

**ZONGULDAK HAVZASI BAĞLIK - İNAĞZI KÖMÜR ÖZELLİKLERİNİN
DERİNLİĞE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ALPER ÖKTEM

**ZONGULDAK HAVZASI BAĞLIK - İNAĞZI KÖMÜR ÖZELLİKLERİNİN
DERİNLİĞE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

Alper ÖKTEM

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Temmuz 2013**

KABUL:

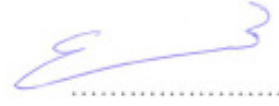
Alper ÖKTEM tarafından hazırlanan "ZONGULDAK HAVZASI BAĞLIK - İNAĞZI KÖMÜR ÖZELLİKLERİNİN DERİNLİĞE BAĞLI DEĞİŞİMİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.

26/07/2013

Başkan: Doç. Dr. Dilek Çuhadaroğlu (BEÜ)



Üye : Prof. Dr. İhsan TOROĞLU (BEÜ)



Üye : Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ (İTÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../... / 2013



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN
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.”


Alper ÖKTEM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK HAVZASI BAĞLIK - İNAĞZI KÖMÜR ÖZELLİKLERİNİN DERİNLİĞE BAĞLI DEĞİŞİMİ

Alper ÖKTEM

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Dilek ÇUHADAROĞLU

Temmuz 2013, 113 sayfa

T.T.K. Üzülmüş Müessesesi Bağlık-İnağzı bölümünde çeşitli üretim faaliyetleri planlanarak, yaklaşık deniz seviyesinden aşağı kotlara doğru 18 derece meyil ile iki adet desandre sürülmüştür. Desandreler formasyona uygun olarak kömür damarlarını kesmiştir. Bu tez çalışmasında, kesilen kömür damarlarından sırası ile numuneler alınmıştır. Bu numunelerin fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler ile karakteristik özellikleri belirlenmiş, derinliğe bağlı olarak karakteristik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Orijinal örneklerin kimyasal tanımlanmaları sonrasında bu örnekler üzerinde öğütülebilirlik ve petrografik çalışmalar yapılmıştır. Öğütülebilirlik çalışmalarında elde edilen değerlerin, kömür özelliklerinden çok, damar yapısında bulunan kül (mineral madde) dağılımına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, her desandreden alınan örneklerin 1,60 gr/cm³ yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde yüzdürme-batırma testi yapılmıştır.

Bu testlerden elde edilen yüzen üründe (-1,60 gr/cm³ yoğunluklu üründe) vitrinit yansıtmalı ölçümlerini de içeren petrografik analizler yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testlerinden

ÖZET (devam ediyor)

alınan $-1,60 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu ürünlerin petrografik bileşimlerinde önemli düzeyde farklılıklar olduğu saptanmıştır. Orijinal örneklerin yüzen kısımları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler; kömür damarlarının bulunuş derinliklerindeki artışa bağlı olarak yansıtma değerlerinde genel olarak bir artış olduğunu, uçucu madde ve azot içeriğinde azalma, karbon içeriğinde artma eğilimi ve kükürt, hidrojen ve oksijen içeriklerinde ise önemli bir değişim olmadığını göstermektedir. Derinlikteki artışa bağlı olarak HGI değerlerindeki artış ile birlikte, öğünebilirliğin arttığı, FSI değerlerinde de artış eğilimi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür petrografisi, Vitrit yansıtması, HGI ve öğütülebilirlik

Bilim Kodu: 607.02.07

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CHANGING PROPERTIES OF ZONGULDAK BAĞLIK-İNAĞZI DISTRICT COALS RELATED TO DEPTH

Alper ÖKTEM

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

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dilek ÇUHADAROĞLU

July 2013, 113 pages

T.T.K Üzülmöz Corporation carries out some production activities at Bağlık-İnağzı section. This has opened two inclined shafts below the sea level with 18° inclination and it was faced the coal seam in accordance with formation. In this study samples from each coal seam were taken and their characteristics were investigated. Those characteristics include physical, chemical and petrographical properties relating depth are investigated. Following proximate and petrographical composition analyses, HGI tests were performed on original samples. The results of this first step showed that, HGI values varied with ash content (mineral matter) of coal seams. Therefore, to eliminate or reduce mineral matter effect, float-and-sink analyses carried on the samples from every desandre group of each original sample by using ZnCl₂ solution in water. Ultimate and petrographic analyses including reflectance measurements were made on these float fractions.

Experimental data that were produced from float fractions of showed that there was a declining tendency in the content of volatile matter and nitrogen, and an increasing tendency

ABSTRACT (continued)

in the contents of sulphur, hydrogen and oxygen with burial depth of coal seams. While depth of the coal seams increases, HGI results increase which means grindability increases and there is change with FSI (Free Swelling Index) values.

Keywords: Hardgrove grindability index, Coal petrography, Reflectance of vitrinite

Science Code: 607.02.07

TEŞEKKÜR

Yazar, tez konusunun belirlenmesi, kapsamının aydınlatılması, sonuçların yorumlanmasında çok değerli katkı ve yönlendirmeleri için tez yöneticisi Doç. Dr. Dilek ÇUHADAROĞLU'na, Prof. Dr. Ali Ayhan Sirkeci, Prof. Dr. İhsan TOROĞLU, Prof. Dr. Sait KIZGUT ve çalışmanın tüm aşamalarında destek ve yardımları için Uzm. Serdar YILMAZ'a ve Arş. Gör. Mehmet BİLEN'e, değerli iş arkadaşlarım Maden Mühendisi Özcan YARALI, Erdal AKGÜNOĞLU ve Yusuf AYDIN'a, biricik eşi Sevdâ ÖKTEM'e teşekkür borçludur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
2013	iii
YÜKSEK LİSANS TEZİ	iii
ALPER ÖKTEM	iii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)	xvi
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	5
2.1 KÖMÜRLERİN KÖKENİ.....	5
2.2 KÖMÜRLERİN TARİHÇESİ.....	6
2.3 KÖMÜR YATAKLARININ OLUŞUMU.....	7
2.4 KÖMÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	8
2.5 KÖMÜRLERİN ÖNEMİ.....	15
2.6 TÜRKİYE ENERJİ SEKTÖRÜNDE KÖMÜR.....	17
2.7 DÜNYA ENERJİ SEKTÖRÜNDE KÖMÜR.....	20
BÖLÜM 3	27
KÖMÜRLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	27
3.1 KÖMÜRLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	27
3.1.1 Nem.....	27
3.1.2 Özgül Ağırlık.....	28
3.1.3 Strüktür ve Kırılma.....	29
3.1.4 Tane Boyut Dağılımı.....	30
3.1.5 Sertlik.....	31

3.1.6 Mukavemet.....	32
3.1.7 Ufalanabilirlik	32
3.1.8 Öğünebilirlik	34
3.1.9 Açık Havada Dağılganlık.....	34
3.1.10 Aşındırıcılık.....	35
3.1.11 Sürtünme Katsayısı	36
3.1.12 Renk ve Çizgi Rengi	36
3.1.13 Parlaklık	37
3.2 KÖMÜRLERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	37
BÖLÜM 4	39
KÖMÜRÜN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ.....	39
4.1 MAKROPETROGRAFİK YAPICILAR	40
4.1.1 Vitren (Vitrain).....	40
4.1.2 Klaren (Klarain)	40
4.1.3 Duren (Durain)	41
4.1.4 Fusen (Fusain).....	41
4.2 MİKROPETROGRAFİK YAPICILAR.....	41
4.2.1 Maseraller ve Maserai Grupları.....	41
4.2.1.1 Vitrenit grubu maseraller	44
4.2.1.2 İnertinit grubu maseraller	46
4.2.1.3 Eksinit (Liptinit) grubu maseraller	48
4.2.2 Mikrolitotipler	52
BÖLÜM 5	55
ÖĞÜTME SİSTEMLERİ VE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK	55
5.1 ÖĞÜTME SİSTEMLERİ.....	55
5.1.1 Değirmenler.....	55
5.1.1.1 Çubuklu değirmen	56
5.1.1.2 Bilyalı değirmen	57
5.1.1.3 Otojen değirmen	58
5.1.1.4 Valsli (Silindirli) değirmen	59
5.1.1.5 Karıştırmalı bilyalı değirmen	60
5.1.1.6 Jet değirmenler	61
5.1.1.7 Titreşimli değirmenler.....	61
5.1.1.8 Yörüngesel (Planeter) değirmenler	62
5.1.1.9 Çivili değirmenler	63
5.2 ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK.....	64
5.2.1 Bond iş indeksi deney yöntemi	64
5.2.2 Hardgrove öğütülebilirlik deney yöntemi	66

5.3 KÖMÜR ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNİN PETROGRAFİK BİLEŞİMLERİ İLE AÇIKLANABİLMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	67
BÖLÜM 6	71
BAĞLIK-İNAĞZI BÖLGESİ JEOLJİSİ	71
6.1 KARBONİFER YAŞLI FORMASYONLAR.....	71
6.1.1 Kokaksu Formasyonu.....	71
6.1.2 Alacağzı Formasyonu	71
6.1.3 Kozlu Formasyonu	72
6.1.4 Karadon Formasyonu	73
6.2 KRETASE YAŞLI FORMASYONLAR	73
6.2.1 Zonguldak Formasyonu.....	73
6.2.2 İncivez Formasyonu	74
6.2.3 Kapuz Formasyonu	74
6.2.4 Kırımsa Formasyonu	75
6.3 BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI	75
6.4 KÖMÜR JEOLJİSİ	75
BÖLÜM 7	77
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	77
7.1 DENEYSEL ÇALIŞMALARIN YAPILDIĞI NUMUNELERİN TANIMLANMASI.....	77
7.2 YÜZDÜRME-BATIRMA TESTLERİ	78
7.3 PETROGRAFİK ANALİZLER	81
7.4 ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK DENEYLERİ.....	90
7.5 FSI DENEYLERİ.....	92
BÖLÜM 8	97
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR.....	99
EK A.....	105
ÖZGEÇMİŞ	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Dünya birincil ticari enerji tüketiminde kaynak payları (DPT 2011).....	16
2.2 Yıllar itibariyle dünya taşkömürü ve linyit üretimleri (IEA 2011).....	21
2.3 Yıllar itibariyle dünya kömür tüketimi (BP 2010).....	23
2.4 2012 yılı itibariyle çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömür kullanım oranları (IEA 2012).	24
4.1 Maserallerin yoğunluk değişimleri (Crelling 2006).	43
4.2 Maserallerin yansıtma değerlerindeki değişimler (Crelling 2006).	43
4.3 Kollinit ve tellinit'e (Te) ait görüntü.	45
4.4 Vitrinite ve mineral maddelere ait görüntü.....	45
4.5 Vitrinite içerisindeki pirit (P) tanelerine ait görüntü.	46
4.6 Makrinite (M) ait görüntü (Crelling 2006).	47
4.7 Mikrinite (Mi) ait görüntü (Crelling 2006).....	47
4.8 İnert (in) ve reaktif (re) semifusinite (Sf) ait görüntü.	48
4.9 Semifusinite ait görüntü (Crelling 2006).	49
4.10 Sklerotinite (Sc) ait görüntü (Crelling 2006).....	49
4.11 İnertodetrinite ait görüntü.	50
4.12 Yaprak şeklinde kütinite (kü) ait görüntü (Crelling 2006).	51
4.13 Resinit ve kütinite ait görüntü.....	51
4.14 Floresans ışık altında, sporlara (Sp) ait görüntü.	52
4.15 Normal ışık altında, sporlara (Sp) ait görüntü.	53
5.1 Çubuklu değirmen.....	57
5.2 Bilyalı değirmen.	58
5.3 Otojen değirmen.	59
5.4 Valsli değirmenin çalışma prensibi ve ruloların görünüşü.	60
5.5 Dikey ve yatay pinli karıştırılmalı değirmen.	61
5.6 Titreşimli değirmen ve kesit görünüşü.	62
5.7 Yörüngesel değirmen ve elektro hidrolik değirmen.	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.8 Çivili değirmenler.....	63
5.9 Hardgrove değirmeni üstten görünüşü.....	67
5.10 Hardgrove değirmeni önden görünüşü.	67
7.1 Yüzen ürünlerde derinliğe bağlı olarak karbon içeriğindeki değişim.....	81
7.2 Petrografik analiz örneklerinin hazırlandığı set.....	82
7.3 Parlatma cihazı ve parlatma ekipmanları.....	83
7.4 Zeiss Axioplan mikroskop düzeneği.....	84
7.5 Yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak vitrinit değişimleri.	85
7.6 Vitrinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.	87
7.7 Liptinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.	88
7.8 İnertinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.	89
7.9 Yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak HGI değerlerindeki değişim.	91
7.10 Derinlik artışına bağlı olarak HGI değerlerindeki değişim.	92
7.11 ASTM D-720 Standartına göre FSI profilleri.....	93
7.12 Yüzen ürünlerin FSI profilleri.	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uluslararası taşkömürü sınıflandırması (ECE 1988).	9
2.2 Taşkömürünün uçucu madde yüzdesine göre alacağı 1. Kod numaraları.	10
2.3 Taşkömürünün şişme indeksine göre alacağı 2. Kod numaraları.	10
2.4 Taşkömürünün dilatasyon değerine göre alacağı 3. kod numaraları.	11
2.5 Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT 2011).	12
2.6 Campbell sınıflandırması.	13
2.7 Elementel analizine göre sınıflandırma.	14
2.8 ASTM sınıflandırması.	15
2.9 Linyite dayalı santrallerin kurulu güçleri ve maden işletmelerinin tüketim kapasiteleri (TKİ 2012).	19
3.1 Saf kömürün özgül ağırlığının değişimi.	28
3.2 Kömürdeki başlıca kül yapıcı maddelerin özgül ağırlıkları.	29
4.1 Kömürlerin petrografik elemanları (Ateşok 2009).	42
4.2 Mikrolitotiplerin sınıflandırılması (Stach 1982).	53
7.1 Orijinal kömür numunelerine ait kısa analiz sonuçları (kuru bazda).	78
7.2 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen ürünlerin kısa analiz sonuçları.	79
7.3 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen ürünlerin elementel analiz sonuçları.	80
7.4 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen ürünlerin petrografik analiz sonuçları.	84
7.5 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen ürünlerin yansıtma ölçüm sonuçları.	86
7.6 Orijinal ve 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen örneklerle ait HGI değerleri.	90
7.7 1,60 gr/cm ³ yoğunlukta yüzen numunelerinin FSI değerleri.	95
A.1 Tüvenan DS 1 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	107
A.2 Tüvenan DS 2 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	107
A.3 Tüvenan DS 3 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	107
A.4 Tüvenan DS 4 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	107
A.5 Tüvenan DS 5 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	108
A.6 Tüvenan DS 6 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	108
A.7 Tüvenan DS 7 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.	108

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
A.8 Tüvenan DS 8 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	108
A.9 Tüvenan DS 9 örneğe ait kimyasal analiz sonuçları.....	109
A.10 Tüvenan DS 10 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	109
A.11 Tüvenan DS 11 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	109
A.12 Tüvenan DS 12 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	109
A.13 Tüvenan DS 13 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	110
A.14 Tüvenan DS 14 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	110
A.15 Tüvenan DS 15 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	110
A.16 Tüvenan DS 16 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	110
A.17 Tüvenan DS 17 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.....	111

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
EK A	Tüvenan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları 105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Ash (köl)
d	: Devir
dk	: Dakika
Ex	: Eksinit
F	: Feet (besleme)
g	: Gram
in	: İnert
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kW	: KiloWatt
l	: Litre
M	: Moisture (nem)
mg	: Mili Gram
re	: Reaktif
$R_{\max}$	: Maksimum Yansıtma Derecesi
R_o	: Ortalama Yansıtma Derecesi
S_{toplaml}	: Toplam Sölfür
sn	: Saniye
s	: Saat
t	: Ton
V	: Vitrinit
mJ	: Mega Joule

KISALTMALAR

DS	: Doğu Soma (Doğu yönünde inilen desandreye ait)
----	--

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Standartları Enstitüsü)
ECE	: Economic Commission for Europe (Avrupa Ekonomik Topluluğu)
HGI	: Hardgrove Grindability Index (Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi)
FSI	: Free Swelling Index (Serbest Şişme İndeksi)
HVA	: High Volatile Bituminous A (yüksek uçuculu A bitümlü kömür)
HVB	: High Volatile Bituminous B (yüksek uçuculu B bitümlü kömür)
HVC	: High Volatile Bituminous C (yüksek uçuculu C bitümlü kömür)
ICCP	: International Committee for Coal Petrology (Uluslararası Kömür Petroloji Komitesi)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
NMR	: Nuclear Magnetic Resonance (nükleer manyetik rezonans)
NSF	: Naphthalene Sulphonate Formaldehyde Condensate (yoğunlaştırılmış naftalinsülfonat formaldehit)
OECD	: Organisation for Economic Co-Operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries (Petrol İhracatçısı Ülkeler)
PSS	: Sodium Polystyrene Sulphonate (sodyum polistren sülfonat)
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yerkürenin bilinen en önemli yeraltı kaynaklarından birisi kömürdür. Fosil kaynaklı bir yakıt olan kömür, yüzlerce yıldır enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kömürün elektrik üretiminde vazgeçilmez bir yeri vardır.

Kömür, gerçekte değişik oranlarda organik ve inorganik yapıcı ve bileşenler içeren tortul bir kayaç olarak tanımlanmaktadır. Ana elemanı karbondur ve karbonun yanı sıra hidrojen, oksijen ve azottan oluşan, kükürt ve mineral maddeler içeren, fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıya sahip bir maddedir. Bu nedenle oluşumu karbon çevrimine çok bağlıdır. Kömür çevrimi bataklıklarda başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO₂'tir. Doğada; yapı, doku, bileşenler ve köken açısından birbiriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluşumuna rastlamak hemen hemen olanaksızdır.

19. yüzyılda gerçekleşen sanayi devriminin temelini demir ve kömür oluşturmuştur. Bu dönemde taşkömürü hem demir-çelik sanayinin girdisi olarak, hem de buhar makinelerine dayalı sanayinin enerji hammaddesi olarak dünyadaki en stratejik maden özelliğini 20. Yüzyılın ilk dönemlerine kadar sürdürmüştür. 20. Yüzyılda petrol üretimi ve kullanımının yaygınlaşması, alternatif enerji kaynaklarının (nükleer enerji, doğal gaz vb.) ortaya çıkması kömürün dünyadaki kullanımı ve önemini göreceli olarak azaltmıştır. Bununla birlikte rezerv bazında değerlendirildiğinde, mevcut tüketim miktarına göre, petrol ve doğal gazın 40–50 yıllık ömürlerinin yanında kömür rezervleri dünya enerji ihtiyacını ortalama 200 yıllık bir süre karşılayacak düzeydedir. Kömür rezervlerinin ortalama 200 yıl olması, ekonomikliği, teminindeki güvenilirliği, fiyat istikrarı, nakil kolaylığı kömürün çok önemli enerji kaynağı olduğunu tartışmasız göstermektedir. Bu nedenle 20. Yüzyılda petrol ve diğer kaynakların devreye girmesi ve çevresel endişelerle büyüklüğü ve önemi azalan kömür, 21. Yüzyılın büyüyen enerji talebinin karşılanmasında en önemli kaynak olacaktır. Devamlı olarak gelişen temiz kömür üretim ve yakma teknolojileri bu trendi desteklemektedir.

Petrol ve doğalgazın aksine kömür, altı kıtada 50' den fazla ülkede üretilmektedir. Özellikle doğalgazla karşılaştırıldığında, kömür rezervlerinin çok daha homojen dağıldığı görülmektedir. Dünya doğalgaz rezervlerinin % 70' i Orta Doğu ve Rusya' da yer almaktadır.

Günümüzde, modern kömür üretim yöntemlerini kullanan kömür üreticileri fazlaca bir zorlukla karşılaşmadan, üretimlerini kısa sürede artırabilmekte veya geçici olarak azaltabilmektedirler. Kömür üretimi sermaye ve emek-yoğun bir madencilik türüdür. Ancak, piyasa koşulları ve teknolojiye yeni yenilikler kömür üretim maliyetlerinin son 30 yıl boyunca istikrarlı gitmesini sağlamıştır. Yeni kömür ocaklarının açılması, yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve işçilik verimlerinin artması kömür fiyatlarında istikrarın başlıca nedenleri olmuştur. Petrol ve doğalgaz sektöründe, yeni rezervler giderek pazarlardan uzakta hatta okyanusların derinliklerinde bulunabilmektedir. Bu rezervlerin tüketime sunulabilmesi için, boru hattına ve diğer ekipmanlara büyük sermaye yatırımı yapılması gerekmektedir.

Zonguldak Havzası 160 yıldan fazla bir süredir kömür madenciliği yapılan ve ülkemizin taşkömürü üretilen tek bölgesidir. Bu süreçte yaklaşık 950 milyon ton satılabilir kömür üretimi yapılmıştır (1865–2012). Yine bu süreçte, havzada sürdürülen taşkömürü üretim faaliyetleri, ülkemizin kalkınma ve sanayileşme çabalarının içinde en önemli yerlerden birisine sahiptir. Uzun yıllar boyunca enerji kaynağı olmasının ötesinde çelik üretim prosesinin bir girdisi olan koklaşabilir taşkömürünün temininde tek yerli kaynak Zonguldak taşkömürü olmuştur. Havzanın stratejik önemine paralel olarak geliştirilen devlet politikaları ve bölge insanının üretim kültürü Zonguldak Havzası' ndaki taşkömürü üretim faaliyetlerinin Türkiye' nin sanayileşme çabalarının motoru olmasını sağlamıştır. Bölgede kurulu olan demir-çelik fabrikaları (Erdemir, Kardemir) ve termik  alorifik (Çatalağzı, Eren Enerji) bunlara en güzel örnekleri teşkil etmektedir.

Zonguldak Taşkömürü Havzası' nda; Kozlu, Üzülmüş ve Karadon bölgelerinde koklaşabilir, Armutçuk bölgesinde yarı koklaşabilir ve Amasra bölgesinde koklaşma özelliği bulunmayan rezervler mevcuttur. Havzada -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş jeolojik rezerv 1.34 milyar tondur. Zonguldak Havzası içinde Türkiye Taşkömürü Kurumu' na ait Üzülmüş Müessesesi' ne bağlı Bağlık-İnağzı bölümünde çeşitli üretim faaliyetleri sürdürülmektedir. Bu bölgede iki adet biri 900 m, diğeri 1200 m olan 18° meyilli desandreler sürülmüştür. Bu desandreler, bölgenin kömür stamına göre inceliği ve kalınlığı değişen yaklaşık 20 adet kömür damarını kesmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Bağlık-İnağzı bölümünde sürülen desandreler ile kesilen kömür damarlarından numuneler alınarak, karakteristik özelliklerini belirlemek için kimyasal, petrografik analizler yapılmış, HGI ve FSI değerleri belirlenmiştir. Derinliğe bağlı olarak bu karakteristik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Bu bölümde kömürlerin kökeni, kömür yataklanmalarının oluşumu ve sınıflandırılması hakkında genel bilgiler yer almaktadır.

2.1 KÖMÜRLERİN KÖKENİ

Kömürlerin kökeni ve oluşumuyla ilgili olarak XVI' ıncı yüzyılın başından itibaren çeşitli hipotezler ortaya atılmıştır. 1544 yılında Agricola, kömürün petrolün katılaşmasından meydana geldiğini ileri sürer. Daha sonra Klein, 1592'de kömürün kökeninin odunda aranmasının gerektiğini belirterek bu konuda yapılan tartışmalara yeni bir cephe vermiştir. Nitekim Scheuchzer (1709), Von Beeroldinger (1778) ve De Luc (1778) kömürün bünyesinde bulunan bitki kalıntılarını teşhis etmişlerdir. Von Fuchs, 1837 yılında, yeryüzünde bulunan CO₂ gazının fazlalığı ile kömürün teşekkülü arasında bir bağıntı kurmaya çalışmıştır. Bu arada bazı araştırmacılar, diğer minerallerle mukayese ederek, kömürün bir ilkel kayacın alterasyonu yoluyla meydana geldiği tezini ortaya atmışlardır. Hutton (1833) ve Link'in (1838) mikroskopta yaptıkları çalışmaları ve Gümbel'in (1883) yayınladığı bitkilerin mikroskopik yapıları üzerindeki etütleri ile kömürün orijini araştırılmıştır (Nakoman 1971).

Kömürün bitkisel artıkların depolanması, bazı fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisinde kömürleşmesi halinde meydana geldiği bilimsel bir gerçek olarak kabul edildikten sonra, oluşumunun tatlı suda mı yoksa deniz suyunda mı olduğu tartışılmaya başlanmıştır. Bir çok basende kömür ihtiva eden şist ve grelerde, denizel fosillere rastlanması bazı araştırmacıların kömürün deniz suyunda teşekkül ettiği yolundaki hipotezi ortaya atmalarına sebep olmuştur. Botanik incelemelerde kömürün tamamen karasal bitkiler tarafından meydana getirildiği ispatlandıktan sonra, oluşumun deniz sularında olduğunu savunan hipoteze karşıt düşünceler gelişmeye başlamıştır.

Bu konu üzerindeki tartışmalar XIX' uncu yüzyılın ortalarına kadar devam etmiştir. Naumann'ın 1854 yılında paralik ve limnik havza görüşünü ortaya atmasıyla son bulmuştur (Nakoman 1971).

Paralik havza tipi, herhangi bir şekilde bir denizel (tuzlu) ortam ile ilişkilidir. Kömür damarları incedir ve sayısı fazladır. Kömür damarları nispeten daha az şiddette tektonik etkilere uğradığından, kıvrım ve fayların etkileri daha azdır. Kömür tabakalarının altında veya üstündeki diğer uyumlu olan tabakalarda denizel fosiller içeren seviyelere sık olarak rastlanır. Kömür damarları ve buna komşu tabakalar geniş yayılımlıdır (URL-3 2013).

Limnik havza tipi, herhangi bir şekilde, kıta içindeki gölssel (tatlı sulu) ortam ile ilişkilidir. Kömür damarları kalındır ve sayısı azdır. Kömür tabakaları kıta içinde olduklarından, nispeten daha fazla şiddette tektonik etkilere uğrar ve bundan dolayı, kıvrım ve fayların etkileri daha fazladır. Kömür tabakalarının altında veya üstündeki diğer uyumlu olan tabakalarda gölssel fosiller içeren seviyelere sık olarak rastlanır. Kömür damarları ve buna komşu tabakalar sınırlı bir yayılıma sahiptir (URL-3 2013).

2.2 KÖMÜRLERİN TARİHÇESİ

Kömür M.Ö Çin'in kuzeyinde Moğolistan'da yakıt olarak kullanılmaya başlamıştır. Türklerin Orta Asya ve Altaylar' da kömürü demircilikte kullandıkları bilinmektedir. Kömür işletmeciliğine ait dokümanlar 12. Yüzyıla aittir. M.Ö 3. Yüzyılda, Aristo'nun öğrencisi Teofras' tın Kayaçlar adlı yazısında, maden kömürünün odun kömürü gibi yandığına değinilmektedir. Yunanlılar kömürü Ligürrya' da ve Epir' de Olimpia yolu üzerindeki dağlarda bulmuşlardır. Kömürü, Romalılar da kullanmışlardır. 11. Yüzyılda, İngiltere' de kömür, eritici ve yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kömürün gerçek anlamda yakıt olarak ve demircilikte kullanılışı İngiltere'de III. Henry devrinde başlamıştır. 1272 yıllarında Newcastle' da düzenli üretime geçilmiştir. 1603 yılında, İngiltere'de kok üretimine başlanmıştır. 17. Ve 18. Yüzyıllar da cam ayna ve tuğla sanayi ile taş ocaklarında da kullanılmaya başlanmış ve kömürün tüketim alanı genişlemiştir. 1716 yılına kadar kömür üretimi mostralarda yapılmaktaydı. Vikont, karşılaşılan mostraların eğim ile kalker tabakaları altında gittiğini görmüştür. Daha sonra bu kişi tarafından açılan bir kuyu ile kömür bulunmuştur (Ateşok 2009).

Türkiye’de ise, kömür tüketimi Bahriyenin buharlı gemilerle donatılması ile başlamıştır. Uzun Mehmet’in 1829’ da Ereğli Köseağzı’ nda kömürü bulması ile taşkömürü üretimine geçilmiştir. Linyitlerin ilk kullanılışı 1. Dünya Savaşı yıllarındadır. Önce Soma’ da bulunmuştur. Bunu Ağacli’ da bulunan linyitler izlemiştir. Ancak gerçek linyit madenciliği işletmeciliği 1938’ de Etibank’a bağlı GLİ’ nin kurulması ile başlamıştır.

2.3 KÖMÜR YATAKLARININ OLUŞUMU

Kömürlerin yataklanma biçimine ilişkin farklı teoriler mevcuttur. Bu teoriler;

1. Yerinde yataklanma (otokton) teorisi
2. Yabancı yataklanma (allokton) teorisi
3. Yerli yataklanma (otokton + allokton)
4. Yerinde turbanın aşınması ve taşınması teorileri olarak sıralanabilir.

Yerinde yataklanma teorisine göre kömür yatakları, bitkilerin yetiştikleri yörede, taşınmaya uğramadan, çürümeleri sonucu gelişir. Günümüzde, işletilebilir kömür yataklarının büyük çoğunluğunun yerinde yataklandığı benimsenmektedir.

Yabancı yataklanma teorisine göre kömür yatakları, bitki kalıntılarının yetiştikleri yöreden oldukça uzağa taşındıktan sonra, denizlerde, göllerde, deltalarda ve diğer sulu ortamlarda birikmeleri ve tortullaşmalarıyla oluşmuştur. Tortullaşma sürecinde oluşan kömürler az olmakla beraber dünyada örnekleri vardır.

Bu iki temel oluşum teorisini birleştirici, bağdaştırıcı görüşler ortaya atılmıştır. Bunlardan en önemlisi yerinde ve yabancı yataklanmanın aynı çevrede geliştiğini benimseyen görüştür. Bataklıkta gelişen ağaçların spor, polen ve kütikülleri ve planktonlar, rüzgâr, akıntı vb. ile taşınarak deniz veya gölle bağlantılı bataklığın açık su bölümünde tabanda birikmesiyle, yabancı; bataklıkta yerinde birikmeleriyle, yerli kömürleşmelerin birlikte gelişebileceği kabul edilmektedir. Diğer yorum da, yaşlı turbanın aşınıp, taşınarak yeniden tortullaştıklarıdır (Özpeker 1988).

2.4 KÖMÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kömür; karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip bir kayadır. Kalan kısım ise külü teşkil eden çeşitli inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Bazı kömürler ısıtılınca ergir ve plastik hale gelirler. Kömürler, kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden çok farklılıklar gösterirler. Bu durum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır (DPT 2011).

Özellikleri bakımından çok farklı olan kömürlerin sınıflandırılması için temel olarak alınabilecek çok sayıda değişken vardır. Bu yüzden genellikle birbirine bağlı, bazen birbiriyle çakışan bir çok sınıflandırma sistemi ortaya çıkmıştır. Bir kayacın yakıt olarak kullanılabilmesi için kapsadığı karbon miktarının yeterli bir seviyede olması gerekir. Genellikle kuru olarak %50 oranında yanabilen madde ihtiva eden kayalar kömür olarak kabul edilebilir (Nakoman 1971).

Kömür üretimi, kullanımı 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 ülkelere üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulunca (ICC) birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflandırma yapılmıştır. Kömürler içerisinde ilk olarak, kendi çalışmamıza uygun taşkömürü sınıflandırmasını vermek daha doğru olacaktır. Bu nedenle Çizelge 2.1’de uluslararası taşkömürü sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.1 Uluslararası taşkömürü sınıflandırması (ECE 1988).

