cr₂O₃ tenörünün % 30-40 arasında, Al₂O₃ içeriğinin % 25-32, Cr₂O₃ ve Al₂O₃ içerikleri toplamının (Cr₂O₃ +Al₂O₃) %60, SiO₂ oranının ise %10'un altında olması istenir. Eleme ve kırma yöntemleriyle farklı boyutlara indirilen krom cevheri manyezit ile birlikte karıştırılarak krom manyezit tuğlaları meydana getirirler.

Kromitteki SiO₂ oranı % 3 civarının altında bir değer olması koşuluyla tek başına refrakter malzeme olarak kullanılabilir. Refrakter sanayinde aranan krom konsantresinin özellikleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Refrakter sanayinde aranan krom konsantresinin özellikleri [10].

Parça Refrakter	Cr ₂ O ₃ % 48 (min.)
	SiO ₂ % 4 (maks.)
	0 - 300 mm boyut
	(10 mm altı) %10-15
Konsantre Refrakter	Cr ₂ O ₃ % 50 (min.)
	SiO ₂ % 2 (maks.)
	0.5 - 4 mm boyut

Cr₂O₃ içeriği %42 veya daha fazla ve Cr/Fe oranı 2'nin altında olan toz ve kırılğan cevherler kimya endüstrisinin tanınmış krom cevheri olarak bilinirler. Kimya sanayinde kullanılan krom konsantresinde ticari anlamda aranan özellikler Tablo 2.8. özetlenmiştir [10].

Tablo 2.8. Kimya sanayinde istenen kromun konsantre haldeki özellikleri [7].

Cr ₂ O ₃	%48 (baz)
SiO ₂	%6-7 (tipik)
Cr/Fe	3/1 (tipik)
0-20 mm boyut	

Türkiye’de yüksek tenörlü krom yataklarının azalması neticesinde düşük tenörlü yeni krom yatakları arayışına gidilmekle birlikte işlenebilmesi ve pazar koşullarının da elverişli olması sebebiyle düşük tenörlü krom yatakları işletmeleri artış göstermektedir.

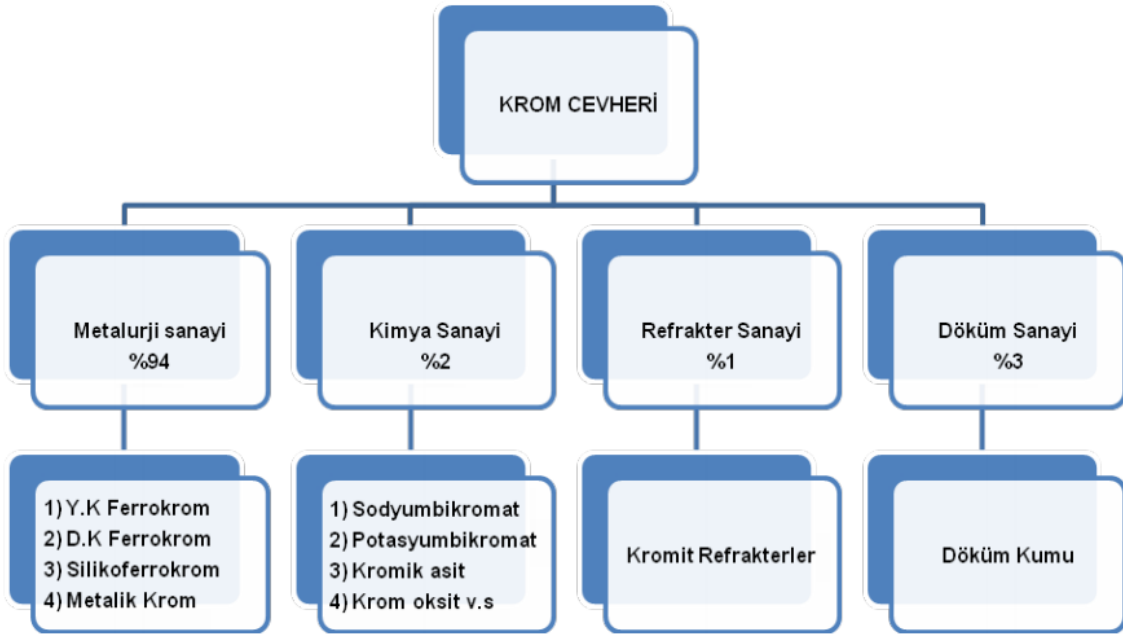
Düşük tenör oranına sahip kromit cevherleri kırılıp öğütüldükten sonra zenginleştirilip ya doğrudan pazarlanmakta ya da aglomera edilerek ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır [10].

Döküm malzeme üretiminde kum olarak da kullanılabilen krom cevherinin Cr₂O₃ oranı en düşük % 44, SiO₂ oranı en fazla % 4, Fe₂O₃ oranı en çok % 26 ve CaO oranı en fazla % 5 olmalıdır. Belirtilen kimyasal özelliklerinin yanında krom cevheri fiziksel olarak tane boyu homojen ve köşeleri olmayan düzgün tane şekilli olmalıdır [9].

2.4. Kromun Kullanım Alanları

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO₂, Cr₂O₃, Al₂O₃ % miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr₂O₃ içeriği % 68'dir. Sıcaklığa karşı dayanıklı olan kromit cevheri refrakter tuğla yapımında da kullanılmaktadır. Krom çoğu aşınma türlerine karşı son derece direnç göstermektedir. Ayrıca koruyucu ve dekoratif olarak kaplama yapımında kullanılmaktadır. Kromun manyetitten ayırt edilebilmesi durumunda da zayıf bir manyetik mineral olması özelliğinden ön plana çıkmaktadır.

Krom cevheri döküm, refrakter, kimya ve metalurji sanayinde kullanılır. Şekil.2.4’de Kromun kullanım alanları verilmektedir.



Şekil 2.4. Kromun Kullanım alanları [16].

2.4.1. Krom Cevherinin Metalurji Sanayinde Kullanımı

Krom cevheri ilgili sektörler içerisinde en çok metalurji sanayinde kullanılmaktadır. Kromun parçalı cevher olarak kullanımı tercih edilse de konsantre halde krom tozları olarak da kullanılmaktadır [17].

Krom cevheri bu sektörde paslanmaz çelik olan ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır. Metal sanayi ve silah sanayinde paslanmaz çelik olarak kullanılan ferrokromun çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Ferrokromu önemli yapan özellikleri aşınmaya ve paslanmaya karşı dirençli olması ile birlikte darbe ve kırılmalara karşı da mukavemet göstermesidir [10].

Üretilen ferrokromdaki Cr/Fe oranı ve Cr tenörünün artmasıyla Cr yüzdesi artış göstermektedir [13].

Ferrokrom; krom ve demirden meydana gelmiş bir alaşım olup, az miktarda karbon ve silisyum gibi elementler de içermektedir. Ferrokrom içerisindeki karbon durumuna göre 3 grupta toplanmaktadır [9];

Düşük karbonlu ferrokrom	>	% 0,02-0.5 C
Orta karbonlu ferrokrom	>	% 0,50- 4 C
Yüksek karbonlu ferrokrom	>	% 4- 8 C

Metalurji sanayinde krom malzemesi; ferrokrom, ferro-siliko-krom, krom bileşikleri, diğer krom alaşımları ve krom metali şeklinde üretilip tüketilmektedir [10].

2.4.2. Kimya Sanayisinde Kullanımı

Kromit konsantrelerinin kimya sanayinde ince tanelerde ve yüksek Cr_2O_3 tenörlü olması, Al_2O_3 ve SiO_2 tenörlerinin de en az seviyede olması istenir. Kimya sanayinde kullanılan krom konsantresinde % 48 Cr_2O_3 , % 6-7 SiO_2 (Cr/Fe) oranı 3/1 ve 0-20 mm boyutlu olması istenir[15,18].

Krom kimya sanayinde; organik maddelerin oksidasyonu, sabunların ve mumların ağartılması, tekstil ürünlerinin boyanması, farklı renklerde pigment elde edilmesi vb. birçok alanda kullanılmaktadır [8].

2.4.3. Krom Cevherinin Refrakter Sanayinde Kullanımı

Yüksek fırınlarda çelik üretiminde krom cevheri refrakter malzeme olarak kullanılmaktadır. Refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin Cr_2O_3 tenörünün %30-40 arasında, Al_2O_3 oranının %25-32 ve $Cr_2O_3+Al_2O_3$ içerikleri toplamının %60, SiO_2 oranının ise %10'un altında olması istenir. Kromun savunma sanayinde kullanım görmesi onu önemli stratejik bir element haline getirmektedir. Kromun farklı alaşımları mermi, denizaltı, uçak, silahla ilgili sistemlerde kullanılmaktadır (Tablo 2.9) [15,19].

Tablo 2.9. Ülkemizde çıkarılan krom cevherlerinin özellikleri ve kullanıldığı alanlar [10].

Cevher Türleri	Cr_2O_3 (%)	Cr/Fe	Boyut
Metalurjik parça	34-40	(min.) 2.5/1	0-300 mm
Metalurjik parça	40 veya üstü	(min.) 2/1	0-300 mm
Metalurjik konsantre	46-48	(min.) 2.6/1	0-2 mm
Metalurjik Jig ürünü	36 ve üstü	(min.) 2.5/1	0-25 mm
Kimyasal konsantre	40 ve üstü	(min.) 1.5/1	0-2 mm
Refrakter parça	(min.) %48 Cr_2O_3 , (maks.) % 4 SiO_2		
Refrakter parça	$Cr_2O_3+ Al_2O_3 = % 60$ (maks.), (en fazla) %4 SiO_2		
Refrakter konsantre	(min.) %50 Cr_2O_3 , (maks.) %2 SiO_2		
Döküm kumu	Cr_2O_3 (min.) %44, SiO_2 (maks.) %4, Fe_2O_3 (maks.) %26, CaO (maks.) %0,5		

2.5. Kromun Teknolojileri ve Üretim Yöntemleri

1950'li yıllara kadar Türkiye'de krom madenciliği genelde mostra veya açık işletme madenciliği şeklinde yapılmıştır. Açık işletme yöntemleriyle alınabilecek krom cevherlerinin giderek azalmasından dolayı 1960'lı yıllardan başlayarak, krom yataklarının yeraltı madencilik metotlarıyla işletilmeleri giderek artmaya başlamıştır. Bugünlerde Türkiye'de işletilebilecek özelliklere sahip el değmemiş krom mostrası bulabilme şansı oldukça sınırlıdır. Açık işletmeyle

işletilebilen krom yatağı sayısı da geçmişe oranla daha azdır. Son zamanlarda krom cevheri üretiminin büyük kısmı yeraltı madenciliği metotlarıyla yapılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Açık işletme yapılan bir krom ocağı [20].

2.6. Kromit Zenginleştirme

Zengin cevher yataklarının giderek azalması ve sanayinin aynı tür ham maddelere ihtiyaç duyması durumunda, düşük tenörlü cevherlerin içerisinde mevcut empüritelerin büyük oranda giderilmesi ile standart şartları sağlayan konsantreler halinde sanayiye sunulması gerekmektedir. Bu nedenle uygulanan işlemler, cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri olarak adlandırılmaktadır. [21].

Cevher zenginleştirme ve hazırlama aşamalarını genel olarak tablo 2.10'da gösterildiği gibi sınıflandırmak mümkündür.

Tablo 2.10. Cevher hazırlama ve zenginleştirme proseslerinin sınıflandırılması [9].

A. Boyut küçültme ve serbestleştirme	1. Kırma ve öğütme işlemleri		
B. Zenginleştirme	1. Ayıklama		
	2. Özgül ağırlık farkı (gravite) ile zenginleştirme yapan prosesler	(a) Yüzdürme - Batırma	(i) Ağır sıvı ayırımı (ii) Ağır ortam ayırımı
		(b) Su ile zenginleştirme prosesleri	(i) Jig (ii) Masa (iii) Koni (iv) Sınıflandırıcılar 1-Hidrolik 2-Mekanik 3-Siklon
		(c) Hava ile zenginleştirme prosesleri	(i) Masa (ii) Elutriatör (iii) Siklon
	3. Manyetik ayırma	(a) Kuru	(i) Düşük alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli
		(b) Yaş	(i) Düşük alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli (iii) Yüksek dönüşümlü şiddetli
	4. Elektrostatik ayırma		
	5. Flotasyon		
	6. Seçimli flokülasyon (salkımlaştırma)		
	7. Amalgamasyon		
	8. Pirometalurji	(a) Kavurma (b) Klorürleme (c) Kalsinasyon	
	9. Hidrometalurji	(a) Liç (b) Çöktürme (c) İyon değişimi (d) Sıvı - sıvı ayırımı	
C. Yardımcı İşlemler	1. Sınıflama	(a) Eleme (b) Klasifikasyon	
	2. Katı - Sıvı Ayırımı	(a) Şlam atımı (b) Sedimentasyon (c) Santrifüj (d) Filtrasyon (e) Kurutma	
	3. Dağıtma		
	4. Karıştırma		
	5. Numune alma		
	6. Malzeme işleme		
	7. Otomatik kontrol		
	8. Aglomerasyon	(a) Sinterleme (b) Peletleme (c) Klinkerleme (d) Yumurlaştırma (e) Sertleştirme-katılaştırma	

Kromit cevherinin zenginleştirilmesinde yapılacak zenginleştirme türü ve yöntemlerini; Cevherin serbestleşme tane iriliği, cevherden üretilebilecek konsantredeki Al_2O_3 , SiO_2 , FeO ve Cr_2O_3 tenörleri, Cr/Fe faktörü, gang mineralleri ile kromit mineralinin arasındaki fiziksel ve fizikokimyasal özellikler farkları belirler [18].

Cr_2O_3 oranı % 32'den az olan cevherlerde endüstrinin istediği bileşim oranına getirebilmek için zenginleştirme gerekmektedir [22]. Kromit cevherlerine genellikle özgül ağırlık farkına göre, manyetik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme işlemleri uygulanarak cevherin kromit içeriği arttırılmaktadır.

Kromit bir arada olduğu gang minerallerine göre yoğunluğu fazla miktarda olan bir mineraldir. Serbestleşme tane boyu imkan verdiği takdirde, en ideal zenginleştirme yöntemi yoğunluk farkına göre yapılan gravite ayırma yöntemidir. Cevher büyük boyutta serbestleşiyorsa ağır ortam veya jig ile ayrıştırılabilir. Küçük boyutlarda serbestleşme sağlandığında ise sallantılı masa ile zenginleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Kromit ile gang mineralleri arasındaki manyetik duyarlılık az olduğundan, önceden pozitif sonuçlar alınamayan manyetik zenginleştirme yöntemi, geliştirilen yeni manyetik ayırıcılarla uygulama alanı bulmaktadır.

İnce tane boyutlarında serbestleşen ve gravite veya diğer yöntemlerle ayrılması ekonomik olmayan cevherlerde, flotasyon ile zenginleştirme yapılmaktadır. Yağ asitleri, sülfonatlar ve amin tipi toplayıcılarla kromit yüzdürülmesi mümkündür. Toplayıcı reaktif yağ asidi olduğunda, gang minerallerinin bastırılması için sodyum silikat veya kalgon ilavesi yapılır. Asit ortamda kromit yüzdürülmesi için kalsiyum tuzu ile kromit canlandırılır ve sülfat ve sülfonatlarla yüzdürülür. [23]. Kromit cevherlerine uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin bazıları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.6.1. Triyaj (Elle Ayıklama, Tavuklama)

Triyaj ile zenginleştirme işlemi büyük boyutlardaki serbest krom cevherinden kaliteli parça cevher üretmek için uygulanır. Kromitin; parlaklık, renk, özgül ağırlık gibi özelliklerinin gang minerallerinden farklı olmasından yararlanılarak yapılır. Kromit cevherinin gang minerallerinden büyük boyutlarda serbest kalması ile veya bazen yalnız bir zenginleştirme işlemi olarak bazen de zenginleştirme işlemi öncesinde uygulanır [12,24].

