

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİNYİTLERİN KARAKTERİZASYONU VE MİKRODALGA İLE KÜKÜRT**  
**GİDERİMİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERMAN KIRAN**

**TEMMUZ 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİNYİTLERİN KARAKTERİZASYONU VE MİKRODALGA İLE KÜKÜRT**  
**GİDERİMİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erman KIRAN**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. A. Dilek CUHADAROĞLU**

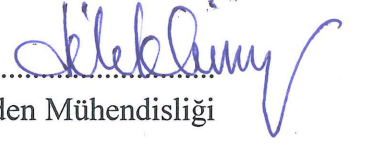
**ZONGULDAK**  
**Temmuz 2019**

**KABUL:**

Erman KIRAN tarafından hazırlanan “Linyitlerin Karakterizasyonu ve Mikrodalga ile Kükürt Giderimi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 12/07/2019

**Danışman:** Prof. Dr. A. Dilek CUHADAROĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü




**Üye** : Prof. Dr. Sait KIZGUT

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü



**Üye** : Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ..../..../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



Erman KIRAN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİNYİTLERİN KARAKTERİZASYONU VE MİKRODALGA İLE KÜKÜRT GİDERİMİ

Erman KIRAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Dilek CUHADAROĞLU

Temmuz 2019, 95 sayfa

Bu tez kapsamında Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden 10 farklı kömür sahasından alınan kömür numuneleri ile çalışma yapılmıştır.

- Numunelerin karakterizasyonu için; kimyasal analizleri (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, üst ısıl değer ve alt ısıl değer), elementel analizleri (C, H, O ve N) yapılmıştır.
- Kükürt (S) çeşitleri (toplam kükürt, pritik kükürt ve yanabilir kükürt) belirlenmiştir.
- 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ağır ortamlarda Yüzdürme-Batırma işlemi yapılmıştır.  
1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin
  - elementel analizleri, toplam kükürt içerikleri,
  - HGI değerleri belirlenmiştir.
  - 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerde petrografik çalışmalar yapılmıştır.
  - Yüzen ürünlerin küllerinin kül ergime dereceleri ve mineralojik bileşimleri belirlenerek, Slagging İndeksleri ve Fouling İndeksleri tespit edilmiştir.
  - Mikrodalga uygulamalarında; mikrodalga enerjisinin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin toplam kükürt içeriğine etkisi incelenmiştir.

## ÖZET (devam ediyor)

Mikrodalga çalışmaları sonunda Çayırhan numunesinin toplam kükürdü %4,08'den %2.36'ya düştüğü, %5,57 toplam kükürt içerikli Ekizköy numunesinin mikrodalga uygulaması sonrası toplam kükürdünün %3,16'ya indiği, mikrodalga uygulaması ile Çayırhan ve Ekizköy numunelerinin toplam kükürt içeriklerinde %42,16 ve %43,27 kükürt giderimi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Linyit, Piritik Kükürt, Toplam Kükürt, Mikrodalga, Kükürt giderme

**Bilim Kodu:** 607.02.03.



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **CHARACTERIZATION OF LIGNITES AND REMOVAL OF SULPHUR WITH MICROWAVE**

**Erman KIRAN**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mining Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. A. Dilek CUHADAROĞLU**

**July 2019, 95 pages**

In this thesis study, coal samples from different 10 locations in Turkey were investigated. In order to characterize the coal samples, they were analyzed in terms of chemical analysis (moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, gross and ultimate calorific value) and elemental analysis (C,H and N). Coal samples were investigated in terms of sulphur content and sulphur types (total sulphur, pyritic sulphur and combustible sulphur). Coal samples were also analyzed in terms of their grindability (HGI). In the first step of this study, float and sink analysis 1.60 g/cm<sup>3</sup> density medium was carried out on the coal samples. Floated coal samples were analyzed in terms of their total sulphur content, elemental analysis and HGI grindability measurements. In addition to these all, petrographic studies were carried out on the cleaned coal samples. Ash samples of floated coal samples were obtained and their ash melting degrees along with mineralogic compositions were analyzed. With the help of these abovementioned ash melting degrees and mineralogic composition analysis, Slagging and Fouling indices of the samples were determined. In the scope of this study, also microwave

## **ABSTRACT (continued)**

application was realized on the floated coal samples. The aim of the microwave application was to observe the effect of microwave on total sulphur content for the 1.60 g/cm<sup>3</sup> density floated coal samples.

Microwave studies resulted as total sulphur content of Çayırhan coal sample decreased down from 4,08 % to 2.36 % while total sulphur content of Ekizköy coal sample decreased from 5,57 % to 3,16 %. Removal percentages of total sulphur content of Çayırhan and Ekizköy coal samples were %42,16 and %43,27, respectively.

**Keywords:** Lignite, Pyritic sulfur, Total sulfur, Microwave, Desulfurization

**Science Code:** 607.02.03.



## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, kapsamının ayrıntılandırılması, sonuçların yorumlanmasında çok değerli katkı ve yönlendirmeleri için tez danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. A. Dilek CUHADAROĞLU'na,

Çalışmalarım süresince değerli katkılarını esirgemeyen, ayrıca petrografik analizlerin yapılmasındaki yoğun emek ve çabaları için Sayın Hocam Prof. Dr. Sait KIZGUT'a,

Çalışmalarım süresince değerli katkılarını esirgemeyen, ayrıca mikrodalga uygulamalarında çalışmalarımı yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. İhsan TOROĞLU'na,

Tezimi değerlendirerek değerli katkılarıyla çalışmamı yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ'ye,

Çalışmanın tüm aşamalarında destek ve yardımları için Dr. Öğretim Üyesi Serdar YILMAZ'a,

Çalışmanın tüm aşamalarında destek ve yardımları için Arş. Gör. Mehmet BİLEN'e

Laboratuvar çalışmalarını beraber yürüttüğümüz meslektaşım Yüksek Maden Mühendisi Cemil Emre YILMAZ'a,

Yaşamım boyunca maddi ve manevi her konuda desteklerini gördüğüm aileme, en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 AMAÇ VE YÖNTEM .....	2
BÖLÜM 2 KÖMÜRÜN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ .....	5
2.1 KÖMÜRÜN TANIMI.....	5
2.2 KÖMÜR OLUŞUMU .....	5
2.3 KÖMÜRÜN SINIFLANDIRILMASI .....	7
2.4 DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR.....	9
2.4.1 Dünya'da Rezervler.....	9
2.4.2 Dünya'da Kömür Üretimi .....	11
2.4.3 Dünya Kömür Tüketim Projeksiyonu (Katrilyon Btu) .....	14
2.4.4 Dünya Kömür Ticareti .....	15
2.4.5 Türkiye' de Rezervler.....	17
2.4.6 Türkiye'de Üretimler.....	21
2.5 TÜRKİYE' DE TAŞKÖMÜRÜ VE LİNYİTİN SEKTÖREL DAĞILIMI .....	23
2.6 KÖMÜRÜN PETROGRAFİK, FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ .....	29
2.6.1 Kömürün Petrografik Özellikleri .....	29
2.6.1.1 Litotipler.....	29

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.6.1.2 Maseraller.....	30
2.6.2 Kömürün Fiziksel Özellikleri.....	31
2.6.3 Kömürün Kimyasal Özellikleri.....	33
<b>BÖLÜM 3 KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT VE KÜKÜRT GİDERME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
3.1 KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT.....	37
3.2 KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT GİDERME YÖNTEMLERİ.....	38
3.3 KÖMÜRDEN KÜKÜRT GİDERME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	43
3.4 MİKRODALGA ENERJİSİNİN KÜKÜRT GİDERİMİNE ETKİSİ.....	45
3.4.1 Mikrodalga Enerjisi İle Desülfürizasyon .....	47
3.4.2 Mikrodalga İle Kömür Üzerinde Yapılan Çalışmalar .....	49
<b>BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>53</b>
4.1 KÖMÜR NUMUNELERİ VE YÖNTEM.....	53
4.1.1 Kömür numuneleri .....	54
4.1.1.1 Kimyasal Analizler.....	56
4.1.1.2 Elementel Analizler.....	62
4.1.2 Yöntem.....	63
4.1.2.1 Yüzdürme-Batırma Testleri.....	63
4.1.2.2 Numunelerin Öğütülebilirliği.....	63
4.1.2.3 Petrografik Analizler .....	65
4.1.2.4 Kül Ergime Derecesi Ve Külün Mineralojik Özellikleri .....	76
4.1.2.5 Mikrodalga Çalışmaları.....	82
<b>BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>95</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Dünya Kömür Kaynak Rezervlerinin Kömür Türü Bazında Dağılımı .....	9
Şekil 2.2 Dünya Kömür Rezervlerinin Bölgeler İtibari ile Dağılımı .....	10
Şekil 2.3 Dünya Kömür Tüketim Projeksiyonu .....	14
Şekil 2.4 Türkiye Toplam Kömür Kaynak Rezervinin Kömür Türüne Göre Dağılımı .....	18
Şekil 2.5 Türkiye'nin Önemli Linyit Sahaları ve Kaynak Rezerv Miktarları .....	19
Şekil 2.6 Türkiye Linyit Kömürü Kaynaklarının Ruhsat Dağılımı.....	20
Şekil 2.7 2017-2018 Yıllarında Türkiye’de Üretimler.....	21
Şekil 2.8 Kömür Üretimindeki Kamu-Özel Dağılımı.....	21
Şekil 2.9 TKİ Tüvenan Kömür Üretim Miktarları .....	22
Şekil 2.10 TKİ Kömür Satışlarının Sektörel Dağılımı .....	24
Şekil 2.11 Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları.....	25
Şekil 2.12 Çalışmada Kullanılan Numunelerin Bölgelerini Gösterir Harita.....	25
Şekil 3.1 Mikrodalga İle Isınmanın Şema Hali .....	46
Şekil 3.2 Malzeme İle Mikrodalganın Etkileşimi .....	46
Şekil 3.3 Mikrodalga Radyasyonu İle Desülfürizasyon İçin Reaksiyon Şeması .....	48
Şekil 4.1 Deneysel Çalışmalarda Uygulanan Akım Şeması. ....	55
Şekil 4.2 Eskiçelttek 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.....	71
Şekil 4.3 Çayırhan 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.....	72
Şekil 4.4 Mihaliççık 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları. ....	72
Şekil 4.5 İstanbul-Ağaçlı 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.....	73
Şekil 4.6 Tınaz 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları. ....	73
Şekil 4.7 Eskihisar 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.....	74
Şekil 4.8 Hüsamlar 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları. ....	74
Şekil 4.9 Ekizköy 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları. ....	75
Şekil 4.10 Sekköy 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları. ....	75
Şekil 4.11 Soma-Eynez 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.....	76
Şekil 4.13 Numunelerin Toplam Kükürt İçeriklerinde Mikrodalga Etkisi. ....	84



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Uluslararası Genel Kömür Sınıflandırması.....	8
Çizelge 2.2 Genel Sınıflandırmada Yeralan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri .....	9
Çizelge 2.3 Kömür Rezervlerinin Kalitesine ve Bölgelere Göre Dağılımı.....	10
Çizelge 2.4 Dünya Kömür Üretiminin Yıllara Göre Değişimi .....	11
Çizelge 2.5 Başlıca Kömür Üretici Ülkeler .....	12
Çizelge 2.6 Koklaşabilir Taşkömürü Üretiminde Önemli Ülkeler ve Üretim Miktarları .....	12
Çizelge 2.7 Önemli Linyit Üreticisi Ülkeler ve Üretim Miktarları.....	13
Çizelge 2.8 Dünya Kömür Ticareti .....	15
Çizelge 2.9 Başlıca Kömür İhracatçısı Ülkeler .....	16
Çizelge 2.10 Başlıca Kömür İthalatçısı Ülkeler .....	16
Çizelge 2.11 Başlıca Koklaşabilir Taşkömürü İhracatçısı Ülkeler .....	17
Çizelge 2.12 Türkiye Taşkömürü Kurumu Ruhsatlı Kömür Sahalarına Ait Rezervler .....	19
Çizelge 2.13 TKİ Kömür Üretim Miktarları .....	22
Çizelge 2.14 2014-2018 Yılları Havza Taşkömürü Üretimi .....	23
Çizelge 2.15 Sektörler İtibariyle Taşkömürü Tüketimi .....	23
Çizelge 3.1 En Yaygın Olarak Uygulanan Kimyasal Kükürt Giderme Yöntemleri .....	40
Çizelge 3.2 Mikrodalga İle Kömür Üzerinde Yapılan Bazı Çalışmalar .....	49
Çizelge 4.1 Numunelerin Kimyasal Analizleri (orijinal baz). .....	56
Çizelge 4.2 Eskiçeltek Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	57
Çizelge 4.3 Çayırhan Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	57
Çizelge 4.4 Mihaliççik Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.....	58
Çizelge 4.5 İstanbul-Ağaçlı Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	58
Çizelge 4.6 Tınaz Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.....	59
Çizelge 4.7 Eskihisar Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	59
Çizelge 4.8 Hüsamlar Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	60
Çizelge 4.9 Ekizköy Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.....	60
Çizelge 4.10 Sekköy Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	61
Çizelge 4.11 Soma-Eynez Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları. ....	61
Çizelge 4.12 Orjinal Numunelerin ve 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukta Yüzen Ürünlerin Elementel Analiz Sonuçları.....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.13 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunluklu Ortamda Yüzen Ürünlerin Kül İçerikleri. ....	63
Çizelge 4.14 1,60 gr/cm <sup>3</sup> yoğunlukda yüzen ürünlerin HGI değerleri. ....	64
Çizelge 4.15 Eskiçeltek Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	65
Çizelge 4.16 Çayırhan Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	66
Çizelge 4.17 Mihaliççık Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	66
Çizelge 4.18 İstanbul-Ağaçlı Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	67
Çizelge 4.19 Tınaz Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	67
Çizelge 4.20 Eskihisar Tüvenan Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	68
Çizelge 4.21 Hüsamlar Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	68
Çizelge 4.22 Ekizköy Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	69
Çizelge 4.23 Sekköy Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	69
Çizelge 4.24 Soma-Eynez Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları. ....	70
Çizelge 4.25 Numunelerin Kül Ergime Dereceleri. ....	77
Çizelge 4.26 Numunelerin 1,60 gr/cm <sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürünlerinin Küllerinin Kimyasal Analizi. ....	78
Çizelge 4.27 Numunelerin Slagging İndeks Sonuçları. ....	79
Çizelge 4.28 Numunelerin Fouling İndeks Sonuçları. ....	81
Çizelge 4.29 Numunelerin Fouling İndeks Sonuçları. ....	81
Çizelge 4.30 Mikrodalga Öncesi ve Sonrası Toplam Kükürt İçerikleri ve Kükürt Giderimi Sonuçları. ....	84



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

g	: Gram
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
cm	: Santimetre
M	: Molar
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
km <sup>2</sup>	: Kilometrekare
MW	: Megawatt
%	: Yüzde
TWh	: Terawatt-Saat
h	: Saat
°C	: Derece Celsius
MPa	: Megapascal
dk	: Dakika
mL	: Mililitre
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
µm	: Mikrometre
Mhz	: Megahertz
Ghz	: Gigahertz
d50	: Numunenin %50'sinin geçtiği boyut
d80	: Numunenin %80'nin geçtiği boyut
sn	: saniye
kW	: Kilowatt
mm	: Milimetre
m <sup>3</sup>	: Metreküp
t	: Ton

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

### KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
DBT	: Dibenzotiyofen
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EHF	: Extremely High Frequency
EÜAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HGI	: Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi
HGMS	: Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı
MİGEM	: Maden İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PCI	: Pülverize Kömür Enjeksiyonu
PETC	: Pittsburg Energy Technology Center
Rf	: Fouling İndeksi
Rs	: Slagging İndeksi
SHF	: Süper High Frequency
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UHF	: Ultra High Frequency
UHP	: Üre Hidrojen Peroksit
XRF	: X-ray Fluorescence

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Kömür; çoğunlukla karbon, oksijen ve hidrojenle oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, fiziksel ve kimyasal ve olarak farklı yapısı olan bir kayadır/madendir. Diğer içerikleri ise kül teşkil eden mineral maddeler ve inorganik bileşikler bulunur. Kömürlerin bazıları ısıtılınca ergir ve plastik hale gelirler. Yapılan işlemler sonucunda katran, likör ve çeşitli gazlar elde edilebilmektedir.

Kömür, fosil kaynaklı yakıt olarak, çok eski tarihlerden itibaren enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Uluslararası kömür ticaretinin Roma İmparatorluğu döneminde yapıldığı bilinmektedir. Kömür 19. yüzyılda sanayi devrimini ateşlemekle kalmamış, 20. yüzyılda elektrik çağını başlatmıştır. 1960'lı yıllara kadar kömür dünyanın birincil enerji kaynağı olarak önemini korumuş, 1960'lı yılların sonlarında yerini petrole bırakmış, ancak kömürün elektrik üretimindeki önemi anlaşılınca tekrar dünya enerji gündemindeki önemli konumunu kazanmıştır. Dünya nüfusu artmasıyla ve yaşam standartlarının yükselmesi enerjiye olan talebi de artırmaktadır. Kömürün dünya genelinde yaygın ve büyük miktarlarda bulunması, artan enerji talebini karşılamak için emniyetli ve ekonomik fosil yakıt olması kömürün önemini artırmakta ve uluslararası piyasada büyük miktarlarda ticarete konu olan kaynak konumunu korumaktadır.

Kömür, enerji kaynağı olarak bir çok avantajlara sahiptir. Dünya fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenme ömürlerine bakıldığında petrol ve doğal gazın tükenme ömrü 50-60 yıl, kömürünki ise 100-120 yıl olarak görülmektedir. Rezervlerinin çokluğu yanında, kömürün geniş bir coğrafyaya yayılmış 50'den fazla ülkede üretiliyor olması, kömür kaynaklarının, petrol ve doğal gaza göre politik ve yönetim açısından daha istikrarlı bölgelerde yer alıyor ve üretiliyor olması kömüre hammadde olarak ayrı bir önem katmaktadır. Kömür, ülkemiz ve dünya için birincil enerji kaynağı olma özelliğini sürdürecektir.

Kömürün; Dünya üzerinde yaygın olarak bulunması ve üretilmesi, kullanım-depolama ve taşıma açısından emniyetli yakıt olması, gelişen temiz kömür teknolojileri ile çevresel etkilerinin en aza indirilmesi, diğer fosil yakıtlara (petrol ve doğal gaz) göre politik çekişmelerden uzak ve daha az riskli bölgelerde üretiliyor ve tükenme ömürleri açısından daha fazla ömre sahip olması vazgeçilmez bir enerji kaynağı olduğu sonucunu doğurmaktadır. Gerek üretimi ve hazırlanması aşamasında yarattığı ekonomik değer ve istihdam imkânları ve gerekse ticareti, taşınması ve tüketilmesi aşamalarında yarattığı katma değer ile kömür, dünya ekonomisinde önemli bir yere sahiptir.

Ülkemiz açısından bakıldığında, toplam taşkömürü rezervlerimiz dünya taşkömürü rezervleri ile kıyaslandığında % 0.13'lük bir payla önemsiz miktardadır. Yerli kaynaklar bakımından en fazla kömür kaynağına sahip olduğumuz ve kaynaklarımızın daha düşük kalorili ve yüksek nem ve kül içeriğine sahip linyitlerden oluştuğu dikkate alındığında kendi kaynaklarımızın özelliklerine uygun verimli, çevre dostu, ekonomik, temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi, bu alanda yetişmiş insan gücü ve finans kaynaklarının artırılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Kömürün doğrudan kullanımı çeşitli çevre problemlerine neden olmaktadır ve önlenmesi için kömür hazırlama işlemleri ile iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

## **1.1 AMAÇ VE YÖNTEM**

Ülkemiz linyitlerinin termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanımı, enerji potansiyelimizi yerli kaynaklara dayalı olarak artırma imkânı sağlamaktadır. Ülkemizdeki linyitlerin yaklaşık olarak %95'i yüksek kül ve yüksek kükürt içerikli kömür sınıfına girmekte olup bu nedenle son yıllarda düşük küllü-yüksek ısı değere sahip ithal kömürlere olan ilgi artmıştır. Yerli kömürlerin zenginleştirilerek kullanım gerekliliği tartışılmaz bir gerçektir. Ülkemiz linyit yataklarının kullanımının artırılmasına yönelik olarak iyileştirilmesi amaçlı bu çalışmada yüksek kükürt içerikli linyit sahalarından alınan 10 farklı numunenin karakterizasyonu yapılarak mikrodalga uygulamasının kükürt içeriği üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; alınan orjinal numunelerde ve bu numunelere 1,60 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yapılan Yüzdürme-Batırma Testleri sonucunda elde edilen temiz ürünlerde aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

- Öncelikle kimyasal ve elementel analizleri yapılmış, kükürt tipleri belirlenmiştir,
- 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ortamda Yüzdürme-Batırma işlemi yapılarak, planlanan çalışmalar için temiz ürünler elde edilmiştir, bu temiz kömürlerde
  - HGI değerleri belirlenerek öğütebilirlikleri incelenmiştir.
  - Mikroskopik çalışmalarla petrografik analizleri yapılmıştır.
  - 1,60 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukda elde edilen yüzen ürünlerin kül ergime dereceleri belirlenmiştir ve küllerin minerolojik bileşimleri belirlenerek Slagging İndeks ve Fouling İndeksi tayin edilmiştir.
  - 1,60 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk da alınan yüzen ürünlere mikrodalga uygulamasının, kükürt içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir.





## BÖLÜM 2

### KÖMÜRÜN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde Kömürün; tanımı, oluşumu, sınıflandırılması, Dünya ve Türkiye kömür rezervleri ile üretim miktarları verilmiş olup, kömürün petrografik, fiziksel ve kimyasal özellikleri açıklanmıştır. Deneysel çalışmalara esas olan kömür numunelerinin sağlandığı kömür üretim bölgeleri hakkında genel bilgiler de yer almaktadır.

#### 2.1 KÖMÜRÜN TANIMI

“Kömür” sözcüğü; homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalı yapı gösteren içersinde çoğunlukla C, az miktarda H, O, S ve N elementleri ve inorganik maddelerin de bulunduğu yanabilen sedimanter organik kayacı tanımlamaktadır. Kömürler, bataklıklarda oluşan, kahverengiden siyaha renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda) da kullanılır (enerji.gov.tr).

#### 2.2 KÖMÜR OLUŞUMU

Kömürler, bataklık ortamlarında yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökmesi-zamana bağlı olarak örtülmesi gibi şartların sağlanması durumunda, pH, sıcaklık, basınç, iklim koşulları vb etkenlerle bitki parçalarının bozularak parçalanması, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler. Kömürleri meydana getiren bataklıkların geliştiği ortamlar;

- Deltalar (en kalın kömür damarlarının oluştuğu ortamlardır),
- Göller (Göl kıyıları, kalın kömür damarlarının meydana geldiği uygun bataklık ortamlardır),

- Lagünler (Deniz etkisinin olduğu ince kömür damarcıklarını meydana getirirler),
- Akarsu taşma ovaları (İnce kömür damarcıklarını oluştururlar)'dır (enerji.gov.tr).

Çoğunlukla bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarında birikip, çökelir ve jeolojik işlemlerle birlikte yer altına gömülür, gömülen bu organik kütleler önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları daha sonra da ortamın ısısal şartlarından etkilenecek organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelerek zamanla koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H<sub>2</sub>) (antrasit aşamasında) ortamdaki uzaklaşır. Bu koşulların dışında volkanik faaliyet varlığı, tektonik hareketler, faylanma-antiklinal ve senklinal oluşum hareketleri ve radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı arttıkça önceleri "**turba**" olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce "**linyit**" daha sonra "**alt bitümlü kömür**", sonra "**taşkömürü**", "**antrasit**" ve en sonunda şartlar uygun olursa "**grafit**"e dönüşür. Bu olgunlaşma süreci "Kömürleşme (Coalification)" olarak isimlendirilmekte her seviyeye de "Kömürleşme Derecesi (Rank)" denmektedir (Hüyükpınar 2010).

**Turba:** Su içerikleri yüksek, karbon içerikleri düşüktür. "Turba" terimi, henüz karbonlaşma safhasını tamamlamamış, karbon yüzdesi 60'ı geçmeyen, genç kömürleri tanımlamaktadır. Turbalara daha çok bataklık yerlerde rastlanmaktadır.

**Linyit:** Yaklaşık olarak 60 milyon öncesine dayanan, bileşiminde su ve birçok yabancı madde görülen oluşumunu tamamlamamış kömürlerdendir. Genel olarak linyitler %65–70 karbon içerir.

**Taşkömürü:** 200-250 milyon yıllık bir yaşa sahip olduğu tahmin edilmektedir. Diğer oluşumlara göre Karbon yüzdesi 80- 90 civarındadır.

**Antrasit:** Meydana geliş tarihi 300 milyon yıl geriye dayanan antrasitlerde karbon içeriği %90-95 civarındadır. Yüksek karbon içeriği, metalik parlaklık ve yüksek kalorifik değer antrasitin karakteristik özellikleridir. İyi elektriksel iletkenliğe, yüksek yoğunluğa ve sertliğe sahiptir. Bu fosil madde kömürden grafitte geçiştir (Hüyükpınar 2010).



**Grafit:** Bir karbon minerali olan grafit (karbon mineralleri; kömür, grafit ve elmas), kömür ve elmastan çok farklı özelliklere sahiptir. Hekzagonal kristal yapısına sahip grafitte, karbon atomları üst üste yığılmış geniş, yassı levhalar oluşturacak biçimde, iki boyutlu düzlemde birbirlerine bağlanmıştır. Bu karbon levhalar birbirlerinin üzerinden kolayca kayar, grafitin iyi bir yağlayıcı olma özelliği bundan kaynaklanır. Stratejik bir hammadde olarak değerlendirilen grafit mükemmel ısı ve elektrik iletkenliği ve ısıya dayanıklılığı gibi çok önemli özelliklere sahiptir. Griden siyaha doğru değişen tonlarda rengi olan grafit, oksijenli ortamda 600-670°C’de yanar, normal hava ortamlarında 3500°C’ye kadar yanmaz, erime derecesi 3927 °C olup, erime ısısına eriştiğinde sıvı haline değil doğrudan gaz haline dönüşür. Normal sıcaklıklarda kararlı ve kimyasal bozunmaya dayanıklılık gösterir, asit, baz ve tuzlara karşı dayanıklı, normal kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsızdır (Hüyükpınar 2010).

**Kok:** Koklaşabilir özellikteki taşkömürünün oksijensiz ortamda belirli bir sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen karbon oranı yüksek ürüne “kok” ya da “kok kömürü” denir. Demir-çelik endüstrisinin vazgeçilmez girdisidir.

## 2.3 KÖMÜRÜN SINIFLANDIRILMASI

Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanında jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler. Bu durum çoğu ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını ihtiyacını doğurmuştur. Kömür üretimi, kullanımını ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu’na birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır.

Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak taşkömürü (hard coal) ve kahverengi (Brown coal) kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 2.1’de Uluslararası Genel Kömür Sınıflandırması yer almaktadır (TTK 2019).

**Çizelge 2.1** Uluslararası Genel Kömür Sınıflandırması (TTK 2019).

A. TAŞKÖMÜRÜ (HARD COAL)	B. KAHVERENGİ KÖMÜRLER (BROWN COALS)
<b>1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER</b>	<b>1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER</b>
(Yüksek finnlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	(4.165-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
<b>2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER</b>	<b>2. LİNYİT</b>
a. Bitümlü Kömürler	( 4.165 kcal/kg'ın altında ısıl değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
b. Antrasit	

Çizelgede görüldüğü üzere;

**Taşkömürü (Hard Coal);** Koklaşabilir Kömürler ve Koklaşmayan kömürler olarak ikiye ayrılır.

**Koklaşabilir Kömürler:** Koklaşabilir özellikte taşkömürlerine “koklaşabilir kömür” ya da “kokluk kömür” denir. Metalürjik kömür olarak da adlandırılır.

**Koklaşmayan Kömürler:** Koklaşabilir kömür olarak sınıflandırılmayan taş kömürleri, diğer bitümlü kömürler ve antrasit olarak sınıflandırılmaktadır. Termal kömür (steamcoal) olarak da adlandırılır.

**1- Kahverengi kömürler (Brown Coal):** Nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg altında kalorifik değerli kömürdür. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar. Kömür üretimi ve ticaretinde IEA/OECD tarafından bu iki kategori kullanılmaktadır ve iki kategori alt sınıflara bölünmektedir. Alt bitümlü kömürler ve Linyit olarak ikiye ayrılır.

**Alt Bitümlü Kömür:** 4.150-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değeri olan kömürdür.

**Linyit:** 4150 kcal/kg altında kalorifik değere sahip olan kömürdür (TTK 2019).

Çizelge 2.2’de genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri verilmiştir.