GRUPLAR KEKLEŞME KAPASİTESİ			KOD NUMARALARI										ALT GRUPLAR KOKLAŞMA KAPASİTESİ		
2. KOD NO	ALTERNATİF ŞİŞME İNDEKSİ	PARAMETRELER ROGA'YA GÖRE KEKLEŞME SAYISI											3. KOD KING NO	ALTERNATİF DİLASYON %	PARAMETRELER GRAY – KOK TİPİ
3	2 – 9	> 45			435	535	635						5	> 140	> G 8
					334	434	534	634					4	> 50 – 140	G 5 – G 8
2	2,5 – 4	> 20 – 45			333	433	533	633	733				3	> 0 – 50	G 1 – G 4
					332	432	532	632	732	832			2	< 0	E – G
					322	422	522	622	722	822					
1	1 – 2	> 5 – 20			321	421	521	621	721	821			3	> 0 – 50	G 1 – G 4
					212	312	412	512	612	712	812		2	< 0	E – G
					211	311	411	511	611	711	811		1	Sadece kontraksiyon	B – D
0	0 – ½	0 – 5	100	200	300	400	500	600	700	800	900		0	Yumuşama yok	A
SINIFLAR	1. KOD NO		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	UÇUCU MADDE ORANLARI		
			0-3	>3	>10	>14	>20	>28					SINIF 6	33 - 41	%
			-10	-14	-20	-28	-33						SINIF 7	33 - 44	%
	SUSUZ VE KÜLSÜZ BAZDA UÇUCU MADDE ORANI		>	>	>	>						> 33	SINIF 8	35 - 50	%
			3	6,5	14	16							SINIF 9	42 - 50	%
			-	-	-	-									
			6,5	10	16	20									
	HAVADA KURU VE KÜLSÜZ BAZDAKİ KÖMÜRÜN YANMA ISISI (kcal/kg)								7750	7200	6100				
									-	-	-				
									>7750	>7200	>6100	>5700			

Uluslararası taşkömürü sınıflandırmasında kömürleşme derecesi ile değişen 3 kömür özelliği esas alınmaktadır. Bunlar;

1. Kömür uçucu madde oranı (saf kömür bazında)
2. Kömür kekleşme kapasitesi
3. Kömür koklaşma kapasitesi' dir.

Bu 3 özellik belirli sayılarla ifade edilmekte ve taşkömürleri uluslararası düzeyde, 3 sayılı kod numaraları ile sınıflandırılmaktadır. Kod numarasının birinci sayısı Çizelge 2.2' de görüldüğü gibi kömürün uçucu madde oranına göre tespit edilmektedir ve kömür sınıfını göstermektedir. Çizelge 2.2' ye göre bizim numunelerimize karşılık gelen sayı değeri Uluslararası sınıflandırmada bize yön verecektir.

Çizelge 2.2 Taşkömürünün uçucu madde yüzdesine göre alacağı 1. Kod numaraları.

1. KOD SAYISI (Kömür sınıfı)	KÖMÜR UÇUCU MADDE ORANI (%) (Saf kömürde)	KÖMÜR ISI DEĞERİ (kcal/kg)
0	0-3	
1	3-10	
2	10-14	
3	14-20	
4	20-28	
5	28-33	
6	> 33	7750' den çok
7	> 33	7200-7750
8	> 33	6100-7200
9	> 33	6100' den az

İkinci kod numarası kömür koklaşma kapasitesine göre tayin edilmektedir ve Çizelge 2.3' te kömürün şişme indeksi değerine bağlı olarak karşılık gelen kod numarası görülmektedir. Buna göre kömürün şişme indeksinin alacağı değer, taşkömürünün ikinci kod numarasını belirleyecektir.

Çizelge 2.3 Taşkömürünün şişme indeksine göre alacağı 2. Kod numaraları.

2. KOD SAYISI (Kömür sınıfı)	ŞİŞME İNDEKSİ
0	0-0,5
1	1-2
2	2,5-4
3	4,5-9

Üçüncü kod numarası ise, kömür koklaşma kapasitesini göstermektedir ve kömür alt grupları olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 2.4' te 3.kod numarası ve taşkömürünün alacağı dilatasyon değeri verilmiştir.

Çizelge 2.4 Taşkömürünün dilatasyon değerine göre alacağı 3. kod numaraları.

3. KOD SAYISI (Alt Grup)	KÖMÜR DİLATASYON DEĞERİ (%)
0 (koklaşmaz)	Erime yok
1 (koklaşmaz)	Sadece kontraksiyon
2 (az koklaşır)	0
3 (orta koklaşır)	0-50
4 (iyi koklaşır)	50-140
5 (çok iyi koklaşır)	140' tan büyük

1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması: Kömürlerin Δ alorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak kahverengi kömürler ve taşkömürü (sert kömürler) olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır:

1.1 Sert kömürler (Taşkömürü-Hard coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) üzerinde Δ alorifik değere sahip kömürdür. Uçucu madde içeriği, Δ alorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılır.

1.1.1 Koklaşabilir kömür: Yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliğine sahiptir. Metalurjik kömür olarak da adlandırılır.

1.1.2 Diğer bitümlü kömürler ve antrasit: Koklaşabilir kömür olarak sınıflandırılmayan taşkömürleridir. Buhar kömürü (steam coal) olarak da adlandırılır. Şlam, mikst ve düşük kalitede diğer ürünler de bu sınıfa dahildir.

1.2 Kahverengi kömürler (Brown Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) altında Δ alorifik değere sahip kömürdür. Toplam nem içeriği ve Δ alorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri Çizelge 2.5' te verilmiştir.

Çizelge 2.5 Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT 2011).

Kahverengi Kömürler		Taşkömürü	
Linyit	Alt Bitümlü	Bitümlü	Antrasit
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılğan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Blok şeklinde kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsî 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. Doğal sınıflama: Lombard tarafında yapılan bu sistemde kömürler turba, linyit, taşkömürü ve antrasit olarak dört kısma ayrılmıştır.

3. Duparque sınıflaması: Biyolojik özelliklere dayanarak yapılan sınıflamada, kömürü meydana getiren maddelerin botanik özellikleri önem kazanır. Bu sisteme göre kömürler kütin kömürleri, linyo-selülozik kömürler, karışık kömürler ve alg kömürleri olmak üzere dört grupta toplanır (Nakoman 1971).

4. Jenetik sınıflama: Kömürler turbalar, linyitler ve taşkömürleri olarak üç sınıfta toplanmıştır. Genellikle, turbaların Kuaterner'de, linyitlerin Tersiyer'de, taşkömürlerinin ise Paleozoik' te oluştuğunu kabul eder. Kömürlerin oluştukları jeolojik devirlere tasnifinin mümkün olmadığı için geçerliliğini yitirmiştir.

5. Frazer sınıflaması: Sabit karbon/uçucu madde oranına göre yapılan bir sınıflamadır. Taşkömürü ve linyit çeşitlerini birbirinden ayıramadığı ve kükürt miktarını belirtmediği için sistemin günümüzde kullanımı kalmamıştır.

6. Collier sınıflaması: Nem yüzdesini temel alan ve % 10' dan fazla nem içeren kömürleri linyit, % 10' dan az nem içeren kömürleri de taş kömürü olarak kabul etmektedir. Ancak yeterli bir sınıflama değildir.

7. Seyler sınıflaması: Bu sınıflama da x ekseninde sabit karbon %' si, y ekseninde hidrojen %' si, uçucu madde yüzdeleri ve Δ alorifik değere göre hazırlanmış ve özel eğrilerle ayrılmıştır.

8. Campbell sınıflaması: Bu sınıflamayı gerçekleştiren Campbell, sabit karbon/uçucu madde oranının iyi nitelikli kömürlerin sınıflandırılmasında yararlı olduğunu ortaya koymuştur. Fakat en uygun olanının karbon/hidrojen oranına göre yapılan sınıflama olduğunu kabul etmiştir. 1906 yılında kömürleri 11 sınıfa ve 8 alt sınıfa ayırmıştır. Campbell sonradan sınıflanmasını değiştirmiştir ve geliştirmiştir. Grafik bir yöntemle Δ alorifik değer, nem, uçucu madde ve sabit karbon yüzdelerini ilişkilendirmiştir. Çizelge 2.6' da Campbell sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.6 Campbell sınıflandırması.

Kömürün sınıfı	Yakıt oranı	
Antrasit	100–12	
Yarı antrasit	12–8	Renk: Siyah
Üstün taşkömürü	8–5	Rutubet: Düşük
Taşkömürü	5–0	Bozulma-Çözülme: Yok
Yarı taşkömürü	Renk siyah, rutubet oldukça yüksek, çözülme var.	
Linyit	Renk kahverengi, rutubet yüksek, nebati yapıda.	

9. Grout sınıflaması: Sınıflama karbon içeriğine göre yapılmıştır. Ama yetersiz bir sınıflamadır.

10. Parr sınıflaması: Tüm karbon, sabit karbon, uçucu madde yüzdeleri ve kömür içindeki yanmayan maddeleri de içine alan sınıflama sistemidir (Ateşok 2009).

11. Grüner sınıflaması: Karbon, oksijen ve hidrojen yüzdeleri göre, 1837 yılında ilk kez kimyager Regnault bir sınıflama yapmıştır. Daha sonraları Grüner, Regnault'un çalışmalarından yararlanarak karbon, hidrojen, sabit karbon, uçucu madde yüzdeleri, Δ alorifik değer ve koklaşma özelliğini göz önüne alarak başka bir sınıflama oluşturmuştur. Bu sınıflama Regnault-Grüner sınıflaması denilir.

12. Wong sınıflaması: Sabit karbon/H₂O+uçucu madde oranına göre (0,9-12 arasında değişen) Çin' deki kömürleri sınıflandırmaya tabi tutmuştur.

13. Elementel analize göre sınıflandırma: Bu sınıflandırmada karbon, hidrojen, oksijen ve ısı değeri baz alınmıştır. Çizelge 2.7' de elementel analizine göre yapılan sınıflandırma verilmiştir (Ataman 1983).

Çizelge 2.7 Elementel analizine göre sınıflandırma.

Katı yakıt cinsi	Bileşimi			ÜİD kcal/kg	Koklaşma %	Kokun özellikleri
	C	H	O			
Odun	50	6	44	4500	15	Nebati yapıda
Turba	55	6	38	500	30	Toz
Xylit linyit	65	5	30	6000	40	Toz
Linyit esmer	70	5	25	6200	45	Toz
Alt bitümlü	74	5	21	6800	50	Toz
Siyah parlak	78	5	17	7400	55	Sinterleşmiş
Uzun alevli taşkömürü	80	5,5	15	7600	60	Sinterleşmiş
Gaz alevli taşkömürü	84	5	11	8000	65	Pişmiş-kabarık
Yağlı alevli taşkömürü	88	5	7	8500	75	Pişmiş-kabarık
Yağsız alevli taşkömürü	92	4	4	8700	80	Sinterleşmiş
Antrasit	96	2	2	8400	95	Toz
Grafit	100	0	0	8000	100	Toz

14. ASTM sınıflaması: Kömürleşme derecesine göre yapılan sınıflama sistemidir. Yüksek kömürleşme derecesine uğramış kömürlerde kuru ve külsüz esasa göre sabit karbon ve uçucu madde yüzdeleri göz önünde tutulmuştur. Düşük kömürleşme derecesine uğramış kömürlerde ise alt $\square$ alorifik değer, koklaşma ve havanın etkisi ile bozulma özellikleri göz önünde tutularak ortaya çıkarılmıştır. Bu sınıflandırmada kömürler; antrasit, taşkömürü, yarı taşkömürü ve linyit olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Her sınıfta kendi içinde alt gruplara ayrılmaktadır. Çizelge 2.8’ de ASTM sınıflandırması verilmiştir (Ataman 1983).

Çizelge 2.8 ASTM sınıflandırması.

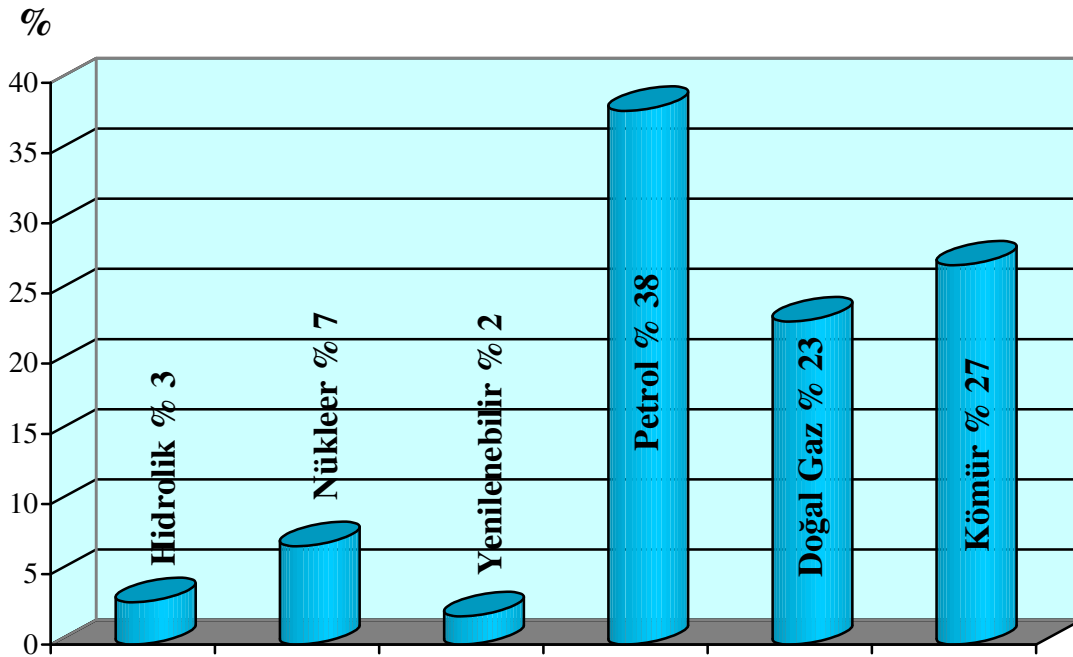
Sınıf	Grup	Sabit karbon yüzdesi veya ısı değeri göre	Kok’ un fiziksel özelliği
I. Antrasit	1. Meta antrasit	Kuru, SK $\geq$ % 90, UM % 2	
	2. Antrasit	Kuru, SK % 92–98, UM % 2–8	
	3. Yarı antrasit	Kuru, SK % 86–92, UM % 14–18	Toz halinde
II. Taşkömürü (Bitümlü Kömür)	1. UM az	Kuru, SK % 78–86, UM % 14–22	
	2. UM orta	Kuru, SK % 69–78, UM % 22–31	
	3. UM yüksek A	Kuru, SK $<$ % 69, UM $>$ % 31, 7700 kcal/kg	
	4. UM yüksek B	Nemli, 7150–7700 kcal/kg	
	5. UM yüksek C	Nemli, 6050–7150 kcal/kg	Kısmen veya tamamen Sinterlenen
III. Yarı Taşkömürü	1. Yarı taşkömürü A	Nemli, 6050–7150 kcal/kg	
	2. Yarı taşkömürü B	Nemli, 5225–6050 kcal/kg	Toz halinde
	3. Yarı taşkömürü C	Nemli, 5440–5225 kcal/kg	
IV. Linyit	1. Linyit	Nemli, 4550 kcal/kg	Sağlam yapıda
	2. Yarı linyit	Nemli, 4550 kcal/kg	Gevrek yapıda

2.5 KÖMÜRLERİN ÖNEMİ

Ülkemizde rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit rezervinin yaklaşık % 1,6’ sı ülkemizde bulunmaktadır. Türkiye’nin toplam linyit rezervi 12,4 milyar ton seviyesinde olup,

işletilebilir rezerv miktarı ise 3,9 milyar ton düzeyinde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Ülkemizin taşkömürü rezervi ise Zonguldak havzasındadır. Zonguldak Havzası' ndaki toplam taşkömürü rezervi 1,322 milyar tondur. Şekil 2.1' de verilen dünya enerji tüketimindeki kaynak payları, fosil kökenli enerji hammaddelerinin, günümüz enerji üretiminde payının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Fosil enerji kaynakları içerisinde en fazla kullanıma sahip olan petroldür ve doğal gaz kullanımı da hızla artmaktadır. Ancak ülkelerin geleceğini planlamaları süreci açısından bakıldığında, yakın sayılabilecek bir gelecekte, doğal gaz ve petrol temini riskli hammaddeler grubuna girecektir. Bunun nedeni petrol ve doğal gazda rezervlerin azalması ve buna karşın talebin artmasıdır. Söz konusu değerlerden kömürün daha uzun yıllar insanlığın en önemli enerji kaynaklarından biri olmaya devam edeceği görülmektedir (Mimuroto, 2010).



Şekil 2.1 Dünya birincil ticari enerji tüketiminde kaynak payları (DPT 2011).

Kömürün önemli olmasının nedeni sadece büyük miktarlardaki rezervler değildir. Kömür 50'den fazla ülkeye dağılmış durumdaki büyük rezervlerle kömür kullanıcıları için her zaman bulunabilir güvenli ve rekabet içerisinde fiyatları oluşan bir kaynaktır. Kömür taşınması, depolanması ve kullanımı en emniyetli fosil yakıttır. Kömür elektrik enerjisi üretimi için her zaman maliyet etkili rekabetçi bir yakıttır. Kömür rezervlerinin büyük çoğunluğu, rekabetçi

piyasaların oluştuğu ÷lkelerdedir. Uluslararası ticaret açısından, deniz yolu çok verimlidir ve kömür nakliyesi, talep artışını her zaman karşılayacak şekilde ve güvenle bu yolla yapılmaya devam edebilir (TÜSİAD 2009).

Temiz kömür teknolojileri hızla gelişmekte ve kömürün çevreci olarak kullanımı için yeni teknolojiler endüstrinin hizmetine sunulmaktadır. Yukarıda sayılan avantajlar kömürün enerji güvenliğinde önemli bir kaynak olduğunu vurgulamak açısından sayılabilecek bir kaç özelliğidir. Ancak bunun yanında kömürün enerji üretiminde doğru ve verimli kullanımı da günümüzde en önemli sorun haline gelmiştir. Sanayi devrimi ile yoğun bir şekilde enerji üretiminde kullanılmaya başlayan kömür, sanayileşme sürecinde, gelişmemiş olan yetersiz yakma teknikleri ve kontrolsüz kullanım nedeniyle, evre ve hava kirliliği açısından önemli bir kirletici olmuş ve bu nedenle de son yıllarda, kömür dışındaki enerji kaynaklarına ve özellikle de doğal gaza kaçış başlamıştır. Ekonomik anlamda gelişimini tamamlamış ve gelir düzeyi yüksek ÷lkeler için bu şimdilik büyük bir sorun değildir ve enerji kaynak çeşitliliği açısından da gereklidir. Ancak bizim gibi gelişmekte olan ÷lkeler için böyle bir yöneliş, hele mevcut durumda olduğu gibi, aşırı bir bağlanış çok tehlikelidir.

Türkiye’de yapılması gereken öz kaynakların verimli bir şekilde değerlendirilmesidir. Enerji retimi anlamında da, en önemli potansiyel kömürdür. Kömür kaynaklarının büyük çoğunluğunda, tüvenan olarak bakıldığında, çeşitli sorunlar vardır ve mevcut haliyle kullanımları evre anlamında önemli problemler yaratmaktadır. Ancak günümüzdeki teknolojik gelişmeler göz önüne alındığında, en sorunlu kömürleri bile uygun teknolojilerle değerlendirmek mümkündür.

2.6 TÜRKİYE ENERJİ SEKTÖRÜNDE KÖMÜR

Ülkemizde, 2011 yılı itibariyle toplam birincil enerji arzı, 82,01 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Söz konusu arzın kaynaklara dağılımında, % 40,5 ile petrol ilk sıradadır. Petrolü, % 26,2 ile kömür (% 15,3’  yerli kömür ve % 10,9’ u ithal kömür), % 19,5 ile doğalgaz, % 8 ile odun, hayvan ve bitki artıkları, % 3,8 ile hidrolik ve % 2 ile diğer kaynaklar izlemektedir (IEA 2011).

Söz konusu yılda toplam enerji arzının % 32,4’  yurtiçi kaynaklarından ve % 67,6’ sı ise ithal kaynaklardan sağlanmıştır. Toplam 24,43 milyon ton petrol eşdeğeri tutarındaki yurtiçi

birincil enerji üretimi içerisinde kömürün payı % 47,6'dır. Diğer kaynaklar ise, sırasıyla, % 24,8 odun, hayvan ve bitki artıkları, % 11,9 hidrolik kaynaklar, % 9,8 petrol ve % 5,9 diğer kaynaklar şeklindedir. İthal kaynakların dağılımında ilk sırayı % 54,9 ile petrol almaktadır. Petrolü % 28,3 ile doğalgaz ve % 16,3 ile kömür izlemektedir (IEA 2011).

Toplam enerji arzının 2020 yılında 222,27 milyon ton petrol eşdeğeri olacağı, bu miktarın % 30' unun yurtiçi kaynaklardan ve % 70'inin ise ithal kaynaklardan karşılanacağı öngörülmektedir. Toplam birincil enerji arzı içerisinde 2002 yılında % 15,3 olan yerli kömürlerin payının 2020 yılında yaklaşık sabit tutulması, ithal kömür payının ise % 100'e varan bir artışla % 10,9' dan % 19,6' ya yükseltilmesi planlanmaktadır. Aynı planlamalara göre, toplam arz içerisinde doğalgazın payı % 3,7 artışla 2020 yılında % 23,2' ye çıkarılacak, yeni tesis edilecek nükleer santral ile nükleer payı % 3,7 olacaktır. Ülkemizde, 2010 yılı itibariyle kömür üretimi toplam 11,64 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Linyit üretimleri, özellikle 1970' li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında yaklaşık 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 2006 yılında yaklaşık 75 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle enerji yönetimleri tarafından yapılan doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, sürekli bir iniş yaşayan linyit üretimi 2011 yılında 56 milyon tona kadar düşmüştür. Linyit üretimindeki bu azalma, yerli linyitlerimizin elektrik enerjisi amacıyla kullanım oranındaki azalışla paralel gitmektedir.

Ülkemizde, 2011 yılının ilk 8 ayında, 152,9 TWh brüt elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu üretimin kaynaklara dağılımı, % 43,5 doğalgaz, % 25,6 hidrolik, % 19,3 yerli kömür, % 6,2 ithal kömür ve % 5,4 diğer kaynaklar şeklindedir. Yapılan planlamalarda, 2020 yılında doğalgazın payının % 34,3' e çekileceği, nükleer payının % 6,6' ya ve kömür payının ise % 33,3' e yükseltileceği öngörülmektedir. Bununla beraber, söz konusu planlamalara göre, kömürün payındaki yükseliş ithalat ile sağlanacaktır. 1970' li yıllardan itibaren başlayan elektrik enerjisi üretim amaçlı termik santral ve linyit üretim yatırımları çok büyük oranda kamu sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yatırımlar Çizelge 2.9' da özetlenmektedir.

Çizelge 2.9 Linyite dayalı santrallerin kurulu güçleri ve maden işletmelerinin tüketim kapasiteleri (TKİ 2012).

PROJE ADI	KÖMÜR TÜKETİM KAPASİTESİ (bin ton/yıl)	KURULU GÜÇ (MW)
Muğla-Yatağan	6550	730
Muğla-Milas-Sekköy	5550	530
Muğla-Hüsamlar-Kemerköy	6000	650
Çanakkale-Çan	3000	420
Kütahya-Seyitömer	8000	700
Kütahya-Tunçbilek	3200	550
Manisa-Soma	9000	1050
Bursa-Orhaneli	2000	400
Afşin-Elbistan	20000	1500
Sivas-Kangal	7000	650
Ankara-Çayırhan	7000	820
TOPLAM	77300	8000

Ülkemizin linyite dayalı kurulu gücü toplam 8000 MW düzeyindedir. Çanakkale'deki 320 MW büyüklüğündeki akışkan yataklı Çan Termik Santrali ile Kahramanmaraş Elbistan'daki 1400 MW'lık Elbistan-B santralının devreye alınmasıyla toplam kurulu güç 9120 MW'a yükselmiştir. Bununla beraber, ülkemizde elektrik üretimi amacıyla kullanılabilecek özellikte geniş kömür rezervleri bulunmaktadır. Söz konusu rezervler atıl durumda bırakılırken ithal kaynaklara yönelmesi, akılcılıktan uzaktır.

Ülkemizde, çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervlerine karşın, 560 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,322 milyar ton taşkömürü ve 12,4 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Linyit rezervleri ülke geneline yayılmıştır. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve 37 ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. Linyit rezervlerinin % 30'u TKİ, % 46'sı EÜAŞ ve % 24'ü ise özel sektör elindedir. Genel olarak, ülkemiz linyitlerinin ısı değerleri düşüktür. Toplam linyit rezervinin % 0,84'ü 4000 kcal/kg'dan yüksek, % 5,16'sı 3001-4000 kcal/kg ısı değer aralığında, % 24,5'i 2001-3000 kcal/kg ısı değer aralığında, % 33,32'si

1000-2000 kcal/kg ısıl değer aralığında ve % 3,18' i ise 1000 kcal/kg' dan daha az ısıl değere sahiptir (Anaç 2010).

Ancak, Türkiye linyit rezervlerinin % 94' ü termik santrallerde değerlendirilebilecek özelliktedir. Ülkemiz toplam kurulu gücünün 2011 yılı sonu itibariyle 37480 MW olduğu dikkate alındığında, söz konusu kapasite, toplam kurulu gücün % 47,5' ini oluşturacaktır. Bu tablo, ülkemiz enerji güvenliğinin yeniden temin edilmesi bakımından dikkat çekicidir. Bununla beraber, ülkemizin kömür potansiyeli henüz tam olarak ortaya konmuş değildir. Genel olarak maden aramaları konusundaki mevcut sorunlar, yeni kömür rezervlerinin ortaya çıkarılmasının önünde engel oluşturmaktadır.

MTA'nın yaptığı kömür sondajı, 2012 yılında 10.000 metrenin altında olmuştur. Türkiye' de, 1960-2012 yılları arasında kömürde yapılan sondajlı aramalar ise toplam 2.667.673 metredir. Kömür olması muhtemel alanların henüz yarısından azı aranabilmiştir. Kömür için gereken derinlikte sondajların yapılmadığı da bilinmektedir. Kömür aramacılığına ilişkin olarak, son zamanlarda, MTA tarafından belirli çalışmalara başlanıldığı gözlenmektedir. Söz konusu çalışmaların yoğunlaştırılması ve Neojen alanlarda yeni ve modern teknikler kullanılarak detay etüt ve derin sondajların yapılması ile ülkemiz linyit rezervinin daha da artırılması olasılığı yüksektir.

2.7 DÜNYA ENERJİ SEKTÖRÜNDE KÖMÜR

Dünya toplam birincil enerji arzı, 2011 yılında 15.579 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Söz konusu arzın kaynaklara dağılımında % 34,4 ile petrol ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra, % 24,4 ile kömür ve % 21,2 ile doğalgaz sıralanmaktadır.

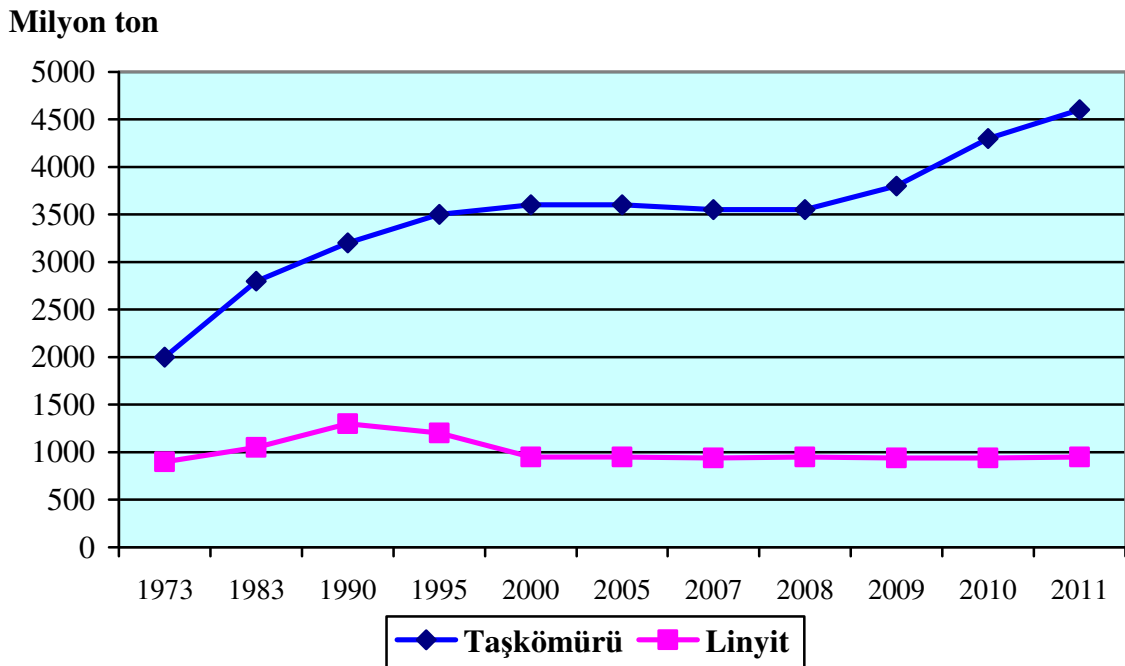
1973 yılından 2010 yılına kadar geçen 37 yıllık dönemde, dünya birincil enerji arzında petrolün payı % 10,6 düşerken doğalgazın payı % 5 ve nükleerın payı ise % 5,6 artmıştır. Kömürün payında ise kayda değer bir farklılık bulunmamaktadır. Toplam arz içerisinde 1973 yılında % 28,8 olan kömürün payı 2011 yılında % 29,4 olmuştur. İleriye yönelik yapılan tahminlerde dünya birincil enerji arzının 2030 yılında 16.500 milyon ton petrol eşdeğeri olacağı ve bu miktarın kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı öngörülmektedir. Buna göre; 2030 yılında en büyük pay % 35 ile yine petrolün olacaktır. Petrolü % 25 ile doğalgaz, % 21,8 ile kömür, % 11,3 ile odun, çöp, jeotermal, güneş, rüzgar

vb kaynakların, % 4,6 ile nükleer ve % 2,2 ile hidrolik kaynakların izleyeceği tahmin edilmektedir (IEA 2011).

Kömürün dünya toplam enerji arzı içerisindeki payı 2030 yılına kadar önemli bir değişim göstermeyecektir. Bu öngöründe, kömür rezervlerinin petrol ve doğalgaz gibi diğer enerji kaynaklarına göre dünya üzerinde daha geniş bir yayılım gösteriyor olması rol oynamaktadır. Söz konusu enerji kaynaklarının kalan ömürleri dikkate alındığında, kömürün, özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacağı anlaşılmaktadır. 2009 yılı sonu itibarıyla dünya toplam kanıtlanmış kömür rezervi 1180 milyar ton olup, dünya kömür üretim büyüklüğü dikkate alındığında kömür rezervlerinin 200 yıl ömrü bulunmaktadır (BP 2010).

Kömür rezervleri dünya üzerinde 70' den fazla ülkede bulunmaktadır. En büyük rezerv miktarı 247 milyar ton ile ABD' ye aittir. Bu ülkeyi, 157 milyar ton ile Rusya ve 114,5 milyar ton ile Çin izlemektedir (BP 2010).

Kömür, 50' nin üzerinde ülkede üretilmekte ve 70' in üzerinde ülkede tüketilmektedir (WCI 2011). Dünya kömür üretimi 2011 yılında 5.124 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu miktarın 4231 milyon tonu taşkömürü ve 893 milyon tonu ise linyit üretimidir (WCI 2011). Yıllar itibarıyla dünya taşkömürü ve linyit üretimleri Şekil 2.2' de verilmektedir.



Şekil 2.2 Yıllar itibarıyla dünya taşkömürü ve linyit üretimleri (IEA 2011).

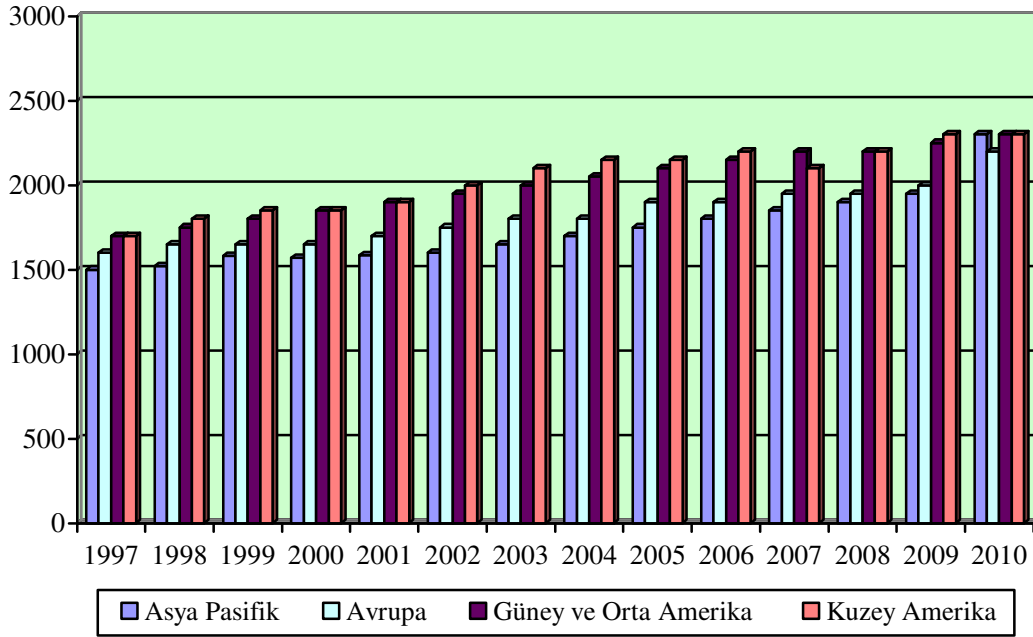
Dünya taşkömürü üretiminin yaklaşık % 93' ü 11 ülke tarafından yapılmaktadır. Bu ülkeler; Çin, ABD, Hindistan, Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya, Polonya, Endonezya, Ukrayna, Kazakistan ve Kolombiya'dır. 2009 yılında en yüksek üretim, yaklaşık 1,5 milyar ton ile Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ülkeyi, 890 milyon ton ile ABD, 340 milyon ton ile Hindistan, 275 milyon tonla Avustralya, 240 milyon tonla Güney Afrika Cumhuriyeti ve 190 milyon ton ile Rusya izlemektedir. En önemli linyit üreticisi ise, dünya üretiminin % 20' sini karşılayan Almanya'dır (WCI 2011).