2.6.2. Özgül Ağırlık Farkından Yararlanarak Zenginleştirme

Kromit ve gang minerallerinin akışkan ortamdaki hareketlerinin farklılığı ve özgül ağırlıklarının teşekkül etmesi ile birlikte birbirinden ayrılması ile meydana gelen zenginleştirme yöntemidir. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmede akışkan ortam/ayırıcı ortam olarak çoğunlukla “su”, bazen “sudan daha ağır bir akışkan (ağır ortam)”, zaman zaman da “hava” kullanılmaktadır.

Gravite ile ayırmada en yaygın kullanılan cihazlar; Yalnızca su ile çalışanlar;

- 1- Jigler (-100mm+0.5mm)
- 2-Sallantılı Masalar (-3+0.075mm)
- 3-Spiraller (-3+0.075mm)
- 4-Reichert Konisi (-3+0.075mm)
- 5-Santrifujlu Gravite Ayırıcılar (-3+0.015mm)

Ağır ortam/sıvı ile çalışanlar;

- 1-Ağır Ortam Tamburu (-100mm+18mm)
- 2-Drewboy Teknesi (-100mm+18mm)
- 3-Ağır Ortam Siklonu (-18mm+0.5mm)
- 4-Stripa Teknesi (-25mm+5mm)

Gravite ile zenginleştirmenin yapılıp-yapılamayacağı hakkında, ve hangi tane boyutlarında yapılabileceği konusunda kabaca bilgi veren TAGGART tarafından ortaya atılan bir “k” değeri vardır. “k” değeri ne kadar büyük olursa gravite ile ayırım o derece kolay olur. “k” 2.5’den büyükse tüm gravite yöntemleri kullanılabilir (çok ince boyutlara kadar ayırım mümkün), “k” 1.25’den küçükse gravite ayırımı ekonomik olmaz (ancak ağır ortam kullanılabilir). Başka bir deyişle, gravite ayırımı için k değeri minimum 1.25 olmalıdır. [2,25,26,27].

Taggart tarafından ortaya atılan konsantrasyon kriteri, özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmenin hangi boyutta ve hangi yöntem ile uygulanabileceği konusunda bilgi verebilmektedir. Buna göre:

$$k = (\rho_A - \rho) / (\rho_H - \rho)$$

(1.1)

ρ_A = Ağır minerallerin özgül ağırlığı gr/cm³

ρ_H = Hafif minerallerin özgül ağırlığı gr/cm³

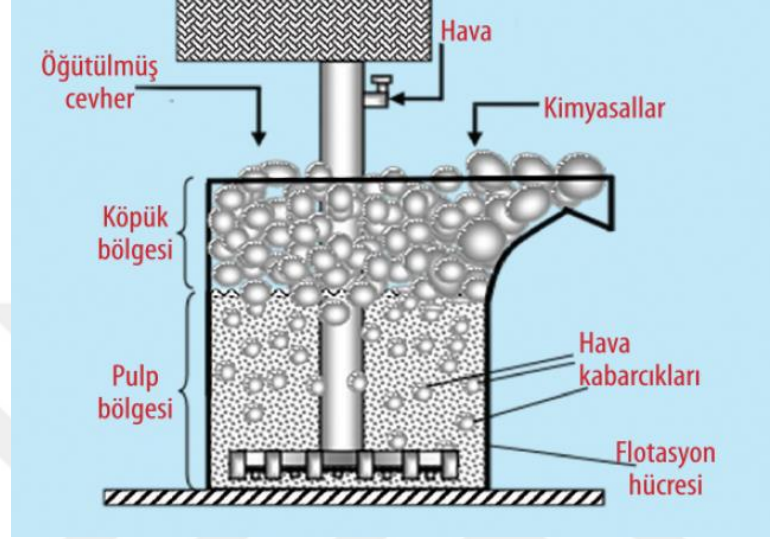
ρ = Akışkan ortamın özgül ağırlığı gr/cm³

k = Konsantrasyon kriteri

İnce kromit artıklarında (-0,1 mm), jet flotasyonu, kolon flotasyonu, yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırıcılar ve MGS (Multi Gravity Separator) gibi yeni teknolojiler kullanılmaktadır. MGS ince çok ince tane boyutlarına ve artıklara kadar kromit kazanımı sağlanabilmektedir [17].

2.6.3. Flotasyon ile yapılan zenginleştirme işlemleri

Flotasyon ile yapılan zenginleştirme yöntemi ince tane boyutlarında serbestleşen ve gravite yada farklı yöntemlerle ayrılması ekonomik açıdan uygun olmayan cevherlerde kullanılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Flotasyon hücresi

Flotasyon, minerallerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yola çıkarak yapılan bir zenginleştirme türüdür. Bazı minerallerin yüzeyleri suyu sever özellik (hidrofil) gösterirken bazıları ise suyu sevmeyen özellik (hidrofob) gösterirler. Ya da flotasyon hücrelerine (Şekil 2.6) bazı reaktifler atılarak minerallerin yüzeyine bu özellikler kazandırılır ve suyu sevenler hücre dibine çökerken suyu sevmeyen özellik kazandırılan mineraller hava kabarcıklarına yapışarak hücre yüzeyine çıkarlar. Yüzey-aktif maddelerin istenen mineralin yüzeyine tutunması aracılığıyla, bu minerallerin köpüğe tutunması neticesinde ayrıştırma yapan bir zenginleştirme çeşididir [28].

3. TOPAKLAŞTIRMA İŞLEMLERİ

Toz cevherlerin ve çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilmiş konsantrelerin fırınlarda kullanılabilen duruma getirilmesi işlemlerine “topaklaştırma (aglomerasyon)” denir. Topaklaştırma çoğunlukla toz cevherlerin ve konsantrelerin boyut büyütme işlemi olarak görülse de, boyutla birlikte cevherlerde aranan diğer özellikler de (sertlik, mukavemet, porozite, indirgenabilirlik vs. gibi) topaklaştırma yöntem ve işlemlerini yakından ilgilendiren çok önemli şartlardır

Topakların oluşabilmesi için katı madde tanecikleri arasında bağ kuvvetleri etkili olmalıdır. Topaklaştırma bağ mekanizmalarının sınıflandırılması aşağıda yapılmıştır.

- Katı hal köprüleri,
- Serbest hareketli olmayan adhezyon ve kohezyon kuvvetleri,
- Serbest hareketli sıvı yüzeylerinde sınır alanı kuvvetleri ve kapiler basıncı,
- Katı madde parçacıkları arasındaki çekim kuvvetleri.

Genellikle toz halindeki demiroksitli cevherlere ve kromit cevherlerine uygulanan topaklaştırma işlemleri; vakum ekstürüzyonla şekillendirme, briketleme, sinterleme, nodülleme ve peletleme olarak sıralanabilir [28-31].

3.1. Biriketleme

Briket toz halindeki cevher veya konsantreye bağlayıcı ilave edilmesiyle elde edilen karışımın basınç altında sıkıştırılması ile üretilmektedir. Katı taneciklerin birbirlerine kenetlenmelerinde en önemli unsur basınçtır. Briketlemeden çıkan briketlerin yeterli sağlamlığa ulaşabilmesi için bir kurutma işlemine tabi tutulması gerekir. Briketleme işleminde önemli parametrelerden biri cevher veya konsantrenin nemidir. % 1-5 arasında değişen nem içeriğine sahip toz malzeme, briketleme işleminden sonra ısısal bir işleme tabi tutularak ya da yağmur, kar vb. gibi hava etkenlerine maruz bırakılmadan mümkünse güneşli bir havada birkaç gün bekletilerek yeterli mukavemet ve kuruluğa getirilirler. Kromit cevher ve ya konsantrelerinin briketlenmesi işlemlerinde bağlayıcı olarak cam suyu, jips, kalsiyum karbonat, portland çimentosu, Na-bentonit gibi inorganik maddelerin yanı sıra katran, dekstrin ve melas gibi organik maddeler de kullanılmaktadır. Kendinden redüklenebilen briketler üretilmek istendiğinde bağlayıcı ile beraber bir redükleyici de ilave edilebilmektedir. Endüstriyel çaptaki briket üretimi merdaneli pres tipi briket makinalarıyla gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.1). Üretilen briketlerin genişlikleri yaklaşık olarak 3,5-6,5 cm, boyları 5-12 cm. ve kalınlıkları da 2,5-5 cm arasında değişir.



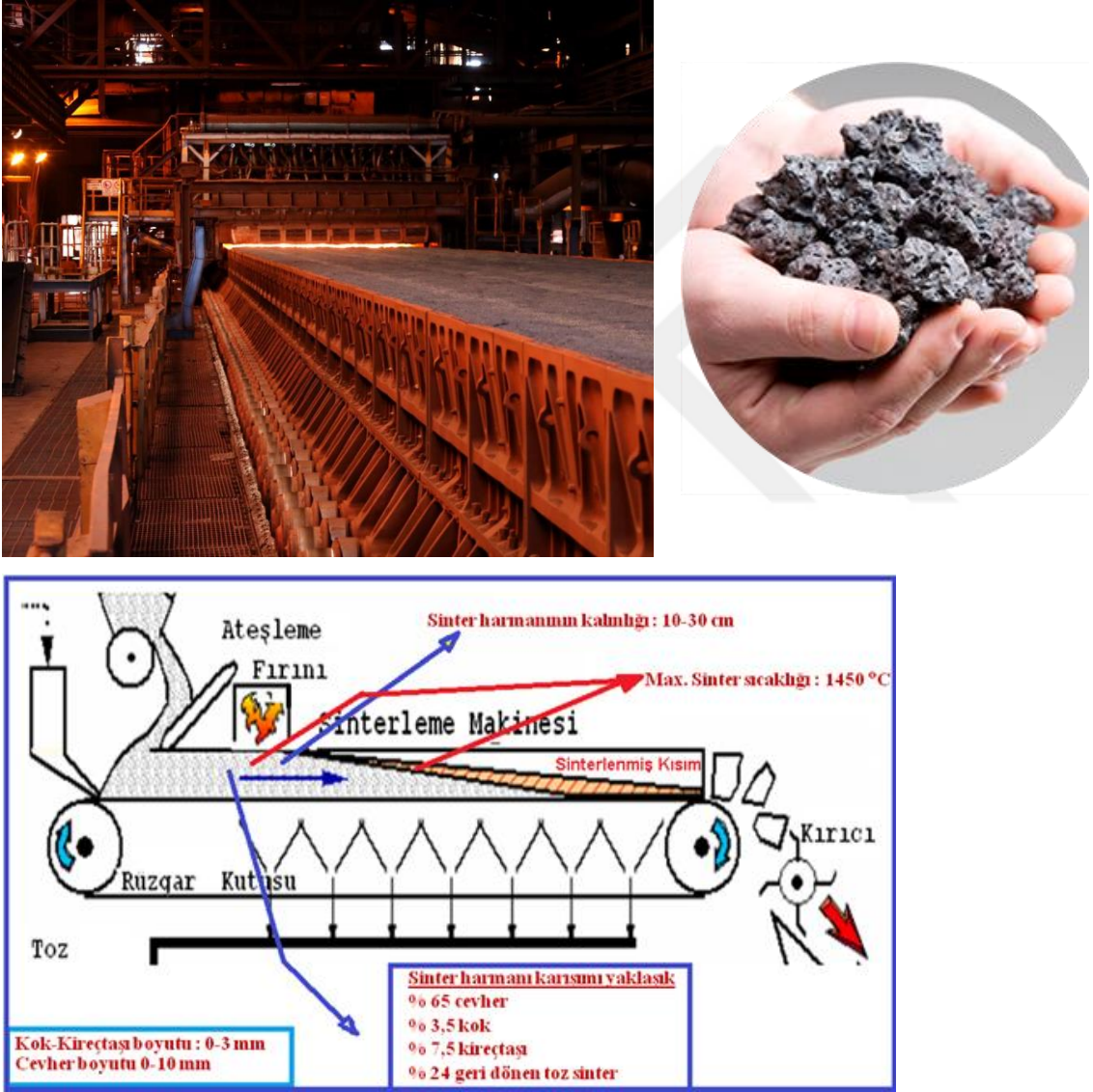
Şekil 3.1. Briketleme cihazı ve üretilen briketler [32,33].

3.2. Nodülleme

Nodülleme, toz halindeki cevher veya konsantrelerin bir döner fırına şarj edilmesi ve ergimeye başladığı noktaya kadar ısıtılmasıyla yapılmaktadır. Nodüller, şarj fırının içinde karıştırılırken kısmen ergiyen tanelerin sıvılaşmış kısmı ile birbirlerine bağlanmaları sonucunda oluşur. Bu işlem, yüksek yakıt tüketimi, operasyonun kontrolündeki zorluklar, zayıf nodül redüklenebilirliği gibi dezavantajlar sahip olduğundan pek kullanım alanı bulamamaktadır [34].

3.3. Sinterleme

Sinterleme toz cevherlerin aglomerasyon yolu ile fırınlar için istenen parça iriliğine, mukavemete ve gaz geçirgenliğine sahip duruma getirilmesi işlemidir. Sinterleme işlemi toz halindeki kromit cevherlerinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. 19. yüzyılda metal endüstrisinde kesikli bir işlem olarak ortaya çıkan sinterleme işlemi genellikle toz halindeki demir cevherlerinin yanı sıra bakır ve kurşun cevherleri içinde kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan toplama işlemi sonucunda büyük, sert ve gözenekli parçalar elde edilir (Şekil 3.2) [35].



Şekil 3.2. Sinterleme işleminde kullanılan ızgara, üretilen sinter ve sinterleme işlemine beslenen malzemelerle birlikte temsili görüntü

3.4. Peletleme

Peletleme, uygun şartlarda üretilerek toz haline getirilmiş cevher ya da konsantrelerin su ve uygun bağlayıcılarla karıştırılarak, döner tabla, tambur ya da bir kesik koni içerisinde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle topaklaştırılması işlemidir. Kesik koni kapasite düşüklüğü, fiziki şartlarının yetersiz oluşu gibi nedenlerden dolayı fazla kullanılmamaktadır. Pelet, yüksek fırına beslenecek ve direk redüksiyona uygun olacak şekilde oluşturulmalıdır [28].

Cevher veya konsantrelerin peletlenebilmeleri için tane büyüklüklerinin, % 50-80'inin 45µm'nin altında olması gerekir. Elde edilecek peletlerin boyutları tablanın ya da tamburun eğimi, dönme hızı, ilave edilen su ve suyun tablaya veya tambura verildiği yerle doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple pelet boyutlarının kontrol altında tutulması bu söylenenlerin kontrol altında tutulmasıyla mümkündür [28].

Yaş pelet uygulamalarında su, cevherin veya konsantrenin içindeki nem oranı %10 olacak şekilde katılır ve içerisine belli oranında bağlayıcı ve aynı zamanda kireçtaşı, olivin ve dolomit gibi flaks maddeleri de katılarak mikserlerde karıştırılır ve homojen bir yapı elde edilir. Sonrasında ise pelet makinelerinde peletlenerek 1280-1300°C sıcaklıklarda pişirilir ve kuru mukavemet kazandırılır [28,35].