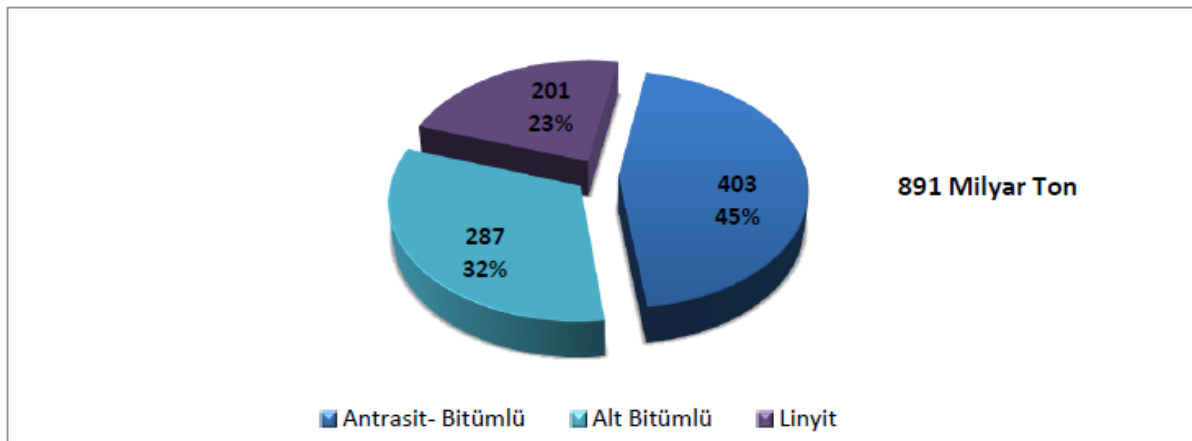
**Çizelge 2.2** Genel Sınıflandırmada Yeralan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri (TTK 2019).

KAHVERENGİ KÖMÜRLER		TAKÖMÜRÜ	
LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ	BİTÜMLÜ	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırlıgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Blok şeklinde kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsisi doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl Değer: 4610 kcal/kg'ın altında	Isıl Değer: 4610-6390 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 5390-7700 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 7.000 kcal/kg'ın üstünde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük
Düşük karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

## 2.4 DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR

### 2.4.1 Dünya'da Rezervler

Dünya kömür kaynak rezervlerinin kömür türü bazında dağılımı Şekil 2.1'de sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere Dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi Dünya Enerji Konseyi'ne göre toplam 891 milyar ton büyüklüğündedir. Bu rezervin; 201 milyar tonu ise linyit, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür sınıfındadır (TKİ 2018).



**Şekil 2.1** Dünya Kömür Kaynak Rezervlerinin Kömür Türü Bazında Dağılımı (Milyar Ton)(TKİ 2018)

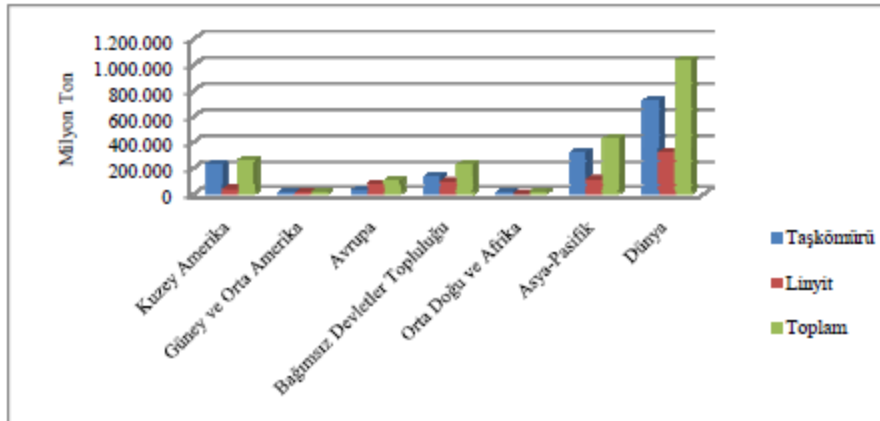
BP 2018 Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporunda yeryüzünde 316 milyar tonun alt-bitümlü kömürler ve linyit rezervleri, 718 milyar tonunun antrasit-bitümlü kömür (taşkömürü) toplam antrasit bitümlü kömür olmak üzere yaklaşık 1trilyon ton olduğu bilinmektedir. Kömür rezervleri çoğu ülkelerde bulunmasına rağmen dünya kömür rezervinde ilk dört ülke sırasıyla; %24,2 payla ABD, %15,5 payla Rusya, %14,0 Avustralya ve %13,4 ile Çin izlemektedir (TTK 2019).

Çizelge 2.3’de kömür rezervlerinin kalite ve bölgelere göre dağılımı, Şekil 2.2’de Dünya kömür rezervlerinin bölgeler itibari ile dağılımı yer almaktadır.

**Çizelge 2.3** Kömür Rezervlerinin Kalitesine ve Bölgelere Göre Dağılımı (milyon ton)(TTK 2019).

Bölgeler	Taşkömürü	Linyit	Toplam	Yüzde (%)	Ömür (Yıl)
Kuzey Amerika	226.306	32.403	258.709	25,0	335
Güney ve Orta Amerika	8.943	5.073	14.016	1,4	141
Avrupa	24.220	76.185	100.405	9,7	159
Bağımsız Devletler Topluluğu	130.162	93.066	223.228	21,6	397
Ortadoğu-Afrika	14.354	66	14.420	1,4	53
Asya-Pasifik	314.325	109.909	424.234	41,0	79
<b>Dünya</b>	<b>718.310</b>	<b>316.702</b>	<b>1.035.012</b>	<b>100</b>	<b>134</b>

Dünya kömür rezervlerinin %2,8’i ise Ortadoğu, Afrika, Orta ve Güney Amerika’da ,%9,7’si Avrupa’da, %21,6’sı Bağımsız Devletler Topluluğu’nda, %25’i Kuzey Amerika’da ve %41’iAsya-Pasifik’te bulunmaktadır (TTK 2019).



**Şekil 2.2** Dünya Kömür Rezervlerinin Bölgeler İtibari ile Dağılımı (TTK 2019).

## 2.4.2 Dünya’da Kömür Üretimi

2000 li yıllarda kömür üretiminde ilk kez 2014 yılında azalma yaşanmıştır. Bu azalma 2015 yılında da sürmüştür ve 2016 yılında da artarak devam etmiştir. 2017’de, termal taşkömürü ve linyit üretiminin %3,1 oranında artması ile 225 milyon ton eğilimde yükselerek değişmiştir. Çin Halk Cumhuriyeti 2016 yılına göre yılında % 3,3 oranında bir artışla 107,9 milyon ton daha fazla kömür üretmiş ve 1985’ten beri hala dünyanın önde gelen kömür üreticisi durumundadır. Amerika ABD’ de 2016 yılına göre 2017 yılında 702,3 milyon ton ile göre % 6,3 oranında artış olmuştur.

Termal taşkömürü üreticilerinden ve ihracatçılarından biri olan Endonezya, 2017 yılında 2016 yılına göre 24,1 milyon ton üretim artışı gerçekleştirmiştir. Ayrıca, Hindistan 2016 yılına göre 18,1 milyon tonluk üretimle 2017 yılında gözle görülür bir artış olmuştur. Dünya kömür üretiminin yıllara göre değişimi Çizelge 2.4’te yer almakta olup, 2013 yılında 8 milyon ton civarında olan üretim, azalarak 2017 yılında yaklaşık olarak 7,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 2.4** Dünya Kömür Üretiminin Yıllara Göre Değişimi (Milyon Ton) (TTK 2019).

Kömür Türü	2013	2014	2015	2016	2017*
Termal Taşkömürü	6.203,1	6.147,2	5.819,7	5.463,4	5.677,9
Koklaşabilir taşkömürü	1.037,6	1.064,8	1.087,6	1.040,1	1.039,9
Linyit	834,7	810,5	823,7	820,7	831,0
<b>TOPLAM</b>	<b>8.075,4</b>	<b>8.022,5</b>	<b>7.731,0</b>	<b>7.324,2</b>	<b>7.548,8</b>

Başlıca kömür üretici ülkeler Çizelge 2.5’te görüldüğü üzere 2017 yılında 3.376 milyon ton ile Çin birinci sırada yer almakta onu Hindistan, ABD Avustralya izlemektedir.

**Çizelge 2.5** Başlıca Kömür Üretici Ülkeler (Milyon ton)(TTK 2019).

ÜLKE	2015	2016	2017
Çin	3,563,2	3,268,2	3,376,1
Hindistan	683,1	711,7	729,8
ABD	813,7	660,8	702,3
Avustralya	512,4	500,3	501,1
Endonezya	454,8	463,5	487,6
Rusya	351,7	366,3	387,2
Güney Afrika	255,4	255,3	257,1
Almanya	184,7	175,6	175,1
Polonya	135,8	131,0	127,0
Kazakistan	107,3	103,1	106,0
Diğer	668,9	688,4	699,5
TOPLAM	7,731,0	7,324,2	7548,8

Koklaşabilir taşkömürü üretiminde önemli ülkeler ve üretim miktarları Çizelge 2.6’da görülmekte olup, Dünyada koklaşabilir özellikteki ve demir-çelik sanayisinde kullanılan taşkömürü üretimi artarak devam ederken 2016 yılında ilk düşüşünü yaşamıştır. 2017 yılında ise dünyadaki koklaşabilir taşkömürü üretimi 1.040,0 milyon ton olarak aynı seviyede devam etmiş, Çin 2014 yılında 620 milyon ton üretim ile üretimde zirveyi yaşamıştır.

**Çizelge 2.6** Koklaşabilir Taşkömürü Üretiminde Önemli Ülkeler ve Üretim Miktarları (Milyon ton)(TTK 2019).

Ülkeler	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*
Avustralya	162,9	146,7	146,9	159,5	180,3	191,1	189,3	190,1
Kanada	28,2	29,5	31,0	34,1	32,0	26,0	25,9	26,9
Çek Cum.	6,0	5,2	5,0	4,6	4,6	4,1	3,3	2,9
Almanya	7,1	7,3	6,3	4,8	4,7	3,8	2,1	2,4
Polonya	11,7	11,4	11,7	12,1	12,3	12,9	13	12,4
ABD	68,6	81,7	81,3	77,9	72,7	57,5	50,6	65,9
Hindistan	41,4	44,3	43,4	49,6	50,6	53	54,6	40,9
Çin	459,5	509,5	515,7	600,7	619,8	593	592	539,6
Kazakistan	11,9	12,4	12,9	13,0	17,9	17,2	10,5	15,5
Rusya	66,9	65,4	72,7	73,8	76,3	82,8	83,4	85,9
Ukrayna	17,7	19,8	20,8	19,7	12,0	6	6	5,2
Diğer	15,0	27,7	33,9	36,5	26,7	33,6	43,5	52,3
Dünya	793,7	911,8	969,9	987,2	1.076,5	1.081	1.040,1	1.040,0

Termal taşkömürü ve linyit, termik santrallerde, elektrik üretiminde, sanayi sektöründe ısı amaçlı ve konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. 1978 yılında OECD, dünyadaki termal taşkömürü üretiminin %42,8'ini oluşturmuş ve bu değer 2000 yılına kadar %37'nin üzerinde kalmıştır. Ancak, OECD üyesi olmayan ülkeler gelişmeye başlamalarıyla birliktetermal taşkömürü üretimini artırmış ve OECD'nin payı azalmıştır.

Önemli Linyit Üreticisi Ülkeler ve Üretim Miktarları Çizelge 2.7'de görüldüğü üzere Almanya, Rusya ve Türkiye ilk üçü oluşturmaktadır.

**Çizelge 2.7** Önemli Linyit Üreticisi Ülkeler ve Üretim Miktarları (Milyon ton)(TTK 2019).

Ülkeler	2015	2016	2017*
Almanya	178,1	171,5	171,3
Rusya	73,6	73,5	75,6
Türkiye	56,1	70,2	74,1
ABD	64,9	66,3	63,6
Polonya	63,1	60,2	61,2
Avustralya	65,4	61,5	57,3
Hindistan	43,8	45,2	47,5
Sırbistan	37,8	38,4	39,8
Çekya	38,1	38,5	39,3
Yunanistan	46,2	32,6	37,4
Diğer	156,6	162,8	164,0
<b>Dünya</b>	<b>823,7</b>	<b>820,7</b>	<b>831,1</b>

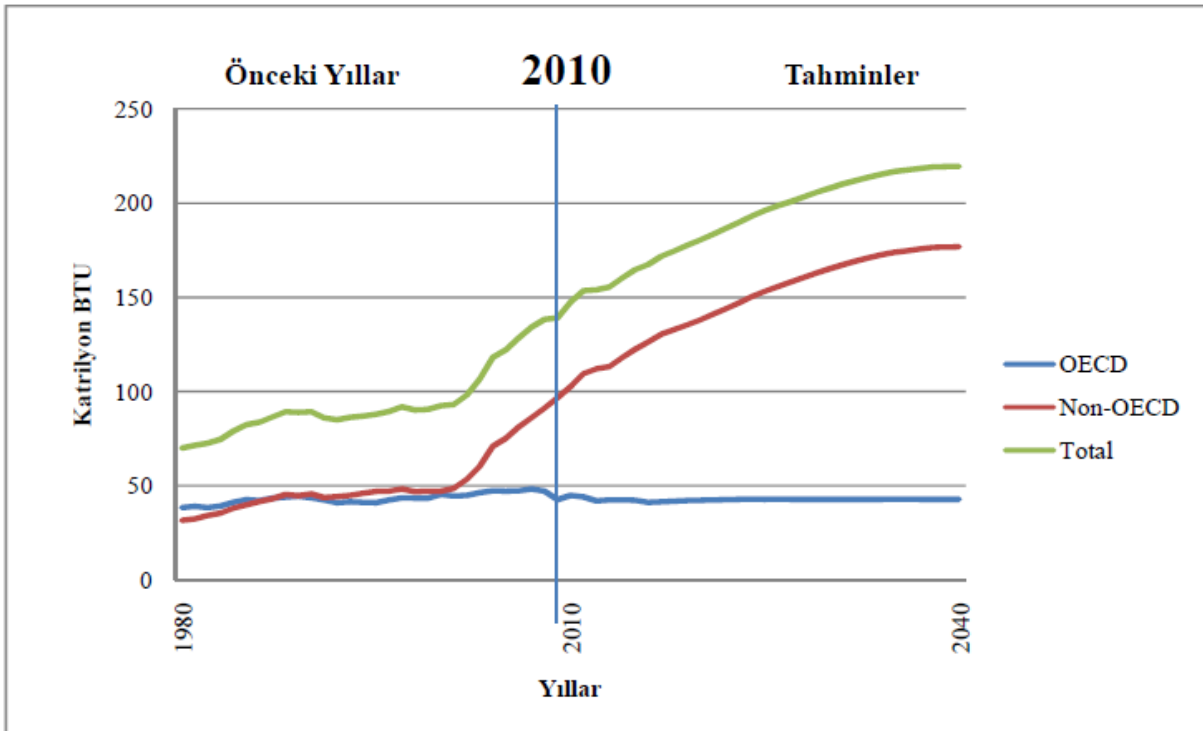
2017 yılında, OECD'nin üretim payı % 16,4 değer ile 1978'deki değerinin yarısından azdı ve IEA'nın veri serisinin başlangıcından bu yana 931,4 milyon ton ile en düşük seviyesine düştü. Elektrik üretiminde ve ısınma amaçlı kullanılan linyitte dünya genelinde üretim 2016 yılına göre 2017 yılında % 1,3 artarak 831,1 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 1989 yılında 1.210,9 milyon ton üretimle zirve yapan linyit üretimi 2107 yılında % 31,4 azalarak 831,1 milyon ton olmuştur.

Türkiye, linyit üretimine başlıca katkıda bulunan ülkelerden biri olarak üçüncü en büyük linyit üreticisi olarak linyit üretiminde Amerika Birleşik Devletleri, Polonya ve

Avustralya'dan daha iyi performansa sahip olup 2017 yılındaki üretimi 74,1 milyon ton olarak gerçekleştirmiştir. Linyit üreticisi ilk 10 ülkeden ABD ve Avustralya hariç çoğunda üretim artışı olurken, en büyük linyit üreticisi olan Almanya'da ise üretim 171 milyon ton seviyesinde sabit kalmıştır (TTK 2019).

### 2.4.3 Dünya Kömür Tüketim Projeksiyonu (Katrilyon Btu)

Şekil 2.3''de görüldüğü üzere Dünya Kömür Tüketim Projeksiyonu'na bakıldığında 2015-2040 yılları arasında kömür tüketimindeki artış oranının ortalama %1,16 olacağı öngörülmektedir. 2010 yılında dünya genelinde 147 katrilyon BTU olan kömür tüketimi 2020 yılında 180 katrilyon BTU ve 2040 yılında 220 katrilyon BTU değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kömür tüketiminin OECD ülkelerinde artış göstermeyeceği, bununla birlikte gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerin taleplerine bağlı olarak 2040 yılında, 2010 yılına göre %50'lik bir artış olması öngörülmekle beraber OECD ülkelerinin kömür taleplerinin 2010 yılı rakamları seviyesinde devam edeceği tahmin edilmektedir (TTK 2019).



Şekil 2.3 Dünya Kömür Tüketim Projeksiyonu (Katrilyon Btu)(TTK 2019).



#### 2.4.4 Dünya Kömür Ticareti

Dünya kömür ticaretinin neredeyse tamamı taşkömürüne ilişkindir. Linyitin ülkeler arasında nakliyesi ya da ticareti günümüzde ekonomik olmamaktadır. Küresel ölçekte ticareti yapılan taşkömürünün elektrik üretimi (buhar kömürü) ve demir çelik endüstrisinin kullanımı için kok üretimi (koklaşabilir kömür) yapılarak iki şekilde kullanılır (TKİ 2016).

Çizelge 2,8'e bakıldığında 2017 yılında küresel kömür ihracat ticareti 2016 yılına göre % 3,3 artarak 1370,3 milyon ton olmuştur. Koklaşabilir taşkömürü ihracatı% 4,5'luk bir oranla 13,9 milyon ton, termal taşkömürü ihracatı ise % 2,6'luk oranla 26,2 milyon ton, artmıştır. Toplam ihracat 2000'den bu yana %119,5 oranında artarak ikiye katlanmıştır.

**Çizelge 2.8 Dünya Kömür Ticareti (Milyon Ton)(TTK 2019).**

		2015	2016	2017 <sup>#</sup>
İhracat	Termal Kömür	990,2	1.003,7	1.029,9
	Koklaşabilir kömür	305,3	313,2	327,2
	Linyit	9,5	9,9	13,2
İthalat	Termal Kömür	1.038,9	1.034,4	1.087,8
	Koklaşabilir kömür	261,3	278,7	294,0
	Linyit	5,2	5,2	5,1
Toplam İhracat		1.305,0	1.326,9	1.370,3
Toplam İthalat		1.305,4	1.318,3	1.386,9

Çizelge 2.9'a göre Avustralya ve Endonezya dünyanın en büyük kömür ihracatçıları olma özelliklerini dünya kömür ihracatındaki % 28,5 ve% 27,6'lık paylarıyla 2017 yılında da korumuşlardır. İç tüketimdeki artışa rağmen, %13,8'lik oranla189,7 milyon ton ile Rusya üçüncü en büyük ihracatçı olmuştur. 2017 yılında dünya kömür ihracatının %96,4'ünü en büyük ihracatçı olan on ülke yapmıştır (TTK 2019).

**Çizelge 2.9** Başlıca Kömür İhracatçısı Ülkeler (Milyon Ton)(TTK 2019).

Ülke	2015	2016	2017*
Endonezya	368,0	372,9	390,6
Avustralya	392,3	389,3	378,9
Rusya	155,2	171,1	189,7
ABD	67,1	54,7	88,0
Kolombiya	72,8	83,3	86,1
Güney Afrika	75,8	69,9	71,0
Moğolistan	14,7	24,1	33,4
Kanada	30,5	30,3	31,1
Kazakistan	31,2	26,0	27,1
Hollanda	36,6	34,6	24,4
Diğer	60,8	70,7	50,0
<b>DÜNYA</b>	<b>1.305,0</b>	<b>1.326,9</b>	<b>1.370,3</b>

Çizelge 2.10'a bakıldığında 2016 yılına göre 2017 yılında dünya kömür ithalatı %5,2 yükselme göstererek 1386,9 milyon ton olmuştur. Bu yükselişin başlıca nedeni, ithalatını 2017 yılında % 6,1 oranında artırarak 271,1milyon tona çıkaran Çin'in 2015 yılında görülen %30'luk düşüşü, tersine çevirmesi olmuştur. 2009'dan bu yana Asya Okyanusya'da (Çin dahil), ilk beş ithalatçı bu bölgeden çıkmıştır. En büyük beş ithalatçı ülke Avrupa veya Avrasya'dandır (TTK 2019).

**Çizelge 2.10** Başlıca Kömür İthalatçısı Ülkeler (Milyon Ton)(TTK 2019).

Ülke	2015	2016	2017*
Çin	204,1	255,6	271,1
Hindistan	212,1	193,6	208,3
Japonya	189,3	186,0	187,5
Kore	134,0	134,5	148,2
Tayvan	64,8	65,6	67,6
Almanya	54,5	57,8	48,0
Hollanda	57,1	49,5	40,3
Türkiye	34,0	36,2	38,3
Malezya	25,5	27,2	31,5
Rusya	24,1	24,0	29,0
Diğer	305,9	288,3	317,1
<b>DÜNYA</b>	<b>1.305,4</b>	<b>1.318,3</b>	<b>1.386,9</b>

2017 yılında, Asya-Okyanusya pazarında termal taşkömürü ithalatı 261,7 milyon tonu OECD ülkelerinde olmak üzere 52,3 milyon ton artarak 798,1 milyon ton oldu. 2017 yılında, Asya-Okyanusya pazarına termal taşkömürü sağlayan başlıca ülkeler ise 383,0 milyon ton ile Endonezya, 205,6 milyon ton ile Avustralya, 84,2 milyon ton ile Rusya ve 64,9 milyon ton ile Güney Afrika olmuştur (TTK 2019).

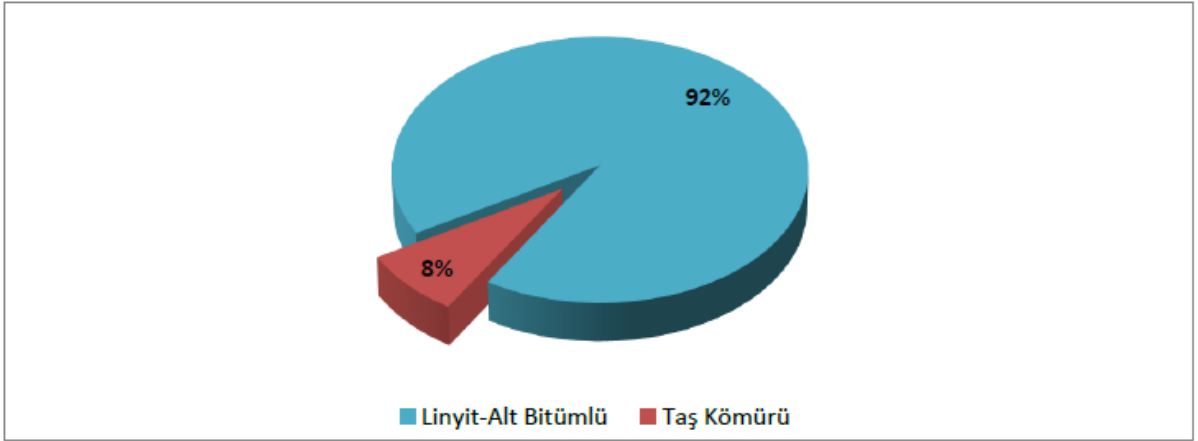
Çizelge 2.11'e göre başlıca koklaşabilir taşkömürü ihracatı 2017 yılında %4,5 artarak 327,2 milyon tona ulaşmıştır. Avustralya 2016 yılında %60,0 olan ihracatı 2017 yılında azalarak 177,2 milyon ton koklaşabilir taşkömürü ihracatı ile dünyanın en büyük koklaşabilir taşkömürü ihracatçısı durumunda ve dünya koklaşabilir taşkömürü ihracatının %54,2'sini temsil etmektedir (TTK 2019).

**Çizelge 2.11** Başlıca Koklaşabilir Taşkömürü İhracatçısı Ülkeler (Milyon Ton)(TTK 2019).

Ülkeler	2015	2016	2017*
Avustralya	187,7	188,0	177,2
ABD	41,7	37,1	50,1
Kanada	28,0	28,0	29,0
Moğolistan	12,5	20,4	25,7
Rusya	18,5	21,7	22,8
Diğer	16,9	18,1	22,4
<b>DÜNYA</b>	<b>305,3</b>	<b>313,3</b>	<b>327,2</b>

#### 2.4.5 Türkiye' de Rezervler

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taş kömüründe (antrasit) ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit rezervlerinin %8,7'si, linyit ve alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,6'sı ve antrasit dâhil toplam dünya kömür rezervinin yaklaşık %2,1'i ülkemizde bulunmaktadır (TKİ 2018).

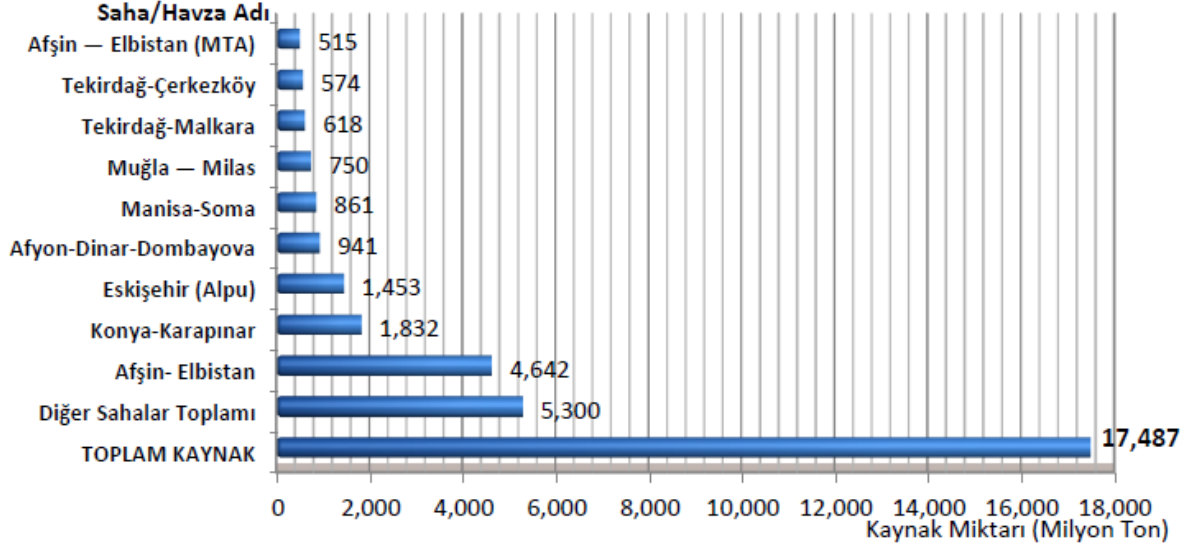


**Şekil 2.4** Türkiye Toplam Kömür Kaynak Rezervinin Kömür Türüne Göre Dağılımı (TKİ 2018).

Şekil 2.4'e bakıldığında Türkiye toplam kömür kaynak rezervinin %8'i taşkömürünün, %92'si nin ise linyit ve alt bitümlü kömür olduğu görülmektedir.

2005-2017 yılları arasında 4 adedi büyük rezervli (Karapınar-Ayrancı, Eskişehir-Alpu, Afyon-Dinar, Tekirdağ-Malkara) olmak üzere 13 adet yeni kömür sahası keşfedilmiş, 3 sahada ise rezerv artışı sağlanarak; EÜAŞ ve TKİ sahalarında 1,66 milyar ton, MTA sahalarında 7,3 milyar ton ve son dönemde özel sektör tarafından beyan edilen 208,9 milyon ton olmak üzere, ülkemiz linyit rezervleri toplam 9,18 milyar ton artırılmış ve 17,5 milyar tona ulaşmıştır. 8,3 milyar ton olan ülkemiz rezervi ise %109 arttırılmıştır (MTA, 2018).

Ülkemizin önemli linyit sahaları ve kaynak rezerv miktarları, (2018 yılı itibarıyla) Şekil 2.5'de sunulmuştur.



**Şekil 2.5** Türkiye'nin Önemli Linyit Sahaları ve Kaynak Rezerv Miktarları (milyon ton)(TKİ 2018).

Afşin-Elbistan Sahası 4,642 milyon ton rezerv ile en büyük linyat varlığımızı oluşturmaktadır.

Ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1,518 milyar ton olup, bunun yaklaşık % 48'i görünür rezerv olarak kabul edilmektedir (TTK 2019). Türkiye Taşkömürü Kurumu Ruhsatlı kömür sahalarına ait rezerv miktarları Çizelge 2.12'de verilmektedir.