Dünya taşkömürü üretiminin yukarıda aktarılan profilinde, son 30 yılda önemli bir değişiklik olmamıştır. 1973 yılında üretimin yaklaşık % 91'i yine 11 ülke tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu dönemde, Avustralya'nın üretimi % 376, Hindistan'ın üretimi % 323, Güney Afrika Cumhuriyeti'nin üretimi % 262, Çin'in üretimi % 204 ve ABD'nin üretimi ise % 80 artmıştır. Almanya, İngiltere ve Polonya gibi Avrupa ülkelerinin üretimlerinde ise önemli düşüşler yaşanmıştır. Dünya linyit üretiminin ise %75' i 9 ülke tarafından üretilmektedir. Bu ülkeler; Almanya, Rusya, ABD, Yunanistan, Avustralya, Türkiye, Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Kanada'dır (IEA 2011).

Dünya toplam kömür tüketimi, üretimlere nazaran daha dengeli dağılmaktadır. Yaklaşık 2,6 milyar ton petrol eşdeğeri olan 2010 yılı tüketiminin % 31,9'u Çin'in ve % 22'si ise ABD'nin tüketimidir. Bu iki ülkeyi, % 7,3 ile Hindistan, % 4,3 ile Japonya, % 4,2 ile Rusya, % 3,4 ile Güney Afrika Cumhuriyeti, % 3,3 ile Almanya ve % 1,9 ile Avustralya izlemektedir. Kalan % 21,7 ise diğer ülkelerin talebini oluşturmaktadır (BP 2010).

Geçmişten günümüze kadar dünya kömür üretiminin profili çok fazla farklılık göstermezken, tüketimin bileşiminde önemli değişimler gözlenmektedir. 40 yıl öncesinde dünya toplam kömür tüketiminin % 32,6' sı Avrupa-Avrasya, ve % 10,9' u Asya-Pasifik ülkeleri tarafından tüketilirken, günümüzde bu tablo tersine dönmüştür. 2010 yılı itibarıyla tüketiminin % 20,7' si Avrupa-Avrasya ve % 51,5' i ise Asya-Pasifik ülkeleri tarafından tüketilmektedir. Söz konusu dönemde dünya kömür tüketimi % 76 artmış olup, Avrupa-Avrasya ülkelerinde % 36 azalmış ve Asya-Pasifik ülkelerinde ise % 371 artmıştır. Avrupa Birliği'ne dahil 25 ülkenin kömür tüketimindeki düşüş ise % 38 düzeyindedir. Dünya kömür tüketimindeki söz konusu dönüşümü Şekil 2.3' den izlenebilmektedir.

Milyar ton



Şekil 2.3 Yıllar itibariyle dünya kömür tüketimi (BP 2010).

Dünya kömür talebinin, % 56 artışla 2025 yılında 8,2 milyar ton düzeyine yükseleceği öngörülmektedir (EIA 2010).

Söz konusu öngörüye göre, aynı dönemde kömüre olan talep Batı Avrupa ülkelerinde yaklaşık % 20 azalırken, Doğu Avrupa ve Eski Sovyet Cumhuriyeti ülkelerinde % 14, Kuzey Amerika’da % 41 ve Asya-Pasifik ülkelerinde ise % 96 artacaktır.

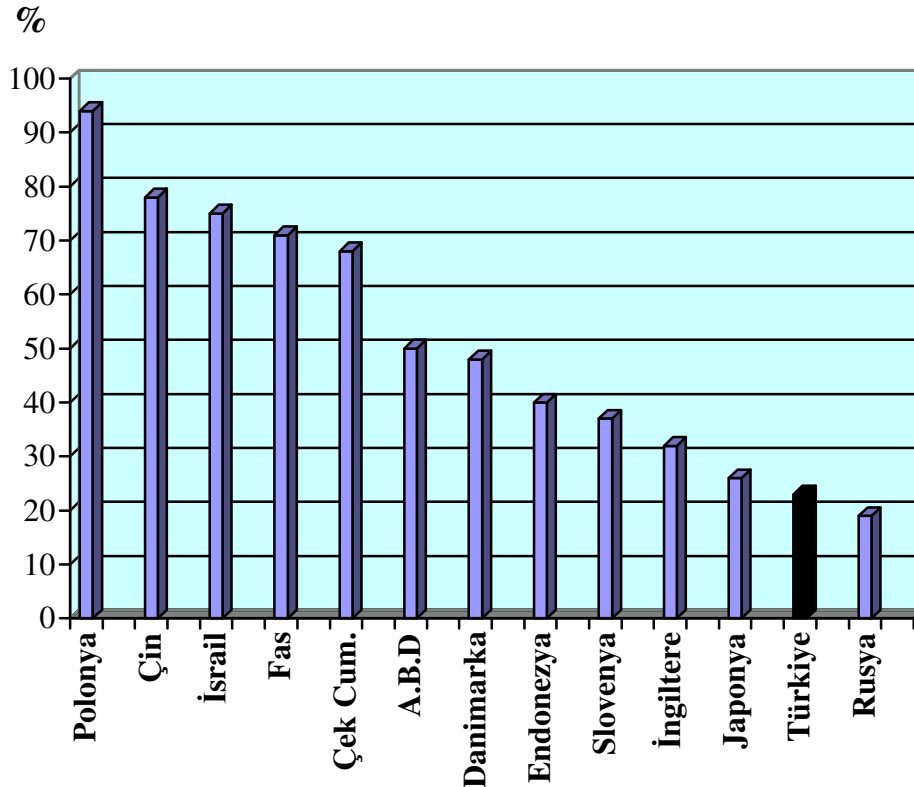
Dünya kömür ticaret hacmi, 2010 yılında 890 milyon tona ulaşmıştır. Söz konusu ticaretin % 91,3’ ü 9 ülkenin elinde bulunmaktadır: Avustralya (% 29), Endonezya (% 14,2), Çin (% 11,4), Güney Afrika Cumhuriyeti (% 8,9), Rusya (% 8,6), Kolombiya (% 6,9), ABD (% 5,7), Kanada (% 3,6) ve Kazakistan (% 3) (WCI 2011).

Kömür ithalatında ise Avrupa ülkeleri en büyük payı almaktadır. Ticareti yapılan kömürün yaklaşık % 40’ ı Avrupa’ya satılmaktadır. Japonya % 24,2’ sini ve Güney Kore ise % 10,5’ ini satın almaktadır. Elektrik ya da ısı üretimi amacıyla kömür ithal eden ülkeler arasında; Almanya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İrlanda, İtalya, Japonya, Güney Kore, Hollanda ve Portekiz de bulunmaktadır. Dünya kömür üretiminin yaklaşık % 69’ u elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Diğer kullanımları ise ısınma, demir çelik ve çimento

sektörlerinde yoğunlaşmıştır. Elektrik üretimi amaçlı kullanımın 2030 yılında % 79 düzeyine yükseleceği tahmin edilmektedir (WCI 2011).

Dünya toplam elektrik üretimi, 2010 yılında, 19883 TWh olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar içerisinde en büyük pay, % 40,1 (6,681 TWh) ile kömürdür. Kömürü % 19,4 ile doğalgaz, % 15,9 ile hidrolik, % 15,8 ile nükleer, % 6,9 ile petrol ve % 1,9 ile diğer kaynaklar izlemektedir (IEA 2011).

Çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömür kullanım oranları, 2012 yılı itibariyle Şekil 2.5’ da verilmektedir. 2012 yılı itibariyle, ülkemizde, elektrik üretiminde kömür kullanımı % 34,8 olmuştur. Bu oran içerisinde ithal kömürün payı % 1 düzeyindedir. 2009 yılı ilk sekiz ayı itibariyle ise, elektrik üretiminde kömür % 25,5 oranında kullanılmış olup, bu oranın sadece % 19,3’ ü yerli kömürün, kalan % 6,2’ si ise ithal kömürün payıdır. 2010 yılı ilk sekiz ayı itibariyle ülkemizde, elektrik üretimi amaçlı kullanılan kömürlerin yaklaşık % 25’ i ithal kömürdür.



Şekil 2.4 2012 yılı itibariyle çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömür kullanım oranları (IEA 2012).

Sonuç olarak kömür, elektrik üretimi amacıyla kullanılan yakıtlar arasında en yaygın olanıdır. Gelecekte, elektrik üretiminde kömürün payının azalacağı, doğal gaz payında ise önemli artışların olacağı tahmin edilmektedir. Buna karşın, kömürün, elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olma niteliğinin 2030 yılına kadar değişmeyeceği öngörülmektedir.

Yapılan araştırmalara göre, kömüre dayalı elektrik üretimi 2010 yılındaki 6681 TWh' den 2030 yılında 11590 TWh' ye yükselecek, buna karşın kömürün kaynak payı ise sadece % 2 azalarak % 37' ye inecektir. Gelişmekte olan ülkelerde ise, aynı dönemde kömüre dayalı elektrik üretimi 3 katından fazla artacaktır.

BÖLÜM 3

KÖMÜRLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kömürlerin fiziksel özelliklerinin yanında halk arasında kimyasal özellikleri de kullanılmaktadır.

3.1 KÖMÜRLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

3.1.1 Nem

Kömürlerde bünye ve yüzey nemi olmak üzere 2 çeşit nem vardır. Bünye nemi kömürün yapısında yer alır ve kömür tarafından absorbe edilmiş olan ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelir. Yüzey nemi ise kömürde serbest halde bulunan sudan oluşur ve nemli hava koşullarından veya kömürün sulu bir ortamla temas etmesinden ileri gelir. Kömürün 105 ° C’ de sabit ağırlığa gelinceye kadar ısıtılması ile saptanan nem oranı genel anlamda “toplam nem” olarak tanımlanmaktadır.

Bünye nemi kömür türüne göre çok farklılık gösterir ve bitümlü kömürlerde % 1-3 gibi düşük bir seviyede iken, linyitlerde % 45’ e kadar çıkabilmektedir. Yalnızca bünye nemi içeren kömürler kuru görünümde dirler ve kırıldıkları zaman tozlanma yaparlar.

Yüzey nemi kömürün tane boyutuna ve bu neme neden olan koşullara bağlı olarak değişir. İri boyuttaki kömürlerde yüzey nemi rahatça süzülerek ayrılabilir. Fakat kömürün boyutu küçüldükçe, yüzey alanının büyümesi ile yüzey nemi oranı artar ve bu nem kendiliğinden kolaylıkla ayrılmaz. Bu bakımdan, zenginleştirme yöntemleri ile elde edilen ince temiz kömürler, filtre ve santrifüj kurutuculardan geçtikten sonra, ısıtma işlemiyle kurutmayı gerektirirler.

Kömürdeki nem oranının genellikle mümkün olan en düşük seviyede olması istenir. Zira nem kömürün birim kütlesindeki enerjiyi azaltır. Ayrıca kömür yandığı zaman açığa çıkan enerjinin bir kısmı nemin buharlaştırılması için harcanır. Bu bakımdan, bir yıkama işleminden sonra, kömürdeki yüzey neminin yeterince atılmaması halinde, yıkama yoluyla külü teşkil eden maddeler azaltılmış ancak bunların yerine kendisi de kül kadar istenmeyen nem getirilmiş olur.

3.1.2 Özgül Ağırlık

Ocaklardan çıkarılan tüvenan kömürler farklı özgül ağırlıktaki parçaların karışımı halindedir. Tüvenan kömürdeki herhangi bir parçanın özgül ağırlığı, bu parçanın külüne, nemine, sabit karbon miktarına ve uçucu madde oranına bağlıdır. Kömürün külü arttıkça, özgül ağırlığı da artar ancak bu artışlar birbiriyle doğru orantılı değildir. Ayrıca külün, özgül ağırlık üzerindeki etkisi kül yapıcı maddelerin cinsine göre değişir. Örneğin, alüminyumlu bir külün özgül ağırlığı demirli bir külünkinden daha azdır. Saf kömürün özgül ağırlığı, kömürün ait olduğu sınıfa göre değişir ve aşağıdaki Çizelge 3.1’ de ki gibi linyitten antrasite doğru gittikçe artar.

Çizelge 3.1 Saf kömürün özgül ağırlığının değişimi.

ÖRNEK	ÖZGÜL AĞIRLIK
Linyit	1,05 – 1,40
Bitümlü Kömür	1,15 – 1,50
Antrasit	1,40 – 1,70

Aynı sınıftaki kömürlerin özgül ağırlıkları arasındaki fark, esas olarak, bunların içerdikleri farklı bünye küllerinden ileri gelmektedir. Kömürlerdeki kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı maddelerin (artık maddelerinin) özgül ağırlıkları kömürlerinkinden daha yüksektir. Bu maddelerden en önemlilerinin özgül ağırlıkları aşağıdaki Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kömürdeki başlıca kül yapıcı maddelerin özgül ağırlıkları.

KÖMÜR İÇİNDEKİ MADDE	ÖZGÜL AĞIRLIK
Pirit	4,8 – 5,1
Şeyl, Kil, Kumtaşı	2,6
Jips	2,3
Kaolin	2,6
Kalsit	2,7

Tüvenan kömürlerde, temiz kömür ve artık maddeleri arasındaki özgül ağırlık farkı, kömür hazırlama yönünden büyük önem taşır. Bunun yanında köpük flotasyonu dışında, kömür zenginleştirmede kullanılan yöntemlerin tamamı gravite ayırmalarına, yani özgül ağırlık farkına göre yapılan ayırmalara dayanır (Ateşok 2009).

3.1.3 Strüktür ve Kırılma

Kömürde ilk kırılma madencilik işlemleri sırasında olur. Bu işlemlerdeki kırılmalar sonucunda meydana gelen parçaların büyüklük ve şekilleri uygulanan kazı yöntemi ile birlikte, kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Bu sistem özellikleri kömürden kömüre göre değişir ve bilhassa kazı işlemlerinde önem taşır. Kırık ve çatlak sistemine, en yoğun biçimde düşük uçucu maddeli bitümlü kömürlerde rastlanır. Bu kömürler çok kırılmalıdır ve kırıldıkları zaman fazla oranda ince malzeme meydana getirirler. Bu tür kömürler bazen “zayıf” yapılı olarak tanımlanmaktadır. Kırık ve çatlak sisteminin fazla belirgin olmadığı ve kırılma yüzeylerinin birbirinden uzak bulunduğu kömürleri ise “sağlam” yapılı olarak tanımlamak mümkündür. Bir kömür yatağı parçalandığı zaman, kırılma sisteminin özelliğine bağlı olarak, blok şeklinde, kübik veya yassı parçalar meydana gelebilir.

Kömür, zenginleştirme amacı ile kırıldığında, daha ziyade ikinci derecedeki yataklanma düzlemleri boyunca, mat kömür ile parlak kömür arasındaki sınırlarda ve yataklanmaya düşey kırıklar boyunca parçalanır.

Çeşitli kömür türlerinin kendilerine özgü kırılma şekilleri vardır. Örneğin; antrasit konkoidal bir şekilde yani içbükey yüzeyler halinde, bitümlü ve yarı bitümlü kömürler blok veya küp şeklinde, linyitler yassı veya düzensiz şekilde, yataklanmaya paralel olarak, uzunlamasına parçalar şeklinde kırılırlar. Sert bitümlü kömürler yaklaşık yarı konkoidal bir kırılma yüzeyi verirler. Yarı antrasitler ise genellikle gevrektiler ve çok sayıda değişik şekillerde küçük parçalar halinde kırılırlar.

Kömür ve kömürdeki artık maddelerin kırılma ile birbirinden ayrılıp ayrılmaması, kömür hazırlamada büyük önem taşır. Zira tüvenan kömürdeki artık maddelerin uzaklaştırılarak temiz kömür elde edilmesi için temiz kömür ve artık tanelerinin birbirinden serbest olarak bulunmaları gerekir. Eğer, artık taneleri daha ziyade kömürün kırık ve çatlaklarında yer almış iseler, bunlar kırma ile kömürden kolaylıkla ayrılıp serbest hale gelebilirler. Çoğu durumlarda, doğal dilinimler kömür ile artık maddeleri arasında olduğundan, bunların serbestleşmesi kırma ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. Diğer taraftan, kömür ile artık maddeleri birbirine çok sıkı bir şekilde bağlanmış da olabilirler. Bu durumda kırılma, bunların aralarındaki temas yüzeylerinde değil ya kömürde ya da artık maddesinde olur ve böylece kısmen temiz kömür ve kısmen artık maddesinden oluşan bağlı taneler meydana gelir.

3.1.4 Tane Boyut Dağılımı

Temiz kömürün satış değerini belirleyen kül, kükürt ve H alorifik değer gibi ana faktörlere, daha az önem taşımakla beraber, tane boyutunu da ilave etmek mümkündür. Nitekim bazı satışlarda, kömürde belli bir boyutun altındaki malzeme oranının belli bir sınırı geçmemesi koşulu aranır. Nadir olarak ta belirli bir boyutun üzerinde malzeme istenmez.

Ocaktan çıkarılan tüvenan kömürlerin tane boyutu dağılımına çeşitli faktörler etki eder. Bu faktörler kömürün sertliği, mukavemeti, kırık ve çatlak sistemi gibi yapısal özelliklerinden ve uygulanan madencilik yönteminden ileri gelir. Değişik faktörlerin sonucu olarak, boyut dağılımları yönünden değişik kömürler arasında önemli farklılıklar bulunabilmekle beraber, bütün boyut dağılımlarının belli bir kurala uydukları söylenebilir. Kömürlerdeki tane boyutu dağılımlarının bu özelliğinden yararlanarak, numune alma ve eleme işlemlerinin hassasiyetlerini saptamak mümkün olmaktadır.

3.1.5 Sertlik

Kömürün sertliği, ufalanabilme ve öğünebilme özelliklerine etki eder. Ancak ekonomik yönden önem taşıyan ufalanabilme ve öğünebilme özellikleri, deneylerle doğrudan doğruya ve kolaylıkla saptanabildiklerinden sertliğin ayrıca kendi başına saptanmasına çoğu zaman gerek duyulmamaktadır. Bununla beraber, çeşitli kömürlerin karşılaştırılabilmesini sağlamak amacı ile bazı araştırmacılar tarafından, sertlik ölçümlerinde kullanılmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Heywood, İngiliz kömürlerinin çizilebilme sertliklerini incelemiştir. Uyguladığı yöntemde, yüzeyi parlatılmış bir kömür numunesinin üzerinde, piramit şeklinde bir çelik ve uç ile 100 mikron genişliğinde bir çizgi çizebilmek için 1.00 rakamını temel kabul ederek ve bu temele göre kıyaslama yaparak ifade etmiştir. Ayrıca bir elmas uç kullanarak, kalsit ve piritin de çizgi sertliklerini saptamıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, çizgi sertlikleri en yumuşak kömürde 0,29' dan, en sert olan antrasit'te 1,75' e kadar değişmiştir. Şeyl' in çizgi sertliğini 0,32, kalsit' in 1,92 ve pirit' in de 5,71 olarak bulmuştur (Ateşok 2009).

Almanya' da da, ocak içindeki kömürlerin sertliklerini saptama konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, sarkaç gibi salınım yapan özel uçlu bir çekiç düzeni kullanılmış ve sertlik, çekicinin kömür yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrama mesafesi ölçü alınarak, yüzde şeklinde ifade edilmiştir. Deneylerde, durain' in sertliği % 68, vitrain' in % 17, kil bantlarının % 7 ve pirit bantlarının da % 80 olarak bulunmuştur.

Kömürün sertliği, kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup, karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişiklik gösterir. % 85-90 oranında karbon içeren kömürler en düşük sertliğe sahiptirler. Sertlik ayrıca, uçucu madde oranı % 5' den % 15' e doğru çıktıkça azalır, % 15' ten % 40' a doğru çıktıkça da artar.

Kömürler arasında genellikle, en yumuşak olanı linyit, en sert olanı da antrasit'tir. Ancak kömürler fiziksel yapı bakımından çok farklılık gösterdiğinden, sertlik dereceleri de çok değişkendir ve antrasit dışında, herhangi bir kömür için kesin bir sertlik derecesi belirtmek mümkün değildir. Antrasit' in sertliği Mohs sisteminde 2,73 – 3 arasındadır yani çakı ile kolaylıkla çizilebilir. Yarı antrasit' in sertliği ise 2,5 – 2,75 arasındadır.

3.1.6 Mukavemet

Kömürün basınca karşı mukavemeti, madencilikte tahkimat için kullanılan kömür topukları ile kırma ve öğütme işlemlerinde önem taşır. Baskı mukavemeti kömürün türü ve petrografik yapısı ile ilgilidir. En düşük mukavemet uçucu maddenin % 20-25 olduğu oranlara rastlar. Ayrıca kömürde vitrain oranı yükseldikçe, baskı mukavemeti azalır. Baskı mukavemeti genellikle yataklanma düzlemine düşey olarak ölçülür (Ateşok 2009).

3.1.7 Ufalanabilirlik

Ufalanabilirlik, herhangi bir parçanın kendinden küçük parçalara kırılabilme eğilimidir ve kömürün önemli özelliklerinden birini teşkil eder. Kolay ufalanabilen kömürlerin bazı sakıncaları vardır. Her şeyden önce bu tür kömürlerde, fiyatı genellikle daha yüksek olan iri malzeme oranı azdır. Ayrıca ince malzemenin çokluğu nedeni ile yüzey alanı büyüktür. Yüzey alanının büyük olması ise oksitlemeyi hızlandırarak ani yanmalara ve koklaşan kömürlerde koklaşma kalitesinin azalması veya kaybolmasına sebep olabilir. Ayrıca fazla ufalanan kömürlerde ince malzeme oranının artması, zenginleştirme masraflarının da artmasına yol açar.

Kömürün ufalanabilirliği, sertlik, mukavemet, sıklık, elastiklik ve kırılgenlik gibi özelliklerine bağlıdır. Ekonomik önem taşımasından dolayı ufalanabilirlik laboratuvar deneyleri ile doğrudan doğruya saptanmaktadır. Bu amaç için başlıca tambur ve düşürme olmak üzere iki yöntem geliştirilmiştir. Tambur yönteminde, 7,25 inç çapında ve 7,25 inç genişliğinde olan, içinde 3 adet kaldırma kanadı bulunan, silindir şeklinde bir porselen değirmen kullanılır. Tane boyutu 1,5-1,05 inç arasında olan, 1000 gr. Ağırlığındaki bir kömür numunesi, öğütücü ortam kullanmaksızın 40 dev./dak. Hızda 1 saat süreyle bu değirmende aktarılır. Daha sonra, kömür numunesi değirmenden alınarak, 1,05, 0,742, 0,525, 0,371, 0,0469 ve 0,0117 inç boyutlarından elenir. Ufalanabilirlik, işlem sırasında ortalama tane boyutundaki yüzde azalma olarak ifade edilir. Örneğin, deneyden sonraki ortalama tane boyutu orijinal numunedeki ortalama tane boyutunun % 75' i ise, bu kömürün ufalanabilirliği % 25' dir (Ateşok 2009).

Ufalanabilirliğin saptanması için kullanılan düşürme yönteminde tane boyutu 3-2 inç arasında olan 50 lb. Ağırlığındaki kömür numunesi, altı açılabilen bir kutudan, bu kutunun 6 ft. Aşağısındaki bir çelik plaka üzerine peş peşe iki defa düşürülür. İki düşürme sonunda, numune 3, 2, 1, 3/4 ve 1/2 inç'lik yuvarlak delikli eleklerden elenir ve ortalama tane boyutu hesaplanır. Tambur deneyinde olduğu gibi, ufalanabilirlik, ortalama tane boyutundaki yüzde azalma olarak ifade edilir. Karşılaştırma yapmak amacı ile aynı yöntem farklı tane boyutlarındaki numunelere de uygulanabilmektedir.

Tambur ve düşürme deneyleri kömürün ufalanabilirliği hakkında birbirinin tamamen aynı olan sonuçlar vermezler. Fakat belli bir kömürün ufalanabilirliğini her iki yöntemle de saptamak faydalı olur.

Kömürlerin ufalanabilirlikleri ile sınıfları arasında genel bir ilişki vardır. Linyitler en az ufalanırlar. En fazla ufalanma ise yarı bitümlü (düşük uçucu maddeli) kömürlerde görülür. Antrasitlerin ve alt bitümlü kömürlerin ufalanabilirlikleri birbirine benzemekte olup, her ikisi de bitümlü kömürlerden daha sağlamdırlar. Yarı bitümlü kömürlere kıyasla ise ufalanmaya karşı çok daha dirençlidirler. Ufalanabilirlik ile kömür sınıfı arasında bir ilişki bulunmakla birlikte bunun ancak genel anlamda olduğunu kabul etmek gerekir. Zira aynı sınıfa ait kömürlerin de ufalanabilirlikleri arasında önemli farklılıklar görülebilir.

Ufalanabilirlik, kömürün petrografik yapı elemanlarına (vitrain, clarain, durain, fusain) göre de değişir. Fusain en zayıf, durain ise en kuvvetli yapıya sahiptir. Vitrain fusain' den, clarain de vitrain' den daha sağlamdır. Ufalanabilme farklılığından dolayı kırma işlemleri sonunda kömürün petrografik yapı elemanlarının farklı tane boyutlarında toplanmaları mümkündür. Bu durum ise kullanım yönünden önem taşır. Çünkü kömürün petrografik yapı elemanlarının kül yüzdeleri, kül ergime dereceleri, uçucu madde yüzdeleri ve koklaşma özellikleri birbirinden farklıdır. Eğer kırılmış bir kömürde petrografik yapı elemanlarının tane boyutları arasında önemli bir farklılık bulunursa bu kömürün değişik tane boyutlarının yanma ve koklaşma davranışları birbirinden farklı olur. Böyle bir durumda, istenen özelliği düzenli bir şekilde sağlayabilmek için kömürün farklı tane boyutlarını karıştırmak gerekir.

3.1.8 Öğünelirlik

Öğünelme özelliği, bilhassa kömürün toz yakıt olarak kullanılmak üzere öğütölmesi sırasında önem taşır. Öğütme için kullanılan aygıtların kapasitelerinin belirlenmesinde, öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında ve tesis kontrolünde, öğünelme özeliğinden yararlanılır.

Kömürün öğünelirliği, kömürün sertlik, mukavemet ve kırılğanlık gibi fiziksel özellikleri ile ilişkilidir. Öğünelirliğin laboratuarda saptanabilmesi için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan Hardgrove yönteminde, “halka ve bilye tipi” adı verilen, özel yapıda küçük bir değirmen kullanılır. 50gr. Ağırılığında, dar elek aralıklı bir kömür numunesi, değirmeni 60 defa döndürerek öğütölür ve öğütme sonunda numunede meydana gelen 200 mesh’ in altındaki malzeme oranı bulunup, belli bir formöl uygulanarak, “Hardgrove Öğünelme İndeksi” hesaplanır. Bu indeks, temel olarak alınan ve indeksi 100 kabul edilen bir kömür ile karşılaştırmalı olarak ifade edilir.

Kömürlerin öğünelirlikleri ile sınıfları arasında, kesin olmamakla beraber, genel bir ilgi olduğu söylenebilir. Örneğın, öğünelirliği en yüksek olan, yani en kolay öğünelen kömürler genellikle orta ve düşük uçucu maddeli olanlardır denilebilir. Ancak aynı sınıfa ait kömürlerin öğünelirlikleri arasında önemli farklarda bulunabilir. Bu bakımdan bir kömürün kimyasal yapısının bilinmesi o kömürün öğünelirliği hakkında yeterli bir bilgi sağlamaz.

3.1.9 Açık Havada Dağılğanlık

Açık havada bırakılan bazı kömürler ıslanma ve kuruma olaylarının etkisi altında dağılırlar. Dağılma derecesi kömür sınıfına bağıdır. En fazla dağılma düşük sınıflı kömürlerde görölür. Linyitler çok rahatlıkla dağılırlar. Alt bitümlü kömürlerin dağılğanlığı linyitlere kıyasla daha azdır. Bitümlü kömürler ise hava koşullarından çok az etkilenirler. Esasen kömürlerin ASTM sistemine göre sınıflandırılmasında, bitümlü ve alt bitümlü kömürler birbirinden esas olarak dağılma özellikleri bakımından ayrılmışlardır.

Kömürlerin kendiliğinden dağılmasına, ıslanma ve kuruma sırasında kömür parçalarının yüzeyleri ile iç kısımları arasında oluşan farklı gerilimler neden olur. Islak bir kömür parçası havada kurumaya bırakıldığı zaman yüzeyinden rutubet kaybetmeye başlar. Parçanın yüzeyi

kurudukça, iç kısımlardaki rutubet yüzeye doğru hareket ederek kaybolan rutubetin yerini almaya çalışır. Eğer yüzeyden rutubet kaybı, iç kısımlardaki rutubetin yüzeye gelişinden daha hızlı olursa parçanın yüzeyi iç kısımlarına nazaran daha fazla büzülür ve gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler de kömürün çatlamasına ve dağılmasına yol açar. Aynı şekilde, kuru bir kömür parçası yağmur vb. nedenlerle ıslandığı zaman parça yüzeyinin iç kısımlara nazaran daha hızlı rutubet alması durumunda yüzeyde daha fazla bir genleşme meydana gelir. Böylece kömür kendiliğinden çatlayarak dağılır. Kolay dağılan kömürler, kolay ufalanan kömürlerde olduğu gibi iri boyutlu parçaların azalması nedeni ile kömürün değer kaybına yol açar. Ayrıca kolay dağılan kömürlerde yüzey alanı fazlalaştığından oksitlenme hızlanır ve kömürün ani yanma olasılığı artar. Bu bakımdan kolay dağılan kömürlerin açık havada stoklanması sorun oluşturabilir.

U.S. Bureau of Mines, kömürlerin kendiliğinden dağılma özelliklerini saptamak için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, yaklaşık 1,25 inç boyutunda parçalardan oluşan bir kömür numunesi, kontrollü olarak bir dizi ıslatma ve kurutma işlemine tabi tutulmakta ve işlem sonunda eleme yapılarak 3 mesh altındaki malzeme oranı bulunmaktadır. Bu oran, eleme sırasında meydana gelebilecek ufalanmalar göz önüne alınıp düzeltildikten sonra, kömür numunesinin kendiliğinden dağılma indeksini vermektedir. Bu yöntemle alınan sonuçlara göre, bitümlü kömürlerde % 5' in altında olan dağılma indeksi, linyitlerde % 100' e kadar çıkabilmektedir (Ateşok 2009).

3.1.10 Aşındırıcılık

Kömürün aşındırma özelliği ekonomik yönden önemli bir faktördür. Bu özellik kömür maddesinden ziyade, kömürdeki artık maddelerden ileri gelir. Bu bakımdan özellikle madencilikte, kömür aşındırıcı bir madde olarak kabul edilir.

Madencilik işlemleri sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında meydana gelen aşınmalar, aşınan kısımların değiştirilmesini gerektirdiğinden, masrafa neden olur. Kömürün aşındırma özelliği toz yakıt kullanan santrallerde de öğütme araçlarında meydana getirdiği büyük aşınmalardan dolayı önem taşır. Bu nedenle kömürün aşındırma özelliği, toz yakıt tesisleri için kömür seçiminde dikkate alınması gereken bir husustur.

Kömürün aşındırma özelliğini laboratuvar deneyleri ile saptamak mümkündür. Ancak kömür heterojen bir malzeme olduğundan tek parçalar üzerinde yapılan aşındırma deneylerinin pratik bir değeri yoktur. Endüstriyel olarak yararlanabilmek için, deneylerin temsili kömür numuneleri ile yapılması gerekir. Bu konuda U.S. Bureau of Mines tarafından uygulanan bir yöntemde, demirden yapılmış 4 adet seyyar aşınma plakası kömür numunesi içinde belli bir süre döndürülmekte ve plakalarda meydana gelen ağırlık farkı bulunarak, kullanılan kömürün aşındırma derecesi saptanmaktadır (Ateşok 2009).