3.4.1. Yaş Pelet Bağlantı Teorileri

Peletlerin topaklanıp bilye şeklini alması suyun yüzey gerilimi ve parçaların birbirine çarpması sonucundandır. Başlangıçta su eklenecek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur. Bu çekirdek büyür, bilye şeklini alarak pelet halini alır. Disk veya tambur döndürülmeye başladığı andan itibaren taneler sürekli olarak birbirine çarparlar ve yüzeylerinde bulunan suyun etkisiyle aralarında bağ kuvvetleri oluşmaya başlar ve birbirlerine bağlanırlar. Burada taneleri bir arada tutan kuvvet, suyun ortaya çıkardığı kapiler kuvvettir. Taneler arası boşluklar ne kadar suyla dolarsa o kadar iyidir, ancak belirli bir noktadan sonra peleti daha da ıslatmak pelet içindeki taneleri daha da itmeye sebep olur, bu da mukavemeti düşürür bu sebeple suyun belli bir oranda tutulması önemlidir. Tanelerin boyutları büyüdükçe diskte kat edecekleri yol azalır ve yeterli boyutlara ulaştıklarında taşarak dışarı alınırlar [28].

Peletlerin porozite ve yoğunluğu büyük ölçüde peletleme tablasındaki mekanik kuvvetlere bağlıdır. Bu kuvvetler peletin, tablanın alt kısmına düşmesiyle ortaya çıkar ve bu sebeple tabla çapına ve eğim açısına bağlıdır. Peletin düşme yüksekliği eğimin düşürülmesiyle azaltılabilir. Fakat bu durumda işlem süresi artar. Bir pelet tarafından tablanın kenarına çarpmada harcanan kuvvet onun kütlesi ile doğru orantılıdır [35,36]. Ortalama şartlar altında yaş peletlerin mukavemeti, sertleşme öncesi, sertleşme sırası ve sertleşme sonrasında sağlanır. Yaş peletlerin sahip olmaları gereken en önemli özellik fiziki mukavemettir.

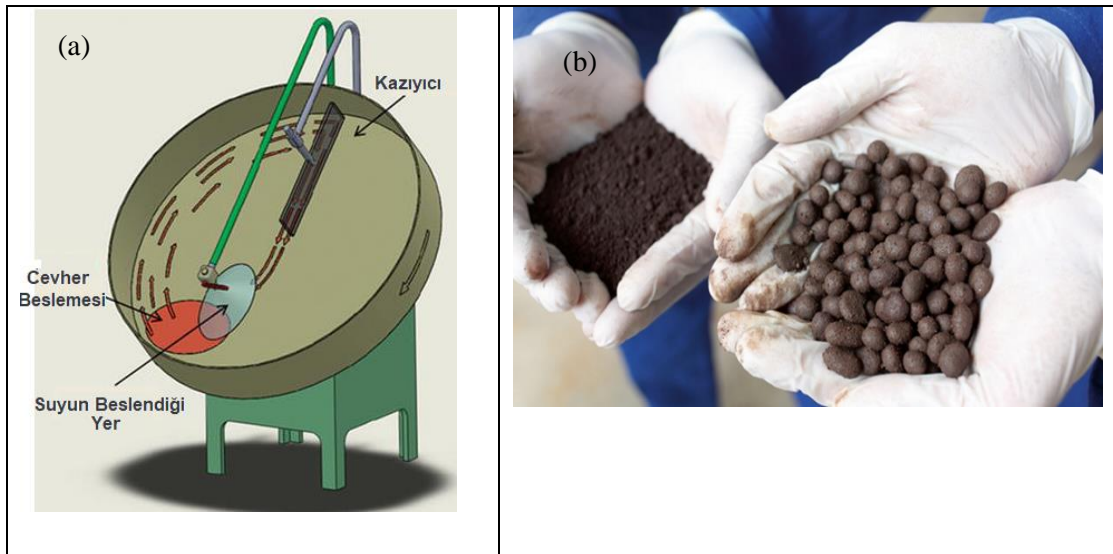
Firth (1944) bir taraftan çeşitli basınçlar altında briketleme deneyleri ve diğer taraftan da peletleme deneyleri yaparak bu iki araştırma sonuçlarını karşılaştırmış, 1400 kg/cm² basınç altında imal edilen silindirik briketlerin hakiki özgül ağırlıklarının tablada üretilen 25,4 mm büyüklüğündeki peletlerinkine eş değer olduğunu bulmuştur [28]

Firth (1944) bu neticeden yaş peletlerin bağlantısının tablada hareket halinde bulunan pelet'in cevher taneciği üzerine yapmış olduğu basınçtan ileri geldiğini ortaya koymuştur. Bu düşünceye göre 25,4 mm büyüklüğünde bir pelet, çapı 0,074 mm olan cevher taneciği üzerine 700 kg/cm²lik bir basınçla etki etmektedir.

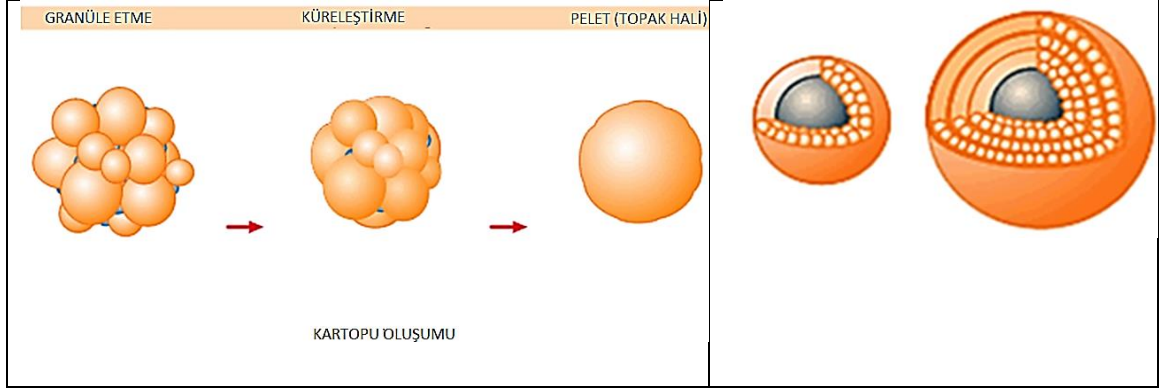
Yaş pelet üretiminde sıvının çevredeki havaya olan yüzey gerilimi yanında sıvı ve katı arasındaki yüzey gerilimi de önemlidir. Islanan malzeme tanelerinin topaklaşması kapiler etkisi sonucu olur. Tane sınırlarında kapilerler oluşur. Kapiler kuvvet, partiküllerin toplam yüzey alanı ile ters orantılıdır ve böylece azalan partikül boyutu ile artar. Tane çapının küçülmesi ve taneler arası boşlukların sıvı ile tam dolu olması sonucu yüzey geriliminin artmasıyla gerilme mukavemetini arttırdığı görülmektedir [28,35,36].

Yapılan araştırmalar, yaş peletlerin mukavemetinin özgül yüzeyle doğru orantılı olduğunu, yani cevher tane büyüklüğü azaldıkça mukavemetin artacağını, aynı zamanda por yarıçapının tane büyüklüğü ile ters orantılı olduğunu bildirilmiştir [28].

Peletlerin mukavemetine pişirme sıcaklığı ve bu sıcaklıkta kalma süresinin de büyük etkisi vardır. Bununla ilgili olarak incelemeler yapılmış, birbirleri ile temas halinde bulunan iki küresel taneciğin arasında oluşan bağın genişliği ile bu sıcaklıkta bırakma süresi arasındaki ilişkiden iki tanecik arasında kısa bir zaman içerisinde oluşan bağlantının plastik akma sebebi ile olabileceği bildirilmiştir [28]. Şekil 3.3 (a)'da peletleme tamburu ve peletleme diski, Şekil 3.3 (b)'de ise üretilmiş yaş peletlerin görüntüsü verilmiştir [37,38].



Şekil 3.3. (a) Peletleme diski, (b) Üretilmiş yaş peletlerin görüntüsü [37,38].



Şekil 3.4. Pelet oluşum mekanizması [36].

Pelet boyutu ısı ve kütle transferini etkiler. Pelet içerisindeki cevher partiküllerinin sinterlenmesi pelet çapından etkilenir. Geniş çaplı peletlerde peletin merkez kısmına kadar tam olarak ve yeterince sinterlenmesi zordur. Daha küçük çaplı peletlerde ise kuruma ve sinterlenme ve kimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Bundan dolayı üretilen peletler öyle bir tane büyüklüğüne sahip olmalıdır ki % 85'i (ağırlıkça) 8 ile 15 mm arasında % 5 veya daha azı -5 mm olmalıdır (Şekil 3.4). Teknolojik uygulamalarda en uygun pelet boyutunun 12,5 mm ve boyut aralığının ise -16 + 9,5 mm olması istenir [36].

3.4.2. Peletlerde Aranılan Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Kimyasal Bileşim ve Atmosferik Koşullara Dayanım

Peletler maliyet açısından cevherlerle kıyaslanabilmeleri için daha üstün özelliklere sahip olmalıdırlar. Daha az empürite ve daha fazla değerli ürün içermelidir. Peletler üretimlerinden tüketimlerine kadar geçen sürede hava ile temas halinde olduklarından dolayı nem kapmaları ve donmaları kullanılma özelliklerinin bozulmasına sebep olacağından hava etkilerine dayanıklı olmalıdırlar.

Cevherin Ortalama Partikül Çapı

Ortalama partikül çapı partikül yüzey alanını belirlediğinden reaksiyonların hızını çok güçlü bir şekilde etkiler. Tane çapı ne kadar küçük olursa partiküller arası sinterlenme de o kadar iyi olur. Peletleme öncesi pelet kekini oluşturan cevherin çok ince öğütülmesi avantajlıdır. Fakat partikülleri çok ince öğütmek; hem öğütme maliyetini artırır, hem de topaklanma için gereken su miktarını artırır.

Mukavemet

Gerek taşıma esnasında gerekse fırına yükleme esnasında ve yüklendikten sonra peletler, kırılma ve ufalanmaya karşı dayanıklı olmalıdırlar. Peletlerin pelet diskinden alındıktan sonra 45 cm yükseklikten çatlayıncaya kadar serbest bırakılmasına “ham pelet düşürme sayısı” denir. Üretilen peletlerin 1200-1300°C sıcaklıklarda pişirilmesi işlemine sıcak mukavemet kazandırma, pişirme, sinterleme gibi isimler verilir. 100-300°C arasında kurutularak mukavemet kazandırılan peletlere ise soğukta sertleştirilen peletler adı verilmektedir[36].

Porozite

Peletlerin porozitesi peletlerin yaş halde iken içerdikleri nem oranı ile orantılı olup ayrıca yüksek sıcaklıkta yapılan termal ısıl işlem geçmişi ile de yakından ilişkilidir. Peletler gerek su buharı gibi kurutma sırasında ortaya çıkan veya oksijen gibi sinterleme esnasında difüzyonuna ihtiyaç duyulan gazların peletin iç bölgelerine doğru ya da dışarıya doğru hareketini sağlayacak miktarda optimize edilmelidir[28,36,39]. Yüksek fırına beslenen peletlerde genellikle %22-35 arasında gözeneklilik aranmaktadır.

3.4.3. Peletlerin Sertleştirilme Yöntemleri

Geleneksel pelet üretiminde, pişirme işlemi yaş pelet (yeşil pelet) üretimini izler. Pişirme oksitleyici şartlar altında yapılır. Peletlerin pişirilmesi; kurutma, ön ısıtma ve pişirme, soğutma kademelerinden meydana gelir.

Kurutma, genellikle ısıyla sertleştirme işleminin bir parçasıdır. Yaş toprakları kurutmanın temel süreci aşağıdaki aşamaları içerir:

- i- Yaş topraklardaki nemin gaza dönüşümü
- ii- Oluşan buharın malzeme yüzeyinden çekilmesi ve bu buharın çevre gazına boşaltılması.

Kurutma üç aşamaya ayrılabilir:

İlk aşamada nemin buharlaştığı bir sıcaklığa kadar peletler ısıtılır. Yaş pelet yüzeyinden buharlaşma devam ederken kurutma hızı, nemin yüzeye yayılma hızına bağlıdır, kritik kurutma noktası olarak adlandırılan ikinci aşamaya ulaşılmış olur. Burada pelet yüzeyinin nem içeriği sıfır olur. Bu kritik noktaya ulaşıldıktan sonra, üçüncü aşamada, kurutma peletin içinde devam eder, nem bu şekilde oluşturulan dahili buharlaşma bölgesine doğru hareket eder ve daha sonra peletin kuru, gözenekli katmanları boyunca gazlı ortam akımı tarafından alındığında yüzeye doğru buhar olarak ilerler [40].

Soğukta sertleşen pelet üretiminde ise daha düşük sıcaklıklarda 100-300°C’de peletlere kurutma işlemi uygulanır. Bu kurutma işlemi ile toz cevherin topaklaşması sırasında bağlayıcı ile toz cevherin birbirine bağlanması için kullanılan suyun uzaklaştırılması amaçlanır. Düşük

sıcaklıklarda kurutma işlemi ile yüksek mukavemet sağlamak için soğukta sertleşebilen pelet uygulamasında bağlayıcının cinsi önemlidir [28,40].

İsveçte geliştirilen Grancold yönteminde çimentolu yaş peletler sertleşme sırasında bağlayıcısız kuru, ince malzeme içerisine gömülür ve 24-36 saat bekletilir. Daha sonra elenerek hazır peletler ayrılır. Alınan peletler depolanma ve taşınma sırasında sertleşmelerini bitirirler.

Bunun yanında, karbonat bağ prosesi (kalker ile karıştırmak ve basınç altında CO₂ atmosferinde 120-150°C de sertleştirmek), korozyon bağlayıcı prosesi (Corrosion bonding proses) (demir parçalarına sodyum klorat ilavesi), zift ve katranlı otoklav bağlama ve Cobo yöntemi (Cold Bond) (İzabe tesislerinin atık tozları kireçle karıştırılarak otoklavda 200-220°C’de sertleştirilir) gibi çeşitli sertleştirme yöntemleri de mevcuttur.

3.4.4. Peletleme İşleminde Kullanılan Bağlayıcı Maddeler

Pelet yapımı sırasında cevher konsantrisine katılan bağlayıcılar genellikle bentonit, kireç, olivin, organik bağlayıcılar gibi bağlayıcı özelliği olan maddelerdir [28]. Bağlayıcı maddelerin Peletlerin ısıtma işlemi sırasında cüruf bağları oluşmadan önceki devrelerde (ön ısıtma işlemleri sırasında) parçalanıp dağılmalarını önlemek ve cevher konsantrisi içindeki serbest suyu tutmak gibi iki önemli görevi vardır.

Yaş peletlerin kurutulması işleminde pelet bünyesindeki rutubet buharlaşır. Ancak peletin sertleşmesini sağlayan pelet bağları oluşmadan peletteki bünye suyu buharlaşacağından kuru peletin bu süre içinde dağılmaması gerekmektedir. Bunun için peletlerde bağlayıcı olarak kullanılan katkı maddeleri; hem pelet üretimi sırasında serbest suyu kontrol eder ve hem de kuru peletin dağılmasını önleyici rol oynar. Bu amaçla, peletlemede kil, yağ, sodyum ve potasyum silikatlar, melas, sodyum, kalsiyum ve amonyum sülfonatlar, çeşitli nişastalar, tuzlar, glikoz, reçineler, sülfatlar, zamk, katran, sodyum boratlar vs. gibi bağlayıcılar kullanılmaktadır.

4. SOĞUKTA SERTLEŞEN PELET ÜRETİMİ

Soğukta sertleşen pelet üretim yöntemi de aynen pişirilerek sertleştirilen pelet üretimine benzer şekildedir. Pelet pişirilmeden yalnızca kurutularak kullanıldığından dolayı buradaki tek fark bağlayıcı seçimidir. Soğukta sertleşen pelet üretiminde kullanılan bağlayıcı türlerine örnek olarak nişasta çeşitleri, reçineler, melas gibi türler gösterilebilir. Kurutma işlemi ile pelet bünyesindeki su buharlaştırma etkisiyle bünyeden uzaklaştırılır. Suyun oluşturduğu kapiler kuvvetin etkisi yitirildiğinden taneleri bir arada tutan yegane kuvvet bağlayıcının oluşturduğu kuvvettir.