**Çizelge 2.12** Türkiye Taşkömürü Kurumu Ruhsatlı Kömür Sahalarına Ait Rezervler (ton)( 2018).

Müessese	Hazır	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Armutçuk	1.763.554	1.826.966	11.089.144	5.885.637	20.565.301
Kozlu	3.411.423	62.675.898	40.539.000	47.975.000	154.601.321
Üzülmez	305.389	133.528.026	94.342.000	74.020.000	302.195.418
Karadon	1.757.841	130.511.049	159.162.000	117.034.000	408.464.890
Amasra A	420.000	5.596.047	2.176.308	7.758.000	15.950.355
Amasra B	—	395.954.757	151.161.950	58.812.778	605.929.485
<b>TOPLAM</b>	<b>7.658.207</b>	<b>735.892.743</b>	<b>461.788.749</b>	<b>313.482.942</b>	<b>1.518.822.641</b>

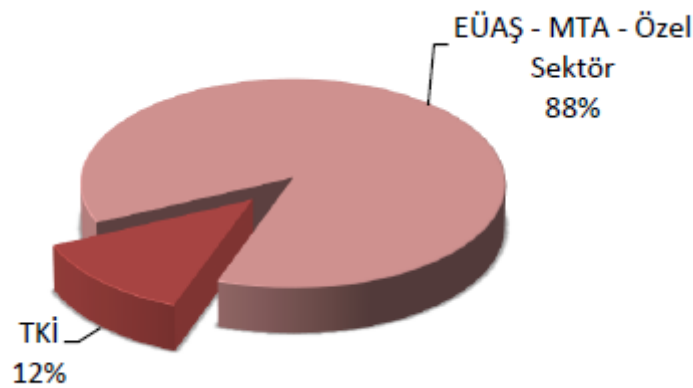
Havzada koklaşabilir rezervler Kozlu, Üzülmez ve Karadon bölgelerinde yer almaktadır. Koklaşabilir taşkömürü rezervlerinin toplam rezervler içerisindeki payı yaklaşık

%57'dir. Armutçuk bölgesinde yer alan rezervler; yarı-koklaşma özelliği, yüksek ısı değeri ve düşük bünye külü içeriği ile hem koklaşabilir kömürlerle harmanlanarak hem de pulverize enjeksiyon (PCI) kömürü olarak demir-çelik fabrikalarında kullanıma uygundur. Amasra bölgesi kömürlerinin koklaşma özelliği bulunmamasıyla birlikte belirli oranlarda metalurjik kömürler ile harmanlandığında koklaşma özelliğini bozmamaktadır. Havza kömürlerinin kalorifik değeri 6.200-7.250 kcal/kg (AİD) arasında değişmektedir (TTK 2019).

Linyit/alt bitümlü kömür sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit/alt bitümlü kömürün ısı değeri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısı değerindedir.

Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır (TKİ 2018).

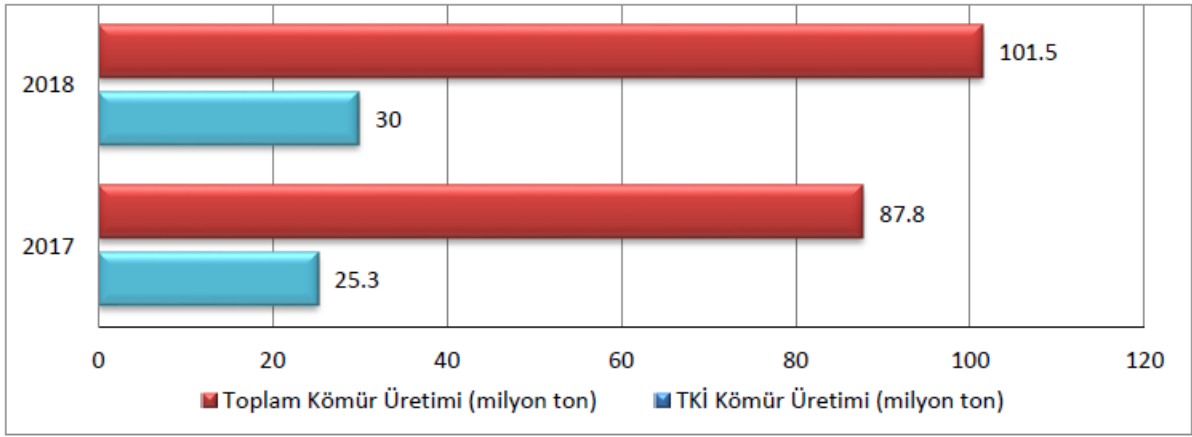
2018 itibarıyla Ülkemizde bulunan 17,47 milyar ton linyit kömürü kaynağının 2,18 milyar tonu (%12,5'i) TKİ uhdesindeki ruhsatlı sahalarda bulunmaktadır. Şekil 2,6'ya bakıldığında toplam kaynaklardaki payı ve bu kaynakların TKİ uhdesindeki sahalara dağılımı görülmektedir (TKİ 2018).



**Şekil 2.6** Türkiye Linyit Kömürü Kaynaklarının Ruhsat Dağılımı (TKİ 2018).

## 2.4.6 Türkiye’de Üretimler

Şekil 2.7’de görüldüğü üzere 2018 yılında Türkiye’de toplam yerli kömür üretimi 2017 yılına göre %15,6 oranında artarak 87,8 milyon tondan 101,5 milyon ton seviyesine çıkmıştır. TKİ üretimi ise bir önceki yıla göre %18,6 oranında artarak 25,3 milyon tondan 30 milyon ton düzeyine çıkmıştır. Böylece TKİ 2018 yılında 101,5 milyon ton olan toplam yerli kömür üretiminin yaklaşık %30’unu gerçekleştirmiştir (TKİ 2018).



Şekil 2.7 2017-2018 Yıllarında Türkiye’de Üretimler.

Kömür üretiminde kamu-özel sektör payı Şekil 2.8’de görülmektedir. 2018 yılında Kamu Kurum Kuruluşları elindeki ruhsat sahalarından yapılan yerli kömür üretimi bir önceki yıla göre yaklaşık 11 milyon ton artışla 42,4 milyon tondan 53,3 milyon tona yükselmiştir, bir diğer ifadeyle 101,5 milyon ton olan toplam üretimin %53’ünü oluşturmuştur (TKİ 2018).



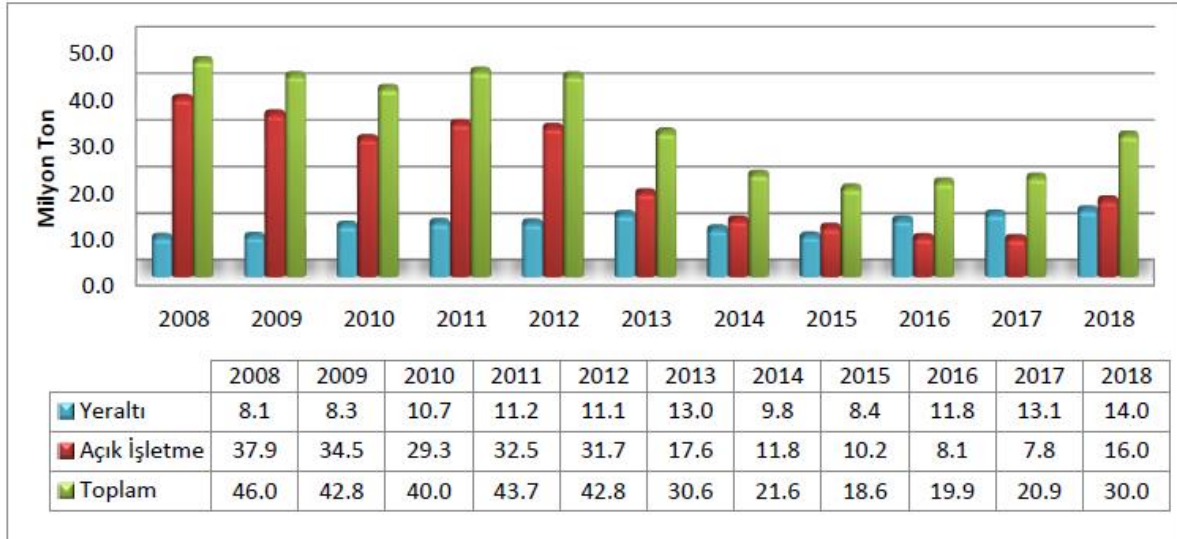
Şekil 2.8 Kömür Üretimindeki Kamu-Özel Dağılımı.

TKİ tarafından son yıllarda gerçekleştirilen üretim miktarları Çizelge 2.13 ve Şekil 2,9’da görülmektedir.

**Çizelge 2.13** TKİ Kömür Üretim Miktarları (Ton)(TKİ 2018).

	ÜRETİM YÖNTEMİ	TÜVENAN (ton)	SATILABİLİR (ton)
EGE LİNYİTLERİ İŞLETMESİ MÜESSESİ	Açık İşletme	3.337.479	3.214.906
	Yeraltı İşletmesi	12.478.194	6.663.734
	<b>TOPLAM</b>	<b>15.815.673</b>	<b>9.878.640</b>
ÇAN LİNYİTLERİ İŞLETMESİ	Açık İşletme	<b>2.881.920</b>	<b>2.825.434</b>
GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ	Açık İşletme	4.035.382	2.686.603
	Yeraltı İşletmesi	1.227.547	653.107
	<b>TOPLAM</b>	<b>5.262.929</b>	<b>3.339.710</b>
KONTROL MÜD. RÖDOVANSLI SAHALAR	Açık İşletme	5.776.985	5.776.985
	Yeraltı İşletmesi	234.932	234.932
	<b>TOPLAM</b>	<b>6.011.917</b>	<b>6.011.917</b>
<b>TKİ TOPLAM</b>	Açık İşletme	16.031.765	14.503.928
	Yeraltı İşletmesi	13.940.673	7.551.773
	<b>TOPLAM</b>	<b>29.972.439</b>	<b>22.055.701</b>

TKİ olarak, özelleştirmeler nedeniyle 2013 yılından itibaren yıllık bazda 20-25 milyon ton civarında üretim olmuştur. 2018 yılında yaklaşık 30 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. TKİ 'nin ürettiği tüvenan kömürlerin tamamı kırblaj/eleme-ayıklama veya lavuvar tesisleri vasıtasıyla kalitesi iyileştirilmiş satılabilir nitelikte kömürler olarak termik santraller ve piyasa tüketimine sunulmaktadır (TKİ 2018). Şekil 2.9 TKİ Tüvenan Kömür Üretim Miktarları verilmektedir.



\*2018 Yılı Tüvenan Üretim Değerine K.M. Rödovanlı Saha Üretimi Dahil Edilmiştir.

**Şekil 2.9** TKİ Tüvenan Kömür Üretim Miktarları (Milyon Ton) 2018.



TKİ' nin 2004 yılında 1 milyon ton civarında olan yeraltı tüvenan kömür üretimi, yıllar bazında artmak suretiyle %63'ü rödovans karşılığı, %35'i hizmet alımı ve %2'si de kendi imkânları ile olmak üzere, 2018 yılında toplam 13,9 milyon ton seviyelerine yükselmiştir (TKİ 2018).

Son yıllarda TTK havza şartlarına uygun mekanize kazı teçhizatı ile pilot çapta uygulama yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu tür teçhizatların havza çapında yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.1991 yılında başlayan rödovans uygulamasıyla,2004 yılından itibaren TTK tarafından işletilemeyen rezervlerin, hukuku TTK uhdesinde kalmak kaydıyla, rödovans karşılığı özel firmalara işlettirilmesi uygulaması başlatılmıştır. 2014-2018 yılları arasında TTK ve özel sektör taşkömürü üretimindeki değişim Çizelge 2.14'te sunulmuştur.

**Çizelge 2.14** 2014-2018 Yılları Havza Taşkömürü Üretimi (ton)(TTK 2019).

YILLAR	TTK (Ton)	ÖZEL SEKTÖR (Ton)	TOPLAMI (Ton)
2014	1300.154	488.187	1788.341
2015	948.573	486.309	1434.882
2016	911.002	404.968	1315.970
2017	823.036	389.936	1212.972
2018	686.142	415.442	1135.356

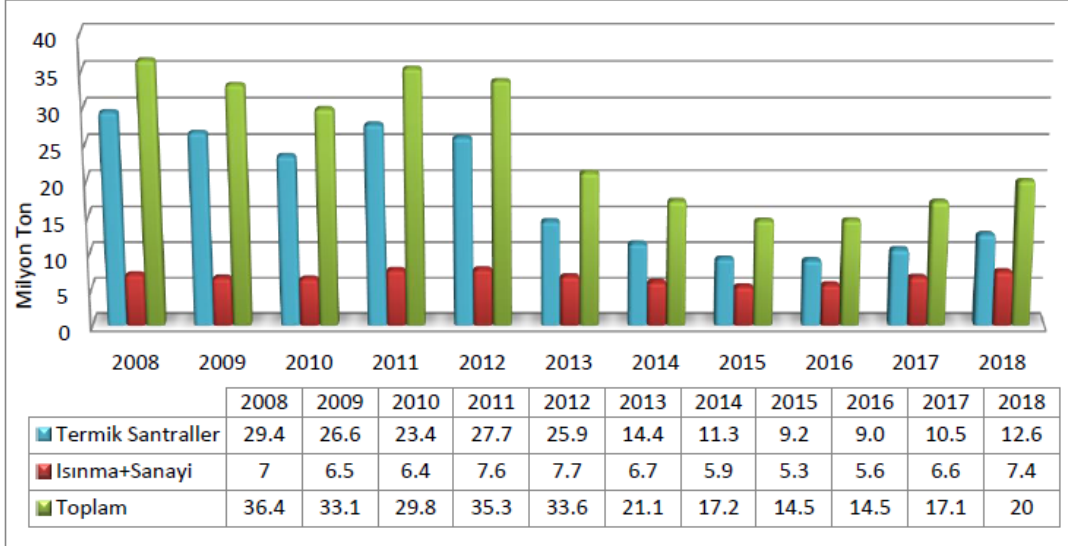
## 2.5 TÜRKİYE' DE TAŞKÖMÜRÜ VE LİNYİTİN SEKTÖREL DAĞILIMI

2018 yılında sektörel bazda Türkiye'de taşkömürü tüketiminde en büyük pay %60,7'lik oranla Termik santrallerin olmuştur. Geriye kalan tüketim ise %15,7oranında kok fabrikaları ve%23,6oranında diğer sanayi gerçekleşmiştir (Çizelge 2.15)(TTK 2019).

**Çizelge 2.15** Sektörler İtibariyle Taşkömürü Tüketimi (×1000 ton).

Tüketiciler	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Termik Santraller	10.116	11.854	11.777	14.044	16.071	16.928	18.822	19.872
Kok fabrikaları	5.200	5.392	5.571	5.722	6.040	6.506	6.190	5.797
Demir-çelik	1.468	143	972	942	1077	951	547	894
Diğer	9.423	14.071	9.858	10.756	11.629	10.851	10.804	7.257
Toplam	26.207	31.460	28.178	31.464	34.817	35.236	36.363	33.820

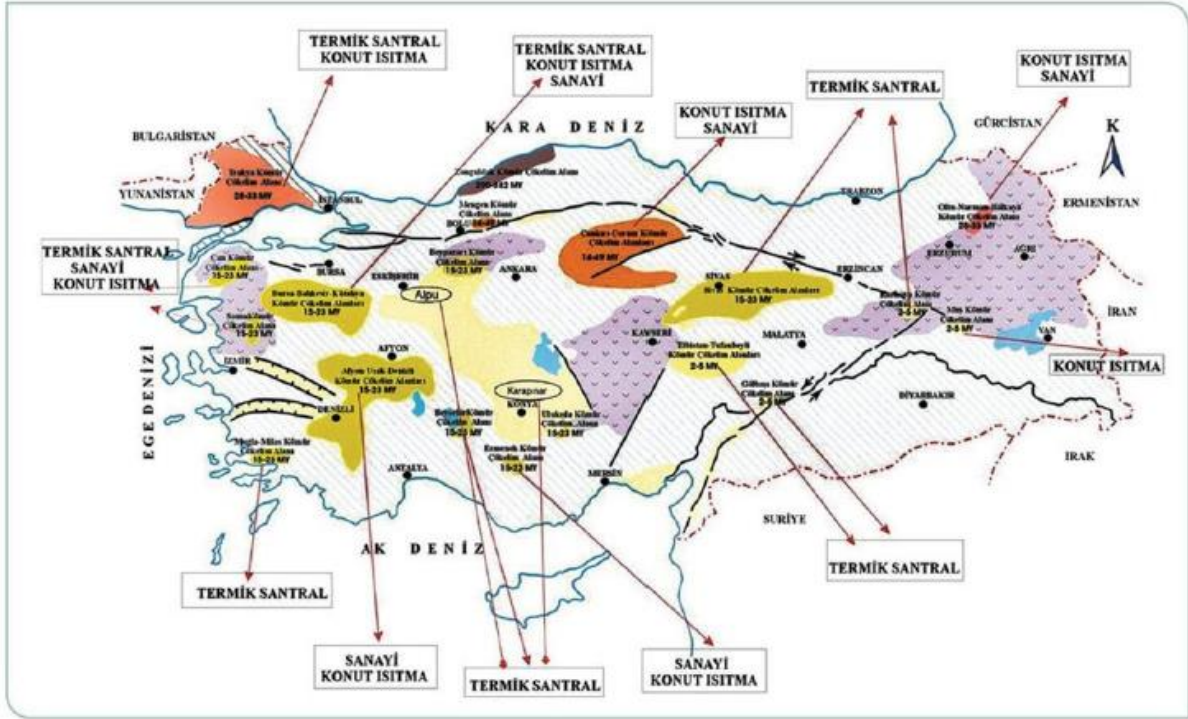
TKİ tarafından yılda ortalama 30-35 milyon ton tüvenan kömür üretilmektedir. Üretilen tüvenan kömürlerin tamamı eleme-ayıklama / lavvar tesislerinden geçirildikten sonra, kalitesi iyileştirilmiş satılabilir nitelikte kömürler olarak tüketime sunulmaktadır (TKİ 2018). Şekil 2.10'da TKİ kömür satışlarının sektörel dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.10 TKİ Kömür Satışlarının Sektörel Dağılımı (milyon ton)(TKİ 2018).

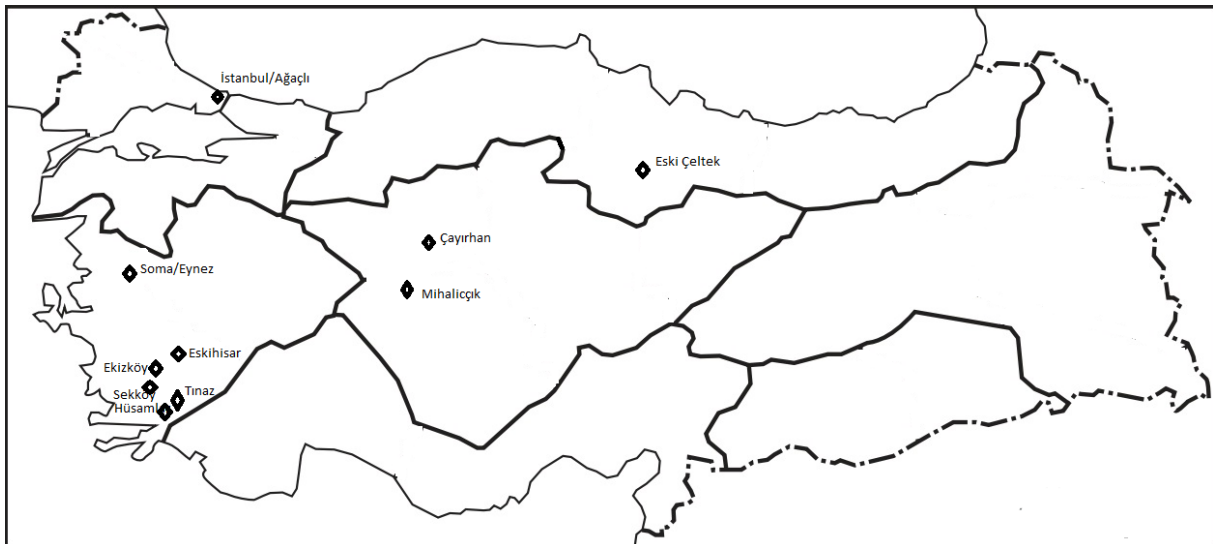
2017 yılı itibariyle Türkiye'deki birincil enerji arzında doğalgaz ve petrolden sonra %17,67'lik payla taşkömürü kullanılmaktadır. Taşkömürünü takiben %9,02'lik oranla linyit kullanılmaktadır.

Ülkemizin önemli kömür sahaları ve kullanım alanları Şekil 2.11'de Türkiye haritası üzerinde görülmektedir.



Şekil 2.11 Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları (TKİ 2018).

Bu çalışma kapsamında Ülkemizin 10 ayrı linyit oluşumundan numuneler üzerinde çalışılmıştır. Çalışılan kömür numunelerinin alındığı kömür sahaları bulduru haritası üzerinde şekil 2.12’de yer almaktadır.



Şekil 2.12 Çalışmada Kullanılan Numunelerin Bölgelerini Gösterir Harita.

Çalışılan kömür numunelerinin alındığı kömür sahaları hakkında özet bilgiler aşağıda yer almaktadır.

**Eski Çelttek:** Çelttek Formasyonu'nun içerisinde olduğu göle giren akarsular, küçük ölçekli deltalar da oluşturmuşlardır (Suluova-Eskiçelttek). Gölün oluşması ile ilgili menderesli akarsuların yanal yönde yer değiştirmeleri sonucu, göl akarsu çökelleri ile dolarak kapanmıştır. Bu sırada iklim göreceli olarak kuraklaşmıştır. Tekrar nemli ve yağışlı iklime geçilmesi ile menderesli akarsularla ilgili turba içeren göller oluşmuştur (Merzifon-Yeniçelttek; Suluova-Bayır ve Çukurören). Bu göller başlangıçta sığ ve bataklık özelliğinde iken, sonraları göreceli olarak derinleşmişlerdir. Orta Eosen yaşlı alüvyon yelpazesi litofasiyes toplulukları (Yuvala Formasyonu) üzerinde olduğu düşünülen menderesli akarsu litofasiyes topluluğunun (Çelttek Formasyonu), başlangıçta çalışma alanının batı ve kuzeybatısında (Hamamözü-Alan ve Saraç) oluşmaya başladığı, sonraları doğu, güneydoğu ve güneybatıya doğru gelişimini sürdürerek, buralarda ekonomik linyit düzeyleri içeren tatlısu göllerinin (Merzifon-Yeniçelttek; Suluova-Eskiçelttek, Bayır, Çukurören; Göynücek-Çayan) gelişmesine neden olduğu düşünülmüştür (MTA 2001).

**Çayırhan Linyit Oluşumu;** Çayırhan sahasında görünür rezerv 260 milyon ton, muhtemel rezerv 105 milyon ton olmak üzere toplam rezerv 365 milyon ton toplam rezerv bulunmaktadır. 1. Saha rezervi mevcut santrallerin ekonomik ömrüne eşdeğer olup imtiyaz kapsamında özel sektör tarafından işletilmektedir. 2. Sahada rezerv ve kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar MTA tarafından sürdürülmektedir (MTA 2010). Çayırhan kömürlerinde alt ısı değer 2000-2800 kcal/kg, nem (%) 20-27, kül (%) 26-42 ve kükürt (%) 2,7-4,1 arasında değişmektedir (MTA 2010).

### **Muğla Milas (Ekizköy, Sekköy, Hüsamlar) Oluşumu**

Muğla havzasının temel kayaçlarını altta Paleozoyik yaşlı şist, gnays ve rekristalize kireçtaşları, üstte ise kireçtaşı bindirmeleri oluşturmaktadır. Bunların üzerinde Alatepe, Turgut, Sekköy, Yatağan, Milet formasyonlarından oluşan Miyosen yaşlı çökeller bulunmaktadır. (Querol vd. 1999). Sahada bulunan Miyosen yaşlı formasyonlar yaşlıdan gence doğru özetlenmiştir.

Şist, gnays ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan taban kayacı Muğla Havzası'nın en yaşlı birimini (Neojen öncesi) oluşturmaktadır. Yeşil renkli çamurtaşı, az miktarda denizel silttaşı ve kumtaşından oluşan Alatepe formasyonunun tabanında yatay olarak çökelmiş verimli kömür seviyeleri yer almaktadır (Görür vd., 1995). Kömürlü seviyeler 100 ve 130 cm

kalınlığında iki damar halinde bulunmaktadır. (Görür vd., 1995). Turgut formasyonu çamurtaşı, kumtaşı ve az miktarda da konglomeradan oluşmakta olup, içerisinde ince kömür ve tuf seviyelerini barındırmaktadır. Formasyonun kalınlığının birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar olabileceği belirtilmiştir. Turgut formasyonu, altta Alatepe formasyonu, üstte verimli kömür damarıyla ve Sekköy formasyonu ile uyumludur. Orta Miyosen yaşlı Sekköy formasyonu altına uyumlu olarak gelmesi nedeniyle yaşı, Erken Orta Miyosen olarak verilmiştir. Turgut formasyonunun oluşum koşulları göl ve nehir ortamları olarak belirlenmiştir (Gökmen, 1993). Sekköy formasyonu, yaklaşık 20 m kalınlığındaki linyitli seviyelerin üzerinde yer alan ve altta ortalama tabaka kalınlığı yaklaşık 1 m olan grimsi ve zeytin yeşili renkli kompakt marnlarla, üste doğru ise laminalı marn, ince kireçtaşı ve kiltası ardalanması şeklinde bir istifte temsil edilir (Querol vd., 1999).

TKİ tarafından yılda ortalama 30-35 milyon ton tüvenan kömür üretilmektedir. Üretilen tüvenan kömürlerin tamamı eleme-ayıklama / lavvar tesislerinden geçirildikten sonra, kalitesi iyileştirilmiş satılabilir nitelikte kömürler olarak tüketime sunulmaktadır (TKİ 2018).

Sekköy formasyonunun taban kesimlerinde kalın kömür damarları bulunmaktadır. Sekköy formasyonu üstte GeçMiyosen yaşlı Yatağan formasyonu, altta ise Erken –Orta Miyosen yaşlı Turgut formasyonu ile uyumludur (Yiğitel, 1979; Atalay, 1980). Yaşı Orta Miyosen'dir (Yiğitel, 1979; Atalay, 1980). Sekköy formasyonu oluşum ortamı, Atalay (1980) tarafından göl ortamı olarak belirlenmiştir. Yatağan formasyonu Üst Miyosen yaşlı olup, egemen litolojisi kırmızımsı kahverengi, orta ve kaba taneli kumtaşlarıdır ve üst kesimlerde yer yer mercek şeklindeki çakıltaşları, konglomeralar ve tufit katkıları da yer almaktadır (Atalay, 1980).

**Mihalıççık;** Kuzeybatı Anadolu Bölgesi ve Güney Marmara Bölgesi, kömürleşme açısından ülkemizin önemli bölgelerini oluşturmaktadır. Bölgedeki kömürlü Miyosen yaşlı çökeller tabandan tavana kadar birbirleriyle yanal ve dikey geçişlidirler. Eskişehir'in doğusunda yer alan sahada temel kayaçları Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Mesozoyik yaşlı ofiyolitler oluşturur. Temel kayaçları üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşlı çökeller gelir. Miyosen yaşlı çökellerin tabanında çakıltaşı, kumtaşı ve kiltasından oluşan m1 serisi yer alır. Üzerine gelen m2 serisi tabandan tavana doğru yer yer çakıllı, yeşil renkli kiltası, kömür, gri renkli kumtaşı, koyu gri yeşil renkli silttaşı, bitümlü marn, kiltası, kömür (liniyit) ve yeşil renkli kiltası, kumtaşı, ince taneli çakıltaşı ardışımından oluşan bir istif sunar. Daha üstte ise yer yer

gözlenen kireçtaşı ve çakıltaşından oluşan m3 serisi ile gevşek çakıltası, kıltaşı düzeylerinden oluşan Pliyosen yaşlı çökeller yer alır. Kuvaterner yaşlı alüvyon, güncel çökeller ile yamaç molozu uyumsuz olarak kendinden yaşlı bütün birimleri örter (MTA 2017).

**İstanbul Ağaçlı;** İstanbul Yarımadası kuzeyinde ve kıyı kuşağı boyunca izlenen Tersiyer tortulları çalışma alanında yaygın bir litoloji topluluğu oluştururlar. Denizel, Eosen yaşlı Tayakadın Formasyonu üzerine diskordansla gelen Ağaçlı Formasyonu, Eosen sonlarında rejimin regresif karakter kazanması ile oluşan ve Oligosen boyunca, karasal özelliğini koruyan, delta düzlüklerinde gelişen, Miyosen yaşlı gölsel ve lagüner bir ortamın ürünüdür. Bu ortamda zenginleşen flora, zaman zaman oluşan bataklıklarda, Ağaçlı Formasyonu bünyesindeki alt, orta, üst şeklinde ayrıtlanan kömür damarlarının oluşumunu sağlamıştır. Bu formasyon içinde izlenen yıkanmış kum tabakaları, Miyosen boyunca denizin zaman zaman transgresyonunu belirtir. Çalışma alanında Pliyosen-Pleyistosen'i temsil eden Belgrad Formasyonu fluvial bir ortamda gelişmiştir. Ağaçlı Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Bölgede kıyı kuşağı boyunca yaygın olarak görülen kumullar Pleyistosen-Kuvaterner yaşlıdır.