3.1.11 Sürtünme Katsayısı

Kömürün sürtünme katsayısı yüzeylerinde kömürün kaydığı oluklar, silolar, sabit elekler vb. gibi teçhizatın planlanmasında rol oynar. Sürtünme katsayısı ıslaklık, kayma yüzeyinin özellikleri, kömür türü, tane boyutu ve kil oranı gibi faktörlere bağlı olup, kömürün kayacağı yüzeyin sahip olması gereken en düşük eğimi tayin eder. Bu eğim kuru ince kömürde 16°'den, bazı ıslak ve killi kömürlerde 90°'ye kadar çıkabilir. Sürtünme katsayısı ayrıca stokların planlanmasında da önem taşır.

Kayma yüzeyine hareket halinde gelen bir kömürün yüzey üzerinde hareketine devam edebilmesi için gerekli olan en düşük eğim, hareketine yüzey üzerinde başlaması halinde gerekli olandan daha azdır. Her iki durumunda laboratuvar deneyleri ile incelenmesi mümkündür.

3.1.12 Renk ve Çizgi Rengi

Kömürlerin rengi, açık kahverengiden koyu siyaha kadar değişir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasındadır.

Üst sınıftaki kömürde ise siyahın açıktan koyuya kadar değişen çeşitli tonlarına rastlanır. Çizgi rengi, bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çizilerek elde edilir. Bitümlü kömürlerden daha düşük dereceli kömürlerin çizgi rengi sarı ile kahverengi arasında değişir. Bitümlü ve daha yüksek dereceli kömürlerin çizgi rengi ise kahverengi ve siyah arasındadır.

3.1.13 Parlaklık

Parlaklık, ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Işığın kuvvetli yansıdığı yüzeyler “parlak”, zayıf yansıdığı yüzeyler ise “mat” olarak tanımlanmaktadır. Kömürler mat ve parlak olabilmektedirler. Antrasit genellikle parlaktır fakat mat kısımları da bulunur. Linyitler daha ziyade mat ve toprağımsı görünüştedirler. Bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir. Bir kömürün yanma kalitesini parlaklığı ile kıyaslamak hatalıdır. Zira mat görünümlü bir kömür de parlak görünümlü bir kömür kadar iyi yanma özelliği taşıyabilir.

3.2 KÖMÜRLERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kömürlerin kalitesini ve özelliklerini ortaya koyan kalori (ısı değeri), elementel analizler (C, H, O, N) ve koklaşma özellikleri kömürlerin kimyasal özelliklerini oluşturur. Ayrıca kömürlerin iz element analizleri de yapılabilmektedir. Herhangi bir kömür kapalı kaptan havasız olarak ısıtıldığı zaman gaz, sıvı ve katı ürünler elde edilir. Gaz olanlar gaz yakıt, katı olanlar metalürji veya ısıtma tekniğinde yakıt olarak kullanılır. Katran adı verilen sıvı ürün ise, ihtiva ettiği kıymetli kimyasal maddelerden dolayı sıvı yakıt olarak kullanılmaz, damıtılmak üzere toplanır. Geçen yüzyılda katran, kok fabrikalarının lüzumsuz bir maddesi olarak kabul edilirken, içinden çıkarılan maddelerin birçok kimya sanayinde kullanılmasının mümkün olduğu görülünce, üzerinde önemle durulmaya başlanmıştır. Birçok ülkede katranın yakılması kanunla yasak edilmiştir.

Katranın içeriği kömürün cinsine, kömürün ısıtılma şartına ve ısı derecesine bağlıdır. Taşkömürünün düşük sıcaklıkta ısıtılmasından ortaya çıkan katran daha fazla parafinik ve metan sınıfından maddeleri içerdiği halde, yüksek sıcaklıkta ısıtılmasından meydana gelen katran, daha az parafinik ve metan sınıfından maddeler içerir. Örnek olarak bir kok fabrikasından elde edilmiş katran, taşkömürü katranı siyah renkte, koyu kıvamlı, yaklaşık 1,2 yoğunluğunda bir sıvıdır. Kokusu naftalini andırır. % 5 su, % 45 yağlı maddeleri ve % 53 zift içerir. Yapısında bulunan madde grupları:

1. Metan sınıfından C ve H' lar
2. Etilen sınıfından C ve H' lar
3. Asetilen sınıfından C ve H' lar
4. Siklopentadiyon

5. Benzol sınıfından karbonlu hidrojenler
6. Dihidro, Tetrahidro
7. Stiro1
8. İnden
9. Naftalin
10. Difenil
11. Fluoren
12. Antrasen
13. Oksijenli bileşikler; alkoller, ketonlar , fenoller.....
14. Kükürtlü bileşikler
15. Azotlu bileşikler; anilin, piridin.

Her ne kadar benzen, tolüen ve diğ1er aromatik hidrokarbonların çok büyük bir miktarı şimdi petrolden yapılmakta ise de, aromatik bileşiklerin en önemli kaynağı kömür katranıdır. Kömür katranı, kömürün 1100-1300 °C' de ısıtılarak distile edilmesinden meydana gelen viskoz bir üründür, bakiye olarak kalan madde ise kok' tur. Katran tekrar distile edilerek, parafinler, doymamış hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonların oksijenli, azotlu ve kükürtlü bileşikleri elde edilir.

Kömür katranının yüzden fazla bileşeni aromatik hidrokarbonlardır. Benzenin çok faydalı türevleri tolüen ve ksilen' dir. Naftalin kömür katranında çok fazla olan bir bileşiktir, onun yaklaşık % 6' sını teşkil eder. Antrasen çok önemli olan antrakınon boyalarının önemli bir maddesidir.

BÖLÜM 4

KÖMÜRÜN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma, Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmüş Müessesesi Bağlık-İnağzı kömürlerinin fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler ile karakteristik özelliklerini belirleme kapsamında yapılan bir çalışma olduğu için, petrografik özellikleri ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Kömür yapısı itibariyle heterojen bir maddedir. Çeşitli fiziksel ve kimyasal bileşimdeki bitkisel kısımların metamorfizması ile oluşmuş, yanabilir bir kayadır. Orijinal durumdaki bitki kısımlarının ve kömürleşme sürecinin farklılığı, kömürlerde fiziksel ve kimyasal yapıdaki oluşumları meydana getirir. Bu oluşumlar genellikle bantlı yapıdadır ve gözle seçilebilir. Kömürün iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanılması bunun içindeki oluşumların (litotiplerin) tanınmasına, bilinmesine ve gerektiğinde birbirlerinden ayrılmasına bağlıdır. Kömürün ince kesit veya parlatma halinde hazırlanması ile yapılacak mikroskop incelemeleri, bu oluşumlarında değişik yapıda ve gözle seçilemeyen bitki parçalarından oluştuğunu ortaya koyar. Litotipleri meydana getiren bu bitki parçacıklarına “maseral” adı verilir.

Kömürlerde yapılan petrografik çalışmalar, çeşitli bitki topluluklarından farklı kimyasal, fiziksel ve teknolojik özellikli değişik litotipli ve mikrolitotipli kömürlerin türediği sonucuna ulaşılmıştır. Bitümlü kömürlerin ve linyitlerin büyük bölümü orman bataklıkları kökenlidirler.

Deniz etkisinin söz konusu olduğu ortamlarda yataklanan kömürlerin kül, kükürt ve azot içerikleri yüksek olur aynı zamanda bol denizel fosiller içerirler. Bu tür kömürler, jeokimyasal kömürleşme derecelerinden beklenenden daha yüksek oranda uçucu madde içerirler. Ortamın pH' ı yüksek olduğundan bakteri etkinliği sonucu hümkü unsurların bir bölümü parçalanır ve vitrinit yapı özelliklerini yitirir, fusinit bulunmaz, pirit oranı yüksektir (Özpeker 1988).

Kömürlerin ilk mikroskopik incelenmesi İngiltere’de Lindley (1830) tarafından yansıyan ışıktaki yapılmıştır. Modern kömür petrografisi üzerine çalışmalar yine bu ülkede Stopes (1919) tarafından gerçekleştirilmiştir. Stopes bantlı taşkömürlerinde görülebilen dört makropetrografik bileşeni ilk kez uluslararası bir yayın olarak sunmuştur. Amerika’da Thiessen (1920) kömürün ince kesitlerde gözlenen özelliklerine dayanan bir sistem geliştirmiştir. Stach (1927) ise parlatma blokları tekniğini kullanmış ve geliştirmiştir. Günümüzde, kömürlerin uluslararası sınıflamalarında ve mikro bileşenlerine Stopes–Heerlen sistemi olarak adlandırılan yansıyan ışıktaki çalışmalar esas alınır (Özpeker 1988).

Kömürleri oluşturan makroskopik ve mikroskopik yapı maddelerini en büyük üniteden başlayarak aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

4.1 MAKROPETROGRAFİK YAPICILAR

Kömürler, makroskopik olarak yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Bu karakteristik bantlar onların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi gösterir. Çıplak gözle görülebilen bu bantlı bileşenlere “Litotip” denilir (Özpeker 1988).

Uluslararası Kömür Petrolojisi Komitesi (ICCP) tarafından kabul edilen Stopes–Heerlen sistemine göre taşkömürleri dört ayrı litotip içerir.

4.1.1 Vitren (Vitrain)

Kompakt ve homojen tabakalar halindeki, en parlak kömür tipidir. Kırığı camsı görünüşte, parlak konkoidal küpler şeklindedir, eli boyamaz. Tabakalarının kalınlığı genellikle 3–5 mm arasında değişir. Mikroskopta, ışığı geçiren ve nadir bitkisel kalıntıları bulunduran homojen bir ortam şeklinde görülür.

4.1.2 Klaren (Klarain)

Parlaklığı vitren ile duren arasında, kompakt ve az çok tabakalanmış kömür tipidir. Bantlaşma yüzeylerine dik, çok sayıda çatlakları olan kömür bandıdır. İnce kesitlerde ışığı iyi geçirir. Değişik bitki kalıntıları bulundurur. Donuk şeritler içerir.

4.1.3 Duren (Durain)

Mat siyah veya kahverengimsi siyah renkte, masif, çok sert, kırığı taneli olan bir kömür tipidir. Tabakalarının kalınlığı en fazla 10 cm civarındadır. İnce kesitlerde ışık geçirgenliği azdır. Kömürün donuk bandıdır. İçinde spor ve kütiküller bulundurulur. Vitren ve klaren'den daha nadir olarak bulunurlar.

4.1.4 Fusen (Fusain)

Kömür bantları arasında odun kömürünü andıran ipliksi yapılı, siyah ve grimsi siyah renkli, kırıldığında eli boyayan, çok kırılğan ve toz haline gelebilen bir banttır. Bazı hallerde içerdiği minerallerden dolayı sertlik kazanabilmektedir, fakat parlaklık derecesi değişmez. Uzunlukları 1-2 cm ye ulaşan ve 1 cm dolaylarında kalınlığa sahip olan fusen, mercekler veya tabakalar halinde bulunabilir. Diğer litotiplerden kolaylıkla ayrılır.

4.2 MİKROPETROGRAFİK YAPICILAR

Mikroskopta kömürün bitki kökenli üç bileşeni görülebilmektedir. Kömürde biçim ve yapısı mikroskobik olarak tanınabilen en küçük organik birimlere, inorganik kayalardaki minerallere benzediklerinden dolayı “**Organik Yapıcı**”, “**Maserall**” adı verilmektedir. Maseraller biçim ve yapıları ile kömürleşme sürecinde korunmuş olan kömürleşmiş bitki kalıntılarıdır. Organik yapıcılar kendilerini oluşturan bitki kalıntılarındaki fiziksel ve kimyasal yapılarına göre üç ana maseral kümesinde toplanmaktadır. Üç maseral kümesi farklı bileşimde olduklarından ışığı yansıtma güçleri ile ayrılmakta olup, biçimlerine göre bölümlenmiş basit mineralleri içerirler. Maseraller, maseral kümeleri ve mikrolitotipler kömürlerin mikroskobik yapıcılarıdır (Özpeker 1988). Kömürlerin petrografik elemanları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

4.2.1 Maseraller ve Maserall Grupları

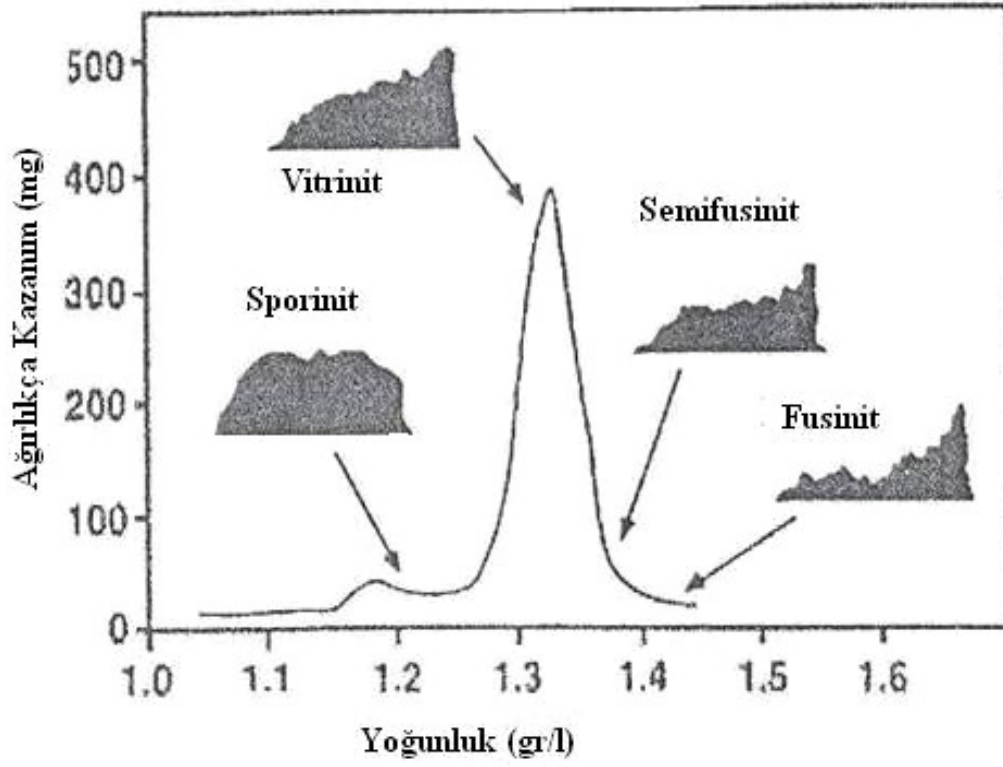
Kömürün organik bileşenlerine organik yapıcı veya alorif yumuşama anlamında “maseral” denir. Maserallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri çok değişkendir. Kristalize değildir. Türleri ancak mikroskopta ayırt edilir.

Maseraller kömürlerin elementel petrografik yapı maddeleridir. Çok değişik numuneler üzerinde yapılan refleksiyon etütleri bir çok maseralın varlığını ortaya koymuştur.

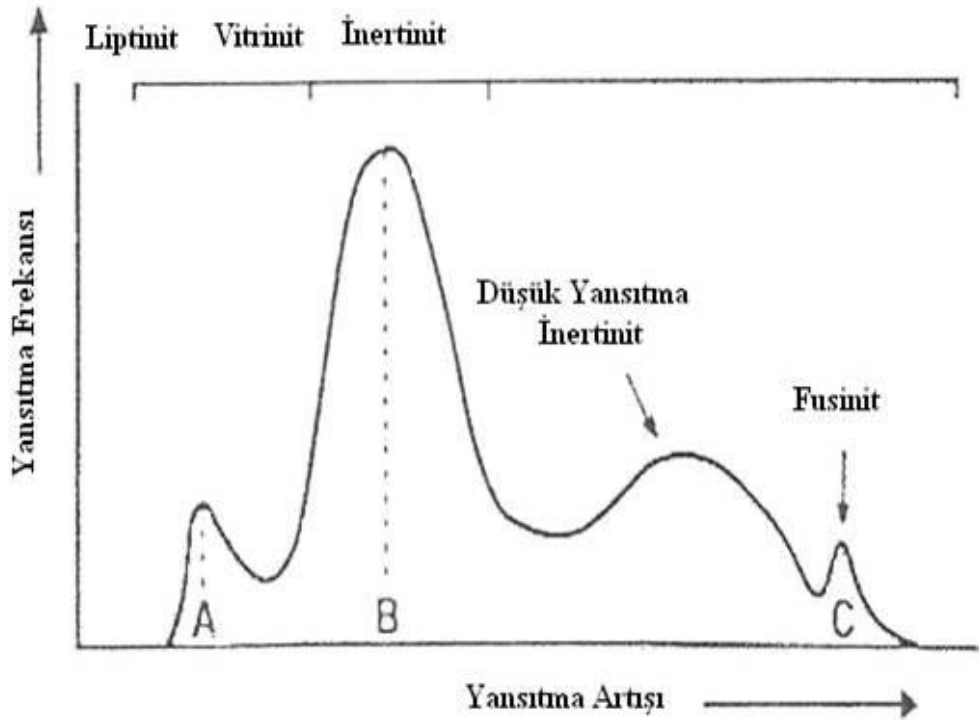
Crelling (2006)'ın yaptığı çalışmadan alınan ve Şekil 4.1 ve 4.2' de sunulan şekillerin incelenmesiyle görüleceği üzere maserallerin yoğunlukları ve yansıtma değerleri farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.1 Kömürlerin petrografik elemanları (Ateşok 2009).

Makroskobik bileşenler	Mikroskobik bileşenler			
Litotipler	Maseraller		Mikrolitotipler	
Bantlı Bileşenler	Maseral	Maseral Grup ve Sembolleri	Mikrolitotip Grup	Mikrolitotiplerde Bileşen Maseral Ana Grupları
Vitren	Kollinit Telinit Vitrodetrinit Pseudovitrinit	Vitrinit (V)	Vitrit Vitrinertit	$V > \% 95$ $V + I > \% 95$
Fusen	Makrinit Mikrinit Semifusinit Fusunit Sklerotinit İnertodetrinit	İnertinit (I)	İnertit	$I > \% 95$
Klaren	Kütinit Resinit Sporinit Alginit Liptodetrinit	Eksinit ULUSLAR ARASI (Liptinit)	Liptit	$E > \% 95$
Duren	Tüm Maseralleri Kapsar		Klarit Durit Duraklarit (V I) Klarodurit (I V) Vitrinertoliptit	$V+E > \% 95$ $I+E > \% 95$ $V+E+I > \% 5$ $I+E+V > \% 5$ $E+I+V > \% 5$



Şekil 4.1 Maserallerin yoğunluk değişimleri (Crelling 2006).



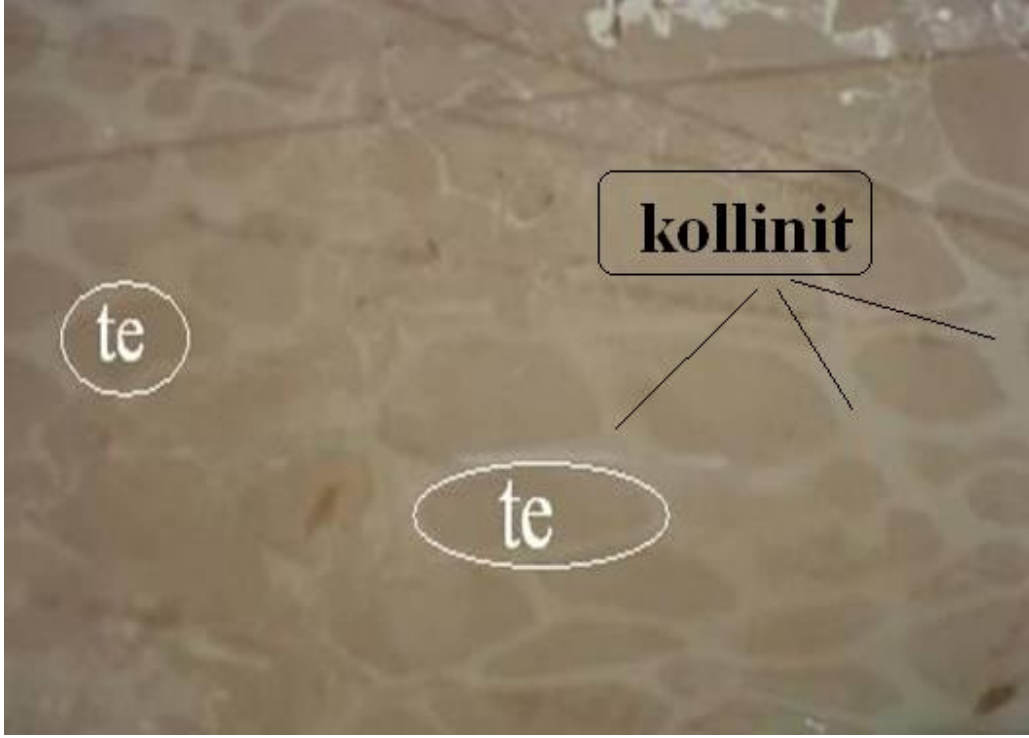
Şekil 4.2 Maserallerin yansıtma değerlerindeki değişimler (Crelling 2006).

4.2.1.1 Vitrit grubu maseraller

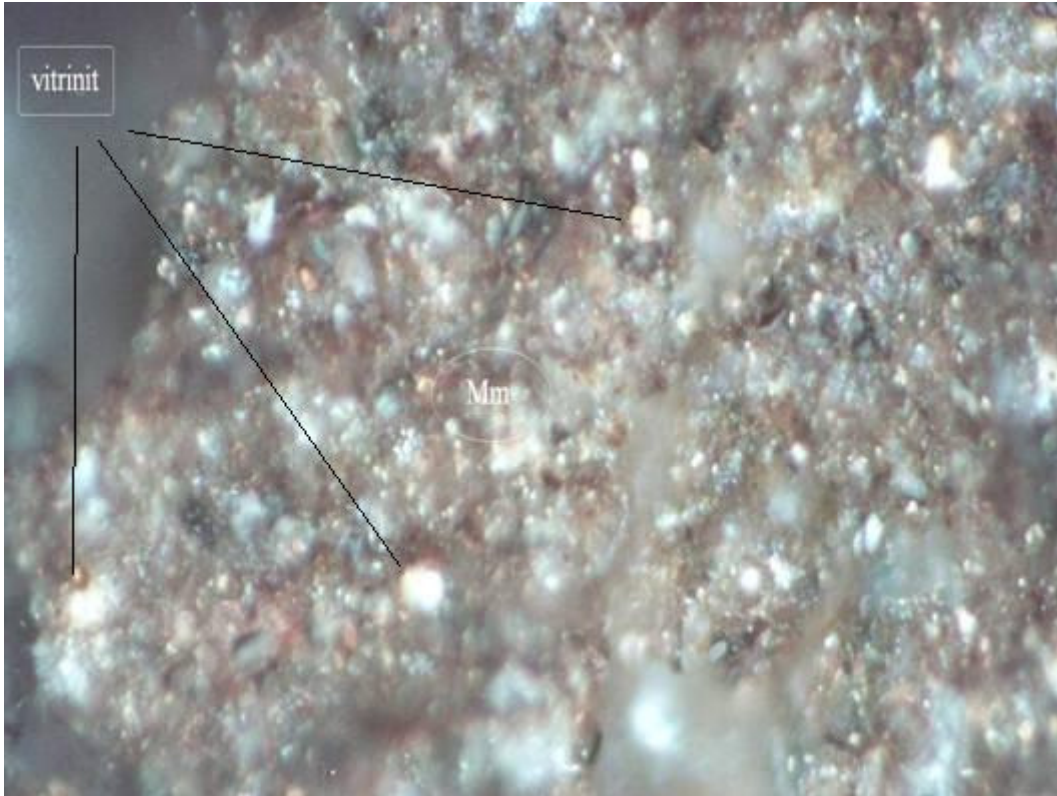
Koklaşma özelliği ve metalürjik kok üretimi açısından çok önemli bir maseral grubudur. Uçucu madde oranı % 19-33 (saf kömür bazında) arasında olan vitrit, 350-500 °C' ler arasında plastikleşerek kömüre koklaşma özelliği kazandırmaktadır (Vankrevelen 1961). Bu değerlerden daha yüksek ve daha az uçucu madde içeren vitritler ise plastikleşme, yani koklaşma özelliğini kaybetmektedir (Kemal ve Arslan 1999).

Bu maseraller taşkömürlerinin en önemli maseral grubu olup hümit maddelerin kömürleşme ürünüdürler. Vitritin özellikleri kömürleşme derecesi ile değişmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça, yansıyan ışıktaki rengi siyahımsı griden beyaza kadar değişir. Bitki hücre duvarlarının lignin, alor ve selülozlarından, hümit asit etkisi ile çekirdekteki OH, COOH, OCH₃ gibi kümelerin ayrılması ile oluşurlar. Bu durum vitrit maserallerinde optik özelliklerin düzenli değişimine neden olduğundan, kömürleşme derecelerinin saptanmasında vitrit yansıtma değerlerinin ölçümü kullanılmaktadır. Kömür derecesi yükseldikçe vitrit bileşiminde oksijen ve uçucu madde oranı azalır, buna karşılık aynı oranda karbon oranı artar. Hidrojen başlangıçta artar daha sonra düşer. Uçucu madde kömürün aromalaşmayan bölümünü belirlediği için vitrit yansıtma oranıyla uçucu madde arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Vitrit yansıtma oranının ve anizotropisinin kömürleşme sürecinde artmasının nedeni, basınç altındaki aromatik hümit pıhtı tanelerinin, katmanlaşma düzlemlerinde dizilmeleridir (Özpeker 1988).

Kollinit; vitritin biçimsiz bileşeni olup bazen telinit boşluklarını doldurmaktadır (Şekil 4.3). İçinde bitkisel yapıların gözükmediği gri, bazen sarımsı beyaz renkli bir maseraltır. Başka maseraller arasında çimento görevi yapabilir. Masif yuvarlak ve oval şekilde yalnız veya hücre dolgusu şeklindeki kollinitlere korpokollinit denir. Jel halinde mikrospor boşluklarında da bulunabilir. Genellikle hücre dokusu şeklinde yapısı olan telinit boşlukları kollinit, resinit, mikrit veya kil ile doludur. Dentritik vitritlere vitrodentrit adı verilmektedir. Pseudovitrit; kollinit'ten daha yüksek yansıtma gösteren, köşeli kırılmalı, çatlaklı ve koklaşmada tamamen asal davranan bir maseraltır. Vitritler % 77-96 karbon, % 1-6 hidrojen, % 1-16 oksijen içerir. Uçucu madde oranları % 2-45' tir. Yoğunlukları 1,3-1,8 gr/cm³' dür. Vitrit ve mineral maddelere ait mikroskopik bir görüntü Şekil 4.4' de, vitrit içindeki pirit tanelerini gösteren bir görüntüde Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.3 Kollinit ve tellinit'e (Te) ait görüntü.



Şekil 4.4 Vitrinit ve mineral maddelere ait görüntü.



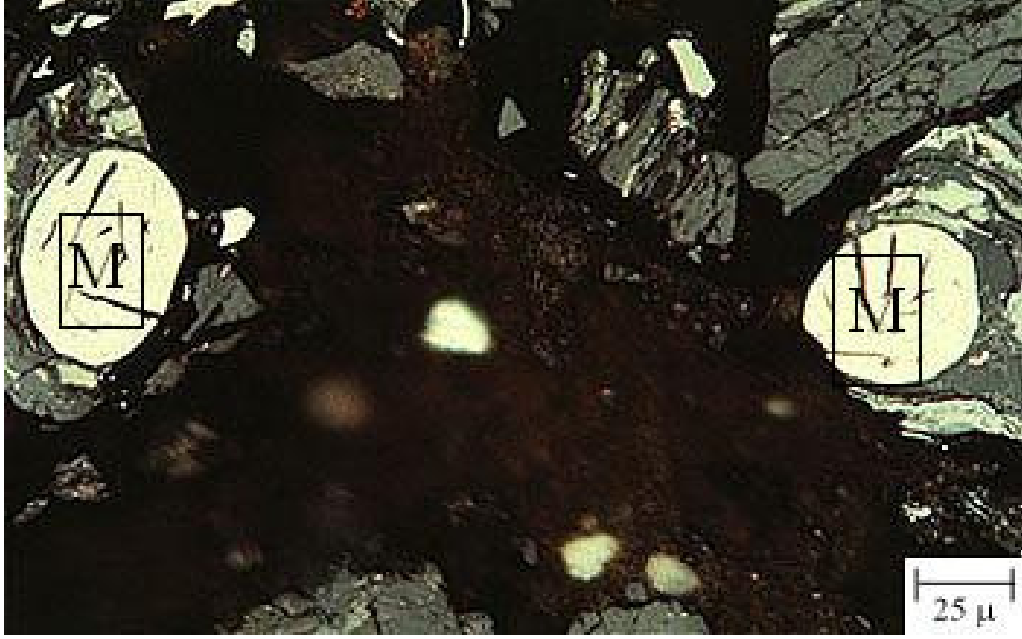
Şekil 4.5 Vitrinit içerisindeki pirit (P) tanelerine ait görüntü.

4.2.1.2 İnertinit grubu maseraller

Bu grubun maseralleri hidrojen açısından fakir, karbon açısından zengin olduklarından koklaşma sürecinde reaksiyon göstermezler. Yansıyan ışıktaki beyaz renkte olup üç maseral grubu arasında en yüksek yansıtmaya sahiptirler. Büyük bir kısmı belirgin hücre yapısı gösterir. Vitrinit gibi bitki hücre duvarlarının linyin ve selülozlarından, mantarlardan türerler; fakat oluşum süreçleri farklıdır. Çökelmeden önce oksitlenme ve parçalanma olmaktadır. Daha önce kömürleştiklerinden, esas kömürleşme sürecinde oksijen ve hidrojen kaybederek karbon açısından zenginleşirler ve yansıtma dereceleri yükselir. Mikrinit, makrinit, semifusinit, fusinit, sklerotinit ve inertodetrinit maseralleri inertinit grubunu oluşturmaktadır (Özpeker 1988).

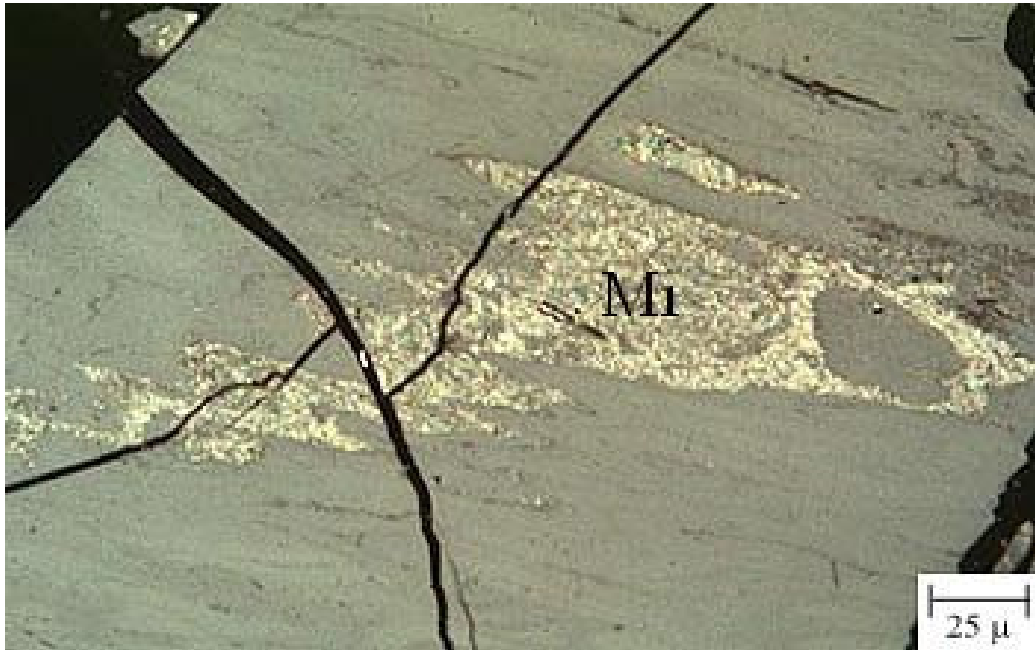
Isıtıldıklarında her hangi bir yumuşama ve plastikleşme göstermezler. Sadece termik parçalanmaya uğrayarak gaz ve sıvı ürünler verirler. Geride kalan kok ise, toz halindedir (Kemal ve Arslan 1999).