Bu tür işlemlerin amacı, malzemeye eklenen bağlayıcıdan, tek tek tanelerin kohezifliğini sağlayacak veya daha güçlü yapılar üretirken tanelerle reaksiyona girecek güçlü bir iskelet oluşturmaktır. En iyi yapı, giriş yüklerinin her birinin, sertleştirilecek peletin gözeneklerini tıkayan bağlayıcıyla çevrenmesidir. Düşük sıcaklıkta muamelede, bağlayıcının davranışı, bilyeleme, peletleme ve sertleştirme için yükün hazırlanmasında kullanılacak tüm teknolojik sırayı belirlediği için birincil öneme sahiptir [28,40].

4.1. Soğuk Bağlı Peletlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Genellikle soğuk bağlı peletler 250-300 N/Pelet basınç dayanımına, 7-10 kere/1 m düşme dayanımına, %98'in üzerinde aşınma direncine (+3 mm) sahiptir. Soğuk bağlı peletlerin porozitesi yaygın olarak %21-23 olup oksijenli ortamda pişirilen peletlerden belirgin bir şekilde büyüktür. Soğuk bağlı peletler her ne kadar değerine göre daha düşük mekanik dayanıma sahip olsalar bile indirgenme davranışları (indirgenebilirlik, şişme oranı) oksitli ortamda pişirilen peletlere oranla daha üstündür. Soğuk bağlı peletlerin mükemmel bir tarzda indirgenebilmeleri onların büyük porozitelerine bağlıdır.

4.2. Soğukta Sertleşen Pelet Üretimi İle İlgili Çalışmalar

Soğukta sertleşen pelet üretimi dünyada yeni gelişen bir araştırma konusu olup konuyla ilgili patentler ve endüstriyel çalışmalar olmasına karşılık; ticari ve stratejik öneminden dolayı yeterince yayın ve makale yayınlanmamaktadır.

Organik bağlı bağlayıcı kullanarak soğuk bağlı pelet hazırlanmasının karakterizasyonu Qiu ve arkadaşları (2003) tarafından incelenmiştir.

Demir cevheri konsantrelerinin topaklaştırılması işlemleri öncesi bağlayıcılarla yapılan ön çalışmalarda en önemli husus cevher parçalarına bağlayıcının bağlanma mekanizmasıdır. Araştırmalar organik bağlayıcı içeren demir cevheri konsantre peletlerinin bentonit içeren konsantrelere göre; bağlayıcının düşük vizkozitesi sebebi ile daha düşük topaklanma kinetiğine

sahip olduğunu göstermiştir. Pelet çapından emin olmak için 20 dakika yuvarlama zamanına ihtiyaç vardır [41].

Benkli ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, karbon kompozit peletlerin, düşük sıcaklık ve katı bir cüruf formu olmadan demirin ergitildiği yarı füzyon koşullarında bir indirgeme deneyine tabi tutulduğu bildirilmiştir. Yarı ergime koşullarındaki indirgeme deneylerinin amacı, daha düşük sıcaklıklarda yüksek fırın pik demire benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir demir külçesi üretmektir. Bu külçeler, demir oksit, kok kömürü, cüruf yapıcı ve bir bağlayıcı karışımından yapılmış kompozit peletlerden üretilmiştir [42,43].

Bir çalışmada, yerli cevher kaynakları kullanılarak soğukta sertleşen peletlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bağlayıcı olarak melas çözeltisi, jöle ve sodyum bentonit kullanılarak üretilen peletlerin basma dayanımları karşılaştırılmıştır. Melas çözeltisi ve jöle ilave edilerek üretilen peletler 100, 150, 200 ve 250 °C sıcaklıklarda 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakika kurutulmuştur. % 60'lık melas çözeltisinden, pelet yapımında kullanılan toplam malzemenin % 10' u kadar alınıp bağlayıcı olarak kullanılarak üretilen peletlerin, 150 °C' de 180 dakika kurutma işlemine tabi tutulmaları sonucu basma dayanımlarının ortalama 360 N/pelet olarak elde edildiği bildirilmiştir [44].

Başka bir soğukta sertleşen pelet üretimi çalışmasında, manyetit konsantrelerinin peletlenmesi işlemlerinde bağlayıcı olarak kemik tozunun kullanılması çalışması yapılmış ancak standartlara uygun mukavemet değerine sahip peletler üretilmemiştir [45].

Liu (2005) tarafından yapılmış olan bir başka çalışmada, soğukta sertleşen peletler, demir cevheri konsantresi ve bağlayıcı olarak ince taneli portland çimentosunu kapsamaktadır. Elde edilen peletler 100-300°C sıcaklığında CO₂ içeren sıcak gazlar kullanılarak karbonatlanır ve hidratlanır. Kurutmadan sonra, kuru peletler kullanıma hazır hale getirilmiş olur. Bu yöntemle, basma dayanımı 80-200 kg/pelet, yumuşamaya başlama sıcaklığı 1000°C' den fazla olan peletler elde edilmektedir [46].

Bağlayıcı olarak en fazla kullanılan kil minerallerinden biri olan bentonit, içerdiği empüritelere dolayısıyla peletlerde cevher tenörünün düşmesine neden olur. Buna karşılık bentonite göre organik bağlayıcıların pişme süresini ihmal edilebilecek kendilerine has avantajları mevcuttur. Onlar ürünü kirletmezler. Bu belirgin özelliği organik bağlayıcıların geliştirilmesini teşvik etmektedir [41].

Soğukta sertleşen pelet veya briket üretimi ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle organik bağlayıcılardan, jöle [47], melas [48], nişasta [49], CMC [50], patates nişastası [51], mısır unu[52], çam reçinesi[53], inorganik bağlayıcı olarak, haddehane tufalı [54], Yüksek fırın baca tozu [55], yüksek fırın cürufu [56], gibi bağlayıcılar kullanılmıştır. İnorganik bağlayıcılar kullanılarak üretilen peletler, genellikle geleneksel demir çelik üretiminde kullanılan yüksek fırınlara beslenebilecek özellikteki peletleri oluşturmaktadır. Organik bağlayıcıların kullanıldığı

çalışmalarda üretilen peletler ise alternatif demir çelik üretimi olarak bilinen sünger demir ve demir tanesi gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır.



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, sünger demir üretim teknolojilerinde gerçekleştirilen pelet üretimine benzer bir şekilde kromit konsantreleri kullanılarak soğukta sertleşebilen pelet ve kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Kromit konsantrelerinden soğukta sertleşen pelet ve kompozit pelet üretimi kapsamında deneysel çalışmalar 2 bölümde yapılmıştır. İlk bölümde farklı bağlayıcılar önce tek başlarına ayrı ayrı kullanılmış, ikinci bölümde ise standartların üzerinde mukavemet değeri elde edilen bağlayıcıların kompozit pelet ve kendinden flakslı pelet üretimine uygun olup olmadığının incelenmesi için kromit konsantresi, kok ve sönmüş kireç ile karıştırılarak farklı sıcaklık ve sürelerde kurutularak, kullanılan bağlayıcı cinsi, karışım içerisine ilave edilen bağlayıcı miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi özellikler optimize edilerek her bir bağlayıcı için en uygun parametreler belirlenmiştir.

5.1. Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri

Deneylerde Elazığ Kovancılar ilçesinde bulunan ETİKROM Yıldırım Holding tesislerinden temin edilen sallantılı masa kromit konsantresi kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak, pirinç nişastası, melas, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve sodyum karboksimetil selüloz (CMC) kullanılmıştır.

Pirinç nişastası, tüm nişasta türleri arasında en küçük granül büyüklüğüne sahip olan nişastadır. Ortalama pirinç nişastası granül büyüklüğü 2-8 mikron arasındadır. Granül yapısının küçük olması, pirinç nişastasının yüzeyde sıvı maddeleri daha kolay absorbe etmesini sağlamaktadır. Yapısal olarak nişasta, birbirine bağlı, lineer polimer sütunlardan oluşur. Bağlayıcı olarak kullanılmasının nedeni bu absorpsiyon özelliğinden dolayı absorbe ettiği su damlacıklarının etrafında kromit partiküllerini bir araya getirerek kartopunun büyüme mekanizmasına benzer bir şekilde pelet büyümesini sağlayacak olmasıdır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda nişasta demir cevherlerinin peletlenmesinde kullanılmıştır [28].

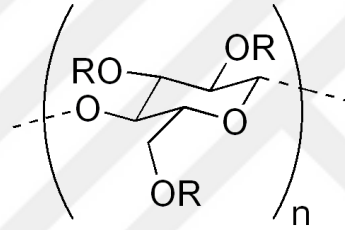
Şeker fabrikalarında yan ürün olarak melas ve yaş pancar posası elde edilmektedir. Yaş pancar posası doğrudan veya melas ile karıştırılarak hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Üretim miktarı işlenen pancar miktarı ile paralellik göstermekte olup, genellikle işlenen pancarın % 30'u oranında posa, % 4'ü oranında melas elde edilir. Melas; şeker fabrikalarında şeker pancarı ve şeker kamışı üretiminde fabrikasyon kademesinde şekerin fabrikasyona geri alınamayan son şurubudur. Türkiye'deki melas üretiminde 2002 yılında Türkşeker'in payı % 71 olarak gerçekleşirken, sektör kompozisyonunda meydana gelen değişiklikler nedeniyle, üretim ve kota miktarlarıyla paralellik içinde %49'a kadar gerilemiş, 2019 yılında Türkşeker'in payı (15 şeker fabrikası) % 39 olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılında özel şeker fabrikalarında üretilen miktar da

dahil olmak üzere 1.009.227 ton melas üretimi gerçekleştirilmiştir. Melas hayvancılıkta (düşük sakkaroz oranlı melas) kömür sanayinde, gübre yapımında, yem üretiminde ve alkol üretiminde kullanılır. Melasın %47-52'sini şeker oluşturmakta olup organik ve inorganik maddeleri de içermektedir [57].

Karboksimetil selüloz ya da sodyum karboksimetil selüloz (CMC) gıdalarda kıvam arttırıcı katkı maddesi olarak kullanılır ve E 466 olarak numaralandırılmışlardır.

CMC anyonik, suda çözünebilir polimer, selülozun karboksile edilmesiyle üretilir ve selüloz eterleri grubuna girer. Kimyasal formülü $C_6H_7O_2(OH)_2OCH_2COO_2$, beyaz ile sarımsı arası renkte ve lifli yapıdadır.

Karboksimetil selüloz sıcak ve soğuk suda çözünebilir, organik çözücülerde çözünmez, su/alkol sistemleriyle uyumludur. CMC'nin fonksiyonel özellikleri selülozun yapısal özelliklerine (örneğin; içerdiği hidroksil gruplarına) bağlıdır. Kullanıldığı ürünlerde viskoziteyi jelleştirmeden arttırır. Şekil 5.1'de CMC molekül zinciri verilmiştir [58].



Şekil 5.1. CMC molekül zinciri [58].

Deneylerde kullanılan numunelerden yaklaşık %51 Cr_2O_3 içeren kromit konsantresi -75 mikrona elenip kurutulmuştur. Kullanılan kok kömürü ETİ KROM A.Ş.'den temin edilmiş olup, cevherle aynı boyuta gelmesi için öğütülüp 75 μ m' lik elekten elenmiştir. Kokun karbon ve kül analizi ETİ KROM A.Ş 'de bulunan karbon kükürt cihazı LECO CS 230 cihazında yapılmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan kok kömürü analizi

% Serbest Karbon	% Uçucu Madde	% Kül	% Nem
86,37	0,51	10,36	2,76

5.2. DeneYlerde Kullanılan Yöntem ve Kullanılan Cihazlar

Soğukta sertleşen kompozit pelet üretmek için, özel kompozisyonlar halinde hesaplanan miktarlarda hazırlanan bağlayıcılar, pelet kekinin içine ilave edilmiş, hazırlanan bu harman cevherle birlikte cam bir kavanoz içinde, özel aparatlı bir mikser yardımıyla 10 dakika karıştırılmıştır. Melas ise daha önce literatürde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak, %60'lık bir melas çözeltisi hazırlanmış, bu çözeltiden toplam harmanın %5, %10 ve %15'i olacak şekilde pelet yapımı aşamasında püskürtme yöntemi ile ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımın küresel pelet formunu alışı, Şekil 5.2'de gösterilen laboratuvar ölçekli 35 cm çaplı küresel pelet diskinde sağlanmıştır.



Şekil 5.2. Laboratuvar ölçekli peletleme diski



a)Çekirdeklerin oluşumu ve büyümesi



b)Peletlerin oluşumu



c)Oluşan peletler

Şekil 5.3. Pelet oluşum aşamaları ve elde edilen peletlerin görünümü

Kromit cevherinden soğukta sertleşen pelet üretimi için, şekil 5.2’de görülen peletleme cihazının titreşimli besleme hunisi içerisine 200 gr malzeme konulup, peletleme diski 30 devir/dakika hızla döndürülmeye başlanmıştır. Peletleme diski önce su püskürtülerek nemlendirilmiş ve titreşimli huniden gelen malzemenin diskin tabanına yapışarak 0,5 cm. kalınlığında bir tabaka oluşturması sağlanmıştır. Bu tabakanın daha fazla kalınlaşmaması için, kazıma bıçağı 0,5 cm yüksekliğe ayarlanmıştır. Besleme hunisine 1 kg. malzeme konulmuş ve bir yandan da diskin üzerine 10 tur da bir defa olmak üzere su püskürtülmüştür. Bu sayede önce küçük pelet çekirdekleri oluşturulmuş (şekil 5.3 (a)) sonra titreşim cihazı sürekli çalıştırılarak ve 8-10 turda bir defa su püskürtülerek bu çekirdeklerin büyümesi sağlanmıştır (şekil 5.3.(b)). Peletleme işlemleri bağlayıcı türüne göre farklı sürelerde tamamlanmıştır. Pirinç nişastasında yaklaşık 30 dakika süren peletleme işlemi, melasla ve kok ilave edilerek üretilen peletlerde 50-60 dakika devam etmiştir. Peletleme diskinde boyutu büyüyen peletler belirli sürelerde diskin üzerinden alınarak yaklaşık 12-14 mm çaplı peletler gerekli testler için ayrılmıştır. Peletlerin üretildikten sonraki son hali şekil 5.3.(c)’de görülmektedir.

Topaklama tambur ya da disklerinden elde edilen ham peletin, ısısız işlemin uygulanacağı bölgeye kadar taşınması sırasında kırılmaması için gerekli dayanımda olup olmadığının kontrolü için yapılan teste, “ham pelet düşürme sayısı” denir. Bu işlem için en az 10 adet ham pelet alınıp çatlayıncaya kadar 45 cm'den çelik bir plaka üzerine serbest halde bırakılır ve aynı işlem her pelet için tekrarlanır. Çatlamanın oluştuğu sayı ham pelet düşürme sayısıdır. Fiziksel testlerde önce yaş peletler üzerinde ham pelet düşürme sayısı testleri yapılmıştır. Disk üzerinden alınan 12-14 mm çaplı peletler sertleştirme işlemleri için Şekil 5.4'de gösterilen sirkülasyonlu etüvde 100, 150, 200 ve 250°C sıcaklıklarda 30, 60, 90 ve 120 dakika kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulan peletlerin mukavemeti, şekil 5.5'de gösterilen hidrolik basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, peletin kırıldığı andaki yükü kaydedebilen bir cihaz olup, sadece pelet mukavemeti ölçümleri için kullanılmaktadır.