Kömürlü birimin yayılımı Kilyos, Karaburun ve Kemerburgaz arasında geniş alanlar kapsamaktadır. Bu alanlardaki linyit rezervi miktarı ile ilgili, eski çalışmalarda verilen rakam Kısırkaya-Yeniköy arasında kalan bölge için 75.802.590 ton'dur. Başka bir araştırmacı aynı bölge için 9.949.000 ton rezerv hesaplamıştır. Çalışma alanının batısı Karaburun-Karacaköy-Podima civarını kapsayan alanda yapılan kömür amaçlı sondajlarda (Turnacıgil 2008) kömür damarına rastlanmamıştır. Sahanın tamamında ne kadar linyit rezervi bulunduğu konusunda rakam belirlemek mümkün değildir. Çünkü sahanın tamamı özel ruhsat alanları ile kapalıdır. Bu ruhsatlardaki linyit rezervleri ve üretilen miktarlarla ilgili rakamlara ulaşamamıştır (MTA 2018).

**Yatağan Linyit Oluşumu (Tınaz, Eskihisar);** Muğla ilinin kuzeybatısında bulunan ve Miosen yaşta olup ince tabakalı, ksilitik ve hafif killi olan yumuşak bir linyitten oluşur. Yatağan ilçesi civarında; Milas ilçesi güneyinde; sırasıyla Karacahisar, İkizköy, Belentepe ve Alatepe yatakları yer almaktadır kuzeyden itibaren Turgut, Eskihisar, Tınaz, Bağyaka ve Bayır yatakları bulunmaktadır (MTA 2012).

**Soma Eynez;** Soma kömür havzası, rezervi ve kömür kalitesi bakımından Ülkemizin en önemli linyit havzalarından birisidir. Havzada 150 yıldan beri kömür madenciliği yapılmaktadır. Linyit oluşumlarının en alt seviyesi Eynez ocaklarından üretilmektedir. Kömür seviyesinin alt kesimleri çok killi ve bol fosil kavkıdır. Ayrıca kireçtaşı, kumtaşı veya kiltaşından oluşan arakatkılar da sıkça bulunur. Seviyenin üst kesimlerine doğru gidildikçe kömürün kalorisi artar, rengi siyahlaşır, kömür daha sert ve camsı yapı kazanır; bu düzeylerde yer yer az miktarda kükürt de bulunur. Kalınlığı 15 ile 35 m arasında değişen kömür düzeyi, 08-25° eğime sahiptir.

Soma Eynez kömürleri yüksek kömürleşme derecesine (yüksek ranklı kömürler) sahip oldukları için uçucu madde miktarları yüksektir. Uçucu kömür gazları patlayıcı ve yüksek yanıcı özellik gösterirler (Jeoloji Müh Odası 2014).

## **2.6 KÖMÜRÜN PETROGRAFİK, FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

### **2.6.1 Kömürün Petrografik Özellikleri**

Kömür yapısal olarak organik, inorganik madde ve sudan meydana gelen yanabilir bir kayadır. Kömürü meydana getiren bitkisel kısmın kaynağı ağaç kökü, dalı, yaprağı, spor ve reçinelerdir. Bataklık alanda birikmiş olan bitkisel (milyonlarca yıl önce yaşamış-ölmüş-birikmiş) kısımların metamorfizmaya uğraması sonucu oluşan kömürün oluşumu sırasındaki farklı fiziksel ve kimyasal bileşimdeki bitkilerin mevcudiyeti ve kömürleşme sürecinin farklılığından dolayı yapısal olarak farklı özellikler gösteren bantlı bir yapısı vardır (Kural 1998). Gözle görünen (litotipler), ve gözle görünmeyen (maseraller) kömürün petrografik bileşenleri olup bantlı yapıları oluşturur. (Taşdemir 2007). Petrografik yapıyı oluşturan bu litotipler ve maseraller kömürleşme derecesine bağlı olarak değişim gösterir ve ısı değerini etkiler.

#### **2.6.1.1 Litotipler**

Kömür mikroskobik olarak ince bantlar, mat, yarı parlak ve parlak halinde görülebilmektedir. Çıplak gözle bantlar halinde görülebilen litotipler, karakteristik özelliklerine göre vitrain, fusain, durain ve klarain ve olmak üzere 4 gruptan oluşur.

**Vitrain:** En parlak kömür litotipi olup, camsı görünüşte, kompakt ve homojen bir yapıdadır. Eli boyamaz, konkoidal küpler şeklinde kırılır.

**Klarain:** Vitraine göre parlaklığı daha azdır. Yapısal olarak durain ile vitrain arasında değişim göstermekte olup, genellikle tabakalanmaya dik çok sayıda, devamsız ince çatlaklar yer alır. En yaygın litotip, klarain'dir.

**Durain:** Bu litotip çok serttir ve kırılması düzgün yüzeyler içermeyen taneler şeklindedir. Mat siyahtan kahverengimsi siyaha doğru renk değişimi gözlenir. Kömürün en donuk bandıdır.

**Fusain:** İpliksi yapısı ile odun kömürünü andırır, kırıldığında eli boyar. Siyah ve grimsi siyah renkli, çok kırılabilir ve toz haline gelebilen bir banttır (Taşdemir 2007).

### 2.6.1.2 Maseraller

Kömür "maseral" adı verilen mikroskopik birimlerden oluşmaktadır. Kömürün yapı taşları olan Maserallerin belirlenmesi mikroskopik çalışma ile ya ince kesit yöntemiyle (ışığın numuneden geçirilmesi) ya da parlak kesit yöntemiyle (ışığın numune üzerine yansıtılması) yapılır. Kömürlerdeki maseraller genellikle kümeleşirler. Bu kümelere mikrolitotipler denir. Çeşitli maseraller vitrinit, ekzinit ve inertinit diye gruplaşır (Özbayoğlu 1977).

**Vitrinit:** Parlak kesitteki yansıyan ışık altında gri renkte gözükürken bu maseralin özgül ağırlığı, 1,2 ile 1,7 arasında değişim göstermektedir. Kül içeriği genellikle %1'in altında olup, şişme ve plastisite özelliklerinin iyi olmasından dolayı kömürün koklaşabilme özelliğini belirler. Camsı bantlar halinde ve belirgin hücre yapısı göstermektedir.

**Eksinit:** Aynı kömür için vitrinite göre ışığı daha az yansıtır ve yoğunluğu da daha azdır. Yapısında spor içerir, düşük ranklı kömürlerde bu sporlar yansıyan ışıkta kahverengiden sarıya değişen renkte görünmektedir. Kömürün rankı arttıkça eksinitin yansıyan ışıkta görünen rengi grileşir ve vitrinit görünümü sergiler ki bu durumda vitrinitten ayırtetmek zorlaşır.



**İnertinit:** Esas elementi fusinit'tir, bu nedenle de kolayca fayırt edilebilir. Fusinitin görünümü odun kömürü görünümündedir. Kimyasal olarak vitrinite göre rankı daha büyüktür, uçucu maddesi çok azdır (Hiçyılmaz 1990).

## 2.6.2 Kömürün Fiziksel Özellikleri

**Nem:** Kömür yapısının ana bileşenlerinden olup, kömürlerde bünye ve yüzey ve nemi olmak üzere iki farklı nem bulunur. Nem, yanabilir özellikte olmadığı ve kömürün yanması sırasında buharlaştırma işlemi için enerji gerektirdiğinden kömürün ısıl değerini düşürür, Pratikte her %1 nem, %1 kül içeriği olarak kabul edilmektedir.

Bünye nemi; Kömürün yapısında bulunan bünye nemi inorganik maddelere bağlı bulunan sudan kaynaklanır. Bünye nemi bitümlü kömürlerde %1-3 arasında değişirken, linyitlerde %55'e kadar yükselebilmektedir. Bünye nemi kömürün 105°C' de, 2-4 saat ısıtıldıktan sonra kömürden uzaklaştırılır. Yalnızca bünye nemi içeren kömürler kuru görünümde dirler ve tozlu kırılırlar kırıldıktan sonra da tozlanma yaparlar (Taşdemir 2007).

Yüzey nemi; rutubetli havadan kaynaklanan ve kömürün su ile temas etmesi sonucu kömürden bulunan nemdir. Kömürün tane boyutu yüzey nemi miktarını etkiler. Tane boyutunun artışıyla toplam yüzey alanının artması bunda etkindir. Kömür havada belirli bir süre (2-4 gün) kurutulursa yüzeynemi kömürden uzaklaşır (Taşdemir 2007).

Kömürün nem içeriği kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır. Literatürde tüvenan taşkömürünün %1-3, sert linyitlerin %20-30, yumuşak linyitlerin %40-60 ve turbaların %60'ın üzerinde nem içerdiği belirtilmektedir. Nem, nakliyede gereksiz taşımaya sebep olabileceği gibi, kömürün verebileceği enerjiyi buharlaşan su oranında azaltacağı için de zararlıdır (Taşdemir 2007).

**Özgül Ağırlık:** Herhangi bir boyutlu kömür parçasının özgül ağırlığı, külü, nemi, sabit karbon ve uçucu madde miktarına bağlıdır. Kömürdeki kükürtün kaynağı olan pirit, markasit minerallerinin varlığı ve kül yapıcı unsurların çoğalması kömürün özgül ağırlığını arttırır.

**Strüktür ve Kırılma:** Kömürler üretim sırasında kazı yöntemlerinin yanısıra kömürün dilinim, kırık, çatlak, faylanma ve zayıflık yüzeylerine bağlı olarak kırma işlemleri sırasında farklı

büyükte parça ve sekellerde kırılır. Antrasit konkoidal şekilde, bitümlü ve yarı bitümlü kömürler blok veya küp şeklinde, linyitler de ise yassı ve düzensiz bir şekilde kırılmalar görülür. Kömür hazırlama işlemlerinde kömür ve eşlik eden kül yapıcı mineral maddelerin kırma işlemleri ile birbirinden ayrılıp ayrılmaması önemlidir.

**Ufalanabilirlik:** Ufalanabilirlik, kömürün daha küçük boyutlu parçalara ayrılabilme özelliğidir. Kömürün ufalanmasıyla yüzey alanı artar, oksitlenme ve kendiliğinden yanma özelliği artar. Sertlik, mukavemet, elastiklik ve kırılabilirlik gibi özellikler kömürün ufalanabilirliğini etkiler.

**Öğünabilirlik:** Özellikle kömürün toz yakıt olarak kullanıldığı termik santrallerde öğütülmesi sırasında öğünabilirlik özelliği büyük önem taşır. Öğünabilirlik, genel bir ifade ile sertlik, mukavemet, kırılabilirlik gibi fiziksel özellikler ile ilişkilidir. Kömürlerin ufalanabilirlikleriyle sınıfları arasında genel bir ilişki bulunmaktadır. Linyitler en az ufalanma görülür. En fazla ufalanma ise yarı bitümlü (düşük uçucu maddeli) kömürlerde rastlanır.

**Sertlik ve Mukavemet:** Ufalanma ve öğünme özellikleri kömürün sertliği; uçucu madde ve karbon oranlarına göre değişiklik gösterir. %80-95 arası C içeren kömürler en düşük sertliğe sahiptirler. Uçucu madde oranı %5'den %20'lere doğru çıktıkça kömürün sertliği artar. Kömürün mukavemeti basınca karşı dayanımını ifade eder, madencilikte özellikle yeraltı ocaklarında üretim sırasında tahkimat için bırakılan kömür topukları ile kırma ve öğütme işlemlerinde önem taşır. Kömürlerin türü ve petrografik yapılarına bağlı olarak mukavemetleriide farklılıklar gösterir ile ilgilidir. Uçucu maddenin %20-25 olduğu kömürler düşük mukavemet görülür, kömürde vitrain oranı yükseldikçe mukavemeti azalır.

**Aşındırma:** Madencilik işlemleri sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında oluşabilecek aşınmalar ilave bir maliyete sebep olur. Ayrıca kömürün öğütülerek kullanıldığı santrallerde öğütme araçlarında, kömürün aşındırma durumu büyük aşınmalar meydana getirdiği için önemlidir.

**Açık Havada Dağılırılık:** Kömürler, normal atmosfer koşullarından etkilenecek kömürleşme derecelerine de bağlı olarak dağılırlar. Linyit kömürleri, bitümlü kömüre nazaran açık havada daha kolaylıkla dağılırabilirlik gösterir. Kömürlerin ıslanması ve kurumması sırasında, kömür yüzeyleri ile iç kısımlar arasında meydana gelen gerilmeler kömürün çatlamasına sonrasında da dağılmasına yol açar.

Kuru bir kömür ıslandığı zaman, parça yüzeyi iç kısımlarına göre daha hızlı rutubet kazanır ve yüzeyde daha fazla bir genleşme oluşur. Böylece kömür çatlar ve dağılır. Yüksek nem içeren bir kömür parçası havada kurumaya bırakıldığında, önce yüzeyindeki rutubeti kaybetmeye başlar, yüzeyi kurudukça rutubeti yüzeye doğru hareket eder. Eğer yüzeydeki nem kaybı, iç kısımdaki nemin yüzeye gelişinden daha az olursa, parçanın yüzeyi iç kısımlarına nazaran daha az büzülür, bunun tersi olursa parçanın yüzeyi iç kısmına göre daha çok büzülerek ve gerilmeler oluşarak kömürün çatlar ve dağılmasına yol açar.

**Gözeneklilik:** Kömürlerin yapısında birkaç mikron ile birkaç milimetre arasında değişen boyutlarda gözenekler mevcuttur. Kömürde gözenek varlığı arttıkça, kömür kolayca oksitlenir ve kendiliğinden yanma olasılığı artar duruma gelir. Kömür yapısındaki gözenekler koklaştırma işleminde çok önemlidir. Gözenekli yapıya en fazla turbalarda, daha az olarak linyitlerde rastlanır. Bitümlü kömürlere gidildikçe gözenek varlığı azalır ve minimuma iner, fakat antrasitte biraz yüksektir.

**Renk ve Çizgi Rengi:** Kömürleşme derecelerine bağlı olarak farklı renklere sahip olan kömürlerin çizgi renkleri de farklılık gösterir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasında, bitümlü kömürler ise siyahın çeşitli tonlarında renklere sahiptirler. Linyitlerin çizgi rengi sarı ve kahverengi arası, bitümlü kömürlerin ise kahverengi ve siyah arasındadır.

**Parlaklık:** Kömürler, sınıfına göre farklı oranlarda ışığı yansıtır. Antrasit genellikle parlak görünüme sahiptir. Linyitler mat ve toprağımsı görünüşlüdür. Bitümlü kömürlerin parlaklığı ise mat ile parlak arasında değişmektedir (Taşdemir 2007).

### 2.6.3 Kömürün Kimyasal Özellikleri

**Koklaşma:** Kömürleşme derecesi yüksek olan koklaşabilir özellikteki taşkömürleri ısıtıldığında önce yumuşar, daha sonra şişerek uçucu maddelerini verir ve sonra tekrar yeniden sertleşirler. Bu olaylar sonucu oluşan oldukça gözenekli ve hafif maddeye “kok kömürü” adı verilir.

**Uçucu Madde İçeriği:** Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve karbondioksit ile su buharı gibi yanmayan gazları ve katran buharlarını da içeren uçucu madde çıkışı olur. Isıtmaya bağlı çıkan bu gaz ve sıvı maddelere, kömürün uçucu maddesi ve bunun toplam kömür ağırlığına olan oranına da, kömür uçucu madde oranı denilmektedir.

Kömürün ısıtılmadan önceki ağırlığı ile 950±25 0C derecede (USA, ASTM standardı) ısıtıldıktan sonraki arasındaki fark bulunarak hesaplanır.

**Sabit Karbon İçeriği:** Sabit karbon içeriği; nem, kül ve uçucu madde yüzde değerleri toplamının yüzden çıkarılması ile tespit edilmektedir:

$$\%(su+mineral\ madde+uçucu\ madde+sabit\ karbon) = \%100$$

### **Kömürün Isıl Değeri:**

Bir yakıtın ısı değeri; birim kütledeki yakıtın tamamen yanması sonucunda açığa çıkan ısı miktarıdır.

### **Karbon ve Hidrojen İçeriği:**

Kömüre ait organik madde içinde; C: %70-95, H ise; %2-6 oranları arasında bulunmaktadır.

**Kükürt İçeriği:** Kömürün kalitesini belirleyen bileşenlerdendir. • Kömürün içerdiği kükürt türleri organik kükürt ve anorganik (sülfid ve sülfat) kükürttür. Organik kükürt oranı ağırlık yüzdesi olarak %3'den, sülfatlara ait kükürt oranı genelde %0,1' den küçüktür. Kömür 1350 0C'de yakılmakta, kömür içindeki S, SO<sub>2</sub>' e, SO<sub>2</sub>'de sülfürik asit' e dönüştürülmekte ve elde edilen sülfürik asitten toplam S miktarı hesaplanmaktadır.

### **Azot içeriği:**

Kömürdeki azot, genellikle protein kaynaklı olup, azotça zengin olan bitkilerden kaynaklanmaktadır. Azot içeriği kömürün yaşıyla orantılı olarak değişmemektedir. Yanma sonucunda oluşan azot oksitler kükürt oksitlerden sonra önemli bir hava kirleticidir.

**Oksijen İçeriği:** Kömürde organik bileşenlerde, suda, kil ve karbonat minerallerinde bulunur. Organik oksijen miktarı, kömürleşme derecesini belirleyicidir. Linyit ağırlık %'si olarak ortalama %25, taşkömürü %10 ve antrasit %3 oksijen içerir.

**Kömürün Külü:** Kömür yandığında, geriye bir atık kalır Bu atık, temel olarak silisyum, alüminyum, demir, kükürt ve kalsiyum bileşikleridir, daha az miktarda ise magnezyum, titan, sodyum, potasyum, fosfor ve mangan bileşiklerinden oluşur. Kül bileşenleri analiz sonuçlarında oksitler halinde verilmekle birlikte, bunlar kül içerisinde çoğunlukla, yakma işleminin gerçekleştiği koşullara bağlı olarak, silikatların, oksitlerin ve sülfatların karışımları halinde bulunur. Kömür külleri yakma sistemlerinde cüruf oluşturma ve kirletme eğilimindedir. Bu

parametreler külün bileşimi ile ilişkilendirilmiş olup, yakma kazanlarındaki kirletme, cürüflaşma ve korozyon gibi sorunların ortaya çıkmasında veya önlenmesinde külün mineral madde içeriğinin de önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Ural vd. 2002).

Özellikle termik santrallerde, çimento fabrikalarında önemli bir sorun olarak karşımıza çıkan cüruf oluşumu ve korozyon gibi olaylar önemli araştırma konularıdır. Araştırmalar sonucunda kazan kirliliği ve cüruf oluşumunun kömürün içerdiği mineral maddenin mineralojik yapısı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Örneğin sodyum ve potasyum gibi alkali metaller kazan kirliliği üzerinde etkili olurken, yüksek klor içeren kömürlerin kazandaki donanımları hızla korozyona uğrattığı belirtilmektedir. (Meriçboyu vd. 1998). Kömürün ve külünün kimyasal bileşimine bağlı olarak kül ergime derecesi de değişmektedir. Farklı kömürlerin kül bileşimleri çok farklılık gösterdiğinden, kömürlerin ergime özellikleri de farklıdır. Linyit kömür küllerinin ergime sıcaklıkları ile bileşimleri arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalarda CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O, içeriklerinin artmasının erime sıcaklığının düşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Kömür külündeki bazik oksitlerin toplamının (CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) asit oksitlerin toplamına (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub>) oranı kömürün kükürt içeriği ile çarpılarak bir cürüflaşma indisi, Rs (Slagging Index) geliştirilmiştir (Ural vd. 2002). Yine kömür külünün kazan kirletme eğilimini öngörmek üzere bitümlü tip kömür külleri için bir kirlilik indisi, Rf (Fouling Index) ve linyit kömür külleri için ayrı bir kirlilik indisi, Rf', geliştirilmiştir. Küldeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği külün Slagging Index ve Fouling Index değerlerini belirlemektedir (Ural vd. 2002).

❖ **Slagging İndeks (Rs):** Külün kimyasal analizinde (Toroğlu vd. 2012):

1. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>CaO+MgO) olması durumunda Slagging İndeksi aşağıda verilen

$$Rs = (\text{Bazik/Acid}) \times S$$

$$Rs = ((\text{Fe}_2\text{O}_3) + (\text{CaO}) + (\text{MgO}) + (\text{Na}_2\text{O}) + (\text{K}_2\text{O})) / ((\text{SiO}_2) + (\text{Al}_2\text{O}_3) + (\text{TiO}_2)) \times S$$

formülünden hesaplanır ve alacağı değere göre Slagging Potansiyeli belirlenir.

.....  $Rs < 2.0$ ..... *düşük-orta Slagging Potansiyeli*  
.....  $2 \leq Rs \leq 2.7$ ..... *yüksek Slagging Potansiyeli*  
.....  $Rs \geq 2.7$ ..... *çok yüksek Slagging Potansiyeli*

2.  $Fe_2O_3 < CaO + MgO$  olması durumunda Slagging İndeksi aşağıda verilen

$$R_s = ((HT) + (4IT)) / 5$$

formülünden hesaplanır ve alacağı değere göre Slagging Potansiyeli belirlenir.

..... $R_s > 2450$ .....	<i>düşük Slagging Potansiyel</i>
.. $2450 \geq R_s \geq 2250$ .....	<i>orta Slagging Potansiyeli</i>
.... $2250 > R_s \geq 2100$ .....	<i>yüksek Slagging Potansiyel</i>
.... $2100 > R_s$ .....	<i>çok yüksek Slagging Potansiyeli</i>

❖ **Fouling İndeks (Rf)**: Külün kimyasal analizinde (Toroğlu vd. 2012):

Fouling potansiyeli aşağıda verilen

$$R_f = (\text{base/acid}) \times Na_2O$$

$$R_f = ((Fe_2O_3) + (CaO) + (MgO) + (K_2O)) / ((SiO_2) + (Al_2O_3) + (TiO_2)) \times Na_2O$$

formülünden hesaplanır ve alacağı değere göre Fouling Potansiyeli belirlenir.

..... $R_f < 0,5$ .....	<i>düşük-orta Fouling Potansiyeli</i>
..... $0,5 \leq R_f \leq 1$ .....	<i>yüksek Fouling Potansiyeli</i>
..... $R_f > 1$ .....	<i>çok yüksek Fouling Potansiyeli</i>

$CaO + MgO + Fe_2O_3 > \%20$  olması durumunda;  $Na_2O$  içeriğine bağlı olarak Fouling Potansiyeli belirlenir.

..... $Na_2O < 3$ .....	<i>düşük-orta Fouling Potansiyeli</i>
..... $3 \leq Na_2O \leq 7$ .....	<i>yüksek Fouling Potansiyeli</i>
..... $Na_2O > 7$ .....	<i>çok yüksek Fouling Potansiyeli</i>

$CaO + MgO + Fe_2O_3 < \%20$  Base/acid  $< 0,5$  and  $S < 1$  olması durumunda;  $Na_2O$  içeriğine bağlı olarak Fouling Potansiyeli belirlenir.

..... $Na_2O < 1,2$ .....	<i>düşük-orta Fouling Potansiyeli</i>
.... $1,2 \leq Na_2O \leq 3$ .....	<i>yüksek Fouling Potansiyeli</i>
..... $Na_2O > 3$ .....	<i>çok yüksek Fouling Potansiyeli</i>

## BÖLÜM 3

### KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT VE KÜKÜRT GİDERME YÖNTEMLERİ

#### 3.1 KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT

Her kömür eser miktarda veya farklı konsantrasyonlarda kükürt içerir. Kömürün yapısında kükürt; organik ve inorganik olmak üzere başlıca iki formda bulunmaktadır.

Genel olarak, organik kükürt molekülleri kömürün yapısındaki karbonlu gruplara kovalent bağlarla bağlanmakta ve kömürün organik materyalinin bir parçası olmaktadır. Aromatik veya alifatik yapıda oluşabilmektedir. Alifatik yapıdaki organik kükürt molekülleri termal olarak dayanıksız olmalarına karşın aromatik organik kükürt molekülleri tiyofenler ve arilsülfidler halinde bulunmakta ve oldukça dayanıklı moleküller oluşturmaktadır. Parçalanmaları zor ve yavaştır.

İnorganik kükürt; piritik, sülfatik ve elementel olmak üzere üç çeşittir. Piritik kükürt, pirit ve markazit minerallerine bağlı olarak bulunmaktadır. Sülfat kükürdü, kalsiyum, demir, bakır ve magnezyum tuzları bileşimi olarak, gevşek kristaller halinde kömürün yapısında yer almaktadır. Kömürün içerdiği piritik kükürdün havada kendiliğinden oksitlenmesi sonucu sülfat kükürdü miktarı artmaktadır. Elementel kükürt de dahil olmak üzere tüm inorganik kükürt molekülleri kömürün yapısına fiziksel olarak bağlı olduklarından kömürden uzaklaştırılmaları fiziksel yöntemlerle dahi mümkün olabilmektedir.

Dünyada ve ülkemizdeki kömür rezervlerinin önemli kısmını linyitler oluşturmakta olup bu kömürlerin termik santrallerde, sanayide, ısınma sektöründe, kimyasal madde üretiminde, demir-çelik endüstrisinde, ilaç sanayinde, tarımsal gübre üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Linyitlerin kül ve kükürt içeriği, yukarıda bahsedilen sektörlerde kullanılması halinde emisyonlardan kaynaklanan kirliliklere ve ürünlerde bazı bozunmalara sebep olmaktadır.

Termik santrallerde kullanılan düşük kalorili ve nispeten daha kalitesiz kömürler santral bacalarına filtre takılmaması durumunda ciddi emisyon sorunlarına yol açmaktadır.

Demir-çelik üretim sektöründe, kömürden kükürdün uzaklaştırılması, koklaşma sürecinde kükürdün yüksek fırında bulunan erimiş demirle birleşerek demirin kristal yüzeyinde kükürdün tortulaşmasına ve çeliğin plastik özelliğini kaybederek kırılma eğilimine neden olmaktadır (Shen vd. 2012).

Kömürün içerdiği kükürt yanıcı bir madde olduğundan kömürün ısı değerini azaltmaz. Ancak enerji üretmek için yakıldığında oluşturduğu SO<sub>x</sub> emisyonları halk sağlığı üzerine ciddi zararlar verdiği gibi kömürün yapısında bulunan kükürt yanma odası, kazan ve borularda korozyon etki yaptığından kömürden uzaklaştırılması gerekmektedir. SO<sub>2</sub> kirliliği yalnız halk sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda toprak, su, ozon tabakası, metal yapılar ve beton binalar vb. üzerinde de ciddi hasara neden olabilmektedir.

### **3.2 KÖMÜRDEKİ KÜKÜRT GİDERME YÖNTEMLERİ**

Fiziksel yöntemler inorganik kükürdü uzaklaştırmada etkili olurken, organik kükürdü gidermede etkili değildirler. Organik kükürdü uzaklaştırmak için kimyasal ve mikrobiyolojik kükürt giderme yöntemleri kullanılmalıdır (Aelst vd. 2000, Eker'den 2007).

Kömürde kükürdün uzaklaştırılması;

yanma öncesi,

yanma esnasında ve

yanma sonrası

gerçekleştirilebilmektedir.

Yanma öncesi kükürt giderme işlemleri; kömürün kullanıma hazırlanması amacı ile kükürt içeriğinin azaltılması amacıyla yapılan zenginleştirme işlemleri olup bu amaçla günümüze değin pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler;

Fiziksel yöntemler

Biyolojik yöntemler,

Kimyasal

Pirolitik yöntemler,



Ultrasonik, mikrodalga ve radyasyon destekli oksidasyon yöntemleri başlıkları altında sıralanabilir

**Fiziksel yöntemler** En yaygın olarak kullanılan fiziksel kükürt giderme yöntemleri; yüzdürme-batırma yöntemleri, hidrolik yöntemler, yüzey özelliklerini esas alan yöntemler, magnetik yöntemler ve elektrostatik yöntemlerdir (Uslu 2002).

Yüzdürme-batırma yöntemlerinde en yaygın olarak kullanılan ortam, ince boyutlu manyetit taneciklerinin sudaki süspansiyonudur. Süspansiyonda bulunan manyetitin derişiminin ayarlanması ile süspansiyonun özgül ağırlığı 1,3-2,0 arasında değiştirilebilmektedir.

Kömürün organik kısmının yüzey fizikokimyasal özelliği hidrofobik, pirit dışında kalan inorganik kısmı ise güçlü hidrofilik özellik göstermektedir. Yüzey özelliklerini esas alan yöntemler seçimli yağ aglomerasyonu, çözücü ile ayırma ve flotasyon yöntemleridir (Yaman vd. 1998, Eker'den 2007).

Kömürün organik ve inorganik kısımları birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Aynı şekilde kömürün organik ve inorganik kısımlarının manyetik özellikleri de birbirinden farklıdır. Organik kısım diyamagnetik, özellikle demir içeren inorganik kısım ise paramanyetikdir. Kömürden fiziksel yöntemlerle kükürt giderilirken bu farklardan yararlanılmaktadır.

Mikroorganizmalarla desülfürizasyon işlemi ile daha az yatırım, kolay işletme şartları ile istenmeyen yan ürün oluşturmadan hem organik hem de inorganik kükürt uzaklaştırılabilirken tepkime süresi uzun ve yavaştır.

Piroliz işlemi ile kömürden hem piritik hem de organik kükürt uzaklaştırmak mümkün olmakla birlikte piroliz işlemi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiğinden (600 °C'den daha yüksek sıcaklıklar) işletim koşulları ağırdır ve kömürde bozunmalar oluşabilmektedir.