Makrinit; 10 mikrondan büyük, masif şekilsiz olup hücresel yapı göstermeyen jel tipindedir. Şekil 4.6'da makronite ait mikroskopik görüntü yer almaktadır.



Şekil 4.6 Makrinite (M) ait görüntü (Crelling 2006).

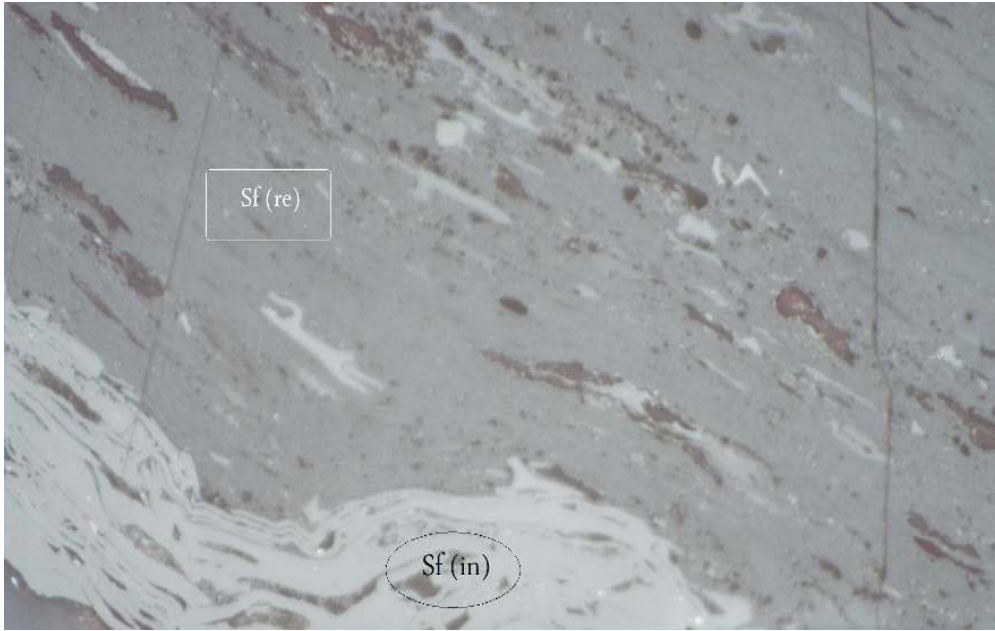
Mikrinit; hücresel yapıya sahip olmayan, yuvarlak ve çok küçük taneler (yaklaşık 1 mikron) halinde olması ile karakteristik olup vitrinitin hücre dolgusu şeklinde de oluşabilmektedir. Şekil 4.7’ de mikrinite ait bir görüntü verilmektedir.



Şekil 4.7 Mikrinite (Mi) ait görüntü (Crelling 2006).

Semifusinit; vitrinit ve fusinit arasında geçiş oluşturur. Rengi açık griden beyaza kadar

değişen, hücre yapısı biraz korunmuş, yansıtması diğer maserallere göre düşüktür.



Şekil 4.8 İnert (in) ve reaktif (re) semifusinite (Sf) ait görüntü.

Fusinit; en fazla karbon içeren, odun kömüründen oluşan özellikle taşkömürlerinde bulunan, iyi korunmuş hücre yapıları (elek ve kırıklı yapı) ve sarımsı rengi ile karakteristik, yansıtması en yüksek maserallerdir. Şekil 4.8 ve 4.9’ da semifusinite ait mikroskopik görüntüler yer almaktadır.

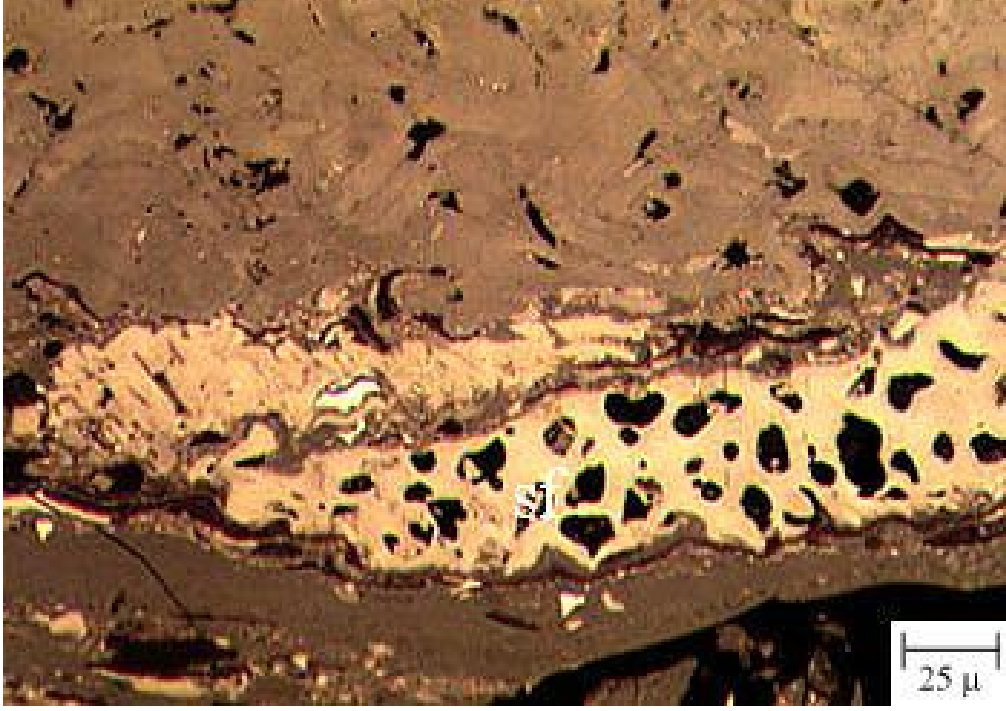
Şekil 4.10’ da görülen sklerotinit; mantar kalıntılarından oluşan, yaşına göre yassı, hücreli veya hücreli olmayan değişik şekilli yapıda, beyaz renkli, yansıtması yüksek maserallerdir.

İnertodetrinit; yansıtması oldukça yüksek, küçük taneli (30 mikrondan küçük), genelde fusinit, semifusinit ve sklerotinit kırıklarından oluşan vitrinit’ten yüksek yansıtmaya sahip maserallerdir (Özpeker 1988). Şekil 4.11’ de inertodetrinit, vitrinit ve semifusinit görünmektedir.

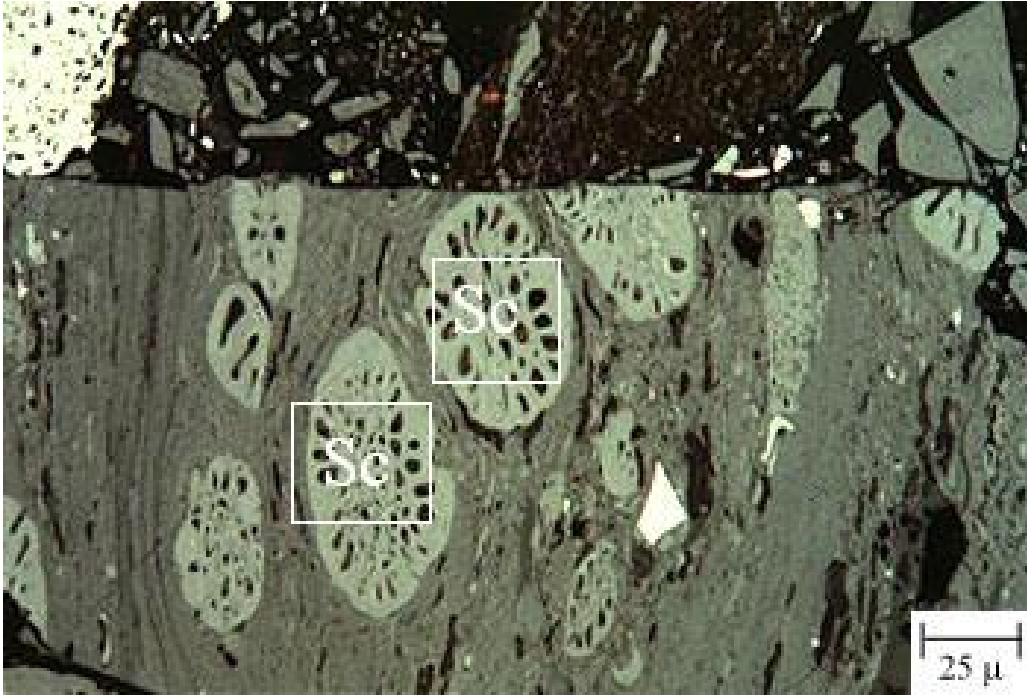
4.2.1.3 Eksinit (Liptinit) grubu maseraller

Protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozunması sonucu oluşan, yansıtma derecesi en düşük olan gruptur. Hidrojen içerikleri vitrinit’ten daha yüksektir. Isı artışı ile

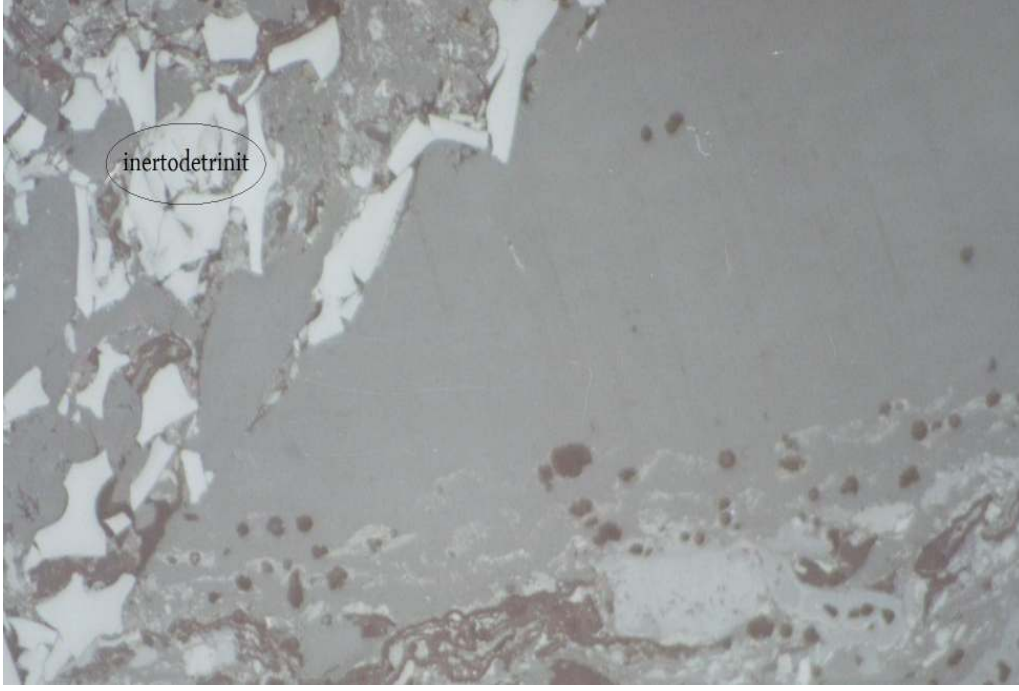
kimyasal yapılarındaki parçalanmalar çok hızlı olmakta ve özellikle bitümlü kömürlerde ani bir değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.9 Semifusinite ait görüntü (Crelling 2006).



Şekil 4.10 Sklerotinite (Sc) ait görüntü (Crelling 2006).



Şekil 4.11 İnertodetrinite ait görüntü.

Kömürleşme derecelerinde uçucu madde oranı % 28' e (vitrinit' te) kadar düzenli bir artış görülürken, bu değerde ani bir yükselme olmaktadır. Yansıyan ışıktaki kömürleşme derecesi artışına göre sarı-kahverengi-siyah renkler göstermektedirler. % 0,5–0,8 R_o arasında maksimum kömürleşme derecesine sahip kayalardan petrol üretilebilmektedir. Kütinit, resinit, sporinit, alginite, suberinit ve liptodetrinit maseralleri bu gruba dahildir (Özpeker 1988).

Liptinit grubu maseraller kömürlerde genellikle % 5-10 arasında bulunurlar. Isıtıldıklarında (350–500 °C' ler) vitrinite göre daha akışkan bir kütle oluştururlar. Yüksek uçucu madde içerikleri dolayısıyla, kok verimleri vitrinitlerden azdır. Eksinit grubuna giren maseraller de, koklaştırmada aktif rol oynar (Kemal ve Arslan 1999).

Şekil 4.12'de görülen kütinit; dik olarak yerleşmiş yaprak kütikülleri tarafında meydana getirilir, koyu gri veya siyah renkte, ince ve kalın duvarlı olabilen maserallerdir.

Resinit; bitki metabolizma ürünü olan, küçük yuvarlağımsı yapılar şeklinde, genellikle hücre dolgularında görülen parlak yüzeylerde kütinit ve sporinit'ten daha koyu ve en fazla hidrojen içeren maserallerdir. Yansıyan ışıktaki siyah veya gri, transparans yoluyla yapılan incelemelerde (özellikle uçucu maddesi % 20' nin üzerinde olan kömürlerde) portakal sarısı renktedir.

Yuvarlak, oval veya çubuklar halinde olabildiği gibi, oldukça uzun tabakçıklar halinde de oluşurlar. Şekil 4.13’ te resinit ve kütinite ait görüntü görülmektedir.



Şekil 4.12 Yaprak şeklinde kütinite (kü) ait görüntü (Crelling 2006).



Şekil 4.13 Resinit ve kütinite ait görüntü.

Eksudatinit, liptinit maserali olup, damar şeklinde dolgular halinde liptinit ve hüminitlerin lipid bileşenlerinden gelişen, tüm maseraller içinde organik olgunlaşmanın maksimum olduğu maserallerdir (Özpeker 1988).

Alginit; bazı kömürlerde bulunan, alg kökenli hücre grupları şeklindeki maseraldır. Suberinit; kütinite benzeyen, hücre dokusu şeklindeki maseraldır. Liptodetrinit; spor, kütin, reçine ve alg kırıntıları içeren, sulu ortamlarda oluşan kömürlerde karakteristik maseralidir (Özpeker 1988).

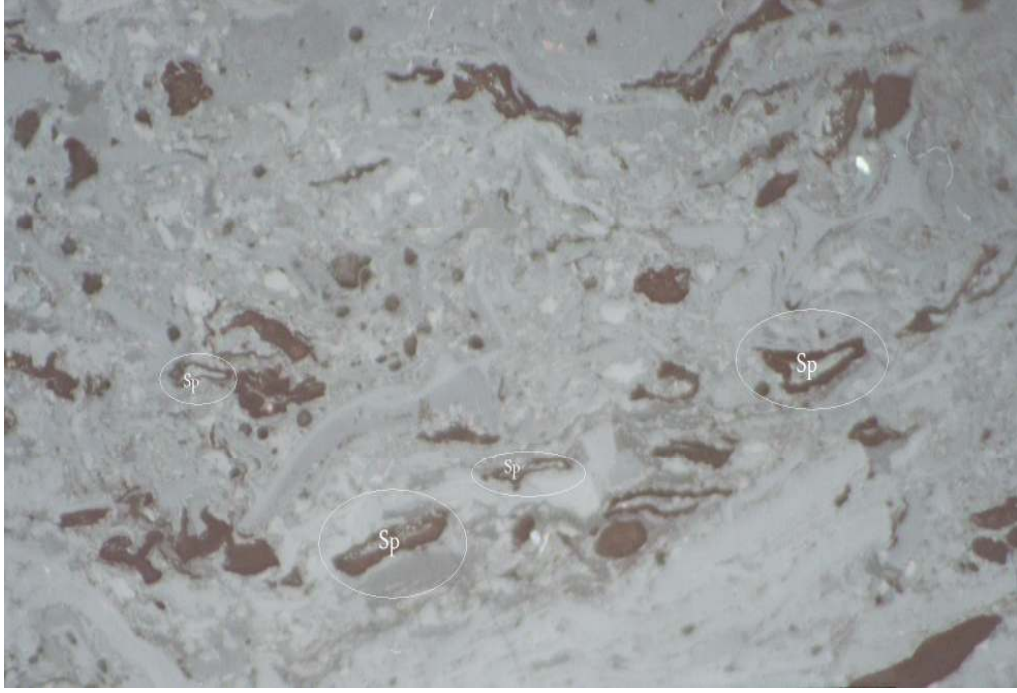
Sporonit; genellikle tabakalanmaya paralel olarak yassılaştırmış spor ve polenlerden meydana gelmiştir. Klaren litotipinin ana maserali olup, koyu renktedir. Antrasitte hiç görülmez. Uçucu maddesi fazla olan kömürlerde ise kırmızı renk alır. Sporların, floresans ışık altında ve normal ışık altındaki görünüşleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de yer almaktadır.



Şekil 4.14 Floresans ışık altında, spora (Sp) ait görüntü.

4.2.2 Mikrolitotipler

Değişik maseral kümelerinin bir araya gelmesinden oluşmaktadırlar. Maserallerin mikroskopik ölçekteki karışımlardan oluşan mikrolitotipler, tek maseralli, iki maseralli ve üç maseralli olarak üç gruba ayrılırlar (Çizelge 4.2). Maserall grupları 50 mikrondan birkaç yüz



Şekil 4.15 Normal ışık altında, spora (Sp) ait görüntü.

Mikrona kadar olan, mikrobantlar şeklinde tanımlanır. Mikrolitotiplerin sınıflanmasında minimum bant genişliği 50 mikron olup mineral birliklerinin %5'ten az olanları sayılmaz. Mikrolitotiplerin sertlikleri maseral kompozisyonu, mineral içeriği ve tektonik etkiye bağlıdır.

Çizelge 4.2 Mikrolitotiplerin sınıflandırılması (Stach 1982).

Mikrolitotip	Maseral grup kompozisyonu	Maseral grubu
Vitrit	Vitrinit (V) > % 95	V tek maseralli
Liptit	Liptinit (L) > % 95	L tek maseralli
İnertit	İnertinit (I) > % 95	I tek maseralli
Klarit	V+L > % 95	V+L iki maseralli
Durit	I+L > % 95	I+L iki maseralli
Vitrinertit	V+I	V+I iki maseralli
Duraklarit	V+L+I	(V,L,I) V>I+L üç maseralli
Vitrinertoliptit	V+L+I	(V,L,I) L>V+I üç maseralli
Klarodurit	V+L+I	(V,L,I) I>V+L üç maseralli

BÖLÜM 5

ÖĞÜTME SİSTEMLERİ VE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK

Genel olarak katı bir maddenin kendinden daha küçük parçalara bölünmesi işlemine boyut küçültme denilmektedir. Bu işlem sırasında uygulanan kuvvetin, katının iç bağlantı kuvvetlerini yenecek büyüklükte olması gerekir. Boyut küçültme işlemleri kırma ve öğütme olarak adlandırılır.

5.1 ÖĞÜTME SİSTEMLERİ

Öğütme, ufalama sürecinin en son aşamasıdır. Bu işlemde cevher taneleri şok ve aşındırma işlemleri sonucu, kuru veya yaş olarak ufalanmaktadır. Öğütme işleminin gerçekleştirilmesinde en sık kullanılan öğütücü tipi, aktarılan ortam tipi değirmenler olup, bu değirmenler yatay eksenli etrafında dönen silindirik, konik veya silindirokonik gövdede olabilir. Bu gövde içinde öğütme ortamı denilen ve serbestçe hareket edebilen öğütme elemanları bulunmaktadır. Öğütme ortamı veya elemanları çelik çubuklar, bilyalar, sert kayalar bazı durumlarda ise cevherin kendisi olmaktadır. Öğütme işleminde partiküller genel olarak 2,5 cm' den 10 mikrona kadar öğütülebilmektedir.

5.1.1 Değirmenler

Bir değirmendeki öğütme, öğütme ortamının miktarına, hareket şekline ve öğütücü elemanlar arasındaki boşluklara bağlıdır. Bu özel durumlar dışında, öğütme yaş olarak yapılan bir işlemdir. Laboratuvar deneyleri dışında, öğütme sürekli olarak yapılır. Cevher ön görülen bir hızla, silodan değirmene beslenir, belli bir kalma süresinden sonra, taşımayla değirmeni terk eder. Öğütülen cevherin tane iriliği; öğütme ortamının tipi, değirmen dönme hızı, cevherin doğası ve kullanılan öğütme devresinin tipi tarafından kontrol edilebilir.

Değirmenlerin iç yüzeyleri astarlarla kaplıdır. Astarlar değirmen gövdesinin aşınma sonucu zarar görmesini önlemek ve öğütme elemanlarının değirmen içinde belirli bir yüksekliğe çıkmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Düşük dönme hızlarında veya astarların düz olması durumunda, öğütme elemanları yuvarlanarak aşağı yönde kayarlar. Bu harekete “**kaskedon**” denir ve sonucunda aşınma ile öğütme gerçekleşir. Kaskedon hareketi, oldukça ince tane oluşumuna ve değirmen astarlarının daha fazla aşınmasına neden olur. Yüksek hızlarda veya değirmen astarlarının düz olmaması durumunda öğütücü elemanlar, değirmen içinde daha yükseğe çıkar ve serbest düşme hareketi yaparlar. Düşükleri yerlerde bulunan cevher parçalarının, şok ve aşındırma yoluyla öğütülmesini sağlarlar. Bu harekete “**katarakt**” denmektedir. Değirmen dönüş hızı çok yüksek olursa, öğütme elemanları düşmeden değirmen astarına yapışık olarak kalır, öğütme gerçekleşmez. Öğütme elemanlarının değirmen iç yüzeylerine yapışarak, değirmenle birlikte dönmelerine neden olan değirmen hızına “**kritik hız**” denir. Değirmenler, uygulamada kritik hızların % 50-90 arasındaki hızlarda çalıştırılırlar.

5.1.1.1 Çubuklu değirmen

Bu tür değirmenler, ince kırma aygıtları olarak ele alınabilecekleri gibi kaba öğütme araçları olarak ta değerlendirilebilirler. Çubuklu değirmenlerin en belirgin özelliği, uzunluklarının çaplarının 1,5 ile 2,5 katı olmasıdır. Uzunluk/çap oranının 2,5’ ten fazla olmaması gerekmektedir. Aksi halde değirmen iç çapından 10 ile 15 cm daha kısa olan çubukların çok uzun olmaları söz konusudur. Çok uzun çubuklar, eğilme ve bükülme eğilimindedirler. Bu özellik değirmen uzunluğunu belirleyen bir unsur olmaktadır. Çubuklu değirmenlere beslenen cevherin tane boyutunun, değirmende birikimlerinin önlenmesi için 2,5 mm’ den daha ince olması istenmektedir. Beslenen cevherin nem oranının % 0 ya da % 50’ den daha yüksek olması gerekmektedir. Çubuklu değirmenlerde öğütme, genellikle yaş olarak yapılmaktadır. Kuru malzemenin akıcılığının düşük olması, çubukların bükülmesine ve çubuk şişmesine neden olmaktadır. Kok kömürü ve çimento klinkeri gibi özel durumlarda kuru öğütme kullanılmaktadır. Çubuklu değirmenlerin iç yüzeyleri, aşınmaya dayanıklı astarlarla kaplanmakta, astar malzemesi olarak Ni-Cr-Fe alaşımı, yüksek karbonlu çelik, manganez çeliği, lastik ve seramik kullanılmaktadır. Şekil 5.1’ de çubuklu değirmen şekli gösterilmiştir (Çayırılı 2012).



Şekil 5.1 Çubuklu değirmen.

Çapları 25-150 mm arasında değişen çubuklar değirmene şarj edilirler. İri besleme malı iri çubuk gerektirir. Çubuk şarj oranı hacmin % 35' i olduğunda optimum öğütme elde edilir. Çubuk aşınması, besleme malı, değirmen hızı, çubuk uzunluğu ve öğütme inceliği ile değişir. Çubuklu değirmenler kritik hızın % 50-65' i gibi bir hızla çalıştırılırlar. Pülp yoğunluğu, ağırlıkça % 60-75 katı arasındadır. İnce besleme malında bu oran düşürülür. Çubuklu değirmenlerde öğütme tarzı bilyalı değirmenlere nazaran farklıdır. Çubuklar arasında en iri cevher parçaları kadar aralık kalır. Öğütme hareketi en iri parça üzerinde toplanır ve elde edilen ürün, bilyalıya nazaran daha iri ve birbirine daha yakın boyuttadır.

5.1.1.2 Bilyalı değirmen

Bilyalı değirmenler, ufalama sürecinin en son aşamasında kullanılmakta ve daha ince öğütme için tercih edilmektedirler. Bilyalı değirmenlerde öğütme işlemi, yaş veya kuru olarak yapılabilmektedir. Kuru öğütmede, cevherin nem içeriğinin % 1' den az olması cevherin hem bilyalara hem de astarlara yapışmasını önlemek için önemlidir. 3 cm çaplı bilyalar içeren bir değirmende beslenen cevher tane boyutu yaklaşık olarak 1 mm' dir. Şekil 5.2' de bilyalı değirmen modeli gösterilmiştir. Bilyalar, dökme çelik, dökme demir veya dövme çelikten üretilirler. Genel olarak, bilyalar küresel şekillidir. Bununla beraber, silindirik, konik ve diğer düzensiz şekilli olanlar da kullanılmaktadır. Bilyalar, normal olarak, değirmen hacminin % 40 ile % 50' sini kaplar. Değirmene verilmesi gereken enerji, şarj miktarı ile artar. Değirmen hacminin % 50' si şarj edilirse harcanan enerji maksimum olur. Optimum değirmen hızı da şarj hacmi ile artar.



Şekil 5.2 Bilyalı değirmen.

Bilyalı değirmenlerin öğütme verimini etkileyen birkaç faktör vardır. Beslenen cevherin pülp yoğunluğunun mümkün olduğu kadar yüksek olması gerekmektedir. Çok sulu pülp, bilyaların birbiri ile temasının artmasına, ortam aşınmasına ve verimin düşmesine neden olur. Cevhere bağlı olarak % 65-80 katı pülp yoğunluğunda çalışılmaktadır. İnce öğütmede daha düşük pülp yoğunlukları istenir. Pülpün viskozitesi ince tane miktarı arttıkça artar. Bilyalı değirmenler genellikle çubuklu değirmenlerden daha yüksek hızlarda çalıştırılırlar. Bilyaların katarakt etkisi ve dolayısı ile parça üzerindeki darbe arttırılır. Santrifüj etkisi olmadan mümkün olan en yüksek hızlar kullanılır. Bu hız kritik hızın % 70-80' i kadardır (Çayırılı 2012).

5.1.1.3 Otojen değirmen

Otojen öğütme, tüvenan veya iri kırılmış cevherin, herhangi bir öğütücü ortam kullanılmaksızın, bir değirmende kendi kendine öğütülmesi anlamına gelir. Uygun cevherlerde bu tip öğütme, öğütücü ortam masrafını ortadan kaldırmakta, daha düşük oranlarda ince malzeme ve şlam verebilmektedir. Yarı otojen öğütmede ise, tüvenan veya ince kırılmış cevherin, bir değirmende, metal bilyaların da kullanılmasıyla (değirmen hacminin % 6-10' u kadar) öğütülme yapılması demektir. Otojen değirmenler genellikle kritik hızın % 80-85' i kadar bir hızla çalıştırılırlar. Besleme hacmi ve değirmen gücü besleme hızı ile değişir. Genellikle, çap/uzunluk oranı yüksek olduğunda besleme hızı, hacmin % 35-40' ı civarında tutulmaktadır. Daha yüksek hacimlerde besleme, boğaz boşluğundan taşmalara neden olur. Otojen değirmenlerde güç sarfıyatı önce hacmin % 40' ına kadar doğrusal bir artış gösterir sonra bir denge yakalayarak istikrarlı bir konumda enerji tüketilir. Otojen değirmenlerde bir

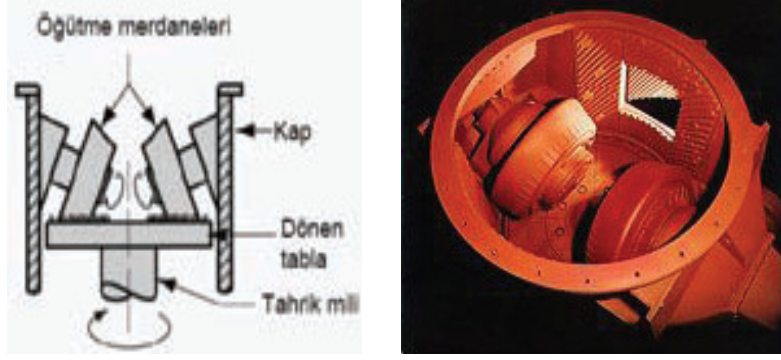
ünitede 25 cm' den 100 mikrona kadar öğütme derecesi elde edilir. Örnek bir otojen değirmen Şekil 5.3' te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Otojen değirmen.

5.1.1.4 Valsli (Silindirli) değirmen

Bu tür değirmenlerde öğütücü silindirler (rulolar), sabit veya hareketli bir tabla üzerinde dönmekte, tabla ve rulo arasında kalan cevher basma ve sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile ufalanmaktadır. Tablalar öğütme rulolarının şekline göre düz veya oluklu olabilmektedir. Öğütme ruloları üzerine istenilen boyuta ve kapasiteye göre belirli bir basınç uygulanır. Öğütülmüş malzeme ortamdan havalı separatörlerin (emici fanların) oluşturduğu hava akımı ile ya da kömürün öğütülmesinde olduğu gibi kimyasal olarak aktif olmayan (inert) sıcak gazlar ile sürüklenerek alınır. Klasifikatöre giren öğütülmüş malzeme incesinden ayrılır ve irilerle tekrar öğütmeye devam edilir. Kapasiteleri cihaz gücüne ve boyutuna bağlı olarak 2 ile 600 ton/saat arasında değişebilir. Motor güçleri ise 4000 kw' a kadar çıkabilmektedir (Kemal ve Arslan 1999). Şekil 5.4' te Valsli değirmenin çalışma prensibi ve ruloların görünüşü verilmiştir.



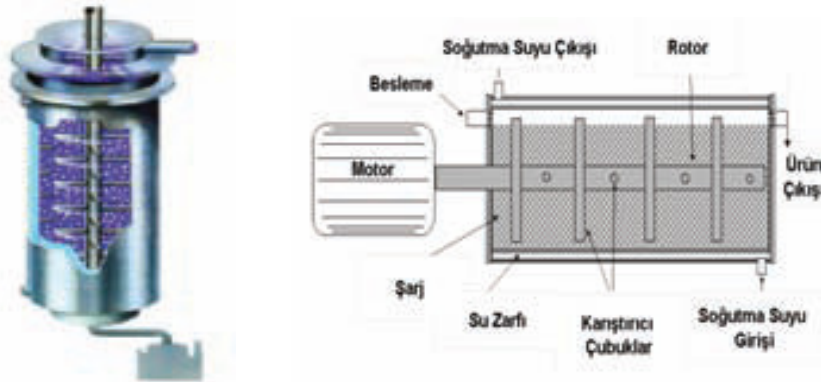
Şekil 5.4 Valsli değirmenin çalışma prensibi ve ruloların görünüşü.

5.1.1.5 Karıştırılmalı bilyalı değirmen

Cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan mevcut değirmenler ile malzemelerin ekonomik olarak çok ince boyutlara öğütülmesinin fiziksel olarak mümkün olmaması nedeniyle karıştırılmalı ve titreşimli bilyalı değirmenler kullanılmaktadır. Bu ekipmanların her biri kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla birlikte, son yıllarda madencilikte karıştırılmalı değirmenler üzerinde önemle durulmaktadır. Karıştırılmalı değirmen içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle bu tip ekipmanlarda, özgül enerji tüketiminin tamburlu ve titreşimli bilyalı değirmenlerle karşılaştırıldığında, oldukça düşük seviyede kaldığı görülmektedir.

Karıştırılmalı bilyalı değirmenler, aşırı ısınmayı önlemek için etrafında bir su ceketini bulanan silindirik bir gövde ve bu gövde içinde yüksek hızda dönen bir karıştırıcıdan oluşmaktadır. Karıştırılmalı değirmen, sabit bir silindirik yapı içerisinde silindir ekseninde dönen bir rotordan oluşmaktadır. Rotor üzerine belirli aralıklarla yerleştirilmiş çubuk veya diskler yardımıyla silindiri dolduran ortam hareket ettirilerek öğütme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Karıştırılmalı bilyalı değirmenler, mikronize malzeme üretiminde kullanılan en popüler değirmenlerdir. Son 30 yıldan beri; seramik, metalurji, elektronik, boya, kimya, gıda, lastik, ziraat, ilaç, fotoğraf, kömür ve enerji gibi endüstrilerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Diğer öğütme yapan cihazlara göre işletimi daha kolay, öğütme süresi ve enerji tüketimi daha azdır. Şekil 5.5’ te dikey ve yatay pinli karıştırılmalı değirmen verilmiştir.