Şekil 5.4. Peletlerin kurutulduğu sirkülasyonlu etüv



Şekil 5.5. Peletlerin kuru mukavemetlerini ölçmek için kullanılan pelet mukavemeti ölçüm cihazı.

Pelet test standartlarına göre, üretilen peletlerin tüm testleri en az 20 pelet üzerinde yapılması gerekmektedir [59]. Bu çalışmada yapılan testlerin tamamı malzeme yetersizliğinden dolayı 10 pelet üzerinde yapılması yeterli görülmüştür. Üretilen yaş peletlerin dayanımları yaklaşık 45-50 cm. yükseklikten çelik bir yüzey üzerine serbest düşme ile bırakılmış ve çatlama oluncaya kadar tekrar edilmiştir. Her bir bağlayıcı için bu işlem tekrarlanmış ve ham pelet düşürme sayısının bağlayıcı türü ve oranına göre değiştiği gözlenmiştir.

Melas ve CMC'nin bozunma sıcaklıklarını belirlemek amacıyla yapılan TG/DTA analizleri esnasında bağlayıcıların kabarıp taşması neticesinde birçok deneme sonuçsuz kalmıştır. Sadece melasın TG/DTA analizi kısmen alınabilmiştir. TG/DTA analizleri Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü'nde bulunan Perkin Elmer Pyris Diamond SII TG/DTA cihazı ile argon atmosferi altında 20 °C/dk. hızla alümina panlarda yapılmıştır.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Pelet Üretimi ile İlgili Yapılan Deneysel Çalışmalar

Soğukta sertleşen pelet üretebilmek için laboratuvar şartlarında değişik bağlayıcılar kullanılarak çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneylerde bağlayıcı olarak, pirinç nişastası, melas, ve sodyum karboksi metil selüloz (CMC) kullanılmıştır.

6.1.1. Pirinç Nişastasının Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler

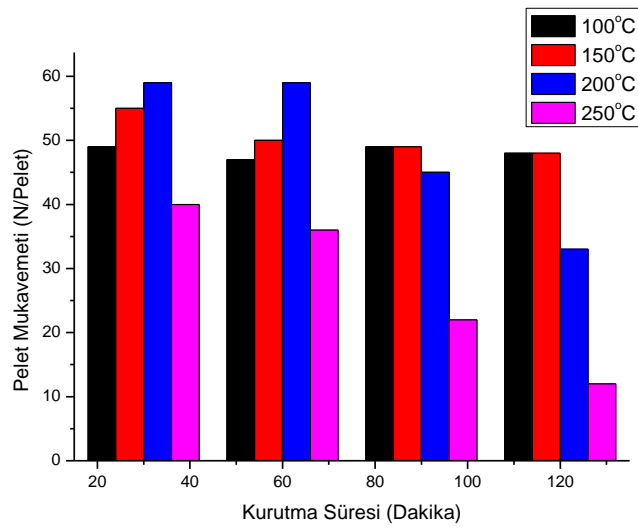
Kullanılan pirinç nişastası satın alma yoluyla temin edilmiş ve deneylerde %2,5 ve 5 oranında ilave edilmiştir. Bağlayıcı kromit cevheriyle karıştırıldıktan sonra titreşimli besleme hunisine beslenmiş ve pelet yapım aşamasında %16-18 civarında su püskürtülmüştür. Peletler 100,150,200 ve 250 °C sıcaklıklarda 30, 60,90 ve 120 dakika kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra mukavemet değerlerine bakılmıştır.

Tablo 6.1 verilen değerlerde ve Şekil 6.1'de verilen diyagramda da görüldüğü gibi mukavemet değerlerinde düşük sıcaklıklarda neredeyse sabit bir değer elde edilirken, 200 °C sıcaklıkta 30 ve 60 dakika bekletilen numunelerde 59 N/pelet'lik mukavemet değeri elde edilmiştir. 250°C sıcaklıkta mukavemet değerlerinin artan süreye bağlı olarak düşmesinin nedeni, literatürde de belirtildiği gibi [51,52,60] organik malzemelerin 210°C sıcaklıktan sonra bozunmaya uğramasındandır. %2,5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerde, ham pelet düşme sayısı (45 cm.'den serbest atış) 4-7 arasında değiştiği görülmüştür.

Şekil 6.2'de verilen diyagramda %5 pirinç nişastası ilave edilen kromit cevheri peletlerinin kurutma işlemi sonrası mukavemet değerlerini göstermektedir. Diyagram incelendiğinde en yüksek mukavemet değerinin %5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerin 15 °C sıcaklıkta 120 dakika bekletilmeleri sonucu elde edildiği görülecektir (Tablo 6.2). %5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerde, ham pelet düşme sayısı (45 cm.'den serbest atış) ortalama 5-9 civarında olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1. % 2,5 pirinç nişastası ilave edilerek üretilen peletlerin süre ve sıcaklığa bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

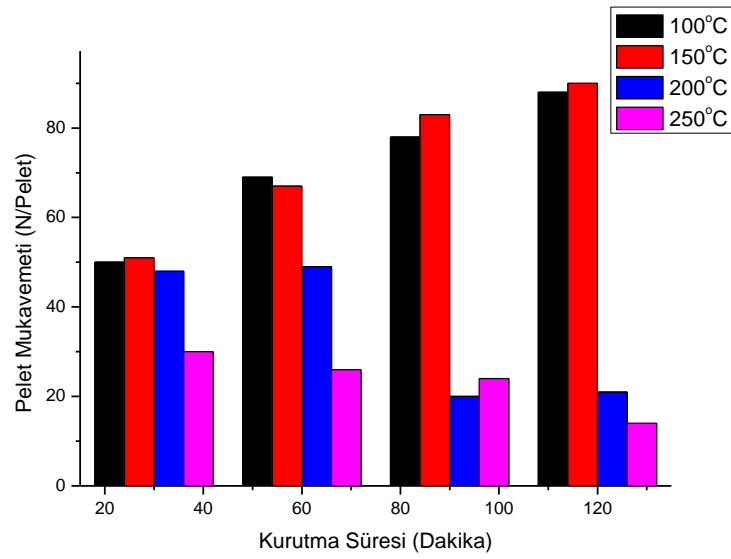
Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
%2.5 Pirinç Nişastası	100	30	49
		60	48
		90	49
		120	48
	150	30	55
		60	50
		90	49
		120	48
	200	30	59
		60	59
		90	45
		120	33
	250	30	40
		60	36
		90	22
		120	12



Şekil 6.1. %2,5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve kurutma süresine bağlı pelet mukavemeti değişimi. (N/Pelet=Newton/Pelet)

Tablo 6.2. %5 pirinç nişastası ilave edilerek üretilen peletlerin süre ve sıcaklığa bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (Dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
%5 Pirinç Nişastası	100	30	50
		60	69
		90	78
		120	88
	150	30	51
		60	67
		90	83
		120	90
	200	30	48
		60	49
		90	20
		120	21
	250	30	30
		60	26
		90	24
		120	14



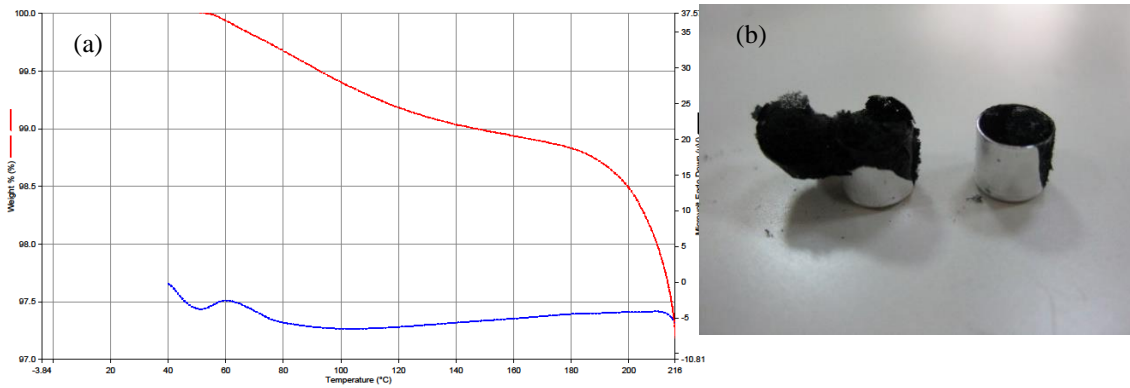
Şekil 6.2. %5 pirinç nişastası ilave edilen kromit cevheri peletlerinin kurutma işlemi sonrası mukavemet diyagramları. (N/Pelet =Newton/Pelet)

Soğukta sertleşen küresel pelet üretimi için yapılan bu çalışmada, farklı oranlarda pirinç nişastası ilave edilerek üretilen kromit konsantresi peletlerinin, kuru basma dayanımları, soğukta sertleşen pelet mukavemet standartlarına uymadığı (250-300 N/Pelet), en yüksek mukavemet değerinin %5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerde 90 N/Pelet mukavemet değerinin elde edildiği görülmüştür.

6.1.2. Melasın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler

Elazığ Şeker fabrikasından temin edilen melasın kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla, literatürde demir cevherleri üzerinde daha önce yapılmış çalışmalar da göz önüne alınarak [28], (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde bir melas çözeltisi hazırlanmış, pelet üretimi sırasında su yerine bu çözeltiden, toplam malzemenin %5,10 ve 15'i olacak şekilde püskürtülmüştür. Elde edilen peletler, pirinç nişastası ile yapılan deneylere benzer bir şekilde 100,150,200 ve 250 °C sıcaklıklarda 30, 60,90 ve 120 dakika kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra hem ham pelet düşme sayısına hem de kuru mukavemet değerlerine bakılmıştır.

Organik malzemelerin 200°C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda yapılarının bozunduğu bilinmektedir. Bu nedenle melasın TG/DTA analizi yapılmış, analiz sırasında numunenin taşır kabarması sonucu referans kabına yapıştığı ve 216°C sıcaklıktan sonra analiz yapılamadığı görülmüştür(Şekil 6.3 (a) ve (b)).



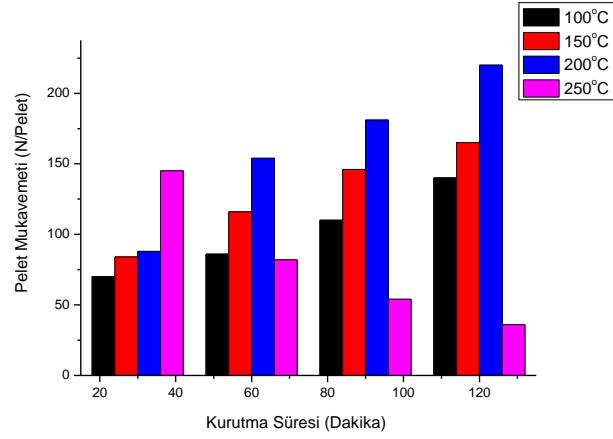
Şekil 6.3. Melasın TG/DTA analizi (a) ve analiz sonrası görüntüsü (b)

Tablo 6.3 ve Şekil 6.4 (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden, pelet üretimi sırasında su yerine bu çözeltiden, toplam malzemenin %5'i olacak şekilde püskürtülerek hazırlanan peletlerin mukavemet değerlerini göstermektedir. Bu peletlerin ham pelet düşme sayılarının 7-13 arasında değiştiği, kuru pelet mukavemetinde ise en yüksek değer 200°C sıcaklıkta 120 dakika bekletilen numunelerde 220 N/Pelet olarak elde edildiği

görülmüştür. %10 Melas ilavesi yapılan peletlerin mukavemet değerleri, Tablo 6.4 ve Şekil 6.5' de, %15 melas ilavesi yapılan peletlerin mukavemet değerleri ise Tablo 6.5 ve Şekil 6.6' da görülmektedir. Bu iki tablo ve şekiller incelendiğinde artan melas miktarının 200 °C'ye kadar pelet mukavemetinde olumlu sonuçlarının olduğu, bu sıcaklığın üzerinde ise artan kurutma süresine bağlı olarak pelet mukavemetinde hızlı bir düşüş yaşandığı görülmektedir.

Tablo 6.3. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltilisinden toplam malzemenin %5'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%5 Melas	100	30	70	7-13 arasında değişmektedir.
		60	86	
		90	110	
		120	140	
	150	30	84	
		60	116	
		90	146	
		120	165	
	200	30	88	
		60	154	
		90	181	
		120	220	
	250	30	145	
		60	82	
		90	54	
		120	36	

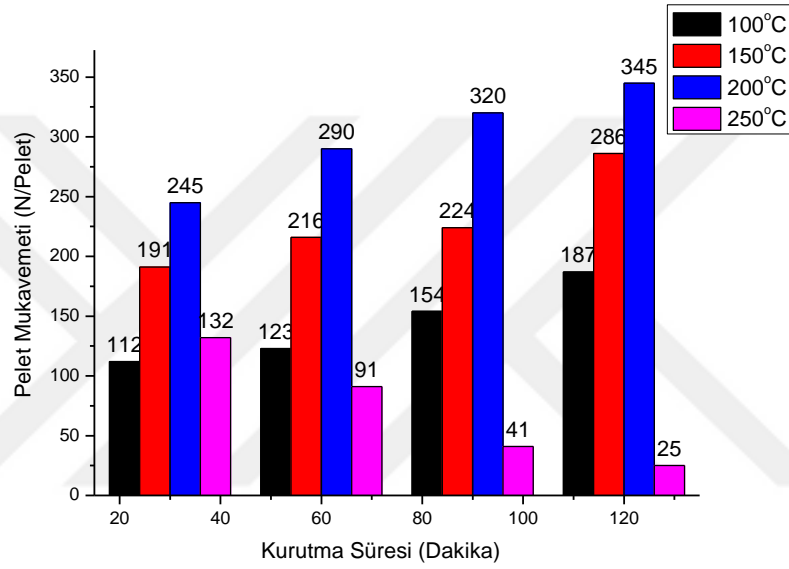


Şekil 6.4. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %5'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.4. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
% 10 Melas	100	30	112	10-16 arasında değişmektedir.
		60	123	
		90	154	
		120	187	
	150	30	191	
		60	216	
		90	224	
		120	286	
	200	30	245	
		60	290	
		90	320	
		120	345	
	250	30	132	
		60	91	
		90	41	
		120	25	

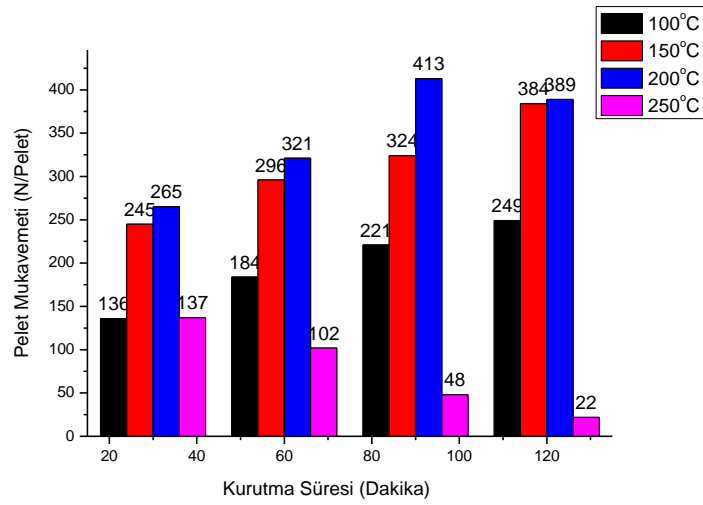
Tablo 6.4 ve Şekil 6.5 incelendiğinde Melas/Su=0,6 olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 120 dakika kurutulmaları sonucu 345 N/pelet mukavemet değeri elde edildiği görülecektir. Bu peletlerin ham pelet düşme sayıları 10-16 arasında değiştiği yine bu değerlerin standartların üzerinde bir değer olduğu görülmektedir. Ancak 250 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilen numunede 132 N/pelet mukavemet değeri elde edilirken, bu sıcaklıktaki kurutma süresi arttıkça peletler neredeyse elle ufalanacak mukavemete kadar gerilemiş 25 N/peletlik mukavemet değerine kadar düşmüştür.