Düşük sıcaklıkta uygulanan (100 °C'den az) ultrasonik, mikrodalga ve radyoliz destekli oksidatif desülfürizasyon ile kömürde % 30-60 aralığında organik kükürt uzaklaştırılabildiği ancak bu işlem için yüksek miktarda enerji gerekmekte ve kömürün kalorifik değerinde azalmalar meydana gelmektedir.

Kimyasal kükürt giderme yöntemleri uygulamasında kömürdeki kükürt direkt olarak kömürden ayrılmakta, veya kömürden kolayca ayrılabilen bir yapıya dönüştürülmektedir.

Kimyasal yöntemler, üzerinde en çok çalışma yapılan yöntemlerden biridir. Yöntem üzerinde yapılan çalışmalarda yüksek basınç ve sıcaklıklar gerektiren çalışma koşulları, istenmeyen yan ürün oluşumu, kömürün yapısında bozunmalar ve ısı değer kayıpları gibi dezavantajlar belirlenmiş ancak ilerleyen dönemlerde gerçekleştirilen çalışmalar ile tepkime koşulları daha ılımlı hale dönüştürülmüş, kömürde ısı değerler kayıpları yok denecek kadar aza indirilmiş, reaktiflerin geri kazanımı mümkün hale getirilmiş ve böylece yöntemin dezavantajlarının birçoğu giderilebilmiştir. Günümüzde de üzerinde en çok araştırma yapılan ve olumlu sonuçlar alınan bir yöntem haline gelmiştir (Gafur 2015).

**Çizelge 3.1** En Yaygın Olarak Uygulanan Kimyasal Kükürt Giderme Yöntemleri (Çinpolat 1998, Eker'den 2007).

YÖNTEMİN ADI	REAKTİFLER	ÇALIŞMA KOŞULLARI			
		Ortam	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Zaman (dk)
PETC-Oksitleme	CaCO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	150-200	5.5-6.9	60
AMES-Yaş Oksitleme	O <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	150	1.5	60
LEDGEMONT-Oksitleme	O <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> OH	O <sub>2</sub>	150-200	1.5	60
TRW MEYERS	O <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , aseton, CaCO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	100-130	0.3-0.6	300-480
JPL-Klorlama	Cl <sub>2</sub> , 1,1,1-trikloreten	Cl <sub>2</sub>	60-130	0.1-0.5	4-5
KVB-Oksitleme ve yerdeğiştirme	NO <sub>2</sub> , NaOH	NO <sub>2</sub>	100	0.1	3-6
BATELLE Hidrotermal yerdeğiştirme	NaOH, Ca(OH) <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	250-350	0.4-1.7	10-30
IGT- Hidrojenleme	H <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	800	0.1	60

Kimyasal yöntemin istenilen sonuçların alınması için; reaktifin kömürün içerdiği piritik ve/veya organik kükürtden seçici olarak etkimesi, kömürün diğer kısımlarına etkimemesi, ucuz olması ve kolayca geri kazanabilmesi ve ucuz gerekmektedir. Kullanılan kimyasal maddeler; asitler, bazlar, indirgeyiciler metal tuzları, yükseltgeyiciler, olarak sıralanabilir. Uygulanan kimyasal yöntemlerden birkaç yöntem kısaca açıklanmıştır.

### **Meyers Prosesi**

Meyers prosesinde, piritik kükürt,  $Fe^{+3}$  iyonlarını içeren çözeltiler yardımıyla kömürden uzaklaştırılmaktadır.

Meyers prosesinin uygulanması sonucu oluşan ürünlerin atılması soruna neden olmaktadır. Ayrıca, gaz-katı siklon ayırıcısından geçirilen su ve kükürt buharının içinde kömür tanecikleri bulunmaktadır. Bu kömür tanecikleri su-kükürt faz ayırma işlemine olumsuz etki yapmaktadır (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

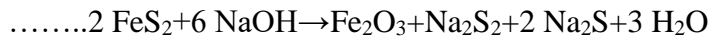
### **Ledgemont Prosesi**

Bu yöntem iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan birincisinde kömür su karışımının bulunduğu otoklava oksijen beslenerek gerekli atmosfer oluşturulmakta ve sistem ısıtılmaktadır. Bu yöntemin PETC yönteminden farkı, hava yerine oksijen kullanılmasıdır. İkinci uygulama şekli ise, kömürün amonyaklı bir çözelti ile benzer şekilde ekstraksiyona uğratılmasıdır. Bu yöntemin uygulanması sırasında ortaya çıkan en önemli sorun uygulanan sıcaklıkta oldukça korozif olan seyreltik sülfürik asitten kaynaklanmaktadır (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

### **Battelle Yöntemi**

Battelle hidrotermal yöntemi, kömürdeki inorganik ve organik kükürt bileşiklerinin hidrotermal alkali ekstraksiyonu yoluyla kömürden uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Battelle yöntemi 5 asamadan oluşmaktadır. Bu asamalar kömür hazırlama, hidrotermal işlem, ayırma, kurutma ve aglomerasyon, ekstraksiyon çözeltilisinin rejenerasyonu (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

Bu yöntem sırasında gerçekleşen tepkimeler aşağıda görülmektedir (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

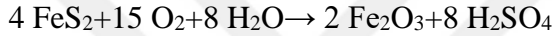


Bu yöntemin uygulanmasında iki önemli sorunla karşılaşmaktadır:

- ❖ Alkali kullanılarak ekstrakte edilen kısmın yeniden kullanılabilir hale getirilmesi henüz başılamamıştır.
- ❖ Kükürt giderme işlemi sırasında önemli korozyon sorunları oluşmaktadır; çünkü alkaliler yüksek sıcaklıklarda ortamda su bulunması halinde oldukça korozif etki göstermektedir (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

### **PETC Yöntemi**

PETC (Pittsburg Energy Technology Center) tarafından geliştirilmiş olan bu yöntem, kömürdeki kükürlü bileşiklerin hava ile oksitlenmesine ve oluşan sülfürik asidin kireç ile nötrale edilmesine dayanmaktadır (Uslu, 2002). Piritik kükürdün büyük bir bölümü ile organik kükürdün bir kısmının bu yöntemle kömürden uzaklaştırılabildiği saptanmıştır.



En önemli sorun, otoklav malzemesinin seçiminde yaşanmaktadır. Bu yöntem uygulandığında ortaya çıkan sülfürik asit oldukça koroziftir. Bu nedenle, asitle temas edecek malzemenin iyi seçilmesi gerekmektedir. Bu malzemelerin kullanılacağı belli başlı yerler şunlardır: ön ısıtıcılar, basınç düşürücü ekipmanlar ve gaz yıkama sistemleridir (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

### **Kükürt Gidermede Biyokimyasal Yöntemler**

Uzun yıllardır yapılan araştırmalarda bazı bakterilerin, kömürdeki kükürdün giderilmesinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Bakterilerden bazıları kükürlü bileşikleri oksitleyerek yaşamları için gerekli olan enerjiyi sağlarlar ki bu olayda kükürlü bileşikler oksitlenerek suda çözünen sülfatlara dönüşürler. Biyokimyasal yöntemle kükürt gidermede kullanılan bakterilere örnek olarak; Ferrobacillus Ferrooxidan, Thiobacillus Ferrooxidan, Thiobacillus Thiooxidans, Rodococcus, Rhodochrous, Brevibacterium, Pseudomonas Aeroginasa verilebilir. Biyokimyasal yöntemlerin avantajları düşük sıcaklık ve düşük pH'ta çalışma koşulları olup, dezavantajları olarak da uzun fermantasyon süresi ve kömür numunelerinin ince boyuta öğütülmüş olmaları gibi koşulların sağlanmış olması zorunluluğudur (Cuhadaroğlu ve Toroğlu 1993).

### 3.3 KÖMÜRDEN KÜKÜRT GİDERME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sansar (2019) yaptığı çalışmada; Muğla Yatağan Eskihisar linyitinde ultrason kullanarak, kül ve kükürt uzaklaştırma potansiyelleri araştırılmıştır. Proses e tki eden parametrelerin Cevap Yüzey Yöntemi ile optimum koşulları belirlenmiş ve model oluşturulmuştur. En uygun desülfürizasyon ve kül giderimi koşullarını elde etmek için ultrason uygulama süresi, katı pülp yoğunluğu, kimyasal reaktif konsantrasyonu ( $H_2O_2$ ) ve reaktif miktarı gibi parametrelerin optimum değerleri belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak Desing Export 7,0 Paket programı kullanılarak ikinci dereceden bir polinom denklemi şeklinde regresyon modeli bulunmuştur. Desülfürizasyon ve kül giderimi için regresyon katsayısı ( $R^2$ ) sırasıyla, 0,95 ve 0,97 olarak belirlenen modelde, pritik kükürt giderimi; %14,82, sülfat kükürdü giderimi; %2,67 ve organik kükürtte giderim %29,07 olarak sağlanmıştır.

Sansar (2018) yaptığı çalışmada; Muğla Yatağan Bağyaka linyitinde ultrason uygulaması ile kül ve kükürt uzaklaştırma potansiyelleri araştırılmıştır. Proses e tki eden parametrelerin Cevap Yüzey Yöntemi ile optimum koşulları belirlenmiş ve model oluşturulmuştur. En uygun desülfürizasyon ve kül giderimi koşullarını elde etmek için ultrason uygulama süresi, katı pülp yoğunluğu, kimyasal reaktif konsantrasyonu ( $H_2O_2$ ) ve reaktif miktarı gibi parametrelerin optimum değerleri belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak Desing Export 7.0 Paket programı kullanılarak ikinci dereceden bir polinom denklemi şeklinde regresyon modeli bulunmuştur. Desülfürizasyon ve kül giderimi için regresyon katsayısı ( $R^2$ ) sırasıyla, 0,96 ve 0,97 olarak belirlenen çalışmada, desülfürizasyon ve kül giderimi pritik kükürt için; % 17,02, sülfat kükürdü için; % 16,67 ve organik kükürtte %9,52 olarak gerçekleştiği belirtilmektedir.

Gafur (2015 ) yaptığı çalışma kapsamında TKİ tarafından üretilip satışı sunulan Tunçbilek kömürünün, 3 farklı ebatta (0,5-10 mm arası, 10-18 mm arası, +18 mm), farklı derişimlerde NaOH çözeltisi kullanılarak farklı süre ve sıcaklıklarda desülfürizasyonu incelenmiş, desülfürizasyon işlemi ile kömürün yapısında meydana gelen fiziksel değişimler başta olmak üzere hümik asit oluşumu ve kükürt giderme oranları hakkında genel bir araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; NaOH çözeltisi kullanılarak Tunçbilek kömürünün desülfürizasyonu ile hedeflenen toplam kükürt azalmasının sağlanamadığı görülmektedir. Bununla birlikte özellikle +18 mm boyutundaki kömürlerde parçalanma meydana gelmiş, hümik madde oluşumu gözlenmemiştir.

Çağlayan (2016) yaptığı çalışmada, uygulama, maliyet ve işletim açısından uygun ve yenilik getirebilecek meşe külü kullanılarak kömürden kükürt giderimi amaçlanmıştır. Bu amaçla kükürt içeriği farklı olan dört adet kömürde farklı miktarlarda meşe külü kullanılarak kükürt giderim verimleri tespit edilmiştir. Çalışmada organik kükürt, karbon ve kalori değerlerinde çok fazla bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. İki farklı miktardaki meşe külü uygulamasında kükürt giderim veriminin meşe külünün miktarı ile arttığı belirlenmiştir. Bir diğer yönden ilave edilen potasyum hidroksitinin kükürt giderim verimi üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle potasyum hidroksitinin meşe külü ile birlikte uygulamasının kükürt giderimini arttırdığı sonucuna varmıştır.

Hacıfazlıoğlu vd. (2016) yaptıkları çalışma kapsamında, borik asit ile Kastamonu-Tosya linyit kömüründen kül ve kükürdün giderilmesi için liç deneyleri yapmışlardır. Kül ve kükürdün liç yöntemiyle giderilmesinde genelde HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> gibi kuvvetli ve çevresel yönden önemli sakıncaları olan asitler kullanılmaktadır. Bu bilgi ışığında ekonomik olması şartı ile zayıf asitlerle liç önem kazanmıştır. Kül ve kükürt gideriminde Borik asit liç veriminin, en az sülfürik asit liçi kadar verimli olduğu ancak, HF liçinde sağlanan verimden daha düşük verim sağlandığı belirtilmektedir. Deneysel çalışmaların sonunda optimum koşullarda borik asit liçi ile %14.62 olan kömür külü %8,60'a, %8,77 olan kükürt değeri ise %5,95'e indirildiği, HF liçinde ise kömürdeki kül içeriğinin %3,02'ye kükürt içeriği %4,27'ye indirildiği belirtilmektedir.

Tosun (2012) tarafından yapılan çalışmada, kömürlerin kükürt ve külünden arındırılması için Ergiyik Kostik Liç yöntemi uygulanmıştır. 350 °C sıcaklıkta uygulanan kısmi ergiyik kostik liçi uygulamasının etkin kükürt tutma sağladığı belirtilmektedir. Çalışmada 3 farklı kömür numunesi ile çalışılmıştır. Kükürtsüzleştirme işleminde yanabilir kükürdün %90'a varan oranlarda giderildiği belirtilmektedir. Mermer atık tozu ile 350 °C de yapılan kısmi ergiyik kostik liçi ile toplam kükürdün yaklaşık olarak %50 oranında (Soma ve Aydın Şahinali linyitlerinde) giderildiği vurgulanmaktadır. Çalışmada mermer fabrikalarının 10 mikron boyutunun altındaki atık tozunu içeren fabrika çamur atığının önemli bir kükürt arındırma sorbenti olarak değerlendirebildiği belirtilmektedir. Ayrıca kükürt giderme kimyasalı olarak NaCl, KCl gibi tuzların, kısmi ergiyik liçinde mermer atık tozu kadar verimli olmadığı belirlenmiştir.

### 3.4 MİKRODALGA ENERJİSİNİN KÜKÜRT GİDERİMİNE ETKİSİ

Mikrodalga enerjisi; belirli bir frekansta elektrik enerjisinden elde edilmekte olup, frekansı 300 Mhz ile 300 Ghz arasında değişen iyonlaştırıcı özelliği olmayan elektromagnetik radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalga frekansları Ultra Yüksek Frekans (UHF: 300 Mhz ile 3 Ghz), Süper Yüksek Frekans (SHF: 3Ghz ile 30 Ghz) ve Aşırı Yüksek Frekans (EHF: 30 Ghz'den 300 Ghz'e kadar) olmak üzere üç bandın içinde yer alır. (Uslu 2002). Aynadan yansıyan mikrodalgalar, dielektrik arayüzeyinde kırılır ve parabolik yansıtıcı ile odaklanır. Mikrodalgalar, görünür, ultraviyole gibi elektromagnetik enerji şekillerinden ve daha düşük enerji miktarına ve daha yüksek dalga boylarına sahiptirler (Yıldız ve Alp 2000).

Mikrodalga enerjisinden yararlanılan alanları şu şekilde sıralayabiliriz;

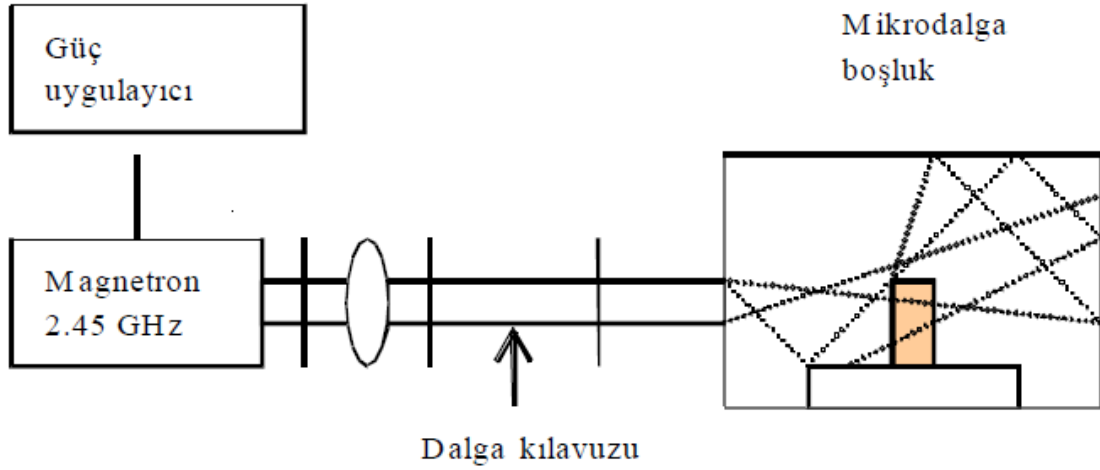
- ❖ Isıtma
- ❖ Kavurma
- ❖ Kurutma
- ❖ Liç işleri
- ❖ Seramik endüstrisi
- ❖ Kömür sıvılaştırma
- ❖ Oksitli minarellerin karbotermik redüksiyonu

Endüstriyel proseslerde farklı atıklar açığa çıkmaktadır. Atık malzemenin içeriğine bağlı olarak tehlikeli ya da tehlikesiz olabilen atıkları minimuma indirmek ve zehirli atıkların insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde stoklanması, taşınması, depolanması, değerlendirilmesi amacı ile geri dönüşümünün sağlanması ve bertaraf edilmesi işlemleri için araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Son yıllarda mikrodalga enerjisinin gaz, katı ve sıvı atıkların yönetiminde kullanımının araştırıldığı çalışmaların sonuçlarında mikrodalga'nın bu amaçla kullanımının potansiyel taşıdığı belirtilmektedir. (Uslu ve Atalay 2003). Mikrodalga enerjisi ile ısıtmanın avantajları (Uslu 2002);

- ❖ Düşük enerji maliyeti
- ❖ Uniform sıcaklık dağılımı
- ❖ İşlem sıcaklığına hızlı ısıtma
- ❖ Çevre dostu
- ❖ Daha kaliteli son ürün
- ❖ Hızlı proses ve yüksek kontrol

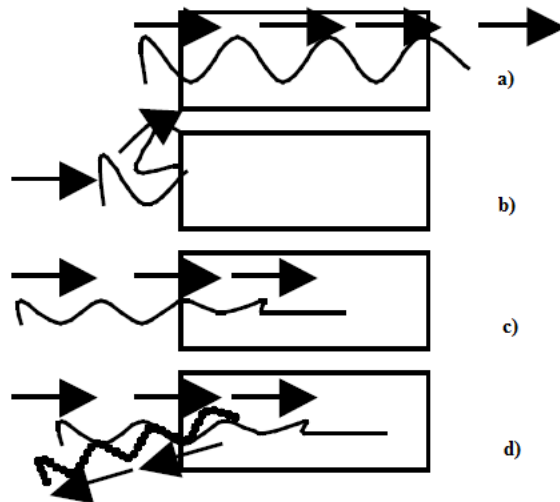
- ❖ Numunenin ısıtılması iç kısımda sağlandığı için ısıtılan numunenin sıcaklık nüvesi daha yüksektir.

Mikrodalga ile ısınmanın şematize edilmiş hali aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Mikrodalga İle Isınmanın Şema Hali (Toraman ve Depçi 2007).

Mikrodalga uygulamasında, numune tipine bağlı olarak yansıma, absorbe etme veya geçirimli olabilir ve optik kurallara uyum gösterir. Molekülde harekete iyonik parçacıkların göçü veya dipolar parçacıkların rotasyonu neden olur. Metaller saydam olmadıkları için mikrodalgalar yüzeyden yansıma yapar ki metallerin mikrodalga ile ısıtılamaması bu nedendir. Genel olarak seramikler yalıtıcıdır ve mikrodalga fırında malzemenin ısıtılmasını desteklemek için kullanılırlar, metaller yüksek iletkenliğe sahiptir ve iyi yansıtıcıdır. (Kutbay ve Kuşkonmaz 2004).



Şekil 3.2 Malzeme İle Mikrodalganın Etkileşimi A) Geçirimli B) İletken C) Soğurucu D) Karma (Toraman ve Depçi 2007).



Mikrodalga enerji kaybının iki önemli mekanizması; iyonik iletim ve polar rotasyondur.

Buna göre dielektrik sabiti ve dielektrik kaybının oranı malzemenin harcanma faktörünü verir. Dielektrik sabiti, malzemenin mikrodalga enerjisinin iç kısmından geçmesi sırasında absorbe etme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise giren mikrodalga enerjinin malzeme içerisinde ısı olarak tüketilmesi ile kayıp olma miktarını verir. Bu nedenle yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerjisiyle kolaylıkla ısıtılabilir (Yıldız ve Alp 2000).

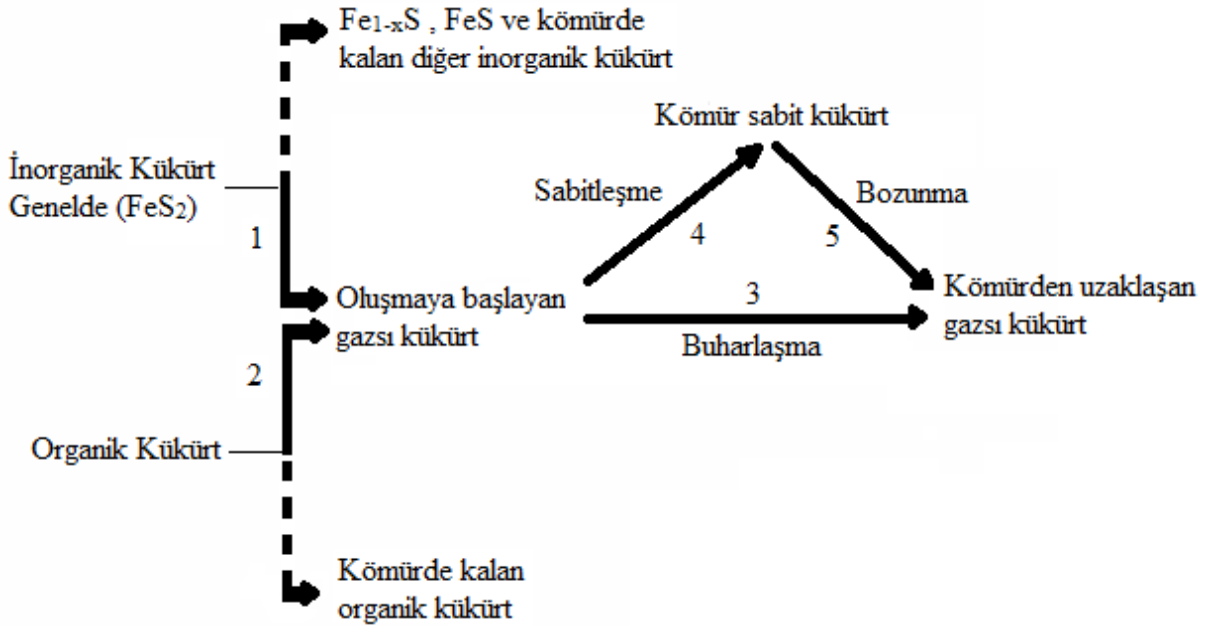
### 3.4.1 Mikrodalga Enerjisi İle Desülfürizasyon

Mikrodalga radyasyonu ile kömürün desülfürizasyonda çok çalışma yapılmıştır. Fakat sadece mikrodalga ile kömürün pirolizinin desülfürizasyonu hakkında çok az bilgi vardır. Buna ek olarak, dış ısıtma ile karşılaştırıldığında, mikrodalga enerjimi yoksa dış ısıtma mı daha avantajlı olduğu konusunda belirsiz görüşler vardır. Wang ve Yang (1994) yapmış olduğu ilk çalışmada, kömürün mikrodalga ile pirolizinin desülfürizasyonuna karşı davranışında odaklanmıştır.

Azot atmosferinde mikrodalga radyasyonu ile kömürün pirolizi ile desülfürizasyon davranışları üzerinde yapılan bu çalışmada; mikrodalga yöntemiyle uçucu madde kaybı azalmakta ve dış ısıtma pirolizi ile karşılaştırıldığında daha belirgin desülfürizasyon sağlanmıştır. Desülfürizasyon sırasında oluşan gazlı kükürt bileşikleri sabitleşme reaksiyonlarına maruz bırakılıp, daha az kükürt kaybıyla sonuçlanmaktadır. Kükürt uzaklaşması %5'lik HCl ile yıkama sonucunda az miktarda yükselmiştir. Diğer yandan %5'lik HCl asitle yıkama sonrasında örnek çift ışınlamaya maruz bırakıldığında kükürt uzaklaştırması daha fazla olmuştur (Wang ve Wang 1992).

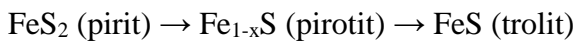
Kömürden kükürdün uzaklaştırılmasında üç asama belirlenmiştir. Birinci asama, kömür örneğinin suyunun uzaklaştırılması olup desülfürizasyon reaksiyonları belirgin değildir. İkinci asama olarak kömürün organik matriksinin ayrılmasıyla beraber desülfürizasyon belirgin miktardadır. Kükürt uzaklaşması artan radyasyon zamanı ile hızla artar. Üçüncü asama olarak desülfürizasyonun derecesi radyasyon zamanının uzamasıyla değişmemektedir (Wang ve Wang 1992). Mikrodalga radyasyonu ile desülfürizasyon reaksiyonları kısa zamanda tam olarak yapılabilmektedir. Mikrodalga alanda aktivasyon enerjisi azalırken, reaksiyonların

moleküler polarizasyonunun yükselmesine izin vermektedir. Bu nedenle şekil 3.3’de görüldüğü gibi desülfürizasyon reaksiyonları hızlanmıştır.



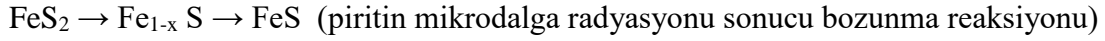
**Şekil 3.3** Mikrodalga Radyasyonu İle Desülfürizasyon İçin Reaksiyon Şeması (Wang And Wang 1992).

Kömürde temel olarak demir-sülfür safhası olan piritin (FeS<sub>2</sub>) olabileceği bulunmuştur. Diğer safha ferrous’dur. 30 saniyede piritin ayrılması, trolitden ziyade pirotit yapısındadır. 100 saniyede, piritin neredeyse tamamı trolite dönüşürken, çok az miktarda pirotit kalmaktadır. Mikrodalga radyasyon sırasında, inorganik kükürt bileşiklerinde temel değişimler olmaktadır.



Bu reaksiyon artan radyasyon zamanı ile sağa doğru kaymaktadır. Aynı durum radyasyon akısında Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> yok olmaktadır. Her nasılsa FeS ve Fe<sub>1-x</sub>S için başka demir safhalarının oluşmadığı kabul edilir. Demir sülfat piritte indirgenebilir (Wang ve Wang 1992).

Kömürde FeS bileşiminin dönüşümü: Eker (2007) bahsettiği üzere piritin kendiliğinden bozunması 700 °C nin üzerinde yüksek sıcaklıklar gerektirmektedir. İnert atmosferde (N<sub>2</sub>), 57 Fe – Mössbauer spektroskopisini kullanarak, kömürde piritin bozunmasını araştırmıştır ve kömürde piritin pirotite (Fe<sub>1-x</sub>S)’e dönüşümü 300 °C de başlamıştır. Bu da kömürde FeS<sub>2</sub>/Fe<sub>1-x</sub>S bu sıcaklığın yukarısında kömür parçacıklarıyla reaksiyona girdiğini göstermektedir.



Artan radyasyon zamanı ile süreç sağ tarafa doğru artarda ilerlemektedir. Demir sülfat ( $\text{FeSO}_4$ ), pirit parçacıklarında piritin oksidasyonu ile oluşmaktadır. Mikrodalga radyasyonu sırasında  $\text{FeSO}_4$  ilk olarak oksitlenir ve sonra oldukça yüksek reaktif kükürt atomlarıyla  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  veya  $\text{FeS}$  yapılarına ardı ardına sülfürlenir. Bu kükürt atomları, pirit moleküllerinin  $\text{Fe-S}$  bağlarını kırdığı zaman  $\text{FeSO}_4$  piritten ayrılır (Eker 2007).

### 3.4.2 Mikrodalga İle Kömür Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Geçmişte yapılan araştırmalar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Toraman ve Depçi 2007).