Şekil 5.5 Dikey ve yatay pinli karıştırırmalı değirmen.

5.1.1.6 Jet değirmenler

Jet değirmenlerde, değirmen gövdesi içine çok yüksek basınçlarda verilen hava ile tanelerin birbirine ve değirmen gövdesine çarpması sonucu darbe ve aşınma etkisiyle öğütme gerçekleştirilmektedir. Besleme boyutu genellikle 0,5 mm' nin altında olan bu tip değirmenler ile birkaç mikron düzeyine öğütme yapmak mümkündür. Bu sistemlerde, nozülден basınçlı havanın etkisi ile ivmelenerek çıkan malzeme hızla öğütme odasına girmektedir. Öğütme odası aşınmayı en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Malzeme bu bölge içerisindeki çeperlere ve birbirlerine çarparak veya sürtünerek ince taneler halinde dağılmaktadır. Sistemdeki öğütülmüş malzeme ise akışkanın hareketi ile taşınarak havalı bir separatörden geçmekte ve ince taneler ayrıldıktan sonra iri tanelerle birlikte tekrar sisteme geri dönmektedir. Bu tip değirmenlerde akışkan ortam olarak; sıcak basınçlı buhar, hava veya herhangi bir inert gaz kullanılabilmektedir. Gazların basınçları ise malzemenin sertliğine göre 100 ile 200 PSI arasında olabilmektedir. Jet değirmenler endüstriyel ölçekte yaygın olarak kullanılsa da; bazı tesislerde silis, feldspat, cam ve zirkon gibi aşındırıcı malzemelerin öğütülmesi için kullanılmaktadır. Daha çok plastik, polimer, pigment ve pestisit gibi malzemelerin mikron boyutuna öğütülmesi için kullanılmaktadır. Kapasiteleri 0.5 ile 5000 kg/saat arasında değişmektedir (Toroğlu 2008).

5.1.1.7 Titreşimli değirmenler

Titreşimli değirmenler, Şekil 5.6' da görüldüğü gibi üst üste yerleştirilmiş öğütme odalarından (hücrelerinden) oluşmaktadır. Lastik bir takoz veya yaylar üzerinde yer alan bu odalara belirli bir hızda titreşim verilerek oda içerisindeki malzeme ve bilyalar hareket

ettirilmektedir. Hareket eden bilyaların cevherleri ezmesi ve sıkıştırması sonucunda taneler ufalanmaktadır. Bilya şarj oranı hacimce % 60-70 oranındadır. Bilyaların boyutu ise 10-15 mm arasında değişmektedir. Öğütücü ortam olarak çubuklarda kullanılabilmektedir. En büyük dezavantajı kapasitesinde yaşanan sorunlardır. Öyle ki; kapasitesi 5 ton/saat' in üzerine çıkması durumunda öğütmede sorunlar yaşanmakta, ince öğütme verimini kaybetmektedir. Ayrıca, mekanik aksamların sık sık arızalanması nedeniyle bakım-onarım maliyeti de oldukça yüksektir.

Titreşimli değirmenler ile 10 mikron boyutuna kadar öğütme yapmak mümkündür. Öğütme odaları yatay olarak ta yerleştirilebilir. En önemli avantajı ince öğütmede enerji verimliliğinin yüksek, ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Genellikle linyit, taşkömürü, kireçtaşı, bentonit, jips, boksit, bakır, demir, ferrosilikon ve alüminyum oksitlerin ince öğütmesi için kullanılmaktadır. Şekil 5.6' da Titreşimli değirmen ve kesit görünüşü verilmiştir.

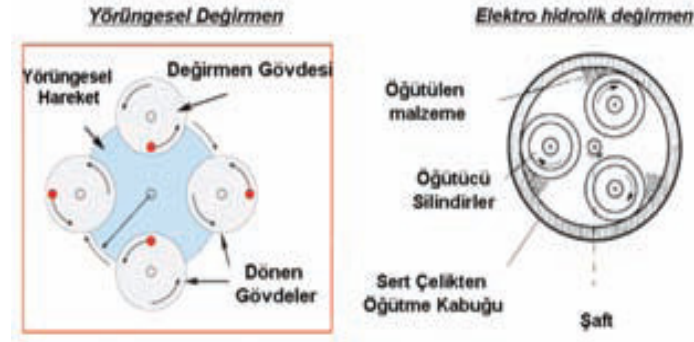


Şekil 5.6 Titreşimli değirmen ve kesit görünüşü.

5.1.1.8 Yörüngesel (Planeter) değirmenler

Mikron ve mikronaltı boyutlarda öğütme yapmak için geliştirilmiş olan bir çeşit bilyalı değirmen tipidir. Planeter ismi, değirmen gövdesinin güneş etrafındaki gezegenlerin hareketi gibi dönmesinden gelmektedir. Bir yörüngesel değirmende, birbirine ters yönde olan iki hareket vardır. Birincisinde, yörüngesel değirmenin gövdeleri (4 adet), merkezi bir eksen etrafında tıpkı gezegenlerin güneş etrafındaki dönüşü gibi döner. Bu hareketi sayesinde merkez eksenli boyunca santrifüj alanı oluşur. İkinci harekette ise değirmen gövdeleri kendi eksenleri etrafında dönmektedir. Ayrıca, yüksek santrifüj alanının da etkisiyle değirmen içerisinde çok yüksek enerji açığa çıkmaktadır. Bu yüzden, yörüngesel bir değirmen ile klasik

bilyalı değirmenlere göre daha kısa sürede çok ince boyutlu malzeme elde etmek mümkündür. Günümüzde karıştırmalı değirmenin kullanıldığı her alanda yörüngesel değirmen kullanılabilirliği mümkündür. Şekil 5.7’ de Yörüngesel değirmen ve elektro hidrolik değirmen verilmiştir.



Şekil 5.7 Yörüngesel değirmen ve elektro hidrolik değirmen.

5.1.1.9 Çivili değirmenler

Çivili değirmenler, maksimum besleme boyutu 30-40 mm olan, kuru veya az nemli malzemenin 100 mikron’a kadar yüksek kapasiteyle öğütülmesinde kullanılır. Genellikle kimyevi ve gıda maddelerinin öğütülmesinde tercih edilmektedir. Öğütme, yüksek hızda dönen çivili gövdenin tanelere uyguladığı kesme kuvvetleri ile sağlanır. Saatlik kapasiteleri 5 ton’ a kadar çıkabilmektedir. Yalnızca çivilerin bulunduğu rotorun hareket ettirilmesi ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Şekil 5.8’ de çeşitli çivili değirmenler verilmiştir.



Şekil 5.8 Çivili değirmenler.

Bir malzemenin öğütülmesine birçok faktör etki eder. Bunlardan ikisi malzeme karakterine

bağlı olan sertliği ve öğütülebilirliğidir. Sertliği çok yüksek olan (mesela kuvars) bir malzemenin öğütülebilirliği çok kolay olabilir veya tersi olarak sertliği düşük (mesela linyit) bir malzemenin öğütülebilirliği daha zor olabilir. Kömür öğütme sistemlerini anlattıktan sonra, kömürlerin öğütülebilirliğinin tayini için en çok kullanılan iki yöntem olan Bond iş indeksi ve Hardgrove öğütülebilirlik indeksi yönteminin anlatılması uygun olacaktır.

5.2 ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK

Öğütülebilirlik, malzemenin öğütme işlemine karşı gösterdiği direnç olarak adlandırılır. İş indeksi, cevherin öğütülebilirlik özelliklerine bağlı olup değirmenlerin boyutlandırılmasında enerji tüketimi hesaplamalarında, öğütme devrelerinin verimliliğinin belirlenmesinde kullanılan bir üretim parametresidir (Bond and Maxon, 1938, Bond 1947, 1961, Samanlı 2008). Standart bir besleme boyut aralığı ve miktarı ile öğütülebilirliği değerlendirmek için uygulanır (Mcintyre and Plitt 1980, Samanlı 2008).

5.2.1 Bond iş indeksi deney yöntemi

Bond iş indeksini belirleme yöntemi ASTM D 409-2006 standartında tanımlanmaktadır. Bu standarda göre Bond iş indeksi belirlenecek olan numunenin tamamı 6 mesh'in altına (-3,35 mm) geçecek şekilde kademeli olarak kırılır. Fakat gerekli durumlarda malzeme daha da küçük boyutlara kırılabilir. Kırılan malzemeden 8-10 kg alınarak teste tabi tutulur. Pratik amaçlar için genelde 65-100 mesh' lik (212–150 μ m) elekler kullanılır. Besleme malzemesinin göreceli olarak daha ince malzeme içermesi elemeyi zorlaştırırken, iri malzemede son ürün düzeneğinden dengeye ulaşmak zor olmaktadır.

Yapılan teste 6 mesh altına (-3.35 mm) kırılan malzemeden konileme dörtlleme yardımıyla yaklaşık 1000 g örnek alınır ve bu örneğin elek analizi yapılır. Logaritmik düzende tane boyuna karşılık birikimli elek altı grafiği çizilerek %80'nin geçtiği boyut (F, μ m) tespit edilir. Deney numunesinden konileme dörtlleme yardımıyla alınan numune 1000 cm³' lük dereceli mezüre 700 cm³' lük standart hacim elde edilinceye kadar doldurulur. 700 cm³' lük hacim tartılır (w). Elde edilen malzeme değirmene beslenecek miktar olup test süresince bu miktar sabit tutulur. Bond öğütülebilirlik deneyinde; 30,5x30,5 cm boyutlarında, kenarları yuvarlatılmış, içerisinde kaldırıcı astarları bulunmayan, üzerinde 10,2x20,4 cm ebatlarında bir boşaltma kapağı bulunan, 70 d/dk'da çalışan ve "Bond değirmeni" olarak adlandırılan bir

bilyalı değirmen kullanılır. Şarj malzemeleri olarak çapları 38,1–12,7 mm arasında değişen, 285 adet, toplam 20125 gram ağırlığında çelik bilya beslenir. Standart test'te bilya dağılımları sırasıyla 43 adet 38,1 mm, 67 adet 31,75 mm, 10 adet 25,40 mm, 71 adet 19,05 mm, 94 adet 12,70 mm dir (TSE 7700 1989). Değirmenin hacmi 22200 cm^3 , bilyaların hacmi boşluksuz olarak 2810 cm^3 , bilyalar arası boşluğun hacmi 1920 cm^3 ve bilya yükünün boşluk hacmi ise 4730 cm^3 'dür. Bu ölçümler suyun yer değiştirmesiyle ölçülmüştür.

Standart 700 cm^3 'lük hacimdeki ve kütlesi tespit edilmiş numune değirmene bilyelerle birlikte tek tabaka oluşturulacak şekilde beslenir. Değirmen ilk dönüş (N_1) sayısı seçiminde şayet benzer cevher veya maddeler için daha önce çalışma yapılmış ise bu çalışmadan faydalanılır. Çalışma olmaması durumunda 100 devir ile denemeye başlanır. Değirmen, seçilen devir sayısını tamamladıktan sonra öğütme testinde numunenin tamamen öğütülmesi istenen tane boyutuna eşdeğer göz açıklıklı (P_1) referans eleğinden numune elenir. Elek üstü tartılır ve bulunan kütle değirmene konan kütleden çıkartılarak elek altının kütlesi (a) tespit edilir. Başlangıçta yapılan elek analizi ya da birikimli elek altı grafiğinden faydalanarak değirmene konan yükteki P_1 referans eleğinin altına geçecek olan numunenin kütlesi (b) bulunur. Bulunan miktar, elde edilen elek altı kütlesinden çıkarılarak net kütle (a-b) bulunur. Öğütülen net kütle değirmen dönüş sayısına bölünerek bu periyottaki öğütebilirlik (G_{bp1} , gr/d) tespit edilir. İkinci periyotta değirmenden çıkan miktara (a) eşit miktarda malzeme değirmene beslenir. Değirmene uygulanacak dönüş sayısı, eklenen miktardaki (a) P_1 referans eleği boyutundan ince malzeme (c) daha önce yapılan elek analizinden faydalanılarak tespit edilir. Bu periyotta değirmendeki malzemenin kütlece %28,6'sının öğütülmesi beklenir. Dolayısıyla değirmendeki numunenin %28,6'sına tekabül eden kütle (d) gram olarak tespit edilir. Bu şekilde elde edilen d ve c kütleleri arasındaki fark bulunur ve bulunan değer 1. Periyotta elde edilen G_{bp1} 'e bölünerek 2. Periyottaki dönüş sayısı (N_2) tespit edilir. Bulunan devir sayısı uygulanarak işlem devam ettirilir. Değirmendeki yükün kütlece %28,6'sının öğütülmesi standart denge şartlarında kütlece %250 dönüş yükü verir. Bu andan itibaren yukarıdaki adımlar öğütebilirlik değerleri (G_{bp}) dengeye gelinceye kadar tekrar edilir. Yapılan işlem dengeye ulaştığında son üç değer aritmetik ortalaması alınarak ortalama öğütme değeri (G_{bp}) bulunur. Son üç periyottaki P_1 referans eleği boyutundan ince malzemeler birleştirilerek elde edilen malzemenin elek analizi ile tane boyut dağılımı bulunur. Bulunan sonuçlardan numunenin kütlece %80'inin geçtiği tane boyutu (P , μm) tespit edilir. İşlemden elde edilen değerlerle öğütme iş indeksi (W_i) eşitlik (3.1) ile hesaplanır (Bond 1961, TSE 7700, İpek 2004).

$$W_i = \frac{44,5}{P_1^{0,23} x (Gbp)^{0,82} x \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)} x 1,10 \text{ kWs/t} \quad (5.1)$$

5.2.2 Hardgrove öğütülebilirlik deney yöntemi

Yöntemde her biri $25,4 \pm 0,13$ mm çapında olan 8 adet bilyanın hareket ettiği 8 adet bilya yuvasından oluşan laboratuvar değirmeni kullanılır. Bir üst öğütme bileziğiyle hareket ettirilen bilyalar 20 ± 1 d/dk hız ile döndürülür ve $29 \pm 0,2$ kg toplam basınçta güç sarf ederler. Deneyde kullanılacak numune boyutu $-1190+600 \mu\text{m}$ 'dir. Bu boyut aralığına kırılmış, 100°C ' de nemi uzaklaştırarak desikatörde soğutulmuş malzemeden $50 \pm 0,01$ gram alınarak değirmen 60 tur döndürülür ve 74 mikronluk elekten elenir. Öğütülebilirlik değeri eşitlik (5.2) ile hesaplanır.

$$HGI = 13 + 6,93 D_{74} \quad (5.2)$$

D_{74} : 74 mikron elek altı miktarı (gr)

Deney esnasındaki malzeme kaybı 0,4 gramdan fazla olduğunda deney tekrar edilmelidir. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ile Bond iş indeksi (W_i) arasında ilişki eşitlik (5.3)'te verilmiştir (Bond 1961, Samanlı 2008).

$$W_i = \frac{435}{HGI^{0,5}} \quad (5.3)$$

Hardgrove değirmeni kömürlerin öğütülebilirliğini ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan bir cihazdır. Rittinger yüzey teorisi (1867) katıların boyut azaltılmasında tüketilen enerjinin, oluşturulan yeni yüzeyle orantılı olduğunu ileri sürmüştür (İpekoğlu 2004). Kömürün öğütülebilirliğinde yaygın olarak kullanılan Hardgrove değirmeni üstten ve önden görünüşü Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' de verilmiştir.



Şekil 5.9 Hardgrove değirmeni üsten görünüşü.



Şekil 5.10 Hardgrove değirmeni önden görünüşü.

5.3 KÖMÜR ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNİN PETROGRAFİK BİLEŞİMLERİ İLE AÇIKLANABİLMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kömür öğütülebilirliği çoğunlukla HGI ile ilişkilendirilmiştir. Bu özellik kömür madenciliğinde kömür kazanımı ve kömür madenciliğinin çevresel etkileri açısından önem taşımaktadır. HGI, kömürün yakılması öncesinde belirlenmesi gereken bir özelliktir. Pulvarizatörler kül, kükürt içeriği ve $\square$ alorifik değer yanı sıra öğütme kolaylığına göre de

derecelendirilmektedir. Yüksek HGI'ya sahip kömürler bazen kullanım dışı olabilmektedir. Kırma, öğütme ve kömür taşınması kömürden yayılan tozla ilişkilendirilmektedir. HGI, aynı zamanda madencilikteki toz oluşumu ile doğrudan ilişkilidir (Baffi and Ramani 1979, Moore and Bise 1984, Bagherieh et al.'dan 2007). Kömürün öğütülebilirliği kompleks bir özellik olup, kömür sertliği, dayanım, kırıklılık (fracture), sağlamlık (tenacity) gibi özelliklere bağlıdır. Bütün bu özelliklerin petrografik bileşim, kömür rankı, mineral dağılımı ve kömür litolojisi ile yakından ilgili olduğu ifade edilmektedir (Hower 1998).

Bağlık – İnağzı kömür sahasında yapılan 1 adet geniş çaplı sondajda, kesilen kömürlerin rank ve petrografisi araştırılmıştır. Bu kömürler $1,60 \text{ gr/cm}^3$ yoğunlukta yüzdürülerek kısa analiz, petrografik kompozisyon, mikrolitotip kompozisyon ve yansıtma değerleri belirlenmiştir. $R_{\max}$ 'ın derinlikle birlikte değiştiği ortaya çıkmıştır. Kömür rankı ortalama $R_{\max}$ reflektans ölçümü ile bulunmuştur.

Trimble and Hower (2002) tarafından kömür petrografisi ile HGI öğütme özellikleri incelenmiştir. Kullanılan kömürler dar bir aralıktaki yansıtma değerlerinden seçilmiş böylelikle rank etkisi minimuma indirilmiştir. Bu çalışmada vitrinitçe ve mineralce zengin tekli ve ikili litotiplerin HGI'nın tahmininde olumlu etki yaptığı bulunmuştur. Çalışmada 0,75-1 arasında $R_{\max}$ ' a sahip kömürler seçilmiştir. Çok yüksek kül (yada mineral içeriğine sahip) kömürlerin HGI tahmininde büyük sapmalar görülmüştür. HGI' nın maseral kompozisyonu ilişkisi farklı rank aralığına sahip kömürlerde farklılık göstermiştir.

Özbayoğlu (2007) tarafından 63 alt bitümlü kömür 11 özellik açısından incelenmiştir. Bu özellikler kısa analiz (Nm, K, UM ve SK), petrografik analiz (hüminit, liptinit, inertinit, $R_{\max}$) kuvars içeriği ve diğer mineraller olarak lineer regresyon yapılmış olup, burada tahmin edilen ve gerçek değer arasındaki fark 6,54 olarak bulunmuştur. Farkın büyük olmasından dolayı lineer regresyon bırakılmış nonlinear regresyon yapılmış fark 5,46 olarak bulunmuştur. Yapılan nonlinear analizde HGI'nın nem, hüminit içeriği ve $R_{\max}$ ' a bağlı olduğu tesbit edilmiştir. Kül artışı ve sabit karbon artışı HGI' yı artırmış, HGI'nın nem, uçucu madde ve $R_{\max}$ artışı ile düştüğü görülmüştür. Neural Networks (nöral ağ) yaklaşımı kullanılarak 4,74' lük farkla HGI tahmin edilmiştir.

Bagherieh (2007) çalışmalarında Özbayoğlu (2007) gibi kömür petrografik bileşimi (vitrinit, liptinit, inertinit) $R_{\max}$, sülfür ve kül içeriğini HGI ile ilişkilendirmeyi yapay nöral ağ (artificial neural network) kullanarak yapmaya çalışmışlardır. HGI' nin liptinit içeriği artışı ile azaldığı vitrinit içeriği ile arttığını belirlemişlerdir. Kül içeriği ve HGI arasında bir eğilim bulunamamıştır. Aynı durum sülfür içinde geçerlidir. Bu durum sülfürün organik veya inorganik olmasından kaynaklanabilir. Kömür öğütülebilirliği değişik ranktaki kömürlerin göreceli sertliklerinin ufalama sırasındaki derecelenmesinde önemlidir. Öğütülebilirlik çoğunlukla HGI kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Çünkü endüstriyel santral öğütücülerinin performans kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Öğütülebilirlik madencilik faaliyetlerinde, düşük HGI daha yüksek enerji gerektirdiği için önemlidir. HGI' nin yapılması pahalı bir yöntem olmamasına rağmen ölçümü fazla bir zaman gerektirmektedir. Bu nedenle araştırmacılar HGI' yı kısa analiz, petrografik bileşim ve yansıtma ölçümü kullanarak tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Kömür özellikleri kısa analiz, toplam kükürt C, H, N, O (organik elementel bileşim) ile eşitlik (5.4), (5.5), (5.6) ve (5.7)' deki formüller türetilmiştir.

$$HGI = 102,69 + 4,227S_{\text{toplam}} - 1,634V - 0,569A - 0,237M$$

$$R^2 = 0,77$$
(5.4)

$$HGI = 77,162 + 3,994(S_{\text{toplam}}) - 10,920H + 1,904M - 0,424A - 11,765((O + N) / C)$$

$$R^2 = 0,75$$
(5.5)

$$HGI = 37,41 - 10,22(\text{liptinit}) + 28,18R_{\max} + S_{\text{toplam}}$$

$$R^2 = 0,64$$
(5.6)

$$HGI = 48,175 - 7,679(Ex) + 13,269R_{\max} + 0,137SF - 0,584MI + 1,237MA - 1,171R$$

$$R^2 = 0,81$$
(5.7)

İnertinit maseralleri özellikle ince dağılmış olanlar daha düşük HGI vermişlerdir. Yüksek nem yüksek HGI; yüksek uçucu düşük HGI sonucu vermiştir. Hidrojen içeriğindeki artış düşük HGI, toplam kükürt' ü yüksek numuneler, yüksek HGI değeri vermiştir. Semifusinit, İn eksinit ve rezinit düşük HGI, mikrinit içeriğindeki artış yüksek HGI vermiştir. Diğer maseraller önem taşımamaktadır.

Jorjani (2007) Kentucky kömür öğütülebilirliklerinin kömür petrografik bileşim ve elementel analiz sonuçları ile ilişkilendirmiştir. Araştırma çok değişkenli regresyon analiz yöntemi (multivariable regression method) kullanılarak yapılmıştır. Bu işlemde maseral kompozisyonu kül, nem ve elementel analiz sonuçları HGI ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. TiO_2 ve Al_2O_3 artışının HGI' yı düşürdüğü Fe_2O_3 artışının HGI' yı artırdığı görülmüştür. Mikrinit ve eksinit artışı ile HGI' nın düştüğü vitrinit artışı ile HGI' nın yükseldiği görülmüştür. Mineral bileşimin küle göre HGI ile daha iyi ilişkilendirilebileceği görülmüştür.

Suggate and Dickinson (2003) karbon NMR yöntemi ile Yeni Zelanda kömür çeşitleri ve ranklarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Kömür rankının ve genel petrografik özelliklerin stratigrafik derinlikle artışı ile bilinmektedir. Örneklerinde derinlikle birlikte; C içeriği, uçucu madde ve vitrinit yansıtma değerinin arttığını, O/C ve H/C atomik oranının düştüğünü tespit etmiştir.

Ural and Akyıldız (2004) çözünebilir mineral madde içeriği ile HGI arasında bir ilişki olduğu görmüşlerdir. Elbistan ve Tufanbeyli düşük ranklı kömürleri üzerinde çalışmışlardır. Suda veya asitte çözünebilir mineral madde (NM) ve kuvars (Q) arasında eşitlik (5.8)'deki denklemi türetmişlerdir.

$$\begin{aligned} HGI &= 2,532 + 0,487(Q) + 1,165(NM) \\ R^2 &= 0,916 \end{aligned} \tag{5.8}$$

BÖLÜM 6

BAĞLIK-İNAĞZI BÖLGESİ JEOLJİSİ

TTK Üzülmaz Bağlık-İnağzı bölgesinin jeolojik yapısını belirlemek üzere yapılan çalışmalarda bölgenin, Karbonifer yaşlı formasyonlar ve Kretase yaşlı formasyonlardan oluştuğu belirtilmektedir.

6.1 KARBONİFER YAŞLI FORMASYONLAR

6.1.1 Kokaksu Formasyonu

Kokaksu Formasyonu iyi istiflenmiş düzgün tabakalı kalsilutit, spartit, krinoidli dolomitize kireçtaşlarından oluşmuştur. Her yerde gelişmiş çatlaklı ve karstik boşlukludur. Bu birim üzerinde her türden karstik şeklin (lapy, dolin, düden, mağara) bulunduğu formasyonun eğimi kuzeye 40-70° arasındadır. Birimin alt seviyeleri killi ve tebeşirimsi bir yapıda olup orta kesimleri dolomitik, üst kısımları ise saf kireçtaşlarından oluşmuştur.

Birim çört bantlı ve nodüllü, bol fosillidir. Açık griden koyu mavimsi griye kadar değişen renk tonlarına sahiptir. Birimin kalınlığı arazi gözlemlerine göre 1500 m olarak saptanmıştır. Birimin Yaşı ise tanımlanan fosillere göre Viziyen'dir (Emirgen 2013).

6.1.2 Alacağzı Formasyonu

Alacağzı Formasyonu ince taneliden orta taneliye kadar değişen boyutlarda kumtaşı, silttaşı ve kilaşı aralanmasından meydana gelmektedir. Kumtaşları genelde çok iyi boyulanmalı olup taneleri iyi yuvarlaklaşmıştır. Kırıntılar çoğunlukla kuvarstır. Formasyonun konglomeratik seviyeler içermemesiyle karakteristiktir. Kumtaşları tabanda ince, orta ve üst kesimlerde ise orta tanelidir.

Yaygın olarak bitkisel kalıntılar içeren formasyon Armutçuk-Kandilli bölgesinde işletilebilir kömür damarları içermesine karşın, Değirmenağzı dereden Göbü' ye kadar olan kesimde merceksel birkaç kömür damarı hariç sterildir.

Genel olarak tabakalanmanın düzgün olduğu ince ve orta katmanlanma yaygın olarak görülmektedir. Birim içersinde paralel tabakalanma, laminasyon, dereceli tabakalanma, dalga rippli, çapraz laminalanma, teknesel çapraz tabakalanma, konvolit tabakalanma yük kalıbı, kanal yapısı, tırmanan rippli gibi sedimanter yapılar yaygın olarak görülmektedir. İçerdiği sedimanter yapılar itibarıyla delta, lagün ve gelgit düzlükleri gibi ortamlarda çökelmiştir.

Birim, Kokaksu Formasyonu ile bir şerit takımı oluşturacak şekilde gözlenmektedir. Ayrıca Gelik antiklinalinin çekirdeğinde mostra vermiştir. Alacağzı Formasyonu altta Kokaksu Formasyonu ile faylı, üstte Kozlu formasyonu ile uyumlu ve dereceli geçişlidir. Birimin kalınlığı sondaj verileri de dikkate alındığında ortalama olarak 600 m kabul edilmiştir. Birimin Yaşı Namuriyen'dir (Emirgen 2013).

6.1.3 Kozlu Formasyonu

Değişik boyutlarda kumtaşı, sittaşı, kiltası ve konglomera birimlerinden oluşmaktadır. Birim işletilebilir nitelikte değişik kalınlıklarda 20 adet ekonomik kömür damarı içermektedir. Bağlık-İnağzı' da TTK tarafından özel sektöre ihale edilen işletme sahası kömürleri bu formasyon içersinde bulunmaktadır.

Formasyonu oluşturan konglomeralar değişik boyutlarda oluşan hemen hemen tümüyle iyi yuvarlaklaşmış kuvarsit, kireçtaşı ve magmatik kayaç parçalarından oluşan polijenik tiptedir. Konglomera ve kumtaşları sıkı silis çimentoludur.

Bağlık-İnağzı bölgesinde altta Alacağzı Formasyonu, üstte ise Karadon Formasyonu ile normal geçişlidir. Kozlu Formasyonu litolojik özellikleri ve içermiş olduğu çapraz tabakalanma, paralel laminalanma, konvülüt aşındırılmalı taban yapıları, derecelenme, boylanma gibi sedimanter yapılar nedeniyle menderesli akarsu ortamını karakterize etmektedir.

Birimin kalınlığı yüzeyden alınan veriler ve sondaj sonuçları da dikkate alındığında formasyon kalınlığı 900 m ye kadar ulaşmaktadır. Birimin yaşı içermiş olduğu bitki fosillerine göre Westfaliyen-A dır.

6.1.4 Karadon Formasyonu

Karadon Formasyonu da Kozlu Formasyonu gibi konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşından oluşmuş bir istifdir. Fasiyes özellikleri bakımından Kozlu formasyonunun devamı niteliğindedir. Yalnız Karadon Formasyonundaki konglomeraların taneleri boyut olarak daha büyüktür. Kalın tabakalı konglomera seviyeleri çok iyi yuvarlaklaşmış iri kuvars çakılları içermekte olup silis çimento ile gevşek tutturulmuştur. Karadon Formasyonunda kömür oluşumları Kozlu Formasyonuna oranla önemsiz sayılabilecek boyuttadır. Ancak Amasra bölgesinde bu formasyon 6 adet işletilebilir nitelikte damar ihtiva etmektedir. Formasyon içindeki bazı killi seviyeler refrakter (Şiferton) özelliğindedir (Emirgen 2013).

Karadon Formasyonu çok yüksek enerjili bir ortam ürünü olup menderesli akarsu ortam ürünleridir. Yüzey çalışmaları, TTK galerilerinden alınan veriler ve sondajlardan elde edilen bulgular sonucu Karadon Formasyonun kalınlığı 600 m kadar ulaştığı anlaşılmıştır. Palinolojik yöntemlerle yapılan yaş tayinlerinde formasyonun yaşının Westfaliyen-BCD olduğu saptanmıştır.

6.2 KRETASE YAŞLI FORMASYONLAR

6.2.1 Zonguldak Formasyonu

Zonguldak Formasyonu alttan üste doğru üç ayrı seviyeye (üye) ayrılabilir. İlki tabanda 15–50 m arasında polijenik bir taban konglomerası ile başlayan toplam kalınlığı 150 m kadar olan koyu gri renkli, kompakt yapılı, az miktarda kumlu, dolomitik kireçtaşlarıdır. İkincisi 50 m kadar olan pembe renkli yer yer killi breşik yapıdaki konkoidal kırılımlı kireçtaşları, üçüncüsü ise bej renkli çok iyi tabakalanma gösteren konkoidal kırılımlı mikritik kireçtaşlarıdır.

Zonguldak Formasyonunun değişik noktalarından alınan örneklerin kimyasal analizleri sonucu bileşimlerinde %59–92 CaCO₃ tespit edilmiştir. Dolomit ise % 5–34 arasında

değişmektedir. Bu oranlara göre formasyon içersindeki dolomit, karstlaşmanın gelişimini kontrol ederek fazla ilerlemesini kontrol etmiştir.

Dolayısıyla az gelişmiş bir karst meydana gelmiştir. Karstik yapı olarak mağra, subatan, dolin ve uvalalar içermektedir. Kireçtaşları her yönde gelişmiş kırıklar, bol miktarda çatlaklar içermekte olup çatlaklar sekonder kalsit dolguludur. Formasyon tabanda bazen Karadon Formasyonu, bazen de Kozlu Formasyonu üzerine diskordan olarak gelir. Üstte ise İncivez Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir.

Formasyon zaman zaman derinliği az çok değişen resif ve resif gerisi bir ortamda çökelmiştir.

Havzadaki sondajların kestiği tabaka kalınlıkları üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalara ve saha gözlemlerine göre birimin kalınlığı ortalama 425 m dir. Birimin içerdiği fosillere göre yaşı Barremiyen olarak saptanmıştır (Emirgen 2013).

6.2.2 İncivez Formasyonu

Formasyon litolojik olarak; kumtaşı, konglomera, kiltası ve yer yer killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kırmızı kahve renkli oluşları ile karakteristiktir.

Birim Zonguldak Formasyonu ile Kapuz Formasyonunu ince bir hat şeklinde birbirinden ayırmaktadır. Böylece İncivez Formasyonu, üstte bulunan ve inceleme alanının en karstik birimi olan Kapuz Formasyonu'nun karst taban düzeyini oluşturmaktadır.

Detritik materyalin bolluğu yanı sıra formasyonun kızıl kahve renkli oluşu oksidasyon uygun, sık ve hareketli kıyı boyunca çökelmiş olduğunu kanıtlamaktadır. Çökelme ortamı şelf kontinental olarak adlandırılabilir. Birimin kalınlığı sondaj verileri ile ortalama 70 m olarak kabul edilmiştir. İçermiş olduğu fosillere göre birimin yaşı Alt Apsiyen olarak belirlenmiştir.