Şekil 6.5. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.5. Tablo 6.4. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %15'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
% 15 Melas	100	30	136	17-28 arasında değişmektedir.
		60	184	
		90	221	
		120	249	
	150	30	245	
		60	296	
		90	324	
		120	384	
	200	30	265	
		60	321	
		90	413	
		120	389	
	250	30	137	
		60	102	
		90	48	
		120	22	

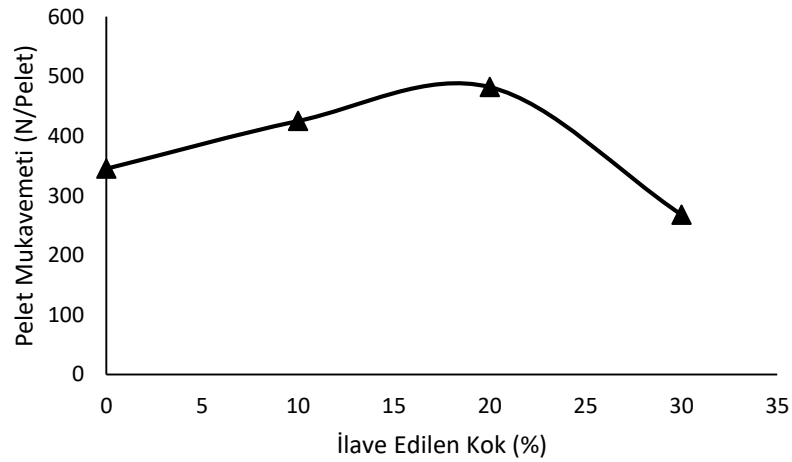


Şekil 6.6. (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %15'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'daki diyagramlar incelendiğinde en yüksek mukavemet değerlerinin %15 melas çözeltisi ilave edilen numunelerin 200°C sıcaklıkta 90 dakika süre ile kurutma işlemine tabi tutulmaları sonucu elde edildiği görülmüştür. Ancak pelet yapımı sırasında püskürtülen melas oranı arttıkça, peletlerin oluşumunda güçlükler yaşanmış, peletler küresel boyuttan çok farklı şekillere dönüştüğü görülmüştür. Soğukta sertleşen kompozit peletler için literatürde tavsiye edilen basma dayanımı değeri 250-300N/pelet (25-30 Kg/Pelet) olup, elde edilen sonuçlar bu değere göre yorumlanmıştır [28]. Soğukta sertleşen pelet mukavemetinde standartlar göz önüne alındığında %10 melas ilave edilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 120 dakika kurutma işlemine tabi tutulan numunenin mukavemet değerinin (345 N/Pelet) standartların üzerinde bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan yola çıkarak kromit cevherinden kompozit pelet üretimi için sıcaklık ve süre sabit tutularak cevherin içerisine %10, %20 ve %30 oranlarında kok ilave edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.6 ve Şekil 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.6. Farklı oranlarda ilave kok edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%10 Melas	200	120	0	345	14-19 arasında değişmektedir.
			10	425	
			20	482	
			30	268	



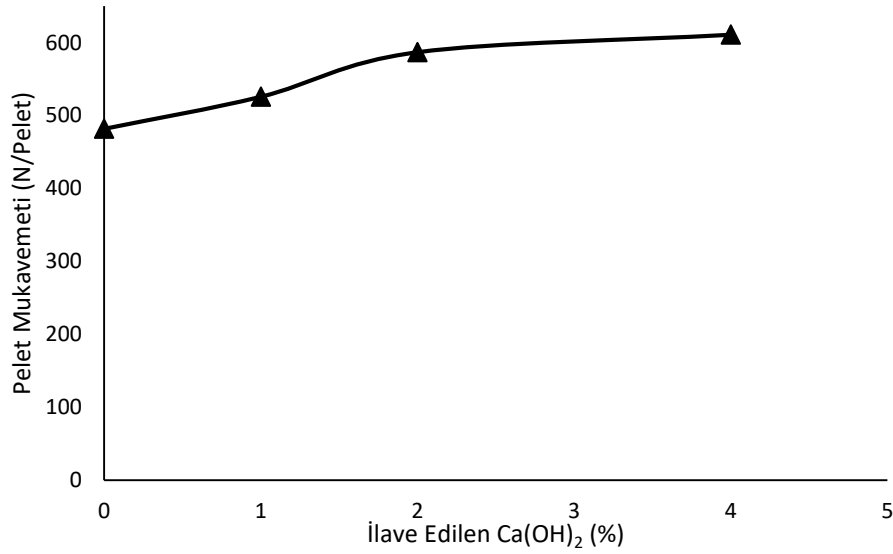
Şekil 6.7. Konsantr içerisine farklı oranlarda ilave edilen kok kömürünün pelet mukavemetine etkisi ((Melas/Su=0,6) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletler T=200°C, t=120 dakika)

Şekil 6.7 ve Tablo 6.6 incelendiğinde, %20 kok ilave edildikten sonra (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'ı kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletler 200°C'de 120 dakika bekletildikten sonra kuru mukavemet değerlerinin ortalama 482 N/Pelet olduğu görülecektir. Aynı koşullarda %30 kok ilaveli peletlerin mukavemet değerlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Kokun doğal hidrofob olmasından kaynaklı olduğu düşünülen bu durum ürün peletlerin yüzeyinde çıplak gözle görülmüştür. %30 kok ilavesi yapılarak üretilen peletlerin, üretim aşamasında çekirdeklenme zorluğu yaşanmış, üretildikten sonra (yaş peletlerde) peletlerin yüzeyi ince bir kok tozu filmiyle kaplandığı görülmüştür.

Melasın bağlayıcılık vasfının standartlara uygun olduğu, ideal kurutma sıcaklığı ve süresinin tespit edilmesi ve ilave edilen kok oranının da belirlenmesinden sonra kendinden flakslı kompozit peletler için cevher ve kok karışımına, toplam karışımın %1, %2 ve % 4'ü olacak şekilde Ca(OH)₂ ilave edilmiş ve mukavemet değerlerine bakılmıştır. Tablo 6.7 ve Şekil 6.8 ilave edilen Ca(OH)₂ oranına göre peletlerin mukavemet değerlerini vermektedir.

Tablo 6.7. Farklı oranlarda Ca(OH)₂ ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok (%)	İlave Edilen Ca(OH) ₂ (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%10 Melas	200	120	20	0	482	15-19 arasında değişmektedir
				1	526	
				2	587	
				4	611	



Şekil 6.8. İlave edilen Ca(OH)₂ oranına göre değişen mukavemet değerleri ((Melas/Su=0,6, Kok/Σ Malzeme =0,2, T=200°C, t=120 dakika, Hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'ü kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletler)

Şekil 6.8'de verilen grafikte, Ca(OH)₂ oranı arttıkça pelet mukavemetinde orantılı bir artış görülmüştür. Ca(OH)₂'in bir diğer adı sönmüş kireçtir ve kireçtaşının fırınlarda 900-1000 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile aşağıda verilen (6.1) ve (6.2) reaksiyonlarına göre elde edilmektedir.



Sönmemiş kirecin (CaO) higroskopik özelliği sonucu suyla olan (6.2) reaksiyonu sonucunda sönmüş kuru toz kireç elde edilir[61].



Pelet oluşumu esnasında ilave edilen CaO'in melas çözeltisindeki suyla ekzotermik reaksiyon vererek açığa çıkan ısının peletlerin çatlamasına ve dağılmasına neden olmaması için deneylerin başlangıcında CaO yerine sönmüş kireç (Ca(OH)₂) seçilmiştir.

Tablo 6.7'de görüldüğü gibi, ilave edilen sönmüş kireç pelet mukavemetinde önemli bir artışa neden olmuş, soğukta sertleşen pelet standartlarının çok üzerinde (611 N/pelet) bir mukavemet değeri elde edilmiştir.

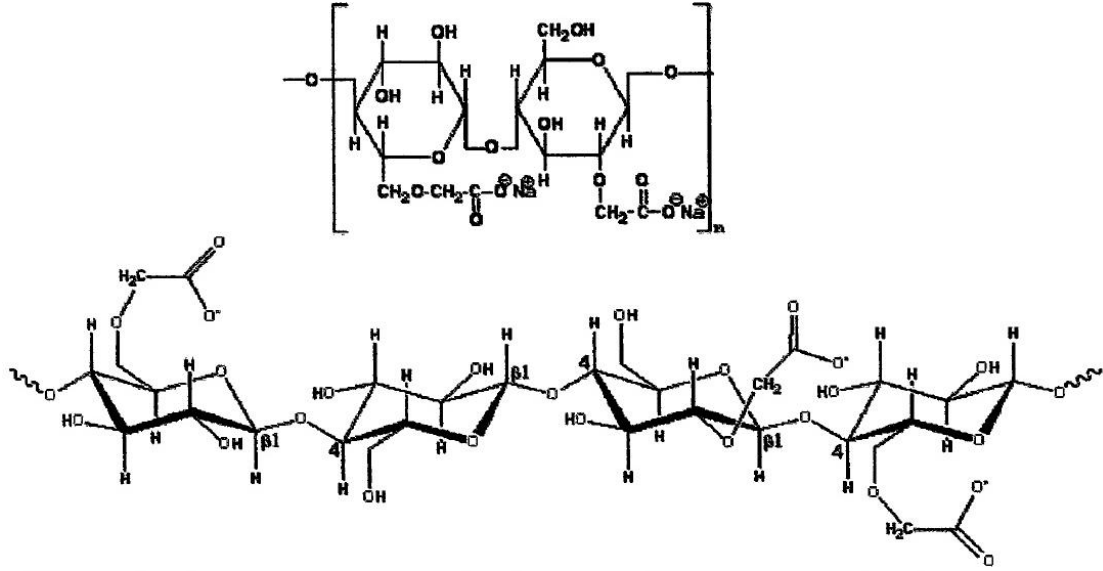
Pelet özellikleri, peletlenen partiküllerin fiziksel karakteristiklerine, sıvı fazın yüzey gerilimine ve viskozitesine ve bağlayıcının bağ kuvvetine bağlıdır. Aşırı miktarda su her bir peletin birbirine yapışmasına sebep olacak ve pelet makinesinden uzaklaştırılması zorlaşacaktır. Soğukta sertleşen küresel pelet üretimi için yapılan bu çalışmada, kromit konsantresine %20 kok, %4

Ca(OH)₂ ve su yerine %60'lık melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u oranında püskürtülerek üretilen peletlerin 611 N/Pelet kuru basma dayanımına, 15-19 ham pelet düşme sayısına sahip oldukları görüldü. Bu peletlerin üretimi için 50-60 dakika sürenin yeterli olduğu görüldü.

6.1.3. CMC'nin Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Deneyler

Sodyum karboksimetil selüloz (CMC) farklı uygulamalar için değişik tiplerde üretilebilen pek çok çeşide sahip bir üründür. 1940'lı yıllarda ticari olarak üretilmeye başlanmış ve bugüne kadar kullanım alanı ve kullanım miktarı sürekli artmıştır. CMC anyonik, suda çözünebilir polimer, selülozun karboksile edilmesiyle üretilir ve selüloz eterleri grubuna girer. CMC alkali selülozun sodyum monoklor asetat (SMCA) veya monoklor asetik asit (MCA) ile iyi kontrol edilmiş şartlar altında reaksiyonu ile imal edilir. Reaksiyon 25-100 °C'de gerçekleştirilir. Selüloz, sübstitüsyon derecesi 0.4' ü geçmediği sürece lifli yapısını korur. 0.4 sübstitüsyon derecesinden sonra hamur haline gelir. % 70-80 metanol ile yıkama ile yan ürün tuzları uzaklaştırılır. Sodyum klorür ve sodyum glikolat bu reaksiyon sonucu ortaya çıkan yan ürünlerdir. Teknik kalitedeki CMC bu yan ürünleri içerse de, saf kalitedeki CMC'de bu yabancı malzemeler yıkanarak saflaştırma yapılır. Kurutulmuş CMC daha sonra arzu edilen parça büyüklüğüne göre öğütülüp elenir. Günümüzde pek çok firma saf kalite CMC ile daha iyi neticeler aldığı ve daha az miktarda CMC tükettiği için, teknik kalitedeki ürünlerden saf kaliteye geçiş yapmaktadır.

Karboksimetil selüloz sıcak ve soğuk suda çözünebilir, organik çözücülerde çözünmez, su/alkol sistemleriyle uyumludur. CMC'nin fonksiyonel özellikleri selülozun yapısal özelliklerine (örneğin; içerdiği hidroksil gruplarına) bağlıdır. Kullanıldığı ürünlerde viskoziteyi jelleştirmeden artırır. CMC'nin doğal pH'ı 8.25 iken ticari olarak daha iyi çözünmesi amacıyla 7-7,5 pH'ta üretilir. Ürünün pH'ı düşürüldükçe, çözünürlüğü de azalır, 4 ve altı pH'larda suda çözünmez hale gelir. Koyulaştırıcı, su tutucu, sabitleyici, koloit engelleyici, süspansiyon hali koruyucu, geciktirici, akıcılığı kontrol edici olarak gıdalarda ve diğer endüstrilerde kullanılır [62]. Karboksimetil selülozun moleküler yapısı Şekil 6.9'da görülmektedir.



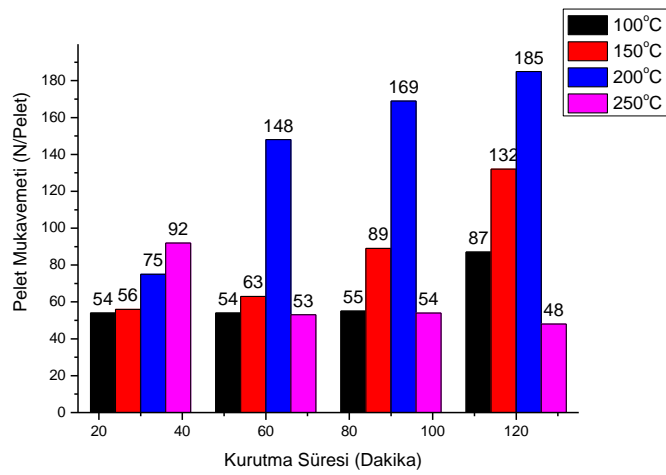
Şekil 6.9. Karboksimetil selülozun moleküler yapısı [63].

Deneylede kromit konsantresi önce bağlayıcı (CMC) ilave edilmeksizin, bir karıştırıcı içine konularak yaklaşık 5 dakika kadar karıştırılıp, topaklaşmaların oluşması önlenmiş; ardından konsantre içine ilave edilen bağlayıcı ile birlikte 10 dakika daha iyice karıştırılmıştır. Melas ve pirinç nişastası ile yapılan deney koşulları ve CMC'nin fiyatı da göz önüne alınarak %0,5, %1 ve %2 oranlarında CMC ilavesi yapılarak peletler üretilmiştir. Yapılan deneylerde CMC oranı arttıkça mukavemet ve ham pelet düşme sayısının arttığı gözlenmiş, ancak CMC'nin fiyat bakımından diğerlerine nazaran daha pahalı olması nedeniyle %2 CMC ilavesinin üzerine çıkılmamıştır. Tablo 6.8'de %0,5 CMC ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin, ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerlerindeki değişim verilmektedir. Şekil 6.10'da ise pelet mukavemetinin kurutma süresine bağlı değişim diyagramı verilmiştir.