**Çizelge 3.2** Mikrodalga İle Kömür Üzerinde Yapılan Bazı Çalışmalar (Eker 2007).

Mikrodalga araştırma konusu	Kömür türü	DeneySEL şartlar	Elde edilen sonuçlar	Kaynak
Öğütülebilirlik	Yarı-bitümlü İngiliz kömürleri (termik santral) (%5 nem içerikli)	0,65 kW; 2,45 GHz; 1-8 dk.	İş indeksinde %50'ye varan düşüş, bünye neminin %55'ini uzaklaştırma	Marland vd, 2000
Kükürt giderimi	Linyit kömürü (Aşkale)	0,85 kW; 2,45 GHz; 20 dk.	Manyetit ilavesiyle mikrodalga ısınma ve piritik kükürdün uzaklaştırılması, %5'lik bir manyetit ilavesiyle birlikte piritik kükürtte %55 azalma	Uslu ve Atalay, 2003
Kömürün yapısına etkisi	Çeşitli ülkelerden farklı kömürler (farklı kimyasal ve petrografik özellikte)	3-15 kW; 2,45 GHz; 0,1 sn.	Mikrodalga ile etkileşimin kömürün türüne/nem-yakıt ve petrografik vb. özelliklerine göre değiştiği, uygulama süresinin etkili olduğu	Lester ve Kingman, 2004
Kömürün yapısına etkisi, Öğütülebilirlik	Çeşitli ülkelerden farklı kömürler	3-15 kW; 2,45 GHz; 0,1 sn.	Özgül kırılma hızlarında artış, ekonomik güç seviyelerinde kömürlerin öğütülebilirliğinde belirgin artış	Lester vd, 2005
Öğütülebilirlik	Bitümlü kömür (%10 nem içerikli)	0,90 kW; 2,45 GHz; 15-60 sn.	HGI değerlerinde %125, 74 $\mu\text{m}$ altı fraksiyonda üretilen ince ürün miktarında %118 artış	Özbayoğlu ve Depçi, 2006
Susuzlaştırma	İnce kömür pülpu (%52 su içerikli) (ABD)	0,80 kW; 2,45 GHz; 10-30 sn.	%80'in üzerinde susuzlaştırma verimi	Seehra vd, 2007

Güngören vd. (2016) yaptıkları çalışmada, Kastamonu-Tosya bölgesinden linyit kömürü numuneleri etüvde ve mikrodalga fırında ayrı ayrı kurutulmuş ve ardından laboratuvar tipi çubuklu değirmen kullanılarak 10, 20, 30 ve 60 dakika olarak çeşitli sürelerde öğütülmüş numunelerin tane boyut analizi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutmada, etüvde kurutmaya kıyasla her öğütme süresinde daha küçük d50 ve d80 tane boyutları elde edilmiştir.

Mikrodalga ile kurutma esnasında kömürün yapısında oluşan çatlaklar kısa sürede iyi öğütmeyi sağlamaktadır. Etüvde kurutulan malzemenin aynı tane boyutlara ufalanabilmesi için daha uzun öğütme sürelerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Ma vd. (2015) yaptıkları çalışmada, farklı organik kükürt bileşiklerinin dielektrik özellikleri, transmisyon yansıma yöntemi kullanılarak 100 MHz ila 3000 MHz aralığında yurtdışı frekans aralığında incelenmiştir. Organik kükürt bileşiklerinin 915 MHz frekansında mikrodalga ısıtma etkisinin 2450 MHz'den daha iyi olduğu bulundu. Xinyang kömürünün kükürt giderme deneyleri, desülfürizasyon oranının 915 MHz'de %6,9'a, ancak 2450 MHz'de sadece %1,1'e ulaşabileceği farklı mikrodalga frekansları kullanılarak gerçekleştirildi. Eşsiz selektif ve hacimsel ısıtma kapasitesi nedeniyle kömürden organik kükürtün mikrodalga radyasyonu ile uzaklaştırılması için bazı teori referansları verilebilir.

Tosun (2015) tarafından yapılan çalışmada, mikrodalga enerjisinin kömür (Soma linyit, Tunçbilek linyit, Kütahya-Gediz linyit, Şırnak asfaltit) ve yan kayalara (Şırnak kömür marn ve kömür şeyli) öğütülebilirlik, kül ve toplam kükürt içeriğine etkisi incelenmiştir. -50 mm hazırlanmış numune 50 gr olarak 900 W güçte mikrodalga fırında 30-480 saniye mikrodalga ısıya maruz kalmıştır. Mikrodalga sonrası -4 mm'ye kırılmış ve Bond Değirmeni'nde öğütülmüştür. Şırnak asfaltiti için Hardgrove değeri %43'lük bir artış ile mikrodalga aktif öğütme sağlamıştır. Öncesinde Mikrodalga işlemi görmüş öğütülmüş numuneler flotasyon-on işlemine tabi tutulduğunda toplam kükürte %56 kül içeriğinde %33 düşüş görülmüştür. Sonuç olarak mikrodalga enerjisi kolay öğütme, etkili flotasyon ve temiz kömür eldesini sağlamıştır.

Ma vd. (2014) yaptıkları çalışmada, mikrodalga öncesi sülfür fazını parçalamak için nitrik asitle oksidasyon işlemi yapmıştır. Bu çalışmada, üre hidrojen peroksit (UHP) çözeltisinin, yüksek kükürtlü ve yüksek külü kömürdeki kükürt giderme ve demineralize etme üzerine HNO<sub>3</sub> ve mikrodalga ön-muamele yöntemi ile etkisi araştırılmıştır. Yalnızca UHP ile karşılaştırıldığında, HNO<sub>3</sub> ve mikrodalga ön işleme tabi tutulan ardışık muamele, toplam kükürt ve mineral maddenin kömürden önemli ölçüde çıkarılmasına neden olmuştur. Önerilen deneysel yöntem, kömürü kükürt gidermek ve mikrodalgayla atmak için pratik rehber anlamındadır.

Hacıfazlıoğlu (2014) tarafından yapılan çalışmada, kurutma deneylerinde kullanılan disk filtre ürünü şlam kömürün nem içeriği %26, ortalama tane boyutu yaklaşık olarak 30 mikrondur. şlam kömür mikrodalga ve konvansiyonel ısıtmalı fırında ayrı ayrı kurutulmuştur. şlam kömür, 700 W güçte mikrodalga fırında, 150 0C'de yapılan konvansiyel kurutmaya göre 10 kat daha hızlı kurutmuştur. Aynı sürelerde benzer enerji tüketimlerinde yapılan deneyler mikrodalga kurutmasının elektrik tüketim maliyeti açısından da avantajlı olduğu görülmüştür. Mikrodalga ile kurutma selektif ısıtma özelliğinden dolayı ürün çok fazla ısınmadan nem kaybetmektedir. Mikrodalga kurutması sonrası ürün sıcaklığının, konvansiyonel ısıtma sonrası ürün sıcaklığından düşüktür. Mikrodalga kurutmanın sakıncası ise şlam kömüründe termal gerilmelerle ve ani buhar çıkışıyla meydana gelen mikro ve makro çatlaklardır. Bu çatlaklar kolay parçalanmayı sağlayacaktır. En ekonomik ve etkili kurutma sonrası atık diye nitelendirilen şlam kömürlerden yüksek kalorili yakıtlar elde edilebilecektir.

Samanlı (2011) tarafından yapılan çalışmada, piritik kükürtlü ve %25 yapısal nem içeren linyit kömür numuneleri Russel eleği ile üç farklı tek tane boyut grubuna ayrılmıştır. Linyit kömüründen yapısal nemin tamamen giderilmesi için, 600 W ve 850 W mikrodalga uygulanmıştır. Mikrodalga ile muamele edilmemiş kömür örnekleri ve 850W'lık mikrodalga ile muamele edilmiş olanlar, 5, 15, 30, 60, 120 s karıştırılmalı bir ortam değirmeninde gtlmştr. Mikrodalga ile işleme tabi tutulan kömürün kırılma oranları artmıştır. Ayrıca, 850 W lık mikrodalga işleminden sonra HGI indeks değeri yaklaşık% 23 arttığı belirlenmiştir.

Elsamak ve ekip arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2003), Çayırhan linyit kömürünün mikrodalga enerjisi ve termal enerji kullanılarak HI ile kimyasal desülfürizasyonu incelenmiştir. 65 mesh altına indirilen linyit kömüründe, 1:1, 1:2, 1:4 oranlarında HI kullanılarak termal ve mikrodalga enerji kullanılarak kükürt giderimi incelenmiştir. 0, 25, 50, 75, 100, 125 dakikalık termal ısıtma deneyleri sonucunda saf HI ile 50 dakikada saf linyitte toplam kükürt %5,3'ten %4'e düşürülmüştür. Mikrodalga ısıtma ile yapılan deneylerde 1330 W mikrodalga gücü ve saf HI' n kullanıldığı deneyin kükürt gideriminde en etkili olduğu belirlenmiştir. Saf linyit örneğinde ilk iki dakikada toplam kükürt %5,3' ten %3'e, HCl/HF ile yıkanmış kömür örneğinde toplam kükürt %5'ten %2'ye düşürülmüştür.

Eker (2007) yaptığı çalışmada; piritik kükürt içeriği yüksek olan Balıkesir-Dursunbey ve orum-İskilip Linyitleri kullanılmıştır. Bu linyitlerin kükürt içeriklerinin azaltılması deneylerinde; trona ile hazırlanmış zltiler kullanılmıştır. Kükürt giderimi deneyleri, ısısal

ve mikrodalga ortamda yürütülmüştür. Isısal ortamda yapılan deneylerde; 20 °C, 50 °C ve 90 °C sıcaklıklarında; konsantrasyonları %2.50-15.00 arasında değişen trona çözeltisi kullanılarak, 15-180 dakika arasında değişen sürelerde ön deneyler yapılmış ve optimum kükürt giderim koşulları belirlenmiştir. Belirlenen optimum koşullarda; sıcaklık 20 °C, 50 °C, 90 °C, saf su (% 0), trona çözeltisi konsantrasyonu %1,25-15,00 ve deney süresi 15-180 dakika değişkenlerinin kükürt giderimi üzerine etkisi incelenmiştir. Deneylerin sonucunda Dursunbey ve İskilip linyitlerinin toplam kükürt içerikleri sırasıyla %41 ve %38 oranında; piritik kükürt içerikleri ise sırası ile %41 ve %31 oranında azaltılmıştır. Mikrodalga ortamında yapılan deneylerde; 90 W, 180 W ve 360 Watt mikrodalga radyasyon gücünde konsantrasyonları %2,50-15,00 arasında değişen trona çözeltisi kullanılarak, 30-480 saniye arasında değişen mikrodalga radyasyon sürelerinde ön deneyler yapılmış ve optimum koşullar belirlenmiştir. Belirlenen optimum koşullarda, kükürt giderimi üzerine saf su (%0), trona çözeltisi konsantrasyonu (%1,25-15,00), mikrodalga radyasyon gücü (90 W, 180 W, 360 W) ve mikrodalga radyasyon süresi (30-480 saniye) gibi değişkenlerinin etkisi incelenmiştir. Mikrodalga ortamında yapılan deneylerin sonucunda Dursunbey ve İskilip linyitlerinin toplam kükürt içerikleri sırasıyla %38 ve %32 oranında azaltılırken, piritik kükürt içerikleri ise sırası ile; %48 ve %38 oranında giderilmiştir.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ülkemiz linyitlerinin çoğunda kül, nem ve kükürt içerikleri yüksektir, termik santrallerde elektrik üretiminde kullanımlarında bu yüksek kükürt ve kül içerikleri önemli sorunlara neden olmaktadır.

Ülkemiz linyit yataklarının kullanımlarının iyileştirilmesine yönelik olarak hazırlanan bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların birinci bölümünde; ülkemizin çeşitli bölgelerinden alınan 10 farklı kömür numunesi üzerinde öncelikle karakterizasyon çalışmalarına yönelik olarak kimyasal analizleri, elementel analizleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde temiz kömür elde etmek amacı ile  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu ortamda Yüzdürme-Batırma işlemi yapılmış, yüzen ürün olarak alınan temiz kömürlerin elementel analizleri, petrografik analizleri yapılarak, öğütülebilirliklerini incelemek amacı ile HGI değerleri belirlenmiştir. Bu ürünlerde mikrodalga uygulaması ile kükürt giderimi incelenmiştir.

#### 4.1 KÖMÜR NUMUNELERİ VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler; aşağıda belirtilen bölgelerden alınmıştır.

- Eskiçeltik (Amasya-Suluova),
- Çayırhan,
- Mihalıççık (Eskişehir),
- İstanbul-Ağaçlı,
- Tınaz (Muğla-Yatağan),
- Eskihisar (Muğla-Yatağan),
- Hüsamlar (Muğla-Milas),
- Ekizköy (Muğla-Milas)

- Sekköy (Muğla-Milas) ve
- Soma-Eynez (Manisa)

#### 4.1.1 Kömür numuneleri

Numuneler konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılmıştır. Numunelerin yarısı stok olarak ayrılmış, diğer yarısı çeneli kırıcı ve konili kırıcıda kırılarak deneysel çalışmalar için numuneler hazırlanmıştır.

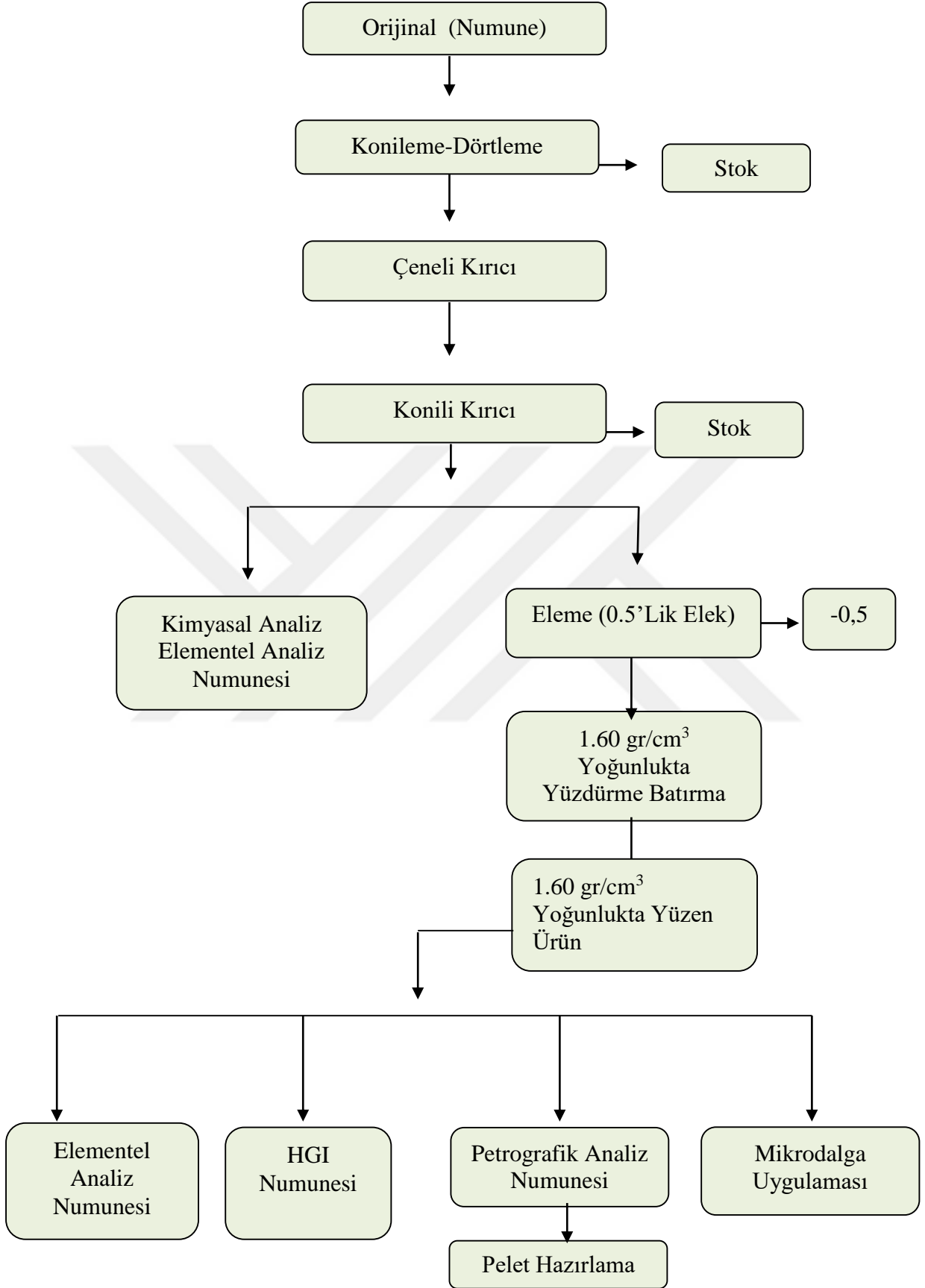
Kimyasal analiz ve elementel analizler için; konili kırıcı çıkışı ürünlerden numuneler alınmış ve bilezikli değirmende  g t lerek bu analizler için hazırlanmıştır.

Yüzdürme-Batırma işlemi için; Numunelerin konili kırıcı ürünleri 0,5 mm'lik elekten elenerek +0,5 mm boyut grubu Yüzdürme-Batırma Test numuneleri olarak hazırlanmıştır.

HGI deneyleri için; konili kırıcı çıkışından alınan numuneler -1,18+0,60 boyut grubunda boyutlandırılarak HGI numuneleri hazırlanmıştır.

Petrografik alışmalar için; konili kırıcı çıkışından alınan numuneler kademeli bir şekilde-el merdanesi ile kırılarak 1 mm'lik elekten elenerek elek üstünde kalan malzemeye bu işlem tekrarlanarak tamamının 1mm altına geçmesi sağlanmıştır.





Şekil 4.1 Deneysel Çalışmalarda Uygulanan Akım Şeması.

#### 4.1.1.1 Kimyasal Analizler

Kömür numunelerine yapılan kimyasal analizler; nem tayini (ASTM D3173)

- kül tayini (ASTM D3175)
- uçucu madde tayini ( ASTM D3173)
- sabit karbon miktarının tayini
- kalori/ısı değer analizi (ASTM D5865)'dir.
- toplam kükürt analizi (ASTM D3177)
- piritik kükürt analizi (ASTM D2492)

analizleridir. Çalışılan numunelerin laboratuvara geliş hali ile (Orjinal) nem, kül, toplam kükürt ve Piritik kükürt içerikleri Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.1** Numunelerin Kimyasal Analizleri (orijinal baz).

NUMUNE	Nem %	Kül %	Toplam S %	Piritik S %
Eski Çeltek	6,60	35,30	1,94	0,83
Çayırhan	6,00	35,20	4,77	3,26
Mihalıççık	15,90	40,80	3,41	1,50
İstanbul-Ağaçlı	19,80	13,70	2,61	1,28
Tınaz	7,16	32,10	4,16	1,58
Eskihisar	14,00	30,20	3,50	1,14
Hüsamlar	11,50	24,80	4,61	1,93
Ekizköy	9,60	32,10	6,02	1,06
Sekköy	10,80	29,20	4,99	1,38
Soma-Eynez	7,50	40,70	1,41	0,27

En yüksek kül içerikli numuneler Mihalıççık ve Soma-Eynez kömür numuneleri olup, kül içerikleri sırasıyla, %40,80 ve %40,70'dir. Nemi en çok olan numuneler; İstanbul-Ağaçlı-İstanbul Ağaçlı ve Mihalıççık kömür numuneleri olup, nemler %19,80 ve %15,90'dır, en az nem içeren numune Çayırhan numunesidir. Toplam kükürt içerikleri karşılaştırıldığında Ekizköy numunesinin kükürt içeriği en yüksek olup %6,02, en düşük toplam kükürtlü numune ise Soma-Eynez numunesidir.

Çayırhan numunesinin Piritik kükürt içeriği %3,26 olup, numuneler içinde en yüksek değerdedir. %0,27 Piritik kükürt içeren Soma-Eynez numunesi diğer numunelere göre en düşük piritik kükürtlü numune olarak görülmektedir.

Çalışılan numunelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2-4.11'de verilmektedir.

**Çizelge 4.2** Eskiçeltek Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Eskiçeltek</b>	Toplam Nem (%)	6,60	-
	Kül (%)	32,97	35,30
	Uçucu Madde (%)	39,6	42,40
	Sabit Karbon (%)	20,83	22,30
	Toplam Kükürt (%)	1,81	1,94
	Piritik Kükürt (%)	0,78	0,83
	Külde Kükürt (%)	0,52	0,56
	Yanabilir Kükürt (%)	1,29	1,38
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3853	4126
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3625	3882

Çizelge 4.2'ye göre Eskiçeltek numunesinin toplam nemi %6,60, orjinal kömürde kül içeriği %32,97'dir. Numunenin kuru bazda uçucu madde içeriği %42,40, toplam kükürt %1,94 piritik kükürt %0,83'dür. Numunenin üst ısıl değeri havada kuru bazda 3853 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.3** Çayırhan Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Çayırhan</b>	Toplam Nem (%)	6,00	-
	Kül (%)	33,09	35,20
	Uçucu Madde (%)	27,64	29,40
	Sabit Karbon (%)	33,28	35,40
	Toplam Kükürt (%)	4,48	4,77
	Piritik Kükürt (%)	3,06	3,26
	Kül Kükürt (%)	1,42	1,51
	Yanabilir Kükürt (%)	3,06	3,26
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3875	4120
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3643	3875

Çizelge 4.3'e göre Çayırhan numunesinin toplam nemi %6,0, kuru bazda kül içeriği %35,20'dir. Numunenin uçucu madde içeriği ise %29,40, toplam kükürt %4,77, piritik kükürt %3,26'dır. Numunenin üst ısıl değeri 4120 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.4** Mihaliççik Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Mihaliççik</b>	Toplam Nem (%)	15,90	-
	Kül (%)	34,31	40,80
	Uçucu Madde (%)	30,12	35,82
	Sabit Karbon (%)	19,66	23,38
	Toplam Kükürt (%)	2,87	3,41
	Piritik Kükürt (%)	1,26	1,50
	Külde Kükürt (%)	1,63	1,94
	Yanabilir Kükürt (%)	1,24	1,47
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3099	3686
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	2868	3411

Çizelge 4.4'e göre Mihaliççik numunesinin toplam nemi %15,90, kuru bazda kül içeriği %40,80'dir. Numunenin uçucu madde içeriği %35,82, toplam kükürt %3,41, piritik kükürt %1,50'dir. Numunenin üst ısıl değeri 3686 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.5** İstanbul-Ağaçlı Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>İstanbul-Ağaçlı</b>	Toplam Nem (%)	19,80	-
	Kül (%)	10,99	13,70
	Uçucu Madde (%)	38,34	47,80
	Sabit Karbon (%)	30,88	38,50
	Toplam Kükürt (%)	2,09	2,61
	Piritik Kükürt (%)	1,03	1,28
	Külde Kükürt (%)	1,94	2,42
	Yanabilir Kükürt (%)	0,07	0,19
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	4536	5656
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	4350	5424

Çizelge 4.5'e göre İstanbul-Ağaçlı numunesinin toplam nemi %19,80 kuru bazda kül içeriği %13,70'dir. Numunenin uçucu madde içeriği %47,80, toplam kükürt %2,61, piritik kükürt %1,28'dir. Numunenin üst ısıl değeri 5656 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.6** Tınaz Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Tınaz</b>	Toplam Nem (%)	7,16	-
	Kül (%)	29,80	32,10
	Uçucu Madde (%)	38,89	41,89
	Sabit Karbon (%)	24,15	26,01
	Toplam Kükürt (%)	3,86	4,16
	Piritik Kükürt (%)	1,47	1,58
	Külde Kükürt (%)	1,54	1,66
	Yanabilir Kükürt (%)	2,32	2,50
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3836	4132
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3590	3868

Çizelge 4.6'ya göre Tınaz numunesinin toplam nemi %7,16, kuru bazda kül içeriği %32,10'dur. Numunenin uçucu madde içeriği ise %41,89, toplam kükürt %4,16, piritik kükürt %1,58'dir. Numunenin üst ısıl değeri 4132 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.7** Eskihisar Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Eskihisar</b>	Toplam Nem (%)	14,00	-
	Kül (%)	25,97	30,20
	Uçucu Madde (%)	35,52	41,30
	Sabit Karbon (%)	24,51	28,50
	Toplam Kükürt (%)	3,01	3,50
	Piritik Kükürt (%)	0,98	1,14
	Külde Kükürt (%)	1,20	1,40
	Yanabilir Kükürt (%)	1,81	2,10
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3512	4084
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3298	3836

Çizelge 4.7'ye göre Eskihisar numunesinin toplam nemi %14,00, kuru bazda kül içeriği %30,20'dir. Numunenin toplam kükürtü %3,50, piritik kükürt %1,14'dür. Numunenin üst ısıl değeri 4084 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.8** Hüsamlar Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Numune	Analiz	Orjinal Kömür	Kuru Kömür
<b>Hüsamlar</b>	Toplam Nem (%)	11,50	-
	Kül (%)	21,95	24,80
	Uçucu Madde (%)	39,21	44,30
	Sabit Karbon (%)	27,35	30,90
	Toplam Kükürt (%)	4,08	4,61
	Piritik Kükürt (%)	1,71	1,93
	Külde Kükürt (%)	1,23	1,39
	Yanabilir Kükürt (%)	2,85	3,22
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3916	4425
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3687	4167

Çizelge 4.8'e göre Hüsamlar numunesinin toplam nemi %11,50, kuru bazda kül içeriği %24,80'dir. Numunenin uçucu madde içeriği %44,30, toplam kükürt %4,61, piritik kükürt %1,93'dür. Numunenin üst ısıl değeri 4425 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.9** Ekizköy Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Numune	Analiz	Orjinal Kömür	Kuru Kömür
<b>Ekizköy</b>	Toplam Nem (%)	9,60	-
	Kül (%)	29,02	32,10
	Uçucu Madde (%)	37,24	41,20
	Sabit Karbon (%)	23,23	25,70
	Toplam Kükürt (%)	5,44	6,02
	Piritik Kükürt (%)	0,96	1,06
	Külde Kükürt (%)	2,56	2,83
	Yanabilir Kükürt (%)	2,88	3,19
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3256	3602
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3051	3375

Çizelge 4.9'a göre Ekizköy numunesinin toplam nemi %9,60, kuru bazda kül içeriği %32,10'dur. Numunenin uçucu madde içeriği %41,20, toplam kükürt %6,02, piritik kükürt %1,06 olup, üst ısıl değeri 3602 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.10** Sekköy Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Sekköy</b>	Toplam Nem (%)	10,80	-
	Kül (%)	26,05	29,20
	Uçucu Madde (%)	37,55	42,10
	Sabit Karbon (%)	25,60	28,70
	Toplam Kükürt (%)	4,45	4,99
	Piritik Kükürt (%)	1,23	1,38
	Külde Kükürt (%)	1,79	2,01
	Yanabilir Kükürt (%)	2,66	2,98
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3580	4014
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3348	3753

Çizelge 4.10'a göre Sekköy numunesinin toplam nemi %10,80, kuru bazda kül içeriği %29,20'dir. Numunenin uçucu madde içeriği %42,10, toplam kükürt %4,99, piritik kükürt %1,38 olup, üst ısıl değeri 4014 kcal/kg'dır.

**Çizelge 4.11** Soma-Eynez Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

<b>Numune</b>	<b>Analiz</b>	<b>Orjinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>
<b>Soma-Eynez</b>	Toplam Nem (%)	7,50	-
	Kül (%)	37,65	40,70
	Uçucu Madde (%)	29,62	32,02
	Sabit Karbon (%)	25,23	27,28
	Toplam Kükürt (%)	1,30	1,41
	Piritik Kükürt (%)	0,25	0,27
	Külde Kükürt (%)	0,47	0,51
	Yanabilir Kükürt (%)	0,83	0,90
	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3185	3444
	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	2963	3204

Çizelge 4.11'e göre Soma-Eynez numunesinin toplam nemi %7,50, kuru kömürde kül içeriği %40,70'dir. Numunenin uçucu madde içeriği %32,02, toplam kükürt %1,41, piritik kükürt %0,27'dir. Numunenin üst ısıl değeri 3444 kcal/kg'dır.

#### 4.1.1.2 Elementel Analizler

Elementel analiz için hazırlanan numunelerin bölümümüz laboratuvarında bulunan LECO CHN-600 cihazında elementel analizleri yapılmıştır.

10 farklı linyit numunesinin ve bunların 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin Karbon (C), Hidrojen (H) ve Azot (N) içerikleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4.12** Orjinal Numunelerin ve 1,60 gr/cm<sup>3</sup> Yoğunlukta Yüzen Ürünlerin Elementel Analiz Sonuçları.

Numune	C (%)		H (%)		N (%)	
	Orjinal Numune	Yüzen Ürün	Orjinal Numune	Yüzen Ürün	Orjinal Numune	Yüzen Ürün
Eskiçeltek	25,54	45,32	2,75	4,82	0,38	1,69
Çayırhan	43,98	60,22	4,21	5,24	1,39	1,09
Mihalççık	45,10	54,14	5,51	5,29	0,18	0,22
İstanbul-Ağaçlı	31,07	45,62	4,06	4,65	0,94	1,8
Tınaz	35,41	46,34	4,31	5,28	0,37	0,88
Eskihisar	34,43	42,76	5,17	4,96	0,5	0,68
Hüsamlar	35,37	44,8	5,06	5,17	1,04	1,28
Ekizköy	32,76	38,72	4,33	4,55	0,48	0,74
Sekköy	34,65	62,72	4,76	5,23	0,32	2,52
Soma-Eynez	32,63	41,17	2,89	4,81	0,02	1,61

Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi; deneysel çalışmalar yapılan numunelerin karbon içerikleri laboratuvarlarımıza gelen ve orjinal olarak isimlendirdiğimiz numuneler için %25,54–%45,10 arasında değişirken, 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin karbon içerikleri %38,72–%62,72 arasında değişim göstermektedir.

Ayrıca numunelerin hidrojen içerikleri orjinal numuneler için %2,75–%5,51 arasında değişirken, 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin hidrojen içerikleri %4,55–%5,29 arasında değişmektedir.