6.2.3 Kapuz Formasyonu

Koyu gri renkli, az dolomitize ve kristalize kireçtaşlarından oluşan formasyon az oranda da kumludur. Genellikle masif yapılı yer yer iyi ve kalın tabakalanma gösterir. Çok çatlaklı oluşları ve kimyasal yapılarında % 95 in üzerinde CaCO_3 içermeleri sonucu karstlaşmaya çok elverişlidirler. Yüzeyinde çok miktarda polye, obruk, mağra gibi karstik yapılar bulunmaktadır. Formasyonun yüzeylendiği alanlarda çok sayıda yüzeyden kapalı flüviyal-

karstik havza gelişmiştir. Birimin çökelme ortamı su derinliği zaman zaman değişebilen resif ve resif gerisi bir ortamdır. Birimin kalınlığı sondaj verilerine göre ortalama olarak 250–350 m civarındadır. İçermiş olduğu fosillere göre birimin yaşı Alt Apsiyen olarak belirlenmiştir (Emirgen 2013).

6.2.4 Kırımsa Formasyonu

Litolojik olarak kilitaşı, killi kireçtaşı, karbonatlı kilitaşı, kumtaşı aralanmasından oluşmuş fliş karakterli bir formasyondur. Formasyon, Bağlık köyünden başlayıp Kırımsa köyüne kadar devam etmektedir. Kırımsa Formasyonu litolojik ve sedimantolojik özellikleriyle denizel ortamın ürünüdür. Birimin kalınlığı arazi gözlemlerine göre 700 m civarında olduğu hesaplanmıştır. Stratigrafik konumu ve saptanan fosillere göre birimin yaşı Apsiyen olarak belirlenmiştir.

6.3 BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI

Zonguldak havzası Paleozoyik'ten günümüze kadar Hersinyen ve Alpin olmak üzere başlıca iki orojenezin etkisi altında kalmıştır. Hersinyen orojenik hareketleri Paleozoyik yaşlı formasyonları, Alpin orojenezi ise hem Paleozoyik hemde Mesozoyik yaşlı formasyonları birlikte deforme ederek bugünkü konumlarına kazandırmışlardır. Farklı orojenik hareketlerin etkisi ile değişik tipte kıvrımlar, faylar ve çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar özellikle kireçtaşlarında ikincil olarak kalsit, kil, boksit gibi malzemelerle doldurulmuştur (Emirgen 2013).

6.4 KÖMÜR JEOLJİSİ

Bağlık-İnağzı bölgesinde ilk sondaj 1971 yılında yapılan Rüzgarlı-1 sondajıdır. Kretase-Karbonifer ilişkisini ve Karboniferin kömürlü yapısını araştırmaya yönelik bir arama programı çerçevesinde sondajlı etütler yapılmıştır. Yapılan 26 adet sondajın 6 sı karotlu, 20 si ise kırıntılı ilerlenmiş ve sondaj kuyularından kuyu logları alınmamıştır. Zonguldak havzası kömürleri siyah renkli parlak görünümündedirler. Bazı kömür damarları toz haline kolaylıkla gelirken bazı damarlar sert ve kırılındır. Kozlu Formasyonunda 20 adet işletilebilir damar mevcut olup bunların tümü koklaşabilir özelliktedir (Emirgen 2013).

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada TTK Üzülmaz Bağlık-İnağzı tüvenan kömürlerinden alınan numunelerin özelliklerinin derinliğe bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle alınan numunelerin kısa analizleri (kül, uçucu madde, sabit karbon, kükürt, ısıl değer) yapılmıştır. Daha sonra 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzdürme-batırma testleri yapılarak, her numunenin bu yoğunlukta yüzen ürünlerinde petrografik analizler, HGI ve FSI deneyleri yapılmıştır. Deneyler TSE'nin hazırladığı TS 330, 690, 711 standartlarından yararlanılarak yapılmıştır.

7.1 DENEYSEL ÇALIŞMALARIN YAPILDIĞI NUMUNELERİN TANIMLANMASI

TTK Üzülmaz Bağlık-İnağzı bölümünde çeşitli üretim faaliyetleri planlanmaktadır. Bu amaçla deniz seviyesinden aşağı kotlara doğru 18 derece meyil ile sürülen doğu desandresinin kestiği 17 ayrı kömür damarlarından tüvenan numuneleri alınmıştır. İlgili işletmede sürülen desandreler “Doğu Soma” desandresi olarak isimlendirildiği için alınan numunelere de “DS” kodu verilmiştir. Alınan numuneler DS 1, DS 2, DS 3, DS 4, DS 5, DS 6, DS 7, DS 8, DS 9, DS 10, DS 11, DS 12, DS 13, DS 14, DS 15, DS 16, DS 17 olarak kodlanmış ve hava sızdırmaz kaplara konularak Maden Mühendisliği Bölümü Yakup Keskin Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Öncelikle getirilen numunelerin kısa analizleri yapılmış olup, Çizelge 7.1’ de kısa analiz sonuçları verilmiştir. Petrografik analizler ve diğer deneysel çalışmalar için numunelere 1,60 gr/cm³ yoğunluklu ağır ortamda yüzdürme-batırma testi yapılmıştır. Numunelerin alındığı kotlar ve damar kalınlıkları da Çizelge 7.1’ de yer almaktadır. Örnek olarak DS 1 kodlu numune +37 m ile +36,2 m arasında yer alan 0,80 m kalınlıklı damardan alınan numunedir.

Çizelge 7.1 Orijinal kömür numunelerine ait kısa analiz sonuçları (kuru bazda).

Numune Kodu	Numunenin Alındığı Kotlar (m)	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Kükürt (%)	Sabit Karbon (%)	Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Alt Isıl Değer (Kcal/kg)
DS 1	+ 37,0/+ 36,2	5,16	30,73	28,75	0,85	40,52	5520	5270
DS 2	+ 17,0/+ 15,7	2,62	17,74	29,95	0,82	52,31	6660	6410
DS 3	- 24,0/- 25,5	4,47	57,37	20,70	0,61	21,93	3724	3544
DS 4	- 28,5/- 30,0	5,36	36,71	27,12	0,72	36,17	5490	5240
DS 5	- 37,8/- 39,0	3,12	10,14	31,93	0,77	57,93	7638	7388
DS 6	- 43,2/- 44,0	4,16	12,18	30,80	0,76	57,02	7474	7224
DS 7	- 50,2/- 53,0	2,75	27,52	29,01	0,75	43,47	6222	5997
DS 8	- 60,1/- 62,1	4,12	25,47	27,51	0,83	47,02	6409	6169
DS 9	- 73,0/- 74,6	5,02	33,23	30,58	0,75	36,19	5770	5530
DS 10	- 80,0/- 82,0	4,13	37,02	28,11	0,70	34,87	5470	5230
DS 11	- 97,0/- 100,5	3,18	41,05	27,01	0,68	31,94	5120	4980
DS 12	- 107,3/-109,0	5,42	47,02	26,59	0,65	26,39	4645	4405
DS 13	- 116,0/- 117,2	4,44	31,07	30,02	0,86	38,91	5942	5692
DS 14	- 123,0/- 124,4	3,16	30,53	29,13	0,72	40,34	5982	5752
DS 15	- 130,8/-132,0	4,02	40,04	28,45	0,70	31,51	5200	4980
DS 16	- 140,1/- 141,9	5,07	27,14	29,22	0,81	43,64	6270	6035
DS 17	- 160,0/- 162,7	3,74	28,30	30,04	0,80	41,66	6166	5943

Çizelge 7.1’ de görüldüğü üzere, orijinal DS 5 kodlu numune en düşük kül içerikli numune olup, yüzde 10,14 kül içermektedir. DS 3 kodlu numune ise en yüksek kül içerikli numune olup, kül içeriği yüzde 57,37 ‘dir. Alınan 17 numunenin kül içerikleri yüzde 10,14 ile 57,37 arasında değişmekte olup, uçucu madde içerikleri ise yüzde 20 ile 30 arasında değişmektedir.

7.2 YÜZDÜRME-BATIRMA TESTLERİ

Bu testler, kömür numunelerinin yıkanabilirlik özelliklerini belirlemek amacı ile yapılmamıştır. Testlerin yapılma nedeni kömür numunelerinden 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen temiz ürünler

elde edilerek söz konusu kömür damarlarını temsil edecek bu ürünler üzerinde petrografik analizlerin, HGI ve FSI değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 1,60 gr/cm³ yoğunluklu ağır ortamda her bir numune ayrı ayrı teste tabi tutulmuştur. 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen olarak alınan ürünler DS 1-Y, DS 2-Y, DS 3-Y, DS 4-Y, DS 5-Y, DS 6-Y, DS 7-Y, DS 8-Y, DS 9-Y, DS 10-Y, DS 11-Y, DS 12-Y, DS 13-Y, DS 14-Y, DS 15-Y, DS 16-Y, DS 17-Y olarak kodlanmıştır. Yüzdürme-batırma testlerinden alınan ürünlerin kısa analizlerinin sonuçları Çizelge 7.2’ de verilmiştir.

Çizelge 7.2 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin kısa analiz sonuçları.

Numune Kodu	Ortalama Derinlik (m)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Kükürt (%)	Sabit Karbon (%)	Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Alt Isıl Değer (Kcal/kg)
DS 1-Y	+ 36,6	5,34	32,23	0,52	62,43	7862	7612
DS 2-Y	+ 16,4	6,68	31,86	0,56	61,46	7965	7715
DS 3-Y	- 24,8	6,32	31,94	0,47	61,74	7764	7514
DS 4-Y	- 29,3	7,02	31,34	0,53	61,64	7888	7638
DS 5-Y	- 38,4	4,63	32,14	0,49	63,23	8099	7849
DS 6-Y	- 43,6	5,18	33,29	0,47	61,53	8035	7785
DS 7-Y	- 51,6	9,80	30,05	0,44	45,15	6000	5810
DS 8-Y	- 61,1	12,80	29,55	0,46	57,65	7426	7176
DS 9-Y	- 73,8	3,47	34,13	0,58	62,40	8192	7942
DS 10-Y	- 81,0	8,83	32,29	0,51	58,88	7743	7493
DS 11-Y	- 98,8	7,62	33,72	0,41	58,66	7840	7590
DS 12-Y	- 108,2	11,90	32,31	0,49	55,79	7498	7248
DS 13-Y	- 116,6	7,63	33,88	0,53	58,49	7839	7589
DS 14-Y	- 123,7	7,47	32,66	0,55	59,87	7852	7602
DS 15-Y	- 131,4	4,91	35,52	0,57	59,57	8057	7807
DS 16-Y	- 141,0	5,01	32,59	0,59	62,40	8050	7800
DS 17-Y	- 161,4	4,99	32,06	0,55	62,95	8045	7795

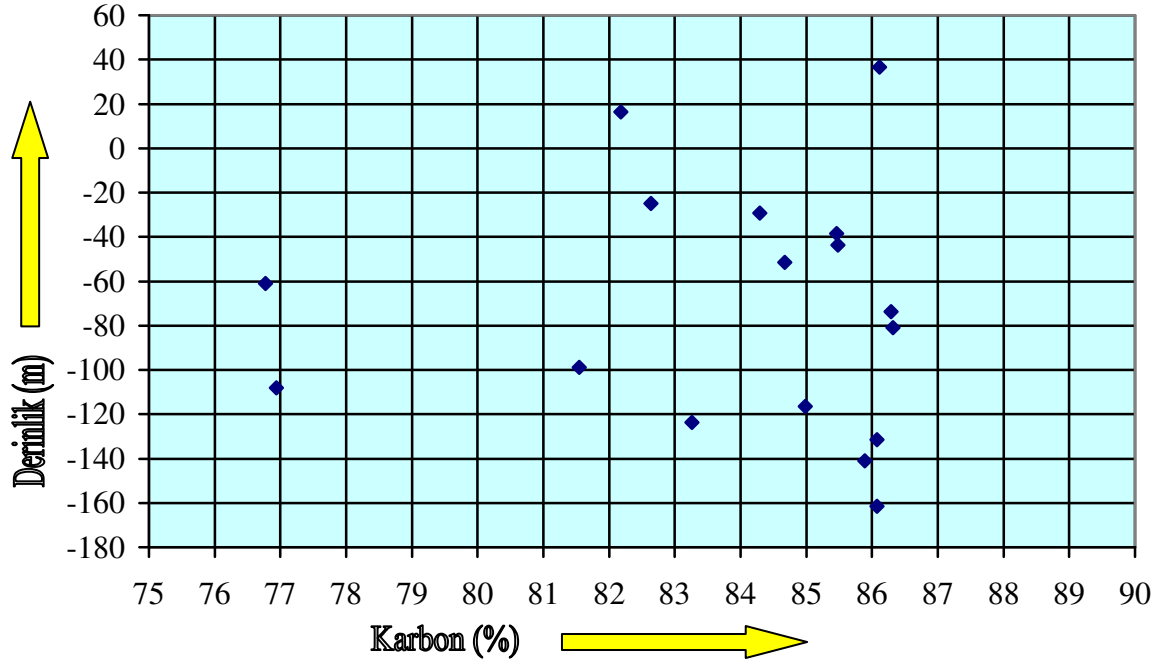
1,60 gr/cm³ yoğunlukta yapılan yüzdürme-batırma testlerinde alınan ürünlerin kül içerikleri 3,47 ile 12,8 arasında değişmektedir. Orijinal kömür örneklerinde % 57,37 ile en yüksek kül içerikli DS-3 kodlu numunenin külü % 6,32’ ye % 47,02 kül içerikli DS-12 kodlu numunenin

külü de % 11,9' a düşmüştür. Yüzen ürünlerin analizlerinin yer aldığı Çizelge 7.2' de görüldüğü üzere en düşük küllü yüzen ürün DS 9-Y kodlu ürün olup % 3,47 kül içermektedir. Bu ürünün % 34,13 oranında uçucu madde, % 62,4 oranında sabit karbon içerdiği çizelgede görülmektedir. Yüzen ürünlerin uçucu madde içerikleri % 29,55 ile % 35,59 arasında değişmektedir. 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin elementel analiz sonuçları Çizelge 7.3' te verilmiştir.

Çizelge 7.3 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin elementel analiz sonuçları.

Numune Kodu	Ortalama Derinlik (m)	Karbon (%C)	Hidrojen (%H)	Azot (%N)
DS 1-Y	+ 36,6	86,11	4,46	2,33
DS 2-Y	+ 16,4	82,18	5,17	1,28
DS 3-Y	- 24,8	82,64	5,16	0,97
DS 4-Y	- 29,3	84,29	5,37	1,35
DS 5-Y	- 38,4	85,46	5,38	1,40
DS 6-Y	- 43,6	85,48	5,46	1,54
DS 7-Y	- 51,6	84,67	5,32	1,48
DS 8-Y	- 61,1	76,77	4,73	1,02
DS 9-Y	- 73,8	86,29	5,34	1,23
DS 10-Y	- 81,0	86,32	5,35	1,49
DS 11-Y	- 98,8	81,55	5,32	1,49
DS 12-Y	- 108,2	76,94	5,18	1,45
DS 13-Y	- 116,6	84,98	5,24	1,27
DS 14-Y	- 123,7	83,26	5,23	1,44
DS 15-Y	- 131,4	86,07	5,63	1,58
DS 16-Y	- 141,0	85,89	5,43	1,53
DS 17-Y	- 161,4	86,07	5,42	1,48

Organik elementel analizlerin verildiği Çizelge 7.3' ün incelenmesi ile derinliğe bağlı olarak karbon içeriğinde artma eğilimi, azot, hidrojen içeriklerinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. Yüzen ürünlerin derinliğe bağlı olarak karbon içeriğindeki değişim Şekil 7.1' de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 7.1 Yüzen ürünlerde derinliğe bağlı olarak karbon içeriğindeki değişim.

Şekil 7.1’de de görüleceği üzere yüzen ürünlerin derinliğe bağlı olarak % karbon miktarı artma eğilimi göstermiştir. DS 8-Y ile DS 12-Y numunesinin karbon içerikleri % 80’ in altında değer alırken, diğer tüm numuneler % 80’ in üzerinde karbon içermektedir.

7.3 PETROGRAFİK ANALİZLER

Petrografik analizler, DS 1-Y, DS 2-Y, DS 3-Y, DS 4-Y, DS 5-Y, DS 6-Y, DS 7-Y, DS 8-Y, DS 9-Y, DS 10-Y, DS 11-Y, DS 12-Y, DS 13-Y, DS 14-Y, DS 15-Y, DS 16-Y, DS 17-Y, olarak kodlanan yüzen ürünlerde yapılmıştır. Petrografik çalışmalar için her üründen ayrı ayrı pelet hazırlanmıştır. Peletlerin çapı: 30 mm, yüksekliği: yaklaşık 20 mm dir. Pelet dökümünde 4,5 gr kömür için 3 gr reçine (QC-20) kullanılmıştır. Bu karışım cam bir beherde homojen bir karışım elde edilinceye kadar kuru olarak karıştırıldıktan sonra yeterli miktarda katalizör (methly methacrylate) eklenmiştir. Katalizörün tüm yüzeylerle temasını sağlamak amacıyla karıştırma işlemi devam ettirilmiş, yeterli miktarda karıştırıldıktan sonra bekletilmeden kalıba dökülmüştür.

Kalıp düzeneği sıkıştırılarak etüvde 70 °C sıcaklıkta 5 dakika bekletildikten sonra tekrar sıkıştırılmış ve 45 dakika daha etüvde bekletilmiştir. Etüvden alınan kalıp soğuduktan sonra,

pelet kalıptan çıkarılmıştır. Daha sonra pelet yüzeyi parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Peletlerin hazırlanmasında kullanılan kimyasallar ve kalıp düzeneği Şekil 7.2’ de verilmiştir.



Şekil 7.2 Petrografik analiz örneklerinin hazırlandığı set.

Parlatma işlemlerinde pelet yüzeyi sürekli olarak su püskürtülerek dönüş hızı ayarlanabilen platformlu parlatma makinesinde sırası ile 500, 600, 800, 1000, 1200 numaralı silisyum karbür ile düzeltilmiştir. Bu işlemlerden sonra 3, 1, 0,3 ve 0,05 μm boyutlu alüminyum oksit (Al_2O_3) tozları ile parlatılmıştır. Peletlerin parlatma işleminin yapıldığı düzenek Şekil 7.3’ de görülmektedir.



Şekil 7.3 Parlatma cihazı ve parlatma ekipmanları.

Daha sonra örneklerin petrografik bileşenleri ve yansıtma (reflektans) ölçümleri alttan ve üsten aydınlatmalı Zeiss Axioplan Mikroskop ve MPM 400 İşletim Sistemli düzenek kullanılarak yansıyan ışık altında yapılmıştır (Şekil 7.4). Ölçümlerde monokromatik ışık kaynağı ($\lambda=546$ nm) ile 50x yağ imersiyon objektifi ve 10x oküler kullanılmıştır. Başlangıçta örnek tanımlamaları ve öğütülebilirlik çalışmalarının yalnızca orijinal örneklerde yapılması planlanmıştı. Ancak orijinal örneklerin bazılarında inorganik madde (kül içeriği yüksek) içeriğinin yüksek olması nedeniyle yapılan öğütülebilirlik çalışmalarında elde edilen değerlerin kömür yapısından çok, mineral madde dağılımına bağlı olduğu belirlendiği için bu tezde sadece yüzen ürünlerin petrografik analiz sonuçlarına yer verilmiştir (Orijinal numunelerin petrografik analiz sonuçları tez kapsamında sunulmamıştır). Çizelge 7.4' te yüzen ürünlerin petrografik analiz sonuçları yer almaktadır.



Şekil 7.4 Zeiss Axioplan mikroskop düzeneği.

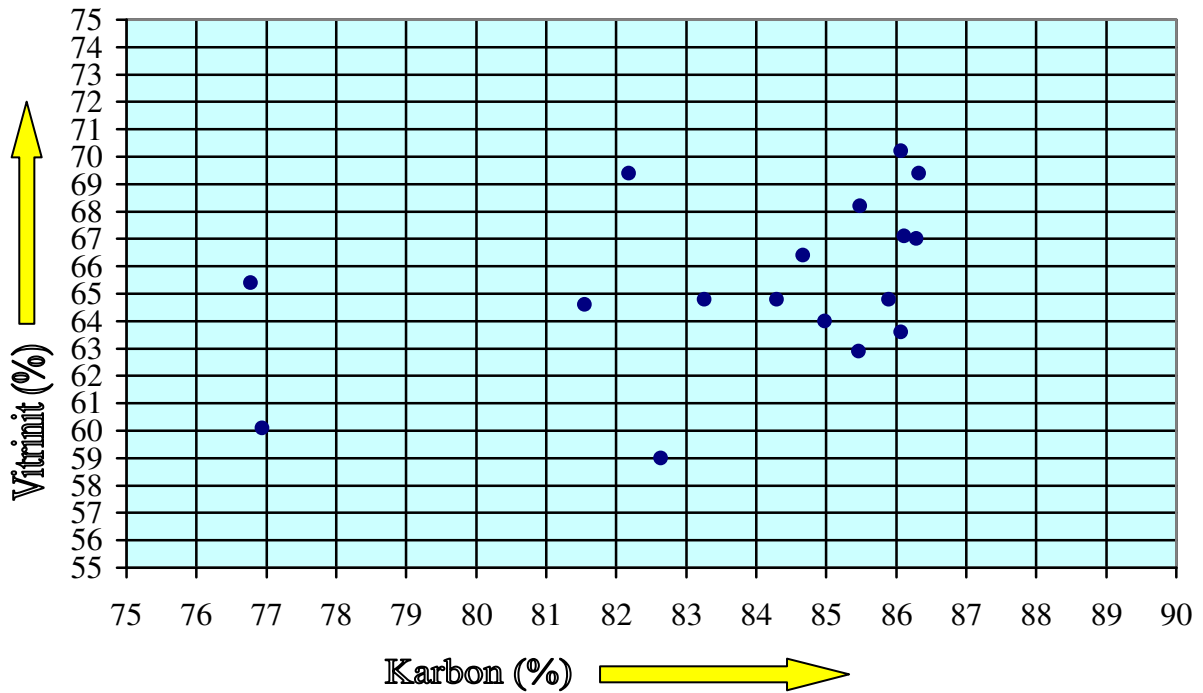
Çizelge 7.4 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin petrografik analiz sonuçları.

Numune Kodu	Ortalama Derinlik (m)	Petrografik Analiz					
		V (%)	L (%)	I (%)	ISF (%)	P (%)	MM (%)
DS 1-Y	+ 36,6	67,1	14,4	9,3	7,2	2,0	-
DS 2-Y	+ 16,4	69,4	11,0	10,6	4,0	-	5,0
DS 3-Y	- 24,8	59,0	4,6	13,8	15,6	-	7,0
DS 4-Y	- 29,3	64,8	13,6	8,0	10,6	3,0	-
DS 5-Y	- 38,4	62,9	10,9	11,8	9,6	1,0	3,8
DS 6-Y	- 43,6	68,2	11,0	9,8	10,4	-	0,6
DS 7-Y	- 51,6	66,4	10,4	10,0	8,6	-	4,6
DS 8-Y	- 61,1	65,4	11,0	12,0	9,8	-	1,8
DS 9-Y	- 73,8	67,0	9,6	8,4	9,0	2,0	4,0
DS 10-Y	- 81,0	69,4	12,6	2,8	10,2	-	5,0
DS 11-Y	- 98,8	64,6	10,0	11,0	12,4	-	2,0
DS 12-Y	- 108,2	60,1	16,0	3,4	15,8	-	4,7
DS 13-Y	- 116,6	64,0	20,0	4,2	9,8	-	2,0
DS 14-Y	- 123,7	64,8	23,0	3,8	8,4	-	-
DS 15-Y	- 131,4	63,6	20,0	3,0	12,2	1,2	-
DS 16-Y	- 141,0	64,8	16,0	8,6	7,6	1,0	2,0
DS 17-Y	- 161,4	70,2	5,2	6,8	13,8	1,0	3,0

V:vitrinit, L: liptinit, I: inertit, ISF: inert semifusinit, P: pirit, MM: mineral madde

Petrografik analizler sonucunda bütün yüzen ürünlerde % 60' ın üzerinde vitrinit bulunduğu, liptinit içeriklerinin de % 4,6 ile % 23 arasında değiştiği belirlenmiştir. Orijinal örneklerde yapılan fakat burada sunulmayan petrografik analizlerde, numunelerin liptinit içeriğinin çok düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. Fakat tüm örneklerin yüzen ürünlerinde liptinit içeriğinin oldukça önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Orijinal örneğe göre yüzen ürünlerde vitrinitte meydana gelen azalmanın mineral maddenin önemli ölçüde vitrinit minerallerine bağlı olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Ancak liptinit maserallerinde meydana gelen artış nedeni yüzen ürünlerde bu maserallerin yoğunlaşmasının yanı sıra, analizler sırasında mineral madde ve liptinit maserallerinin birbirinden ayrılma güçlüğünün de etkili olduğu belirtilmelidir. Yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak vitrinit içeriğindeki değişim grafik halinde çizilerek Şekil 7.5' te sunulmuştur.



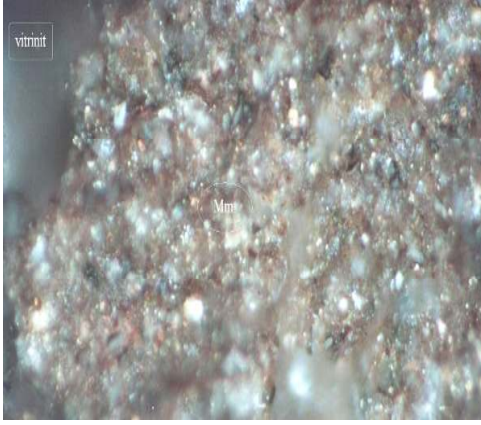
Şekil 7.5 Yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak vitrinit değişimleri.

Çizelge 7.4' te görüldüğü üzere DS 3-Y kodlu numunenin vitrinit içeriği % 59 iken, DS 17-Y kodlu numunenin vitrinit içeriği % 70,2 olarak belirlenmiştir. Karbon içerikleri ise sırasıyla % 82,64 ve % 86,07' dir. Buna göre karbon içeriğinin artışına bağlı olarak vitrinit miktarının arttığını söyleyebiliriz. 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin yansıtma ölçümlerinin sonuçları da Çizelge 7.5' de verilmiştir.

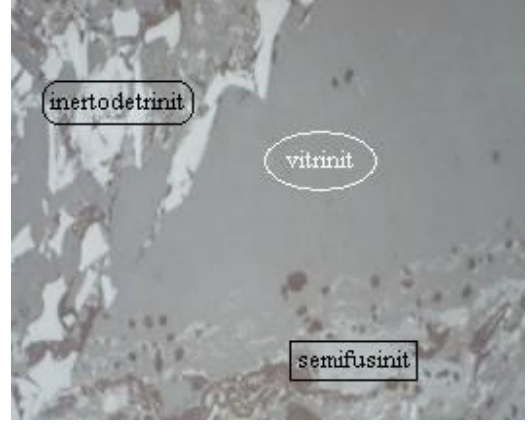
Çizelge 7.5 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin yansıtma ölçüm sonuçları.

Numune Kodu	Ortalama Derinlik (m)	Yansıtma Değerleri R _{max} (%)
DS 1-Y	+ 36,6	0,9434
DS 2-Y	+ 16,4	0,9777
DS 3-Y	- 24,8	0,9835
DS 4-Y	- 29,3	1,0325
DS 5-Y	- 38,4	1,0463
DS 6-Y	- 43,6	0,9804
DS 7-Y	- 51,6	1,0235
DS 8-Y	- 61,1	1,0223
DS 9-Y	- 73,8	1,0217
DS 10-Y	- 81,0	1,0245
DS 11-Y	- 98,8	0,9830
DS 12-Y	- 108,2	0,9445
DS 13-Y	- 116,6	0,9639
DS 14-Y	- 123,7	0,9159
DS 15-Y	- 131,4	0,9349
DS 16-Y	- 141,0	0,9486
DS 17-Y	- 161,4	0,9208

Yansıtma ölçümleri 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerde yapılmıştır. Çizelge 7.5' teki yansıtma ölçüm sonuçlarına göre DS 7-Y kodlu örnekten DS 10-Y kodlu örneğe kadar yansıtma değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. Bu ürünlerin yansıtma değerleri 1,02 civarındadır. DS 11-Y kodlu örnekten sonraki tüm örneklerde yansıtma değeri 0,96' dan daha küçük olduğu çizelgede görülmektedir. Örneklerden çekilen mikro fotoğraflar maseral gruplarına ayrılmış, bazı fotoğraflarda tek bir maseral gözlenirken, çoğunluğunda birden çok maseral ve maseral grubu gözlemlenmiştir. Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8' de orijinal numunelere ve yüzen ürünlere ait petrografik görüntüler verilmiştir.



a) DS 1-Y Vitrinit ve mineral madde.



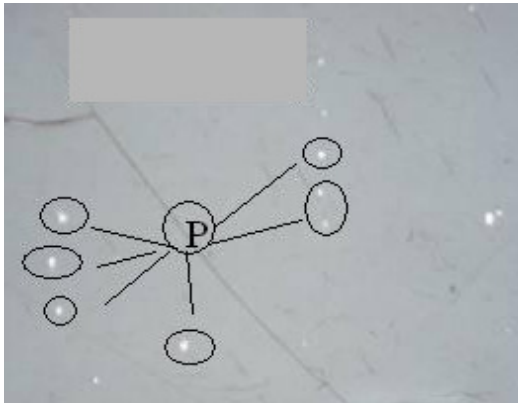
b) DS 2-Y Vitrinit, inertodetrinit, semifusinit.



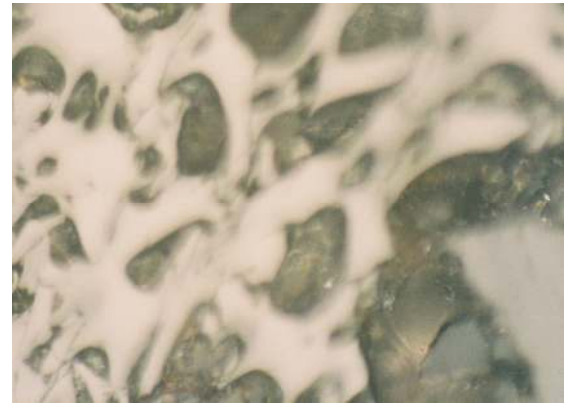
c) DS 3-Y Telakolinit.



d) DS 4-Y Mineral madde, vitrinit.



e) DS 5 Telakolinit, pirit.



f) DS 17 Pirit.

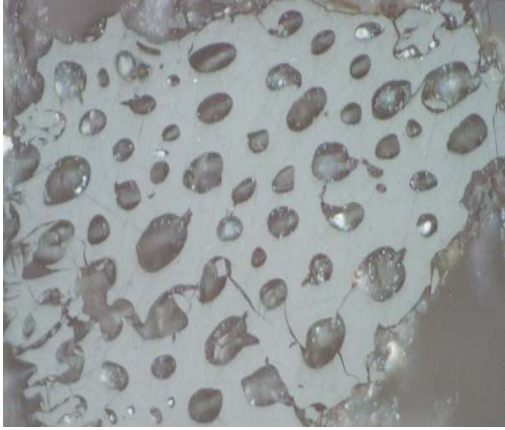
Şekil 7.6 Vitrinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.



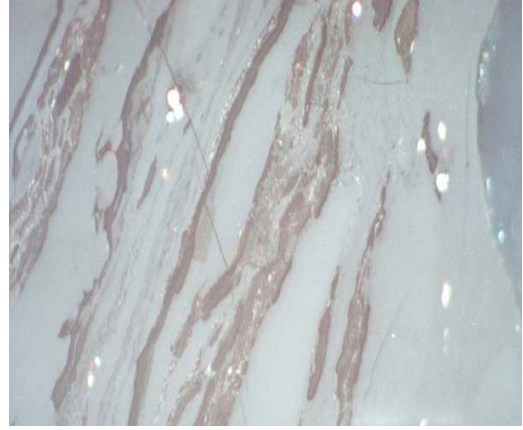
a) DS 6-Y Kütinit, resinit, sporinit.



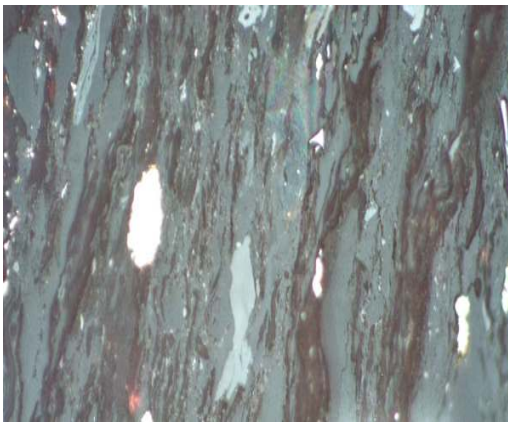
b) DS 7-Y Megaspor parçacığı.