Bu peletlerin ham pelet düşme sayılarının 5-7 arasında değiştiği, kuru pelet mukavemetinde ise en yüksek değer 200°C sıcaklıkta 120 dakika bekletilen numunelerde 185 N/Pelet olarak elde edildiği görülmüştür. Elde edilen bu mukavemet değeri, standartların altında olduğundan sonraki deneylerde %1 ve %2 CMC ilavesi yapılarak kromit konsantresi peletleri üretilmiş ve alınan sonuçlar Tablo 6.9, Tablo 6.10 ve Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.

Tablo 6.8. %0,5 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.

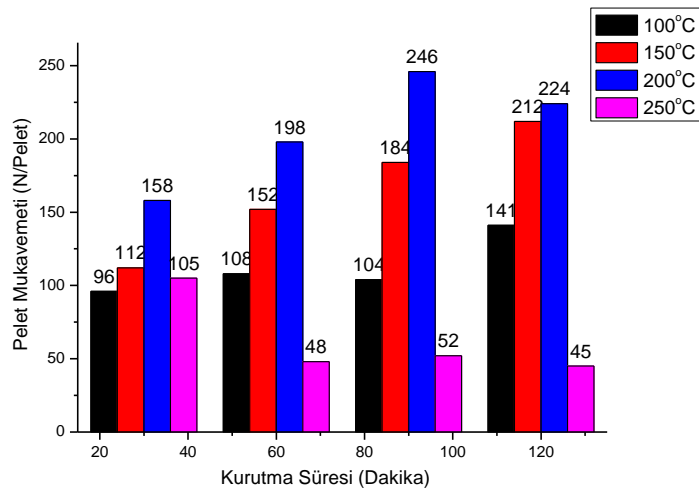
Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%0,5 CMC	100	30	54	5-8 arasında değişmektedir.
		60	54	
		90	55	
		120	87	
	150	30	56	
		60	63	
		90	89	
		120	132	
	200	30	75	
		60	148	
		90	169	
		120	185	
	250	30	92	
		60	53	
		90	54	
		120	48	



Şekil 6.10. %0,5 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.9. % 1 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%1 CMC	100	30	96	10-15 arasında değişmektedir.
		60	108	
		90	104	
		120	141	
	150	30	112	
		60	152	
		90	184	
		120	212	
	200	30	158	
		60	198	
		90	246	
		120	224	
	250	30	105	
		60	48	
		90	52	
		120	45	

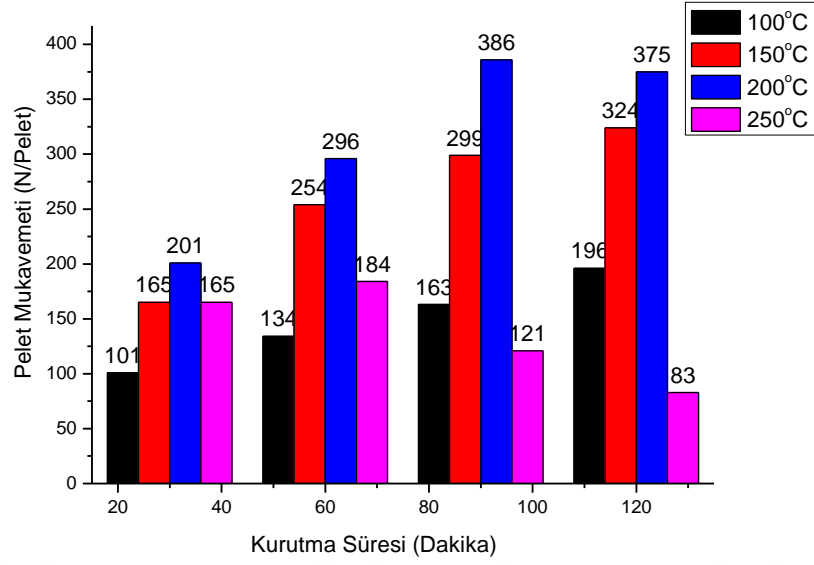


Şekil 6.11. % 1 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.9 ve Şekil 6.11’den görüldüğü gibi %1 CMC ilave edilerek üretilen peletlerde ham pelet düşürme sayıları 10-15 arasında değiştiği, en yüksek kuru mukavemet değerinin yine standartların altında kaldığı (246 N/Pelet) görülmektedir. Ancak tablo 6.10 ve şekil 6.12’den de görüleceği gibi %2 CMC ilave edilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 90 dakika bekletilmeleri sonucu 386 N/Pelet kuru mukavemet değerinin elde edildiği görülmüştür. %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları 23-27 arasında değiştiği de not edilmiştir.

Tablo 6.10. % 2 CMC ilave edilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.,

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.’den serbest atış)
%2 CMC	100	30	101	23-27 arasında değişmektedir.
		60	134	
		90	163	
		120	196	
	150	30	165	
		60	254	
		90	299	
		120	324	
	200	30	201	
		60	296	
		90	386	
		120	375	
	250	30	165	
		60	184	
		90	121	
		120	83	

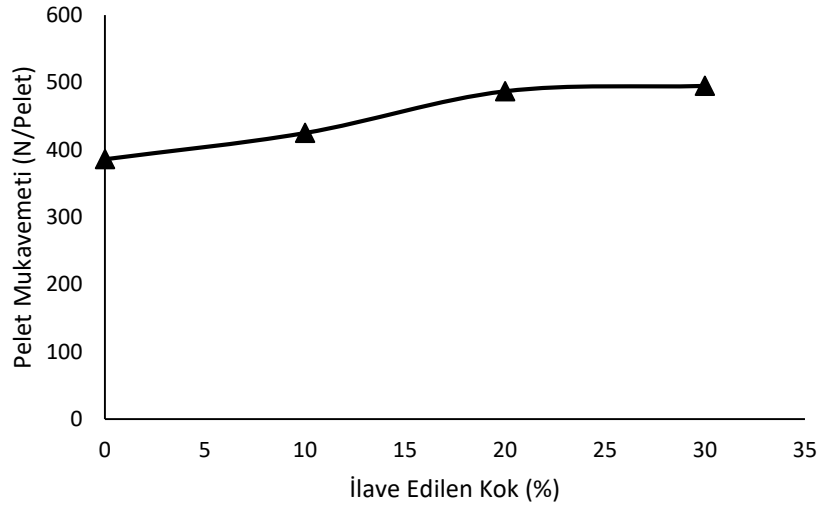


Şekil 6.12. %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Bu sonuçlardan yola çıkarak yine melasla yapılan çalışmalara benzer olarak %10, %20 ve %30 kok ilave edilerek kompozit pelet üretimi gerçekleştirilmiş ve ham pelet düşme sayıları ile kuru mukavemet değerlerine bakılmıştır.

Tablo 6.11. % 2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok Miktarı (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%2 CMC	200	90	0	386	22-28 arasında değişmektedir
			10	425	
			20	487	
			30	495	



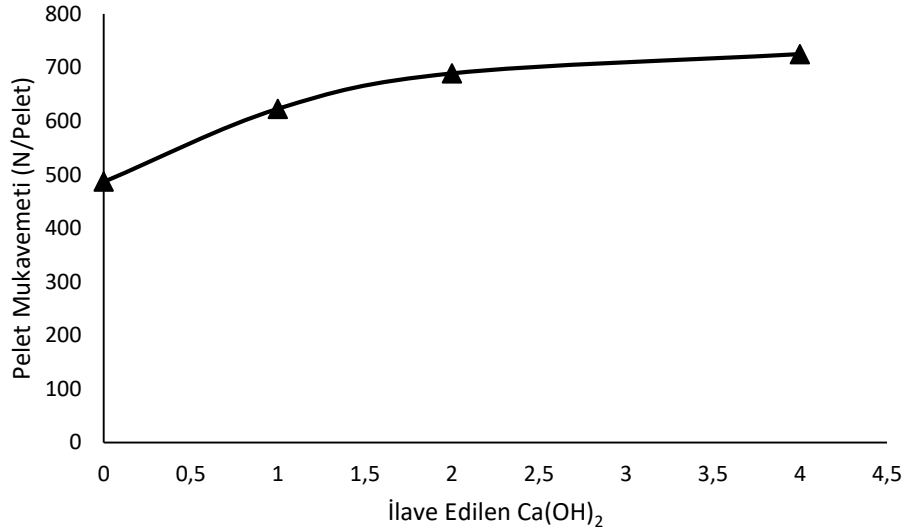
Şekil 6.13. % 2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.11 ve Şekil 6.13 % 2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişimi göstermektedir. Melasla yapılan çalışmalara benzer bir şekilde kok oranının artmasıyla mukavemet değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum, kok bünyesinde bulunan ve kül diye adlandırılan bileşiklerin, bağlayıcılık vasıflarının da olduğu, ilave edilen CMC ile birlikte bu bileşiklerin kuru mukavemet değerlerine katkıda bulunduğu düşüncesini akla getirmektedir. Sonuçta kül denilen malzemenin bünyesinde, Al_2O_3 , SiO_2 , $CaCO_3$ gibi bileşikler başta olmak üzere birçok inorganik bileşik bulunmaktadır.

%30 kok ilavesi ile üretilen melaslı peletlerin aksine, burada pelet oluşumunda bir zorluk gerçekleşmemiş, ancak, kok bünyesinde bulunan çok ince tane boyutlu tozlar pelet yüzeyini kaplamıştır. Bu nedenle yine melaslı deneylerde olduğu gibi, %20 kok, %2 CMC, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi parametreler sabit olarak alınmış, karşımın içerisine farklı oranlarda $Ca(OH)_2$ ilavesi yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.12 ve Şekil 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.12. % 2 CMC, %20 kok ve farklı oranlarda Ca(OH)₂ ilave edilerek üretilen peletlerin ham pelet düşme sayıları ve kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok Miktarı (%)	İlave Edilen Ca(OH) ₂ Miktarı (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Ham Pelet Düşme Sayısı (45 cm.'den serbest atış)
%2 CMC	200	90	20	0	487	26-29 arasında değişmektedir.
			20	1	623	
			20	2	689	
			20	4	725	



Şekil 6.14. % 2 CMC, %20 kok ve farklı oranlarda Ca(OH)₂ ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 6.12 ve Şekil 6.14 birlikte incelendiğinde, artan Ca(OH)₂ oranının kuru pelet mukavemetinde 725 N/Pelet (72,4Kg/Pelet) gibi bir değer elde edildiği görülmüştür. Melasla yapılan çalışmalarda %20 kok, %4 Ca(OH)₂ ve %10 melas ilave edilerek üretilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 120 dakika bekletilmeleri sonucu 611 N/pelet kuru mukavemet değeri elde edilirken, %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 90 dakika bekletilmeleri sonucu 725 N/pelet kuru mukavemet değerinin elde edilmesi enerji bakımından da melasa göre bir avantaj sağlamaktadır. Ancak bir kıyas yapılabilmesi için hem melasın hem de CMC'nin ekonomik yönden de irdelenmesi gerekmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sünger demir üretiminde gerçekleştirilen pelet üretimine benzer bir şekilde kromit konsantresi kullanılarak, soğukta sertleşebilen pelet ve soğukta sertleşebilen kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde Elazığ Kovancılar ilçesinde bulunan ETİKROM Yıldırım holding tesislerinden temin edilen -75 mikron boyutuna getirilen kromit konsantresi kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak, pirinç nişastası, melas, Ca(OH)_2 ve sodyum karboksi metil selüloz (CMC) kullanılmıştır. Ayrıca, kendinden redüklenebilen peletler üretebilmek için de yine konsantre ile aynı boyuta getirilen kok kömürü kullanılmıştır.

Peletlemede kullanılan bağlayıcı cinsi, karışım içerisine ilave edilen bağlayıcı miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi özellikler optimize edilerek her bir bağlayıcı için en uygun parametreler belirlenmiştir. Her bir bağlayıcının önce tek başına, sonra kok kömürü ilave edilerek ve en sonunda başka bir bağlayıcı ve flaks görevi yapabilecek olan Ca(OH)_2 ile farklı oranlarda karıştırılarak peletler üretilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Pirinç nişastası ile soğukta sertleşen küresel pelet üretimi için yapılan çalışmalarda, farklı oranlarda pirinç nişastası ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin, kuru basma dayanımları, soğukta sertleşen pelet mukavemet standartlarına uymadığı, en yüksek mukavemet değerinin %5 pirinç nişastası ilave edilen peletlerde 90 N/Pelet kuru mukavemet değerinin elde edildiği görülmüştür.
- Melasla yapılan deneylerde, (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %5,%10 ve %15'i kadar alınmış ve pelet yapım esnasında püskürtülmüştür. En yüksek mukavemet değerlerinin %15 melas çözeltisi ilave edilen numunelerin 200°C sıcaklıkta 90 ya da 120 dakika süre ile kurutma işlemine tabi tutulmaları sonucu elde edildiği görülmüştür. Ancak pelet yapımı sırasında püskürtülen melas oranı arttıkça, peletlerin oluşturulmasında güçlükler yaşanmış, peletlerin üniform boyuttan çok farklı şekillere dönüştüğü görülmüştür. Soğukta sertleşen pelet mukavemetinde standartlar göz önüne alındığında %10 melas ilave edilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 120 dakika kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra kuru mukavemet değerlerinin (345 N/Pelet) standartların üzerinde olduğu görülmüştür.
- Kok kömürünün melas çözeltisi ile beraber kullanıldığında pelet mukavemetine nasıl etki ettiğini görmek amacıyla cevher içine %10, %20 ve %30 oranlarında kok ilave edildikten sonra (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'i kadar alınıp püskürtülerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerinde en yüksek değer, %20 kok ilave edilen peletlerin 200°C'de 120 dakika bekletilmeleri sonucu 482 N/Pelet olarak elde edilmiştir. Aynı koşullarda %30 kok ilaveli

peletlerin mukavemet değerlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Bu durumun, kokun doğal hidrofob olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

- Melasın bağlayıcılık vasfının standartlara uygun olduğu, ideal kurutma sıcaklığı ve süresinin tespit edilmesi ve ilave edilen kok oranının da belirlenmesinden sonra kendinden flakslı kompozit peletler için cevher ve kok karışımına, toplam karışımın %1, 2, 4'ü olacak şekilde Ca(OH)_2 ilave edilmiş ve mukavemet değerlerine bakılmıştır. Kromit cevherine %20 kok, %4 Ca(OH)_2 ve %60'lık melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u oranında püskürtülerek üretilen peletlerin 611 N/Pelet kuru basma dayanımına, 15-19 ham pelet düşme sayısına sahip oldukları görüldü. Bu peletlerin üretimi için 50-60 dakika sürenin yeterli olduğu görüldü.
- Karboksi Metil Selülozun (CMC) kromit cevherlerinin peletlenmesinde kullanılabilirliğini incelemek amacıyla önce sadece %0,5, %1 ve %2 oranlarında CMC ilave edilerek peletler üretilmiş, buradan alınan en yüksek mukavemet değerine göre belirlenen CMC miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi sabit tutularak, cevherle beraber %,10, %20 ve %30 oranlarında kok karıştırılıp tekrar mukavemet değerlerine bakılmıştır. Melasla yapılan çalışmalara benzer bir şekilde kok oranının artmasıyla mukavemet değerlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bu durum, kok bünyesinde bulunan ve kül diye adlandırılan ve bünyesinde Al_2O_3 , SiO_2 , CaCO_3 gibi bileşikler başta olmak üzere bir çok inorganik bileşiklerinde, ilave edilen CMC ile birlikte kuru mukavemet değerlerine katkıda bulunduğu düşüncesini akla getirmektedir. %30 kok ilave edilerek üretilen peletlerde ise çekirdeklenme gücünü çekilmiş ancak peletler üniform olarak üretilebilmiştir. Bu duruma, yine kokun hidrofobik özelliğinin neden olduğu yorumu getirilmiştir.
- %30 kok ilavesi ile üretilen melaslı peletlerin aksine, burada çekirdeklenmeden sonra peletlerin büyümesi sırasında bir zorluk gerçekleşmemiş, ancak, kok bünyesinde bulunan çok ince tane boyutlu tozlar pelet yüzeyini kaplamıştır. Bu nedenle yine melaslı deneylerde olduğu gibi, %20 kok, %2 CMC, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi parametreler sabit olarak alınmış, karışımın içerisine farklı oranlarda Ca(OH)_2 ilavesi yapılmış ve kuru mukavemet değerlerinin ilave edilen Ca(OH)_2 oranına bağlı olarak arttığı ve %4 Ca(OH)_2 ilave edilen peletlerin kuru mukavemet değerlerinin 725 N/Pelet gibi yüksek bir değere ulaştığı görülmüştür.
- Bu sonuçlara göre, %2 CMC, %20 kok ve %4 Ca(OH)_2 ilave edilerek üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 90 dakika kurutulmaları sonucu elde edilen 725 N/Pelet mukavemet değeri soğukta sertleşen pelet standartlarının çok üzerinde bir değer olup, kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılabilir vasıflara sahip olduğu ortaya konulmuştur.