Numunelerin azot içerikleri gözlemlendiğinde orjinal numuneler için %0,02–%1,39 arasında değişirken, 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin azot içerikleri %0,22–%2,52 arasında değişmektedir.



Mihalıççık numunesi C içeriği; orjinal numune için %45,10, H içeriği %5,51, N içeriği %0,18'dir. Mihalıççık numunesi 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürününün C içeriği %54,14, N içeriği %0,22'dir.

Tınaz numunesi C içeriği; orjinal numune için %35,41, H içeriği %4,31 N içeriği %0,37'dir. Bu numunenin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürününün C içeriği %46,34, H içeriği %5,28'dir

Hüsamlar numunesi C içeriği; orjinal numune için %35,37, H içeriği %5,06, N içeriği %1,04'dür. Bu numunenin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürününün C içeriği %44,8, H içeriği %5,17, N içeriği %1,28'dir.

## 4.1.2 Yöntem

### 4.1.2.1 Yüzdürme-Batırma Testleri

Numunelere, 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ortamda Yüzdürme-Batırma işlemi uygulanmıştır. Yüzdürme-Batırma işlemi sonunda yüzen ürün olarak alınan temiz kömürlerin kül içeriklerine ait sonuçlar Çizelge 4.13'de verilmektedir. Yüzen ürünler %11,0 ile %33,10 arasında değişen kül içeriklerine sahip olduğu çizelgede görülmektedir.

**Çizelge 4.13** 1,60 gr/cm<sup>3</sup> Yoğunluklu Ortamda Yüzen Ürünlerin Kül İçerikleri.

Numune	Kül (%)
Eskiçeltek	13,90
Çayırhan	22,20
Mihalıççık	23,50
İstanbul-Ağaçlı	11,80
Tınaz	17,10
Eskihisar	13,40
Hüsamlar	23,30
Ekizköy	25,30
Sekköy	19,70
Soma-Eynez	11,00

### 4.1.2.2 Numunelerin Öğütülebilirliği

Yüzdürme-Batırma işlemi sonunda yüzen ürün olarak alınan temiz kömürlerin öğütülebilirliği Hardgrove indeksleri (HGI) ile belirlenmiştir. Bölümümüz laboratuvarlarında bulunan

Hardgrove cihazı ile ASTM D 409 standardında belirtilen şekilde deneyler yapılmıştır. Numuneler kademeli olarak -1,18 +0,60 mm boyut grubunda hazırlanmıştır. 50 gr numune HGI değirmeninde standartta belirtildiği şekilde öğütüldükten sonra 0,075 mm'lik elekten 20 dakika elenmiştir. 0,075 mm'lik eleğin altına geçen ürün tartılmış, Eşitlik 4.1 'de yerine konularak HGI değerleri belirlenmiştir.

$$HGI=13,74+(6,93xW).....(4.1)$$

$W = 0,075$  mm'lik eleğin altına geçen malzeme miktarı (g).

HGI değerlerine göre öğütülebilirlikleri bakımından kömürler;

HGI	Öğütülebilirlik Özelliği
<50	Zor öğünen kömür
50<HGI<70	Orta öğünen kömür
>70	Kolay öğünen kömür

olarak sınıflandırılmaktadır.

HGI değerlerine göre 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin öğütülebilirlikleri Çizelge 4.14'te sunulmaktadır.

**Çizelge 4.14** 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerin HGI değerleri.

Numune	HGI	Öğütülebilirlik
<b>Eskiçelttek</b>	36,80	Zor öğünen
<b>Çayırhan</b>	58,70	Orta öğünen
<b>Mihalıççık</b>	50,40	Orta öğünen
<b>İstanbul-Ağaçlı</b>	45,60	Zor öğünen
<b>Tınaz</b>	40,70	Zor öğünen
<b>Eskihisar</b>	39,30	Zor öğünen
<b>Hüsamlar</b>	84,43	Kolay öğünen
<b>Ekizköy</b>	58,20	Orta öğünen
<b>Sekköy</b>	52,50	Orta öğünen
<b>Soma-Eynez</b>	32,40	Zor öğünen

- Eskiçelttek, İstanbul-Ağaçlı, Tınaz Eskihisar ve Soma-Eynez kotlu numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin HGI değerlerine göre zor öğünen öğütülebilirlik özelliğinde,
- Çayırhan, Mihalıççık ve Ekizköy kotlu numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin HGI değerlerine göre orta öğünen öğütülebilirlik özelliğinde,

➤ Hüsamlar kotlu numunenin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünün HGI değerine göre orta öğünen öğütülebilirlik özelliğinde oldukları belirlenmiştir.

#### 4.1.2.3 Petrografik Analizler

Numunelerin 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen ürünlerinin petrografik bileşimini belirlemek için mikroskobik çalışmalar yapılmıştır. Numunelerin konili kırıcı çıkışı ürünleri el merdanesi ile kademeli şekilde kırılarak 1 mm lik elekten elenmiş, elek üstü ürüne tekrar merdane ile kırma işlemi yapılarak, bu işlem malzemenin tamamı 1 mm altına geçecek şekilde tekrarlanmıştır. Hazırlanan bu –1 mm lik ürünlerden pelet döküldükten sonra parlatma işlemleri uygulanmış, parlatılmış linyit peletlerin yansıyan ışık altında petrografik bileşimleri incelenmiş, tipik bileşenlere ait mikrofotograflar çekilmiştir.

Mikroskopik çalışmalarda numunelerin peletleri üzerinde 500 adet tane sayımı yapılarak, ulminit, textinit, liptinit, inertinit, semifüzinit, pirit ve mineral madde içerikleri belirlenmiştir. Petrografik sayım sonuçları Çizelge 4.15-4.24'te verilmektedir.

**Çizelge 4.15** Eskiçelttek Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	82
<b>Textinit</b>	0
<b>Liptinit</b>	1,0
<b>İnertinit</b>	3,0
<b>Semifüzinit</b>	11,5
<b>Pirit</b>	1,0
<b>Mineral madde</b>	1,5
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.15'de görüldüğü gibi Eskiçelttek numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda %82 oranında ulminit, %1 oranında pirit içermekte olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.16** Çayırhan Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	77,2
<b>Textinit</b>	12,8
<b>Liptinit</b>	2,0
<b>İnertinit</b>	1,6
<b>Semifüzinit</b>	4,8
<b>Pirit</b>	0,4
<b>Mineral madde</b>	1,2
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.16’de görüldüğü gibi Çayırhan numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda ulminit ve textinit bileşenler toplamda %90’lık kısmı oluştururken, %0,4 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.17** Mihaliçcik Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	23
<b>Textinit</b>	70
<b>Liptinit</b>	0
<b>İnertinit</b>	3,0
<b>Semifüzinit</b>	2,0
<b>Pirit</b>	1,0
<b>Mineral madde</b>	1,0
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi Mihaliccik numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda textinit %70 ve %1 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.18** İstanbul-Ağaçlı Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	51,6
<b>Textinit</b>	42
<b>Liptinit</b>	0,4
<b>İnertinit</b>	1,2
<b>Semifüzinit</b>	2,8
<b>Pirit</b>	1,6
<b>Mineral madde</b>	0,4
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.18’de görüldüğü gibi İstanbul-Ağaçlı numunesinin 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda ulminit %51.6 ve %42 textinit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.19** Tınaz Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	49,6
<b>Textinit</b>	47,2
<b>Liptinit</b>	0
<b>İnertinit</b>	0
<b>Semifüzinit</b>	0
<b>Pirit</b>	2,4
<b>Mineral madde</b>	0,8
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.19’da görüldüğü gibi Tınaz numunesinin 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda ulminit ve textinit birbirlerine yakın miktarda belirlenmiş olup sırasıyla %49,6 ve %47,2 oranındadır. Numunede ayrıca %2,4 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.20** Eskihisar Tüvenan Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	13,2
<b>Textinit</b>	82,4
<b>Liptinit</b>	0,8
<b>İnertinit</b>	1,2
<b>Semifüzinit</b>	0,4
<b>Pirit</b>	1,6
<b>Mineral madde</b>	0,4
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.20’de görüldüğü gibi Eskihisar numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda %82,4 textinit, %1,6 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.21** Hüsamlar Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	51
<b>Textinit</b>	21,5
<b>Liptinit</b>	2,0
<b>İnertinit</b>	16
<b>Semifüzinit</b>	5,5
<b>Pirit</b>	3,5
<b>Mineral madde</b>	0,5
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.21’de görüldüğü gibi Hüsamlar numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda liptinit, inertinit ve semifüzinit bileşenlerinin toplamda %23,5 oranda olduğu görülmüştür ayrıca %21,5 textinit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.22** Ekizköy Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	53,2
<b>Textinit</b>	38,4
<b>Liptinit</b>	0
<b>İnertinit</b>	2,0
<b>Semifüzinit</b>	5,2
<b>Pirit</b>	1,2
<b>Mineral madde</b>	0
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.22’de görüldüğü gibi Ekizköy numunesinin 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda %53,2 ulminit, %38,4 textinit ve %1,2 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.23** Sekköy Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	15,2
<b>Textinit</b>	77,2
<b>Liptinit</b>	1,2
<b>İnertinit</b>	2,4
<b>Semifüzinit</b>	2,0
<b>Pirit</b>	0,8
<b>Mineral madde</b>	1,2
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.23’de görüldüğü gibi Sekköy numunesinin 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda %77,2 textinit, %0,8 pirit belirlenmiştir.

**Çizelge 4.24** Soma-Eynez Numunesi Petrografik Analiz Sonuçları.

<b>Petrografik Bileşen</b>	<b>Miktar (%)</b>
<b>Ulminit</b>	79,2
<b>Textinit</b>	4
<b>Liptinit</b>	2,8
<b>İnertinit</b>	2,8
<b>Semifüzinit</b>	9,2
<b>Pirit</b>	0,4
<b>Mineral madde</b>	1,6
<b>Toplam Reaktif Bileşenler</b>	100

Çizelge 4.24’de görüldüğü gibi Soma-Eynez numunesi 1.60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk da yüzen üründe yapılan petrografik çalışma sonucunda ulminit %79,2, textinit %4 ve %0,4 pirit belirlenmiştir.

Petrografik çalışmaların sonucunda özetle;

Örneklerin tamamında temel bilşenler ulminit ve textinitden oluşmaktadır. Vitrinit grubunu oluşturan ulminit ve textinit toplamı;

- Soma-Eynez %83,2,
- Hüsamlar %72,5 ve
- Eskiçeltek %82 olup bu numenelerin dışındaki tüm diğer numunelerde %90-95 arasında değişmektedir.

İnertinit ve semifüzinitde genellikle %1-5 arasında bulunmaktadır.

- Soma-Eynez %12,
- Hüsamlar %21,5,
- Eskiçeltek %14,5 numunelerinde nisbeten yüksek değerdedir.

Liptinit içeriği numunelerin çoğunda %1’in altında olup,

- Soma-Eynez ,
- Hüsamlar numunelerinde %2’nin üzerindedir.

Genel olarak numunelerde pirit içeriğinin %1-1,5 civarında olduğu gözlenmiştir.



Örneklerde en sık görülen pirit tipi fromboidal piritlerdir. Frombuaya benzemesinden ötürü bu ismi alan bu tipdeki piritler yüksek yüzey alanına doğru oksidasyona (yanmaya) daha yatkındırlar. Ayrıca ince taneli dissemine ve rombosal piritlere de rastlanmıştır. Pirit çoğunlukla çatlak ve boşluklar üzerinde yer almakta olup, sık sık yığılımlar halinde de görülmektedir.

Numunelerin mikro petrografik fotoğrafları çekilerek görüntülere Şekil 4.14 ve Şekil 4.23'te yer verilmiştir. Mikrofotoğraflarda ara bileşenler ve eşlik eden piritler dahil tali bileşenler görüntülenmektedir.

Eski Çelttek numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.2 (a, b)'de verilmiştir.



**Şekil 4.2** Eskiçelttek  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.2'de Eskiçelttek numunesinde ulminit içinde yaygın pirit tanecikleri(a) ve ulminit içinde semifüzinit parçacığı (b) görüntüleri yer almaktadır.

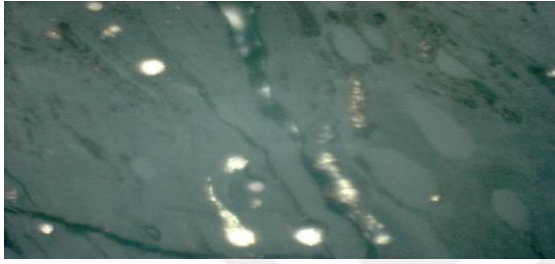
ÇAYIRHAN numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.3 (a, b, c, d)'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

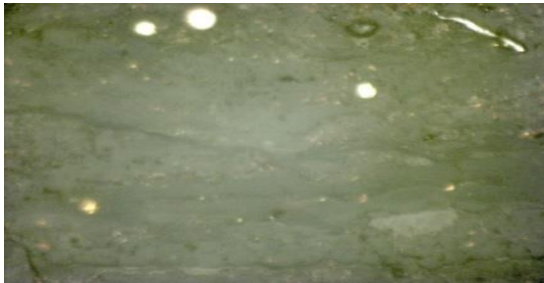


(d)

**Şekil 4.3** Çayırhan  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.3 deki mikrofotografda Çayırhan numunesinde ulminit içinde pirit tanecikleri (a), ulminit (homojen)(b), semifüzinit (c) ve ulminit boşluklarda inerto-detrinit ve kil minerallerine (d) ait görüntüler görülmektedir.

Mihalıççık numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.4 (a, b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 4.4** Mihalıççık  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.4 deki mikrofotografda Mihaliççık numunesinde textinit (a), ulminit içinde parlak pirit taneleri (b) görülmektedir.

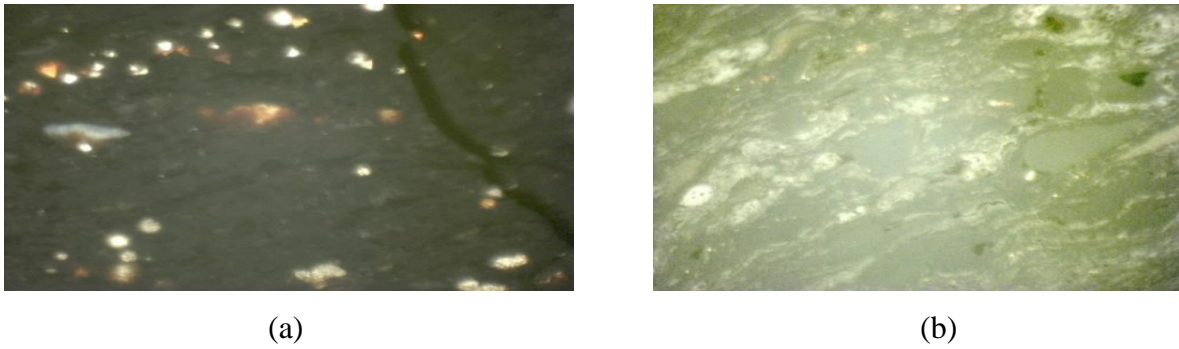
İstanbul-Ağaçlı numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.5 (a, b)'de verilmiştir.



**Şekil 4.5** İstanbul-Ağaçlı  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

İstanbul-Ağaçlı numunesinde textinit (a) ve semifüzinit-ulminit (b) görülmektedir.

Tınaz numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.6 (a, b)'de verilmiştir.



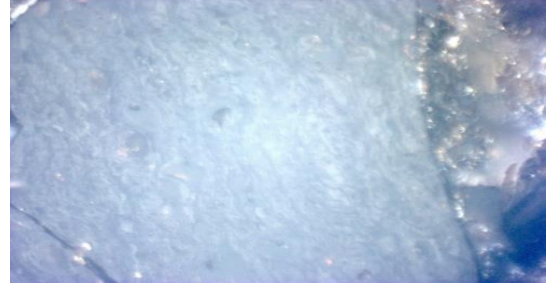
**Şekil 4.6** Tınaz  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekilde Tınaz numunesinde ulminit içinde çeşitli piritler (a) ve ulminit-textinit (b) görüntüleri yer almaktadır.

Eskihisar numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.7 (a, b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

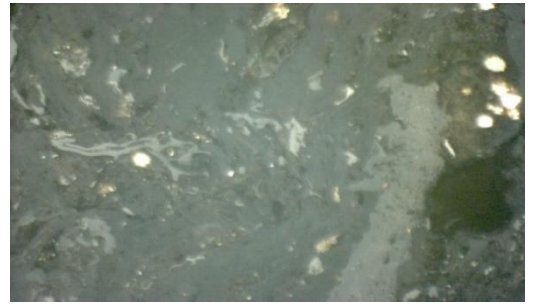
**Şekil 4.7** Eskihisar  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.7'de Eskihisar numunesinde textinit (a) ve ulminit içinde kutinit bantları (b) yer almaktadır.

Hüsamlar numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.8 (a, b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 4.8** Hüsamlar  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4,8' de Hüsamlar numunesinde ulminit içinde inerto-detrit (a) ve semifüzinitler-ulminit içinde pirit taneciklerine (b) ait görüntüler verilmiştir.

Ekizköy 4.9 numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.9 (a, b, c, d)'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

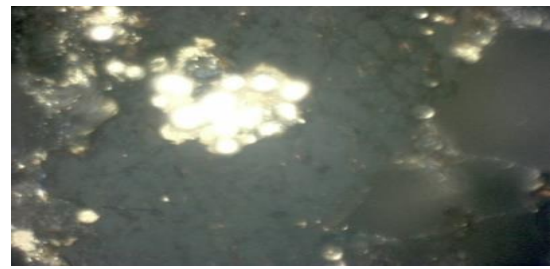
**Şekil 4.9** Ekizköy 1,60 gr/cm<sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.9'da Ekizköy numunesinde textinit (a), ulminit içinde pirit tanecikleri (b), inertodetrinit ve semifüzinit (c) ve ulminit yaygın pirit yığışmaları ulminit-textinit (d) görüntüleri yer almaktadır.

Sekköy numunesinin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.10 (a, b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 4.10** Sekköy 1,60 gr/cm<sup>3</sup> Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Şekil 4.10'da Sekköy numunesinde textinit-ulminit (a) ve inertodetrinit-frobidial pirit ve pirit yığışmaları (b) görülmektedir.

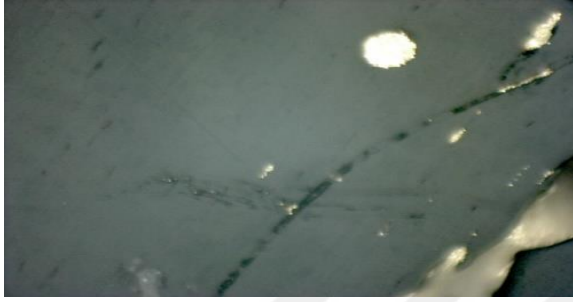
Soma-Eynez numunesinin  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukda yüzen ürününden hazırlanan pelete ait mikro fotoğraflar Şekil 4.11 (a, b, c, d)'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 4.11** Soma-Eynez  $1,60 \text{ gr/cm}^3$  Yoğunlukda Yüzen Ürününün Mikro Fotoğrafları.

Soma-Eynez numunesinde ulminit içinde pirit (a), inertodetrinit ve kil (b), semifüzinit (c) ve ulminit boşlukları içinde çeşitli tiplerde pirit yığışimleri(d) görüntüleri verilmiştir.

#### **4.1.2.4 Kül Ergime Derecesi Ve Külün Mineralojik Özellikleri**

Numunelerin kül ergime dereceleri (ASTM D 1857) belirlenmiş, küllerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Numunelerin kül ergime dereceleri Çizelge 4.25'de, küllerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

**Çizelge 4.25** Numunelerin Kül Ergime Dereceleri.

Numune	Sıcaklık (°C)		
	Yumuşama	Ergime	Akma
<b>Eskiçeltek</b>	1372	1377	1379
<b>Çayırhan</b>	1280	1215	1305
<b>Mihalıççık</b>	1066	1088	1100
<b>İstanbul-Ağaçlı</b>	1140	1340	1350
<b>Tınaz</b>	1140	1285	1310
<b>Eskihisar</b>	1284	1310	1314
<b>Hüsamlar</b>	1140	1215	1220
<b>Ekizköy</b>	1100	1410	1450
<b>Sekköy</b>	1080	1240	1260
<b>Soma-Eynez</b>	1140	1340	1360

Çalışılan numunelerden en düşük ergime sıcaklığı 1020 °C olup Mihalıççık numunesine aittir. Diğer numunelerin kül ergime sıcaklıkları 1200 °C'nin üzerinde olup, Eskihisar, Ekizköy, Soma-Eynez ve Eskiçeltek numunelerinin kül ergime dereceleri 1300 °C'den fazladır.

Kömür külünün ergime sıcaklığı öncelikle kimyasal bileşimine bağlıdır; ancak, külün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden erime özelliklerinde önemli farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma kapsamında çalışılan 10 değişik linyit numunesinin küllerinin erime sıcaklıkları ile bileşimleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla küllerin minerolojik bileşimleri belirlenmiştir.

Küçükbayrak vd. (1993) tarafından yapılan çalışmada külün  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  içeriğinin artmasının erime sıcaklığında düşüşe neden olduğu belirtilmektedir. Küldeki demir oranı yüksek kömürler toz kömür yakma sistemlerinde şiddetli cüruf oluşumuna neden olurlar.

**Çizelge 4.26** Numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> Yoğunlukta Yüzen Ürünlerinin Küllerinin Kimyasal Analizi.

Numune	Bileşen (%)											
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Eskiçelttek</b>	0,96	1,67	20,54	46,37	1,38	2,85	0,00	1,81	6,71	0,96	0,14	16,60
<b>Çayırhan</b>	3,55	9,10	11,02	32,59	1,06	9,28	0,05	1,46	14,60	1,73	0,10	15,46
<b>Mihaliççık</b>	7,60	4,80	15,06	46,42	0,69	2,49	0,01	1,79	10,23	0,92	0,05	9,94
<b>İstanbul-Ağaçlı</b>	2,69	3,07	10,90	15,59	0,14	22,59	0,01	0,37	23,04	0,46	0,14	21,00
<b>Tınaz</b>	1,14	4,35	14,77	23,81	0,32	17,81	0,02	1,06	21,36	0,63	0,11	14,63
<b>Eskihisar</b>	1,76	2,77	24,27	37,91	0,24	6,60	0,01	1,96	12,62	1,09	0,09	10,66
<b>Hüsamlar</b>	2,08	3,19	19,59	31,69	0,22	10,09	0,01	1,69	15,62	0,90	0,05	14,88
<b>Ekizköy</b>	1,68	4,33	12,88	18,57	0,54	25,10	0,01	0,73	27,29	0,56	0,07	8,25
<b>Sekköy</b>	2,02	3,22	12,78	19,46	0,56	24,73	0,02	1,12	25,51	0,66	0,07	9,86
<b>Soma-Eynez</b>	1,17	2,39	25,40	39,43	0,63	7,55	0,04	1,46	11,95	1,20	0,05	8,74

Özellikle curuf oluşumunda külün minerolijik/kimyasal bileşimi önemli bir parametredir. Küldeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği külün Slagging İndeks ve Fouling İndeks değerlerini belirlemektedir.

- Çizelge 4.26' ya göre; numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin küllerinin XRF ile yapılan analizlerinde farklı oranlarda alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>), kükürt III oksit (SO<sub>3</sub>), kalsiyum oksit (CaO) ve demir III oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içerdiği görülmektedir.
- SiO<sub>2</sub> içeriği numuneler için %15,59-%46,42 arasında değişmektedir.
- Mihaliççık numunesinin %46,42 SiO<sub>2</sub> içeriği, diğer numunelere göre yüksekken, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> ve CaO içerikleri düşüktür.
- Sekköy numunesinin SiO<sub>2</sub> içeriği; %19,46, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği; %12,78 ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği; % 9,86'dır.
- Hüsamlar numunesinin SiO<sub>2</sub> içeriği; %31,69, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; %19,59 ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; % 14,88'dir.
- Eskiçelttek numunesinin SiO<sub>2</sub> içeriği; % 16,60, CaO; %6,71 ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; % 16,60'dır.
- Çayırhan numunesinin SiO<sub>2</sub> içeriği %32,59 iken SO<sub>3</sub> miktarı; %9,28, CaO; %14,60, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; % 15,46'dır.



## Numunelerin Küllerinin Slagging İndeks ve Fouling İndeks Değerleri

### Slagging İndeksi:

Külün kimyasal analizinde:  $Fe_2O_3 > CaO + MgO$  olması durumunda Slagging İndeksi aşağıda verilen (4.2) No'lu eşitlikten hesaplanır.

$$Rs = ((Fe_2O_3) + (CaO) + (MgO) + (Na_2O) + (K_2O)) / ((SiO_2) + (Al_2O_3) + (TiO_2)) \times S \dots\dots\dots (4.2)$$

hesaplama sonucunda bulunan değere göre Slagging potansiyeli;

- $Rs < 2.0$  ..... düşük-orta
- $2 \leq Rs \leq 2.7$  ..... yüksek
- $Rs \geq 2.7$  ..... çok yüksek olarak tanımlanmaktadır.

Külün kimyasal analizinde:  $Fe_2O_3 < CaO + MgO$  olması durumunda Slagging İndeksi aşağıda verilen (4.3) No'lu eşitlikten hesaplanır.

$$Rs = ((HT) + (4IT)) / 5 \dots\dots\dots (4.3)$$

hesaplama sonucunda bulunan değere göre Slagging potansiyeli;

- $Rs > 2450$  ..... düşük
- $2450 \geq Rs \geq 2250$  ..... orta
- $2250 > Rs \geq 2100$  ..... yüksek
- $2100 > Rs$  ..... çok yüksek olarak tanımlanmaktadır.

Numunelerin Slagging İndeks değerleri Çizelge 4.27'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.27** Numunelerin Slagging İndeks Sonuçları.

Numune	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO+MgO %	Kullanılan Eşitlik	S %	Rs	Slagging Potansiyeli
Eskiçelték	16,60	8,38	4.2	1,87	0,76	Düşük-Orta
Çayırhan	15,46	23,70	4.3	4,08	1267	Çok Yüksek
Mihalıççık	9,94	15,03	4.3	3,00	1070	Çok Yüksek
İstanbul-Ağaçlı	21,00	26,11	4.3	2,51	1180	Çok Yüksek
Tınaz	14,63	25,71	4.3	3,89	1169	Çok Yüksek
Eskihisar	10,66	15,39	4.3	3,23	1289	Çok Yüksek
Hüsamlar	14,88	18,81	4.3	4,41	1155	Çok Yüksek
Ekizköy	8,25	31,62	4.3	5,57	1162	Çok Yüksek
Sekköy	9,86	28,73	4.3	6,02	1112	Çok Yüksek
Soma-Eynez	8,74	14,34	4.3	1,11	1180	Çok Yüksek

- Eski Çelték numunesi dışında çalışılan tüm numunelerin CaO+MgO içerikleri Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinden küçük olup, Slagging Potansiyelleri çok yüksek olarak belirlenmiştir.
- Düşük Slagging Potansiyeli gösteren Eski Çelték numunesinde CaO+MgO içeriği %8,38, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %16,60 olup Slagging Potansiyeli Düşük-Orta olarak belirlenmiştir.

### **Fouling İndeksi:**

Külün kimyasal analizinde Fouling İndeksi aşağıda verilen (4.4) No'lu eşitlikten hesaplanır.

$$Rf = \frac{(Fe_2O_3) + (CaO) + (MgO) + (K_2O)}{((SiO_2) + (Al_2O_3) + (TiO_2))} \times Na_2O \dots \dots \dots (4.4)$$

formülünden hesaplanmış ve alacağı değere göre Fouling potansiyeli

- Rf < 0,5 ..... düşük-orta
- 0.5 ≤ Rf ≤ 1 ..... yüksek
- Rf > 1 ..... çok yüksek olarak belirlenmektedir.

Külün kimyasal analizinde; Fouling İndeksi aşağıda verilen (4.5) No'lu eşitliğin olması durumunda;

$$CaO + MgO + Fe_2O_3 > \%20 \dots \dots \dots (4.5)$$

Na<sub>2</sub>O içeriğine bağlı olarak Fouling Potansiyeli belirlenir.

- Na<sub>2</sub>O < 3 ... düşük-orta Fouling Potansiyeli
- 3 ≤ Na<sub>2</sub>O ≤ 7 ..... yüksek Fouling Potansiyeli
- Na<sub>2</sub>O > 7 ..... çok yüksek Fouling Potansiyeli

$$CaO + MgO + Fe_2O_3 < \%20$$

Base/acid < 0.5 and S < 1 olması durumunda; Na<sub>2</sub>O içeriğine bağlı olarak Fouling Potansiyeli belirlenir.

- Na<sub>2</sub>O < 1.2 .... düşük-orta Fouling Potansiyeli
- 1.2 ≤ Na<sub>2</sub>O ≤ 3 ..... yüksek Fouling Potansiyeli
- Na<sub>2</sub>O > 3 ..... çok yüksek Fouling Potansiyeli

Çizelge 4.26'de yer alan, "Numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukda yüzen ürünlerinin küllerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre;

$\frac{((Fe_2O_3) + (CaO) + (MgO) + (K_2O))}{((SiO_2) + (Al_2O_3) + (TiO_2))} \times Na_2O$  eşitliğinin alacağı değere bağlı olarak belirlenen Fouling İndeks değerleri izelge 4.28'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.28** Numunelerin Fouling İndeks Sonuçları.

Numune	Na <sub>2</sub> O %	Rf	Kullanılan Eşitlik	Fouling Potansiyeli
Eskiçeltek	0,96	0,38	4.4	Düşük-Orta
Çayırhan	3,55	3,18	4.4	Çok Yüksek
Mihalıççık	7,6	3,26	4.4	Çok Yüksek
İstanbul-Ağaçlı	2,69	4,74	4.4	Çok Yüksek
Tınaz	1,14	1,20	4.4	Çok Yüksek
Eskihisar	1,76	0,78	4.4	Yüksek
Hüsamlar	2,08	1,41	4.4	Çok Yüksek
Ekizköy	1,68	2,13	4.4	Çok Yüksek
Sekköy	2,02	2,44	4.4	Çok Yüksek
Soma-Eynez	1,17	0,43	4.4	Düşük-Orta

- Çizelge 4.28’de görüldüğü üzere Eski Çeltek ve Soma-Eynez numunelerine ait kül numunesi; Düşük-Orta Fouling Potansiyeline sahiptir.
- Eskihisar, numunesi Yüksek Fouling potansiyeline sahiptir.
- Tınaz ve Soma-Eynez kömürleri Düşük-Orta Fouling Potansiyelli küller verdiği Çayırhan, Mihalıççık, İstanbul-Ağaçlı, Tınaz, Hüsamlar, Ekizköy ve Sekköy numunelerinin küllerinin Çok Yüksek Fouling Potansiyeli gösterdikleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.26’de yer alan, “Numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukda yüzen ürünlerinin küllerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre; CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerine bağlı olarak Na<sub>2</sub>O içeriğine göre de Fouling Potansiyelleri belirlenerek Çizelge 4.29’da sunulmuştur.

**Çizelge 4.29** Numunelerin Fouling İndeks Sonuçları.

Numune	CaO+MgO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Kullanılan Eşitlik	Fouling Potansiyeli
Eskiçeltek	24,98	0,96	4.5	Düşük-Orta
Çayırhan	39,16	3,55	4.5	Yüksek
Mihalıççık	24,97	7,6	4.5	Çok Yüksek
İstanbul-Ağaçlı	47,11	2,69	4.5	Düşük-Orta
Tınaz	40,34	1,14	4.5	Düşük-Orta
Eskihisar	26,05	1,76	4.5	Düşük-Orta
Hüsamlar	33,69	2,08	4.5	Düşük-Orta
Ekizköy	39,87	1,68	4.5	Düşük-Orta
Sekköy	38,59	2,02	4.5	Düşük-Orta
Soma-Eynez	23,08	1,17	4.5	Düşük-Orta

- Çizelge 4.29'da görüldüğü üzere Çayırhan ve Mihakkıççık numunesi dışındaki çalışılan numunelerin küllerinin ; Düşük-Orta Fouling Potansiyeline sahip olduğu,
- Çayırhan numunesi külünün Yüksek Fouling potansiyeline sahip olduğu,
- Mihalıççık, numunesi Çok Yüksek Fouling Potansiyeli gösterdiği,

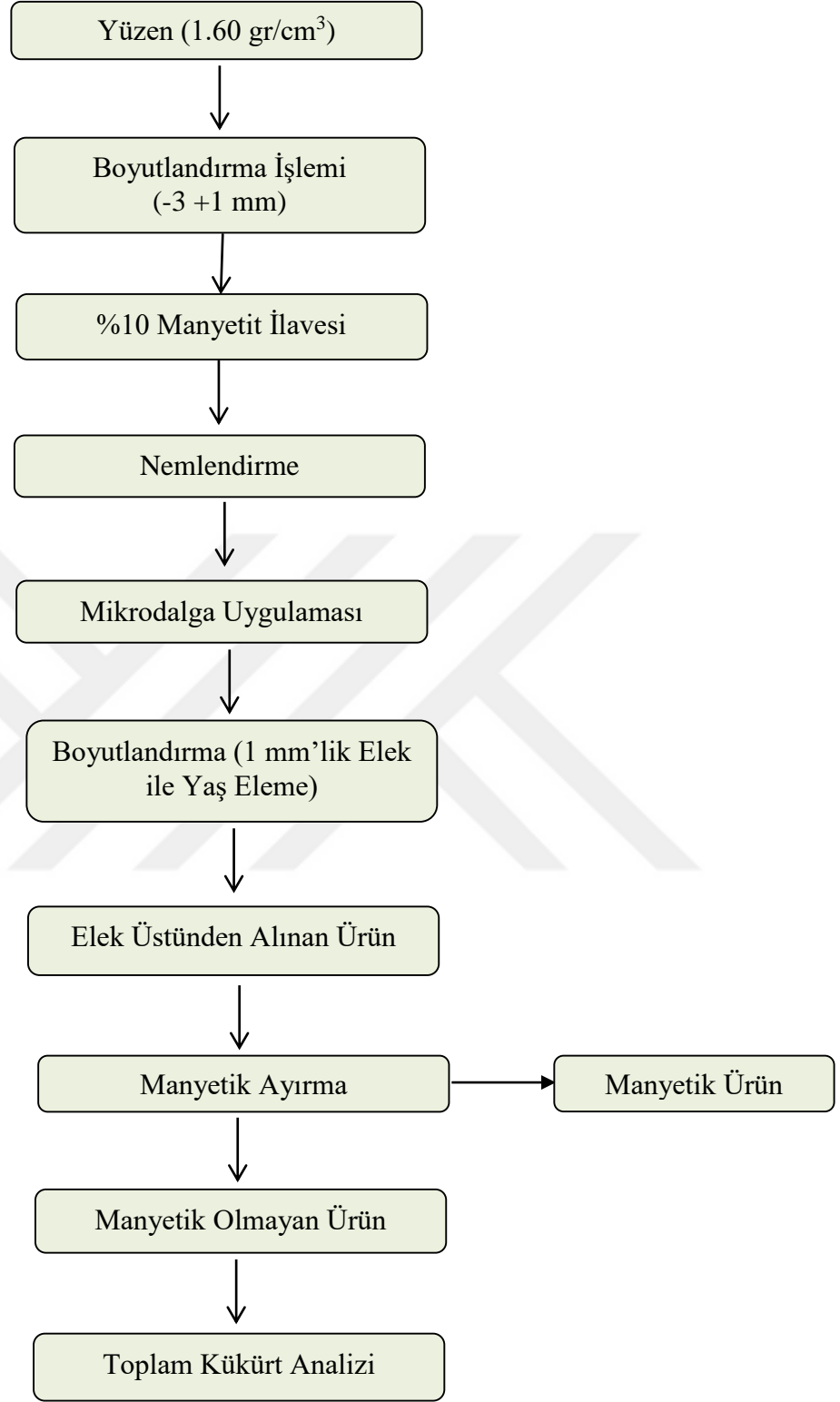
belirlenmiştir.

#### 4.1.2.5 Mikrodalga Çalışmaları

Mikrodalga uygulamasının, kömürün kükürt içeriğindeki etkisini belirlemek üzere mikrodalga deneyleri yapılmıştır. Mikrodalga deneyleri akım şeması Şekil 4.12'de verilmiştir.

Kullanılan mikrodalga fırının frekansı 2,45 GHz, gücü max. 800 W'tır.

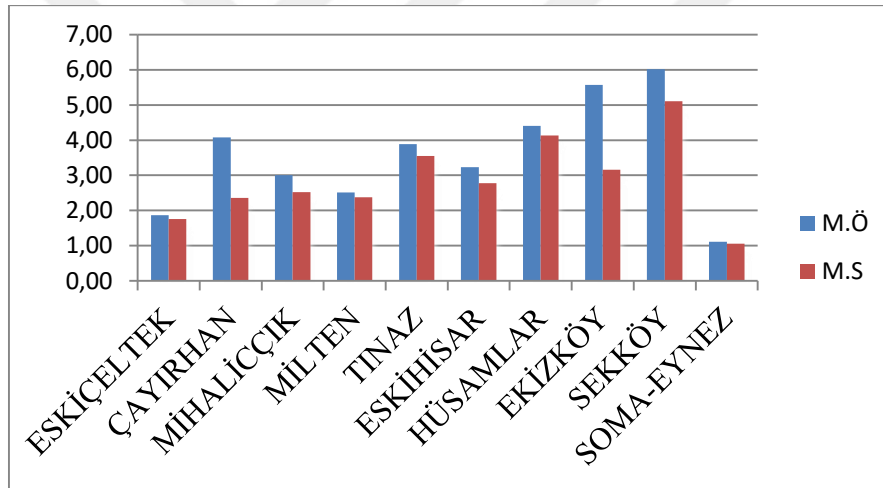
- Mikrodalga deneyleri Eski Çeltek, Çayırhan, Mihalıççık, İstanbul-Ağaçlı, Tınaz, Eskihisar, Hüsamlar, Ekizköy, Sekköy ve Soma-Eynez bölgelerinden alınan linyit numunelerinin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinde yapılmıştır. Bu yüzen ürünlerin toplam kükürt içerikleri belirlenmiştir. Deneyler için bu ürünler; -3+1 mm boyut grubunda sınıflandırılarak kullanılmıştır.
- Hazırlanan numunelere kömür içindeki piritin mikrodalgada ısınma özelliğini artırmak için, mükemmel bir mikrodalga emici mineral olan manyetit ilave edilmiştir. Mikrodalga çalışmalarında numunelere ağırlıkça %10 manyetit ve %3 nem sağlayacak şekilde su ilave edilerek karıştırılmıştır.
- Silika kroze içinde mikrodalganın döner tablasının üzerine yerleştirilen numunelere 600 W gücünde 2,45 GHz frekansında mikrodalga uygulanmıştır.
- Mikrodalga fırınından dışarı alınan numunelere 1 mm'lik elek ile eleme yapılmış, elek üstü su ile iyice yıkanmış ve kurutulmuştur.
- Kurutulan bu ürünlere küçük el mıknatısı ile manyetik ayırma yapılarak, ürün içindeki manyetik kısım uzaklaştırılmıştır. Geriye kalan ve "manyetik olmayan ürün" olarak adlandırılan kısmın toplam kükürt analizleri yapılmıştır.
- Numunelerin mikrodalga uygulaması öncesi toplam kükürt içerikleri ve mikrodalga uygulama sonrası kükürt içerikleri ile kükürt giderimleri Çizelge 4.29'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Mikrodalga Uygulaması Akım Şeması.

**Çizelge 4.30** Mikrodalga Öncesi Ve Sonrası Toplam Kükürt İçerikleri Ve Kükürt Giderimi Sonuçları.

Numune	Toplam Kükürt (%)		Kükürt Giderimi (%)
	Mikrodalga Uygulaması Öncesi	Mikrodalga Uygulaması Sonrası	
ESKİÇELTEK	1,87	1,76	5,88
ÇAYIRHAN	4,08	2,36	42,16
MİHALİCÇIK	3,00	2,52	16,00
MİLTEN	2,51	2,38	5,18
TINAZ	3,89	3,55	8,74
ESKİHİSAR	3,23	2,78	13,93
HÜSAMLAR	4,41	4,13	6,35
EKİZKÖY	5,57	3,16	43,27
SEKKÖY	6,02	5,11	15,12
SOMA-EYNEZ	1,11	1,06	4,50



**Şekil 4.13** Numunelerin Toplam Kükürt İçeriklerinde Mikrodalga Etkisi.

Çizelge 4.29 ve Şekil 4.13’de görüldüğü üzere;

- Mikrodalga uygulaması öncesi toplam kükürt değeri en yüksek numuneler sırasıyla Sekköy, Ekizköy, Hüsamlar, Çayırhan ve Tınaz numuneleri olup, toplam kükürt içerikleri sırasıyla %6,02, %5,57, %4,41, %4,08 ve %3,89’dir.
- Sekköy numunesinin toplam kükürdü %6,02’den %5,11’e düşmüştür.
- %5,57 toplam kükürt içerikli Ekizköy numunesinin mikrodalga uygulaması sonrası toplam kükürdü %3,16’ya inmiştir.
- Sekköy ve Ekizköy numuneleri mikrodalga uygulama sonrası toplam kükürt içeriklerinde %43,27 ve %42,16 azalma görülmüştür.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında Türkiye'nin 10 farklı kömür sahasından alınan kömür numuneleri ile çalışılmıştır. Numunelerin karakterizasyonu için:

- Kimyasal analizleri (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, üst ısıl değer ve alt ısıl değer), elementel analizleri (C, H, O ve N) yapılmıştır.
- Kükürt (S) çeşitleri (toplam kükürt, pritik kükürt, yanabilir kükürt) belirlenmiştir.
- Numunelerin öğütülebilirlikleri, HGI değerleri belirlenerek incelenmiştir.
- 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ağır ortamlarda Yüzdürme-Batırma işlemi yapılmıştır. 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerde;
- elementel analizleri, toplam kükürt içerikleri, HGI değerleri belirlenmiştir.
- petrografik çalışmalar yapılmıştır.
- yüzen ürünlerin küllerinin kül ergime dereceleri ve kimyasal bileşimleri belirlenerek, Slagging İndeksleri ve Fouling İndeksleri tespit edilmiştir.
- Mikrodalga uygulamalarında; mikrodalga enerjisinin yüzen ürünlerin toplam kükürt içeriğine etkisi incelenmiştir.

#### **Öğütülebilirliği belirlemek amacı ile yapılan HGI deneyleri sonunda;**

- Eskiçeltek, İstanbul-Ağaçlı, Tımaz, Eskihisar ve Soma-Eynez kotlu numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin HGI değerlerine göre zor öğünen öğütülebilirlik özelliğinde olduğu,
- Çayırhan, Mihaliççık ve Ekizköy kotlu numunelerin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünlerinin HGI değerlerine göre orta öğünen öğütülebilirlik özelliğinde,
- Hüsamlar kotlu numunenin 1,60 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürünün HGI değerine göre orta öğünen öğütülebilirlik özelliğinde

oldukları belirlenmiştir.

**Petrografik çalışmalar sonucunda;** Örneklerin tamamının; temel bileşenlerinin ulminit ve textinit'ten oluştuğu tespit edilmiştir.

Vitrinit grubunu oluşturan ulminit ve textinit toplamının;

- Soma-Eynez numunesinde; %83,2,
- Hüsamlar numunesinde; %72,5 ve
- Eskiçelttek numunesinde; %82 olduğu bu numunelerin dışındaki tüm diğer numunelerde %90-95 arasında değiştiği,

İnertinit ve semifüzinit'in genellikle %1-5 arasında bulunduğu,

- Soma-Eynez numunesinde; %12,
- Hüsamlar numunesinde; %21,5,
- Eskiçelttek numunesinde ise; %14,5 oranları ile nisbeten yüksek değerlerde olduğu,
- Liptinit içeriğinin numunelerin çoğunda %1'in altında olduğu,
- Soma-Eynez ve Hüsamlar numunelerinde %2'nin üzerinde bulunduğu,

Genel olarak pirit içeriğinin %1-1,5 civarında olduğu tespit edilmiştir.

**Kül ergime derecesini belirlemek üzere yapılan çalışmalar sonucunda;**

Kömür külünün erime sıcaklığı, öncelikle külün kimyasal bileşimine bağlıdır; kül bileşimleri geniş bir aralıkta değişim gösterdiğinden erime özelliklerinde de önemli farklılıklar tespit edilmektedir. Bu çalışma kapsamında çalışılan 10 değişik linyit numunesine ait küllerin erime sıcaklıkları ile bileşimleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla küllerin minerolojik bileşimleri belirlenmiştir. Külün Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO içeriğinin artması, erime sıcaklığında düşüğe neden olmaktadır. Külünde demir içeriği yüksek kömürlerin toz kömür yakma sistemlerinde şiddetli cüruf oluşumuna neden olduğu, küldeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği külün Slagging İndeks ve Fouling İndeks değerlerini değiştirdiği bilinmektedir. Çalışılan numunelerden

- Eski Çelttek numunesi dışında çalışılan tüm numunelerin CaO+MgO içerikleri Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinden küçük olduğu ve Slagging Potansiyellerinin çok yüksek olduğu,
- Düşük Slagging Potansiyeli gösteren Eski Çelttek numunesinin CaO+MgO içeriği %8,38, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %16,60 olduğu Slagging Potansiyeli Düşük-Orta olduğu,

Çizelge 4.28'e göre;

- Eski Çelttek ve Soma-Eynez numunelerine ait kül numunelerinin Düşük-Orta Fouling Potansiyeline sahip olduğu,
- Eskihisar, numunesi Yüksek Fouling potansiyeline sahip olduğu,



- Çayırhan, Mihaliççık, İstanbul-Ağaçlı, Tınaz, Hüsamlar, Ekizköy ve Sekköy numunelerinin küllerinin Çok Yüksek Fouling Potansiyeli gösterdikleri

belirlenmiştir.

Çizelge 4.29'da görüldüğü üzere;

- Çayırhan ve Mihaliççık numunesi dışındaki çalışılan numunelerin küllerinin Düşük-Orta Fouling Potansiyeline sahip olduğu,
- Çayırhan numunesi külünün Yüksek Fouling potansiyeline sahip olduğu,
- Mihaliççık numunesinin Çok Yüksek Fouling Potansiyeli gösterdiği

belirlenmiştir.

#### **Mikrodalga çalışmaları sonucunda;**

- Mikrodalga öncesi toplam kükürt değeri en yüksek numuneler sırasıyla Sekköy, Ekizköy, Hüsamlar, Çayırhan ve Tınaz numuneleri olup, toplam kükürt içeriklerinin sırasıyla %6,02, %5,57, %4,41, %4,08 ve %3,89 olduğu,
- Sekköy numunesinin toplam kükürdünün %6,02'den %5,11'e düştüğü,
- %5,57 toplam kükürt içerikli Ekizköy numunesinin mikrodalga uygulaması sonrası toplam kükürdünün %3,16'ya indiği,
- Çayırhan ve Ekizköy numunelerinde mikrodalga uygulama sonrası toplam kükürt içeriklerinde %42,16 ve %43,27 ve azalma sağlandığı

belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- Aelst V J, Rodriguez A R and Yperman J** (2000) A.p.-t.r.p. Investigation of the Effect of Nitric Acid Leaching on the Sulphur Distribution in Coal, *Fuel*, 79: 537-544.
- ASTM** (2007) D3177, Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, Sections 6-9, <https://compass.astm.org/download/D3177-WITHDRAWN.32194.pdf>.
- ASTM** (2011a) D3173, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D3173-11>.
- ASTM** (2011b) D3175, Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D3175-11>
- ASTM** (2012a) D3174, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D3174-12>.
- ASTM** (2012b) D2492, Standard Test Method for Forms of Sulfur in Coal, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D2492-02R12>
- ASTM** (2013) D5865, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, <https://doi.org/10.1520/D5865>
- ASTM** (2016a) D409, Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, [https://doi.org/10.1520/D0409\\_D0409M-16](https://doi.org/10.1520/D0409_D0409M-16)
- ASTM** (2016b) D1857, Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash, ASTM International, West Conshohocken, PA, [https://doi.org/10.1520/D1857\\_D1857M-16](https://doi.org/10.1520/D1857_D1857M-16)
- ASTM** (2016c) D5373, Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D5373-16>
- Atalay Z** (1980) Muğla ve Yatağan bölgeleri çevresindeki Neojen yaşlı kıtasal çökellerin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 23(1): 93-99 s.
- Çağlayan G H** (2016) Kömürden Kükürt Giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 49 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Çinpolat E** (1998) Oksitleyici Kükürt Giderme Yöntemlerinin Bazı Türk Linyitlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, *Yüksek Mühendislik Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, *Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul*, 71 s.
- Çuhadaroğlu D ve Toroğlu İ** (1993) Kömürdeki Kükürtlü Bileşiklerin Giderilmesi. Meslek İçi Eğitim Kursu Ders Notları (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 95 s.
- Eker Y** (2007) Kömürdeki Piritik Kükürdün Giderilmesinde Çeşitli Yöntemlerin Kıyaslanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Zonguldak, 87 s.
- Elsamak G, Öztas A N and Yürüm Y** (2003) Chemical Desulphurisation of Turkish Cayırhan Lignite with HI using microwave and thermal energy, *Fuel*, 82: 531–537.
- Gafur E** (2015) Farklı Parçacık Boyutlarındaki Tunçbilek Linyitinin Desülfürizasyonuna Deneysel Parametrelerin Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 64 s.
- Gökmen V, Memikoğlu O, Dağlı M, Öz D ve Tuncali E** (1993) Türkiye Linyit Envanteri. MTA, 356 s.
- Görür N, Şengör A M C, Sakıncı M, Tüysüz O, Akkök R, Yiğitbaş E, Oktay F Y, Barka A, Sarıca N, Ecevitoglu B, Demirbağ E, Ersoy S, Algan O, Güneysu C and Aykol A** (1995) Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*. 132 (6): 637–650.
- Güngören C, Özkan G ve Hacifazlıoğlu H** (2016) Mikrodalga Kurutmanın Linyit Kömürünün Öğütülebilirliğine Etkisi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 55-4: 15-22 s.
- Hacifazlıoğlu H** (2014) Zonguldak şlam kömürünün kurutulmasında mikrodalga ve konvansiyonel fırının verimliliklerinin karşılaştırılması, *Türkiye 19. Kömür Kongresi*, Zonguldak, Türkiye, 291-301 s.
- Hacifazlıoğlu H, Uçkan D and Şahin M** (2016) Demineralization Of Turkish Tosya Lignite Coal By Boric Acid. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects* 38 18: 2777–2781 <http://dx.doi.org/10.1080/15567036.2015.1109008>.
- Hiçyılmaz C** (1990) Kömürün Petrografik Özelliklerinden Yararlanılarak Koklaşma Özelliklerinin Tayini, *Madencilik Dergisi*, 29(4): 30.
- Hüyükpınar T** (2010) Çeşitli Organik Asit Çözeltileri ve Sub-Kritik Su Kullanılarak Bazı Türk Kömürlerinin Demineralizasyon ve Desülfürizasyonu, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, 75 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jeoloji Mühendisleri Odası** (2014) Soma Raporu 22 s.
- Kural O** (1998) Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme, *Yerbilimleri Dergisi*, 3(39): 221-236.
- Kutbay I ve Kuskonmaz N** (2004) Mikrodalga Isıtmanın Seramik Üretiminde Kullanımı. *Metalurji*, 137: 52-56 s.
- Küçükbayrak S, Ersoy Meriçboyu A, Haykiri Açma H, Güner H and Urkan K** (1993) Investigation of the relation between chemical composition and ash fusion temperatures for some turkish lignites, *1993 Fuel Science and Technology International*, 11(9): 1231-1249.
- Ma X** (2015) Fundamental study on removal of organic sülfür from coal by microwave irradiation, 139: 31-35.
- Ma X, Zhang M and Min F** (2014) Study of enhanced low-quality coal oxidative desulphurization and deashing by using HNO<sub>3</sub> and microwave pretreatment. *Environmental Technology*, 35 (1): 36-41.
- Meriçboyu A, Beker Ü ve Küçükbayrak S** (1998) Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Teknolojik Özellikleri, Ed. Kural, O., Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., İstanbul 149-163 s.
- MTA** (2010) *Türkiye Linyit Envanteri*, ISBN: 978-605-4075-76-8, Ares Basım, Ankara, 18 Ekim 2010.
- MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni** (2017) Eskişehir-Alpu Kömürlerinin Jeolojik, Minerolojik ve Palinolojik özellikleri 52 s.
- Özbayoğlu G** (1977) Determination of The Flotation Characteristics of Several Turkish Bituminous Coal Seams in Zonguldak Coal Basin, *Ph.D Thesis*, METU. Ankara 1-20.
- Querol X, Alastuey A, Plana F, Lopez-Soler A, Tuncali E, Toprak S, Ocakoğlu F and Koker B** (1999) Coal geology and coal quality of the Miyosen Muğla basin, southwestern *Anatolia Turkey*, *International Journal of Coal Geology*, 41:311-332.
- Samanlı S** (2011) A Comparison Of The Results Obtained From Grinding in A Stirred Media Milllignite Coal Samples Treated With Microwave And Untreated Samples. *Fuel*, 90: 659–664.
- Sansar İ Ü** (2019) Muğla Yatağan Bağyaka linyitinin ultrasonik dalgalar ile desülfürizasyon prosesinde bazı parametrelerin optimizasyonu, *MTA Dergisi*, 242 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sansar İ Ü** (2019) Muğla Yatağan Eskişehir Linyitinin Ultrasonik Dalgalar ile Desülfürizasyonu, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24:26-36.
- Shen S, He J, Pan M, Zhou Z, Feng C and Liang G** (2012) Effective Removal Of Sulfur From High-Sulfur Coal Prior To Use By Dry Chlorination At Low Temperature. *Journal Of Hazardous Materials*, 217-218 pp.
- Taşdemir A** (2007) Kömür Flotasyonunda Yeni Tekniklerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 176 s.
- TKİ** (2016) *Türkiye Taşkömürü Kurumu*. Adres: [http://www.tki.gov.tr/tr/Komur-Sektor-Raporu-2015/Dosya/215\\_94\\_s](http://www.tki.gov.tr/tr/Komur-Sektor-Raporu-2015/Dosya/215_94_s).
- TKİ** (2018) *Linyit Sektör Raporu 201*, Hazırlayan: Stratejik Planlama Koordinasyon Birimi, Mayıs 2016 89 s.
- Toraman O Y ve Depçi T** (2007) Kömürde mikrodalga ile önışlem uygulamaları. *Madencilik*, 46 (3): 43-53.
- Toroğlu İ, Kizgut S ve Çuhadaroğlu D** (2012) Kompozit Kodlu Numunenin Petrografik Özellikleri, *Aksa Akrilik Kimya Sanayi A.Ş. Kömüre Dayalı Enerji Santralında Yakılacak Kömürlerinin Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Depolama Koşullarının Düzenlenmesi Teknik Raporu* (yayımlanmamış), Zonguldak, 6-9 s.
- Tosun Y İ** (2012) Kısmi Ergiyik Kostik Liç Yöntemi İle Türk Linyitlerinin Kükürtsüzleştirilmesi-Mermer Atık Tozu Kullanımı. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, 16-1: 103-108.
- Tosun Y İ** (2015) *Microwave Activated Crushing And Grinding Of Turkish Coals And Shale For Cleaning And Desulfurization*. XVI Balkan Mineral Processing Congress, 2: 622-629 s.
- TTK** (2019) *Taşkömürü Sektör Raporu*, [http://www.taskomuru.gov.tr/file/2018pdf\\_38\\_s](http://www.taskomuru.gov.tr/file/2018pdf_38_s).
- Turnacıgil A** (2008) Yeniköy Ağaçlı Civarındaki Maden Ocaklarının Rehabilitasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilin Dalı, İstanbul. 117 s.
- Türkiye Jeoloji Bülteni** (2001) *Cilt 44, Sayı 2, Ağustos 2001 Geological Bulletin of Turkey Volume 44, Number 2, August 2001* Amasya Yöresi'ndeki Linyitli Çeltek Formasyonunun Stratigrafisi, Fasiyes ve Çökelleme Ortamı Özellikleri 21 s.
- Ural S, Yıldırım M ve Anıl M** (2002) Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Toz Kömür Yakma Sistemindeki Rolü. *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak, Türkiye, 151-160 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Uslu T** (2002) Microwave Heating Characteristics of Pyrite and Microwave Asisted Coal Desulphurization. *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, 153 s.
- Uslu T and Atalay U** (2003) Microwave Heating of Coal for Enhanced Magnetic Removal of Pyrite, *Fuel Processing Technology*, 85: 21-29 s.
- Wang J and Yang J** (1994) Behaviour Of Coal Pyrolysis Desulfurization With Microwave Energy, *Fuel*, 73: 155-159.
- Wang S and Wang J** (1992) Exploration on the Mechanism of Coal Desulphurization Using Microwave Irradiation/Acid Washing Method. *Fuel Processing Technology*, 31: 233-240.
- Yaman S ve Küçükbayrak S** (1998) Kömürün İçerdiği Mineral Maddelerin Kömürün Kullanımına Etkisi. *Kömür Özellikleri, Teknolojileri ve Çevre İlişkileri*, Kural O. (Ed.), 1. Baskı, Özgün Ofset, İstanbul,140-147s.
- Yıldız K ve Alp A** (2000) Metalurjik Proseslerde Mikrodalga Kullanımı. *Metallurji*, 125: 24-29 s.





## ÖZGEÇMİŞ

Erman KIRAN 1974’de ZONGULDAK’da doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak’da tamamladı. 1992 yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans eğitimini 1999 yılında tamamladı. 2004-2006 yılları arasında 2 yıl süreyle FIAT Zonguldak Yetkili Servis Müdürlüğü, 2006-2007 yılları arasında Ankara RAN İnş. Mad. Şirketinde çalışmıştır. Eylül-2007 itibari ile Ciner Holding Park Teknik A.Ş.’de vardiya mühendisi olarak çalışmaya başlamış olup, Ocak-2018’den itibaren Baş Mühendis olarak görev yapmaktadır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Bahçelievler Mahallesi Işık Yönder Cad. Zeki Apt. daire:13  
67100 Site-Merkez/ZONGULDAK

Tel : 541 729 61 67

E-posta : ermankiran67@gmail.com