- Aynı şekilde, (Melas/Su) oranı (60/100) olacak şekilde hazırlanan melas çözeltisinden toplam malzemenin %10'u kadar alınıp ve %20 kok %4 Ca(OH)₂ ve konsantreden oluşan karışıma pelet yapım esnasında püskürtülmek koşuluyla, üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 120 dakika bekletilmeleri sonucu 611 N/Pelet kuru basma dayanımına, 15-19 ham pelet düşme sayısına sahip oldukları ve bu değerlerin de soğukta sertleşen pelet standartlarının çok üzerinde bir değer olduğu, kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılabilir vasıflara sahip olduğu ortaya konulmuştur.



ÖNERİLER

Bu çalışmada kromit konsantrlerinden soğukta sertleşen pelet üretimine bağlayıcı türlerinin, kurutma sıcaklık ve sürelerinin etkisi incelenmiştir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilmek istenen fakat imkansızlıklardan dolayı gerçekleştirilemeyen bazı çalışmalar yapılamamıştır. Bundan sonraki aşamada aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilebilir.

1. Kromit konsantrlerinin peletlenmesi amaçlı farklı bağlayıcılar (portland çimentosu, jöle vb) denenebilir.
2. Burada hazırlanmış olan peletlerin ön redüksiyon işlemleri yapıp, elektrik ark fırınlarına beslenerek, ne kadarlık bir enerji tasarrufuna neden olduğu çalışılabilir.
3. Yine burada üretilen peletlerin yüksek sıcaklıklarda redüksiyonları ve ferrokrom üretimi laboratuvar ölçekli çalışılabilir.
4. Aynı çalışma düşük tenörlü toz cevherlere de uygulanabilirliği araştırılabilir.
5. Bu çalışmada organik bağlayıcılar kullanılarak düşük sıcaklıklarda mukavemet kazandırılmaya çalışılmıştır, benzer bir çalışma inorganik bağlayıcılar (Kil, çimento, CaO, baca tozları vb.) kullanılarak gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] [researchgate.net/publication/323267278_Dunya_Madenciliginin_Son_On_Yilinda_Artan_Metal_Fiyatları](https://www.researchgate.net/publication/323267278_Dunya_Madenciliginin_Son_On_Yilinda_Artan_Metal_Fiyatları), Erişim tarihi: Aralık, 2020.
- [2] Ağaçayak, T., 2004, Selçuk Üniversitesi, Topraktepe (Yeşiladağ – Beyşehir –Konya) Kromitlerinin Araştırma Yöntemlerinin Araştırılması, 3 – 4.
- [3] Othmer, K., Encyclopedia of chemical technology, Second edition, Volume 5, p 451, 1976.
- [4] Önal G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [5] Koptagel, O., Türkiye'deki bazı kromitlerin ana bileşen kimyası özellikleri, C.Ü., Jeoloji Müh. Böl., Jeoloji Mühendisliği, Sayı 48, Mayıs, 1996
- [6] Akseli, A., Kromit cevherlerimizin bazı katma maddelerinin muayenesinde oksitlenmesinin termik ve kimyasal incelenmesi, İ.T.Ü., Kimya Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1969
- [7] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kromit>
- [8] Turgut B., 1995, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsüne sunulan Yüksek lisans Tezi
- [9] Bayat, O., 2009. Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları.
- [10] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı Ankara 2001, DPT: 2626 -ÖİK: 637, 1 – 8,11 – 14.
- [11] Klysz S., Bien A., Examination of the Structure and Micro-Hardness of a Laser-Constituted Surface Layer Deposited on the Constructional Steel, Research Works of Afet, Issue 23, pp. 51 ÷ 63, 2008
- [12] Gence N., 1985, Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- [13] Deniz V., 1992, Burdur – Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- [14] Tahtakıran E., 2008, Krom Cevheri, Ferrokrom ve Paslanmaz Çelik ile İlgili İstatistiksel Bilgiler ve Yorumlar, Mühendisler ve Mimarlar Odası Maden Mühendisleri Odası
- [15] <http://www.mandem.com.tr/faaliyet-alanlarimiz/krom/>
- [16] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/krom.pdf>
- [17] Samanlı S., 1998, Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 63.
- [18] Çilingir Y., 1990, Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, C.1, İzmir.
- [19] Şatır M., 1996, Etibank – Elazığ (Guleman) Şark Kromları İşletmesi Kef Konsantratörünün İyileştirme Çalışmaları, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [20] <https://blackgreen.com.tr/krom-madencilik-operasyonlari/> Er.Tar. 12.12.2020
- [21] Tolun R., 1960. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara. Minerallerin Ayrılma Prensipleri ve Maden Sanayiindeki Tatbikati., 1.
- [22] Güney A., 1990, Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Karadeniz M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri, Önlemler, İstanbul Ofset Basım Yayınevi, İstanbul, 39 – 90.
- [24] Önal G., Özpeker İ., Doğan Z., Atak S., Gürkan V., Kromitin oluşumu, zenginleştirilmesi ve kullanım alanları , İ.T.Ü. Maden Fakültesi, 1986.

- [25] Kıdıman F. B., Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsüne Sunulan Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2009
- [26] Kurşun H., 1993, Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 55.
- [27] Hacıfazlıoğlu H., Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) İle Zenginleştirme ders notları, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Avcılar/İSTANBUL
- [28] Benkli Y.E., (2008), “Soğukta Sertleşen Kompozit Peletlerin Yarı Ergitme Şartlarında İndirgenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Kawatra, S. K., ve Ripke, S. J., (2002), “Effects of Bentonite Fiber Formation in Iron Ore Pelletization”, International Journal of Mineral Processing, 65 (2002)- 141-149.
- [30] Meech, A.J. ve Paterson, J.G., (1984), “Agglomeration Of Iron Ores And Concentrates”, United States Patent, August, 14, 1984, Patent No: 4 465 510.
- [31] Coşar, Ş., (2006), “Demir Konsantrelerinin Peletlenmesinde Bor Minerallerinin Ve Atıklarının Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] https://www.alibaba.com/product-detail/factory-direct-sale-saudi-arabia-shisha_60094454419.html Er.Tar:12.12.2020
- [33] <https://turkish.alibaba.com/product-detail/high-quality-aluminum-dross-briquette-machine-coal-fines-ball-briquetting-press-machine-with-best-price-60731633756.html> Er.Tar:12.12.2020
- [34] <http://news.steel-360.com/iron-ore/maximizing-high-alumina-iron-ore-fines-consumption-sinter-plant>. Er.Tar:12.12.2020
- [35] Boyrazlı M., (2008), “Demir Cevherleri İçerisindeki Safsızlıkların Olumsuz etkilerinin Giderilme Yollarının Araştırılması”, Doktora Tezi, YTU Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [36] Boyrazlı M. (2014), “Demir ve Çelik Üretimi” Ders Notları F.Ü Met. ve Malz. Müh. Böl.
- [35] Sarıdede, M., N., (1998), “Döner Fırında Sünger Demir Üretimi” Doktora Tezi, YTU Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] Çizmecioğlu, Z., ve Sarıdede, M., N., (2005), “Türkiye İçin Uygun Sünger Demir Üretim Teknolojisinin Araştırılması”, Erdemir Maden tarafından YTÜ’ye hazırlatılan Proje, İstanbul.
- [37] <https://www.havermiddleeast.com/de/products/mineral-processing/pelletising/> Er.Tar:12.12.2020
- [38] <https://www.intechopen.com/books/iron-ores-and-iron-oxide-materials/iron-ore-pelletizing-process-an-overview> Er.Tar:12.12.2020
- [39] Aydın S., (1987), “Divriği A Kafası Manyetit Cevherlerindeki Alkalilerin Klorlayıcı Buharlaştırma Yöntemi İle Giderilmesi” Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul-1987.
- [40] Çırpar Ç., Heat Treatment of Iron Ore Agglomerates with Microwave Energy, A Thesis Submitted to The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, January, 2005
- [41] Qiu G., Jiang T., Huang Z., Zhu D., and Fan X., (2003), “Characterization of Preparing Cold Bonded Pellets for Direct Reduction Using an Organic Binder” ISIJ International, Vol. 43 No. 1, pp. 20–25.
- [42] Benkli Y.E., Boyrazlı M., Şenöz G.M.L., Çizmecioğlu Z., 2018(a), Investigation of reduction of magnetite based carbon composite pellets under semi-fusion conditions. Physicochem. Probl. Miner. Process., 54 (3), 2018, 621-628, <http://dx.doi.org/10.5277/ppmp1853>
- [43] Benkli Y.E., Boyrazlı M., Çizmecioğlu Z., 2018(b), Effect Of Furnace Temperature On Iron Nugget Production Under Semi-Fusion Conditions, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 53, 3, 2018, 590-596
- [44] Boyrazlı M., Öztürk E.A., Benkli Y.E., Çizmecioğlu Z., 2015 “Soğukta Sertleşen Pelet Üretiminde Pelet Mukavemetine Na-Bentonit ve Organik Bağlayıcıların Etkilerinin Karşılaştırılması” Metal Dünyası Dergisi Sayı: 262 / Nisan 2015
- [45] Öztürk E.A., Bostancı B., Başgöz Ö., Boyrazlı M., Benkli Y. E., Çizmecioğlu Z., 2017, Manyetit Konsantrelerinin Peletlenmesi İşlemlerinde Bağlayıcı Olarak Kemik Tozunun Kullanılması, Metalurji

Dergisi, TMMOB, Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Yayın Organı, sayı 183, Mart,2017, pp:24-27, ISSN:1300-4824

- [46] Liu, H., (2005), “Self Reducing, Cold-Bonded Pellets”, US 2005/0061207 A1 Patent.
- [47] Benkli Y. E., Boyrazlı M., Avdallar V., Çizmecioglu Z., Artır R., “Organik Esaslı Bağlayıcı ile Soğukta Sertleşen Kompozit Pelet Üretimine Araştırılması”, 14. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ekim 2008, İstanbul
- [48] Benkli Y. E., Boyrazlı M., Artır R., Çizmecioglu Z., “Soğukta Sertleşen Kompozit Pelet Üretiminde Bağlayıcı Olarak Jöle İlavesinin Araştırılması” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- [49] Birol B., Benkli Y. E., Boyrazlı M., Sarıdede M. N., “Soğukta Sertleşen Kompozit Peletlerin Mukavemetine Bağlayıcı Türünün Etkisinin İncelenmesi” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- [50] Bostancı Bayram, Cihangiroğlu Eren, Boyrazlı Mustafa, Arancı Öztürk Elif (2017). The Effect of CMC Addition on Briquet Strength in Production of Cold Bonded Briquette with Iron Based Powders. IATS 2017 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3622437)Doğantepe
- [51] Arancı Öztürk Elif, Bostancı Bayram, Benkli Yunus Emre, Boyrazlı Mustafa, Çizmecioglu Zeki (2017). The Effect of Using Potato Starch as a Binder on the Pellet Strength of Cold-Hardened Pellets. IATS2017 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3622220)
- [52] Benkli Y. E., Arancı Ö. E., Bostancı B., Boyrazlı M., Çizmecioglu Z., (2017). Effect of Using Cornflour on Pellet Strength in Cold Hardening Pellet Production. IATS 2017 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3622424)
- [53] Öztürk E.A., Elibol F., Ercek E., Süner M., Yegin H., Boyrazlı M., 2018,”Soğukta Sertleşen Pelet Üretiminde Çam Reçinesinin Bağlayıcı Olarak Kullanılmasının Pelet Özellikleri Üzerine Etkisi” EJONS International Congress on Mathematic, Engineering and Natural Sciences - III April 21-22, ISBN 978-605-9885-73-7, 2018 Mardin /TURKEY
- [54] Çevik E., Çetinkaya F., Boyrazlı M., Öztürk E., A.,2017, “Haddehane Tufalinden Kompozit Pelet Üretimine İncelenmesi”, Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi,25-26 Kasım 2017, Antalya
- [55] E. Cevik, G. Doğantepe, Ahmet Aycan, E. Arancı, M. Boyrazlı, Hasan Gökçe, H. Ahlatci, Yavuz.Sun “Yüksek fırın baca tozu kullanılarak üretilen kompozit peletlerin redüklenebilirliğinin araştırılması” 2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, 1-3 Nisan 2015
- [56] Yashı M. A., Çelik E., Şengül N., Doğantepe G., Öztürk E. A., Boyrazlı M., 2018, “Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Demir Cevheri Peletleme İşlemlerinde Bağlayıcı Olarak Kullanılması” UMTEB III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, 21-22 Haziran 2018, Gaziantep
- [57] Türk Şeker 2019 sektör raporu, Mayıs 2020
- [58] https://en.wikipedia.org/wiki/Carboxymethyl_cellulose Er.Tar. 13.12.2020
- [59] Eisele T.C., and Kawatra S.K. (2003), “A Review of Binders in Iron ore Pelletization” Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 24:1-90, 2003.
- [60] Bostancı B.,2018, Manyetit Cevheri Konsantresinin Karbotermik Redüksiyonuna Karbonize Çay Tesis Atıklarının Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne sunulan Yüksek Lisans Tezi
- [61] Parlakyıldız M.,2008, Hammadde Olarak Kireçtaşı ve Üretilen Kirecin Standartlara Uygunluğunun Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsüne Sunulan Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2008
- [62] Toğrul H., “Şeker Pancarı Küspesi Selülozundan Karboksimetil Selüloz Üretimi ve Meyvelerin Bozulmalarının Geciktirilmesinde Koruyucu Film Tabakası Olarak Kullanılması” Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, 2002.
- [63] Ayten A., “Limon Kabuğu Selülozundan Üretilen Karboksimetil Selülozun Reolojik Davranışı ve Meyve Kaplama filmlerinde Hidrofil Polimer Olarak Kullanılması” Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Ercan ÇAKIR

[Redacted]

[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]

[Redacted]

[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]

[Redacted]

[Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ✓ Autocad
- ✓ Solidworks
- ✓ Microsoft Office

İŞ DENEYİMİ

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler: Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen 'Elazığ Bölgesi Kromit Konsantrelerinden Farklı Bağlayıcılar Kullanılarak Kompozit Briket Üretiminin Araştırılması' başlıklı TEKF.19.13 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.