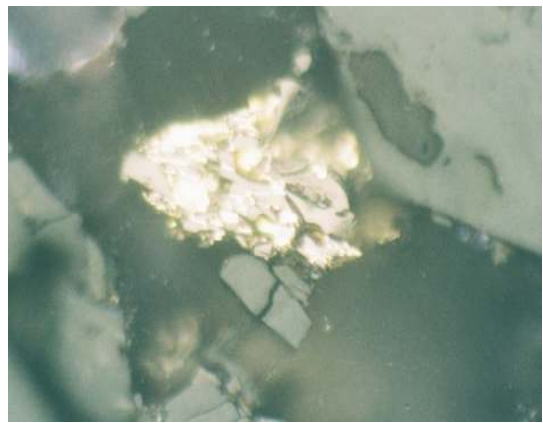
c) DS 8-Y İner semifüzinit elek yapısı.



d) DS 9 Kütinit, sporinit, pirit ve kil bantları.



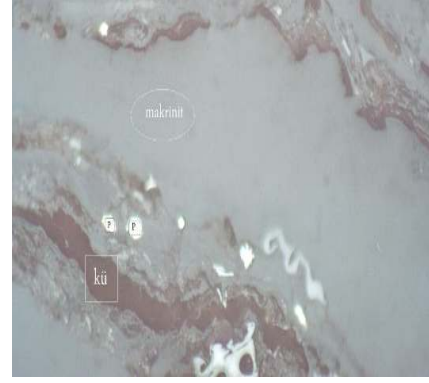
e) DS 10-Y Kütinit, sporinit, pirit ve inertodetrinitler.



Şekil 7.7 Liptinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.



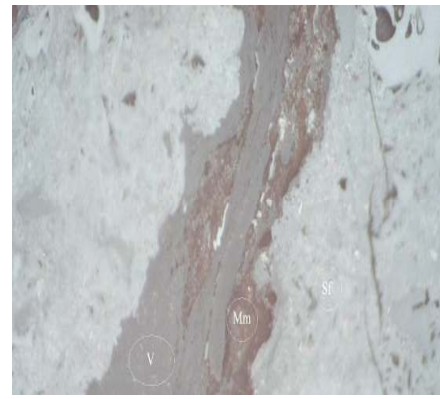
a) DS 11-Y Sıkışmaya uğramış semifusinit.



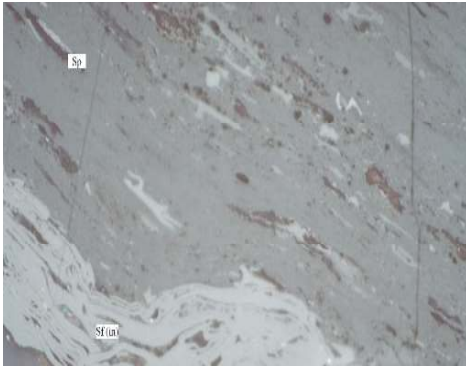
b) DS 12-Y Makrinit, kütinit, pirit, inertodetrinit.



c) DS 13 Semifusinit.



d) DS 14 Semifusinit, kil bantları, vitrinit, mineral madde.



e) DS 15-Y İnert semifusinit, semifusinit, inertodetrinit, sporinit.



f) DS 16-Y Reaktif semifusinit.

Şekil 7.8 İnertinit grubu maserallere ait mikro fotoğraflar.

Şekil 7.6-b' de vitrinit ve semifusinite ait görüntüler, Şekil 7.7-c' de inert semifusinitlerdeki elek yapısı görüntüsü, Şekil 7.8-b' de makrinit ve kütinite ait görüntüler yer almaktadır.

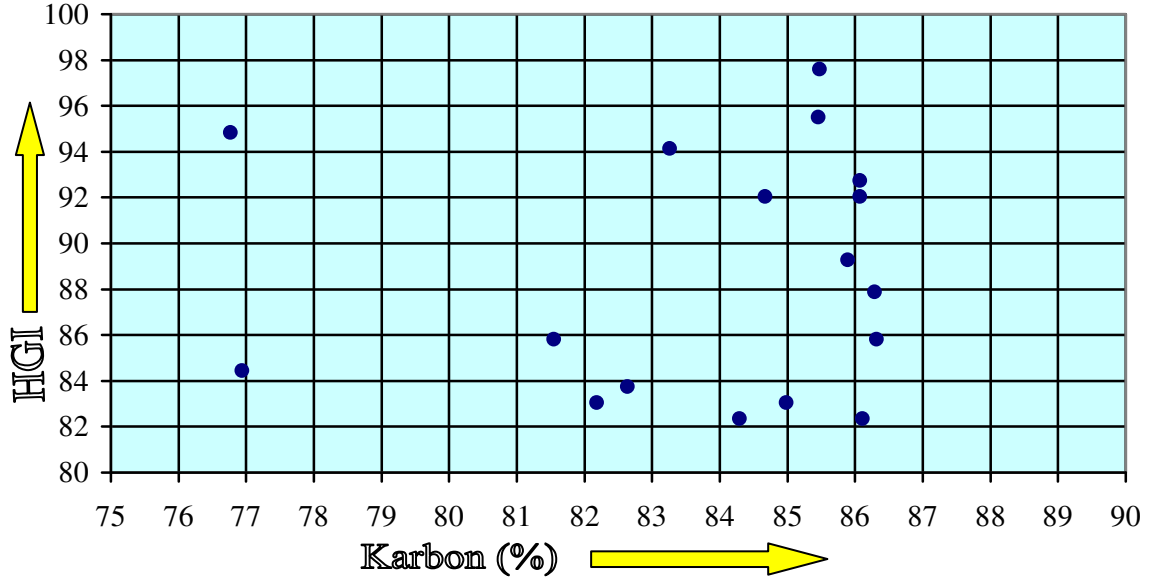
7.4 ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK DENEYLERİ

Hardgrove öğütülebilirlik indeksi deneyleri TS 7700 Türk Standartlarına göre orjinal numunelerde ve 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen numunelerde yapılmıştır. Hardgrove indeksinin belirlemek için yapılan deneyler, her numuneden -1,18+0,60 mm boyut grubundan malzeme ile hazırlanmıştır. Deneyler standart HGI değirmeninde yapılmıştır. Her deney için numunelerden 50±0,01 gr'lık ikişer adet örnek hazırlanmış ve numuneler öğütme cihazında 60±0,25 devirde öğütülmüştür. Öğütülen numuneler 74µm' luk elekten elenerek elek altı miktarları belirlenmiştir. Orijinal ve 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin HGI deneylerinden alınan sonuçlar Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6 Orijinal ve 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen örneklerle ait HGI değerleri.

Ortalama Derinlik (m)	Numune Kodu	HGI ORJİNAL	Numune Kodu	HGI YÜZEN
+ 36,6	DS 1	72,35	DS 1-Y	82,35
+ 16,4	DS 2	70,76	DS 2-Y	83,04
- 24,8	DS 3	64,57	DS 3-Y	83,73
- 29,3	DS 4	69,48	DS 4-Y	82,35
- 38,4	DS 5	70,73	DS 5-Y	95,51
- 43,6	DS 6	71,39	DS 6-Y	97,59
- 51,6	DS 7	69,43	DS 7-Y	92,05
- 61,1	DS 8	69,89	DS 8-Y	94,82
- 73,8	DS 9	68,03	DS 9-Y	87,89
- 81,0	DS 10	67,76	DS 10-Y	85,81
- 98,8	DS 11	66,32	DS 11-Y	85,81
- 108,2	DS 12	65,02	DS 12-Y	84,43
- 116,6	DS 13	68,60	DS 13-Y	83,04
- 123,7	DS 14	69,31	DS 14-Y	94,13
- 131,4	DS 15	67,77	DS 15-Y	92,05
- 141,0	DS 16	68,57	DS 16-Y	89,28
- 161,4	DS 17	69,21	DS 17-Y	92,74

İlgili çizelgede HGI değerlerinin orijinal numunelerde 64,57 – 72,35 arasında değiştiği görülmektedir. 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin HGI değerleri ise 82,35 – 97,59 arasında değişmiştir. Buna göre yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak HGI değerlerindeki değişim grafik halinde çizilerek Şekil 7.9’ da sunulmuştur.

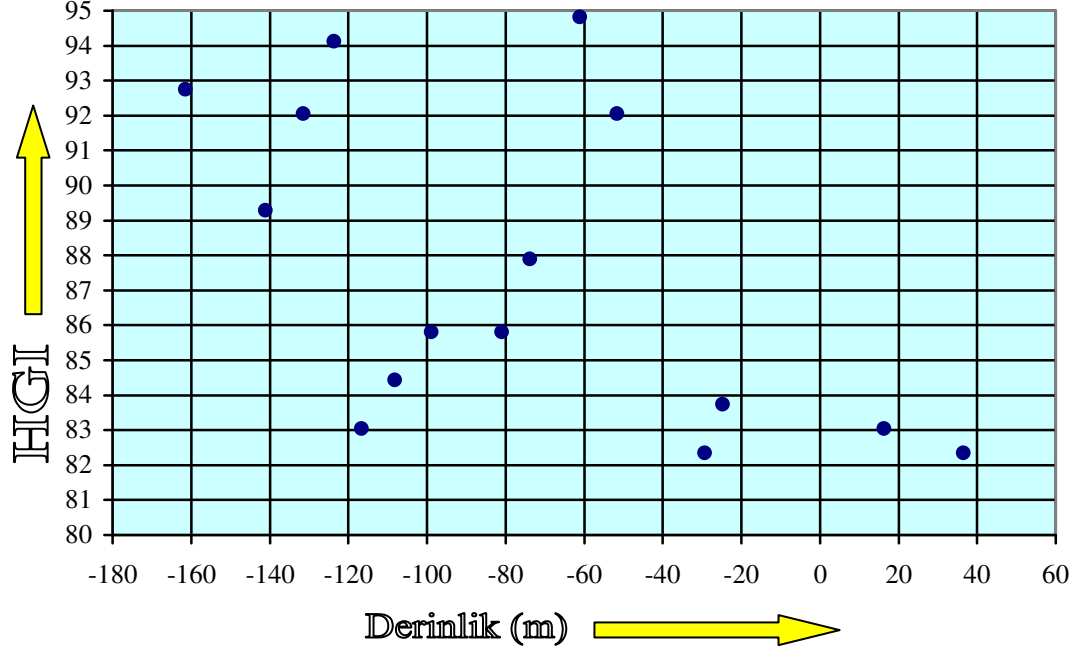


Şekil 7.9 Yüzen ürünlerin karbon içeriğine bağlı olarak HGI değerlerindeki değişim.

Çalışılan numunelerin kül yapıcı (inorganik madde) içeriğinin önemli ölçüde değiştiği göz önüne alınırsa HGI değerlerinin değişiminin beklenebilir bir durum olduğu söylenebilir. Yüzen ürünlerin HGI değerlerinin orijinal numunelerin HGI değerlerinden büyük olması, yüzen ürünlerin daha kolay öğütülebildiğini göstermektedir. Mineral madde içeriğindeki azalmanın kömür öğütülebilirliğini artırdığı görülmektedir. Burada mineral madde miktarından çok analiz yapılmamış olmasına rağmen mineral madde türünün etkin olduğu düşünülebilir. Etkin olarak mineral madde türünün de bu kömürlerde kolay ufalanabilir kilerden oluştuğu genellikle ifade edilmektedir.

Yüzen örneklerde öğütülebilirliğin kömüre ait hangi özelliklerle değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. Kömür örneklerinin öğütülebilirliklerinin değişimi göz önüne alındığında derinliğe bağlı olarak yansıtma ve elementel karbon içeriğinin genel bir değişim eğilimi gösterdiği ortaya konmuştur. Bu durumda HGI değerlerinin derinlikle değişme eğilimi gösteren, yansıtma ve elementel karbonla ilişkilendirilmesi yerinde olacaktır.

Çalışılan numunelerin alındığı derinliğe bağlı olarak HGI değerlerindeki değişimi gözleyebilmek için yüzen numunelere ait derinlik-HGI değişimini gösteren grafik çizilerek Şekil 7.10’ da sunulmuştur.



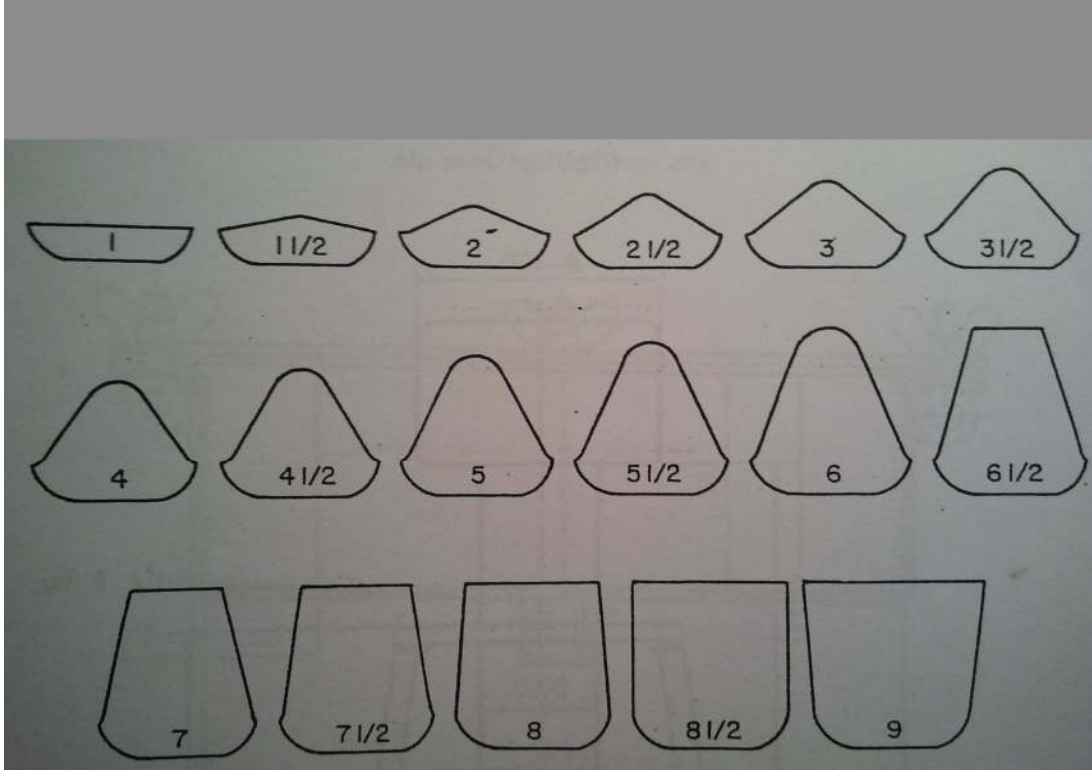
Şekil 7.10 Derinlik artışına bağlı olarak HGI değerlerindeki değişim.

Yüzen numunelere ait HGI değerleri DS 1-Y ile DS 4-Y kodlu numunelerde 90’ ın altında iken, DS 5-Y ile DS 8-Y kodlu numuneler 90’ ın üzerindedir. Daha derin kotlara inildikçe HGI değerinde genel itibariyle bir artış görmek mümkün olmuştur.

7.5 FSI DENEYLERİ

Kömürün krozede şişme indeksinin (FSI) tayini ASTM D-720 Standartlarına göre yapılmıştır. Kapaklı bir kroze içerisine 0,2 mm. altına taze öğütülmüş kömür örneğinden 1 gram tartılmıştır. Kömür yüzeyi, kroze tabanı ahşap takoz üzerine bir süre hafifçe vurularak kroze içerisindeki kömürün krozeye düzgün yayılması sağlanmıştır. Daha sonra krozenin kapağı kapatılarak bek alevi ile ısıtma işlemi yapılmıştır. Çalışılan numunelerin uçucu maddeleri yanıp bitinceye kadar (yaklaşık 2,5 dakika) ısıtılarak pişirilmiştir. Numunenin içinde olduğu kroze daha sonra bek alevinden alınarak, soğumaya bırakılmıştır. Elle tutulabilir hale geldikten sonra kroze içerisindeki yanmış olan kok düğmeleri ile standart kok düğmeleri

karşılaştırılmıştır. Her deneme işlemi 3 defa yapılmıştır. ASTM D-720 standartına göre FSI profilleri Şekil 7.11’ de yer almaktadır.



Şekil 7.11 ASTM D-720 Standartına göre FSI profilleri.

Bek alevinde bekletilerek yanmış olan tüm numuneler Şekil 7.11’ deki standart kok düğme şekilleri ile karşılaştırılarak FSI değerleri kestirilmeye çalışılmıştır. 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen 17 adet ürünün FSI profilleri Şekil 7.12’ de, standart FSI profilleri ile karşılaştırma sonrası belirlenen FSI değerleri de Çizelge 7.7’ de sunulmuştur.



a) DS 1-Y



b) DS 2-Y



c) DS 3-Y



d) DS 4-Y



e) DS 5-Y



f) DS 6-Y



g) DS 7-Y



h) DS 8-Y



i) DS 9-Y



j) DS 10-Y



k) DS 11-Y



l) DS 12-Y



m) DS 13-Y



n) DS 14-Y



o) DS 15-Y



ö) DS 16-Y



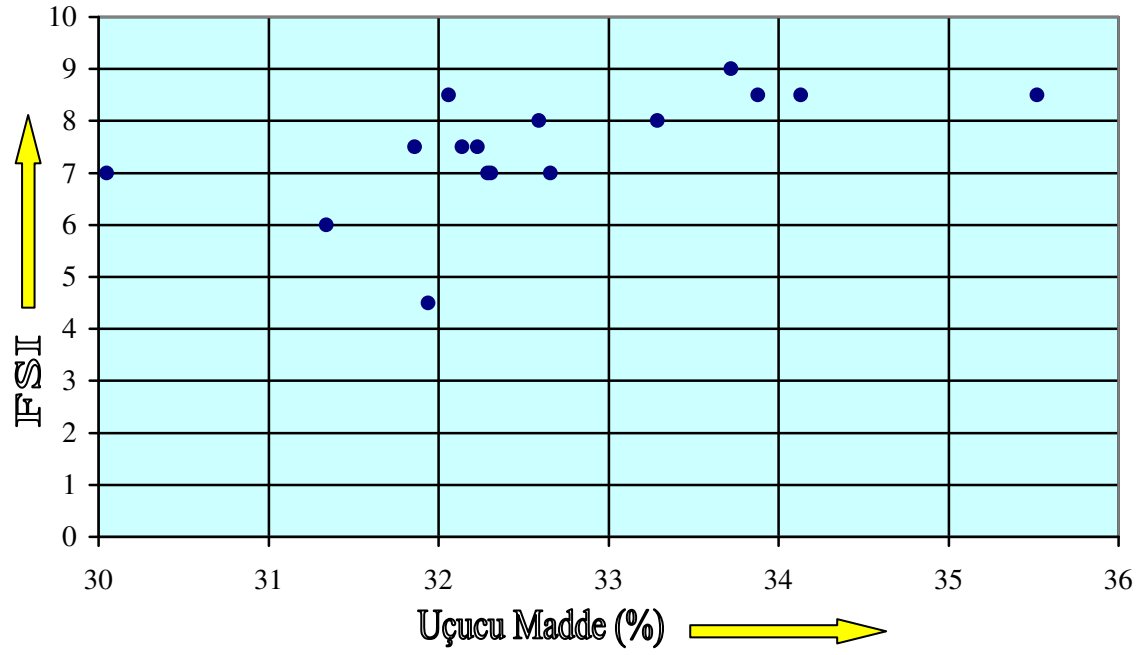
p) DS 17-Y

Şekil 7.12 Yüzen ürünlerin FSI profilleri.

Çizelge 7.7 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen numunelerinin FSI değerleri.

NUMUNE KODU	Ortalama Derinlik (m)	FSI DEĞERLERİ
DS 1-Y	+ 36,6	7,5
DS 2-Y	+ 16,4	7,5
DS 3-Y	- 24,8	4,5 – 5
DS 4-Y	- 29,3	6 – 6,5
DS 5-Y	- 38,4	7,5
DS 6-Y	- 43,6	8,0
DS 7-Y	- 51,6	7,0
DS 8-Y	- 61,1	7,0
DS 9-Y	- 73,8	8,5
DS 10-Y	- 81,0	7,0
DS 11-Y	- 98,8	9,0
DS 12-Y	- 108,2	7,0
DS 13-Y	- 116,6	8,5
DS 14-Y	- 123,7	7,0
DS 15-Y	- 131,4	8,5
DS 16-Y	- 141,0	8,0
DS 17-Y	- 161,4	8,5

Çizelge 7.7' ye göre, 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen numunelerin FSI profillerine göre aldığı değerler 4,5 – 8,5 arasında değişmektedir. Çizelge 7.7' den de görüleceği üzere DS 9-Y, DS 13-Y, DS 15-Y, DS 17-Y numunelerinin FSI değerleri 8,5 iken, DS 7-Y, DS 8-Y, DS 10-Y, DS 12-Y, DS 14-Y numunelerinin FSI değerleri 7 olarak belirlenmiştir. Bu da bize uluslararası taşkömürü sınıflandırmasına göre kömürün kekleşme derecesi ve koklaşma özelliği hakkında bilgi vermektedir. FSI değeri arttıkça numunelerimizin kekleşme derecesi ve koklaşma özelliği artmaktadır. FSI değeri numunenin uçucu madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Çalışılan numunelerde yüzen ürünlerin uçucu madde içeriğine bağlı olarak FSI değerlerindeki değişimi belirlemek amacı ile Şekil 7.13 çizilmiştir.



Şekil 7.13 Yüzen ürünlerin uçucu madde içeriğine bağlı olarak FSI değişimi.

Yüzen ürünlerin uçucu madde içeriklerine baktığımızda DS 8-Y kodlu numunenin uçucu madde içeriği % 30' un altındadır. Bu numunenin FSI değeri ise 7' dir. Uçucu madde içeriği en yüksek olan (35,52) DS 15-Y kodlu ürünün FSI değeri 8,5' tir. Genel olarak FSI değerleri aynı olan numunelerin, uçucu madde içerikleri de benzerlik göstermektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zonguldak Havzası Üzülmüş Müessesesi Bağlık-İnağzı bölümünde üretim faaliyetleri, hazırlık ve rezerv belirleme çalışmaları devam etmektedir. Bu amaçla birisi 900 m diğeri 1200 m olan 18° eğimli iki adet desandre sürülmüştür. Desandreler, bölgenin stampına uygun şekilde kalınlıkları farklı, 20 kömür damarını kesmiştir. Bu kömür damarlarının arınlarından alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmalar ile derinliğe bağlı olarak, kömürlerin fiziksel, petrografik özellikleri ve öğütülebilirliklerindeki değişim belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalar desandrelerin kestiği üretimi yapılabilir kalınlıktaki 17 adet kömür damarından alınan numuneler ile yapılmıştır. Orijinal numuneler DS 1, DS 2, DS 3....DS 17 kotları ile kotlanmıştır. Numuneler + 36,6 ile – 161,35 metre arasındaki kotlardan alınmıştır.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Orijinal numunelerin kül içerikleri % 10,14 ile % 57,37 arasında değişmektedir. Kül içeriklerinin birbirinden çok farklı olma nedeni, kömür damarları içinde farklı kalınlıklarda kil bantlarının bulunması ve tavan-taban taşlarının numunelere karışmış olmasındandır.
- Alınan numunelerin saf kömür damarını temsil etmeyeceği düşünülerek numuneler 1,60 gr/cm³ yoğunluklu çinko klorür çözeltisi ağır ortamda yüzdürme-batırma testine tabi tutularak, 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünler elde edilmiş ve deneysel çalışmalar bu ürünler ile yapılmıştır. Bu ürünler DS 1-Y, DS 2-Y, DS 3-Y,....DS 17-Y olarak kotlanmıştır.
- 1,60 gr/cm³ yoğunlukta yüzen ürünlerin kül içerikleri % 3,47 ile % 12,80 arasında değişmiştir.
- Yüzen ürünlerin uçucu maddeleri % 29,55 ile % 35,52 arasında değişmiştir.

- Petrografik analizlerde petrografik bileşenlerin dağılımları belirlenmiştir. Vitrit içerikleri % 59,0 ile % 70,2 arasında değişmiştir.
- Vitrit yansıtma değerleri DS 1-Y kodlu numuneden DS 10-Y kodlu numuneye kadar ki 10 numunede, - 81 kotuna kadar genel olarak bir artış eğiliminde iken, bu kottan sonra alınan numunelerde yansıtma derecesi düşmüştür.
- Orijinal numunelerin ve ürünlerin öğütülebilirlikleri HGI deneyleri ile belirlenmiştir. Orijinal numunelerde 64,57 ile 72,353 arasında değişen HGI, yüzen ürünlerde 82,35 ile 97,59 arasında değişmiştir. Yüzen ürünlerde inorganik madde içeriği azaldığından, HGI değerleri artmıştır. Daha derin kotlara inildikçe HGI değerinde genel itibariyle bir artış görmek mümkün olmuştur.
- Yüzen ürünlerin FSI değerleri 4,5 ile 9 arasında değişmiştir. FSI değerlerinin uçucu madde içeriği ile ilişkili olduğu bir gerçek olup, analiz sonuçlarında da bu gerçek gözlenmiştir. Uçucu madde içeriği en yüksek olan DS 15-Y kodlu ürünün FSI değeri 8,5' tir. Genel olarak FSI değerleri aynı olan numunelerin, uçucu madde içerikleri de benzerlik göstermektedir.

Kömür örneklerinde mineral madde içeriği tür olarak da tanımlanmalıdır. Böylece yüzdürme-batırma işlemlerinde kömür davranışı hakkında daha kesin yargılara varılabilir, ayırma yoğunluğu istenilen külde kömür eldesi için saptanabilir.

Bölgenin jeolojik verileri ışığı altında, bölgenin bazı damarlarının tamamen veya kısmen aşınması, yayılımlarının değişmesi, kırılması ve kıvrılması dikkate alınarak, damarların dikeydeki değişimi kadar yataydaki değişimleri de incelenmelidir. Ayrıca bölgenin sıkça karşılaşılan faylanma ve arızalarında dolayı, kömür damar yapıları kısa mesafelerde dahi ani değişimler gösterebilmektedir. Bu sebeptendir ki, derinlik ile değişen kömür damarı özellikleri yadırganmamalıdır. Milyonlarca yıl metamorfizmaya uğramış kömür damarları çok daha değişik özellikler göstererek karşımıza çıkacaktır.

KAYNAKLAR

- Anaç S** (2010) Enerji politikalarında kömürün yeri, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu internet sitesi, <http://www.tki.gov.tr>
- Ataman T** (1983) Türkiye’de linyit adı altında üretilmekte olan maden kömürlerinin gerçek nitelikleri ve yeni bir sınıflandırma. *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 8. Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, s. 213–230.
- Ateşok G** (2009) *Kömür Hazırlama*. İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul. 390 s.
- Ateşok G, Özer M, Boylu F and Dinçer H** (2005) The effect of anionic dispersants on grindability of different rank coals. *IJMP*, 77: 199–207.
- Bagherieh A H, Hower J C, Bagherieh A R and Jorjani E** (2007) Studies of the relationship between petrography and grindability for Kentucky coals uusing artificial neural network. *Int. Jeo. Min. Pro.*, 73: 130–138.
- Buzkan İ** (1987) Kömür petrografisi teknikleri ve endüstriyel uygulamaları. *Mad.*, 76: 31–39.
- Chelgani S C, Hower J C, Jorjani E, Mesroghli S and Bagherieh A H** (2007) Prediction of coal grindability based on petrography, proximate and ultimate analysis using multiple regression and artifical neural network models. *Fuel Pro. Tech.*, 89: 13–20.
- Crelling J C** (2006) Coal macerals. petrografic atlas of coals. Cokes chars. Carbons. graphites. Coal research center of department of geology. Southern Illinois Universty. <http://mccay.lib.siu.edu/projects/crelling2/atlas.html> (07 Mayıs 2008).
- Çayırılı S** (2012) Farklı Tür Pomzaların Kesikli Öğütme Ortamındaki Davranışlarının İncelenmesi Ve Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış) Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- DPT** (2011) *Taşkömürü Çalışma Grubu Raporu*. Enerji hammaddeler alt komisyonu, Dokuzuncu beş yıllık kalkınma planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Dünya Enerji Konseyi/Türk Milli Komitesi (DEK/TMK)** (2010), 2012 Enerji İstatistikleri, Türkiye 9. Enerji Kongresi, Eylül, İstanbul.
- ECE** (1988) *International Classification of Hard Coals by Types*, ECE/COAL/115, New York USA, United Nations.
- Emirgen C** (2013) Kişisel görüşme, Soma Kömür Proje Grubu, Üzülmez-ZONGULDAK.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hardgrove R M** (1938) Grindability of coal trans. ASME, *Fuel Sis. Pow.*, 54: 37–46.
- Hower J C** (1998) Interrelationship of coal grinding properties and coal petrology. *Min. Met. Pro.*, 85: 1–16.
- International Energy Agency (IEA)** (2011), Coal Information 2011, Paris.
- International Energy Agency (IEA)** (2011a), Key World Energy Statistics, Paris.
- International Energy Agency (IEA)** (2011b), Energy Policies of IEA Countries – Turkey 2011.
- International Energy Agency (IEA)** (2011b), World Energy Outlook 2012, Paris.
- İpekoğlu Ü ve Tanrıverdi M** (2004) *Cevher Hazırlama*. DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, s. 215.
- Jorjani E, Hower J C, Chelgani S C, Shirazi M A and Mesroghli S** (2007) Studies of relationship between petrography and elemental analysis with grindability for Kentucky coals. *Fuel*, 870: 707–713.
- Karayığit A İ, Gayer R A and Demirel İ H** (1997) Coal rank and petrography of upper carboniferous seams in the Amasra coalfield, Turkey. *Int. J. Co. Geo.*, 36: 277–294.
- Kemal M ve Arslan V** (1999) *Kömür Teknolojisi (genişletilmiş 3. baskı)*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:33, İzmir, 370 s.
- Keskin Y** (1986) *Kömür Hazırlama Yöntemleri*, İnsangücü Eğitim Şube Müdürlüğü Yayınları, No:50, Zonguldak, 232 s.
- Kızıgut S** (2013) Kişisel görüşme. ZKÜ Müh. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Kökoğlu Ç, Gündoğdu B, Yavuz A ve Uzun C** (2008) *Bartın- Amasra Taşkömürü Havzası Jeolojisi ve Sondajlarının Değerlendirilmesi (Özet)* (yayınlanmamış). Hema Kömür Proje Grubu Yayınları. s. 1–17.
- Köksoy M and Karayığit A İ** (1994) Classification of coals. *Coal*, ed. O. Kural, Özgün A.Ş., İstanbul, s. 45–59.
- Mimuroto Y** (2010) The Role of Coal in Energy Security, *Int. Enr. J.*, November.
- Nakoman E** (1971) *Kömür*, MTA Enstitüsü Yayınları, Ankara, 348 s.
- Nakoman E** (2007) Türkiye'nin kömür arama hedefleri ve yöntemleri, *Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri IV*, TKİ Çayırhan Tesisleri, 14-15 Kasım.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Özbayoğlu G, Özbayoğlu A M and Özbayoğlu M E** (2007) Estimation of Hardgrove grindability index of Turkish coals by neural networks. *Int. J. Min. Pow.*, 85: 93–100.
- Özpeker I** (1988) Kömür oluşumu petrografisi ve sınıflandırılması, *Kömür*, ed. s. 7–32.
- Rohde P** (2010) What could shape-up as biggest surprise to influence the future demand for coal, *The Future Role of Coal, Coal Advisory Board Meeting Report*.
- Samanlı S** (2008) Kişisel görüşme. ZKÜ Müh. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Stach E, Machowsky M, Techmuller M, Tayler G, Chendra D, and Teichmuller R** (1982) *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3rd edition, Gebruder Borntraeger, Berlin and Stuttgart, 535 pp.
- Suggate R P and Dickinson W W** (2003) Carbon NMR of coals: the effects of coal type and rank. *Int. J. Comp. Geo.*, 57: 1–22.
- Suiçmez T** (2007) Kömür petrografik bileşenlerinin seçimli olarak ayrılması. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), ZKÜ FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 63 s.
- T.S.E.** (1989) Öğütme İş İndeksi Tayini, *TS 7700*.
- Toroğlu İ** (1990) Amasra bölgesi kömürlerinin değerlendirme olanaklarının araştırılması. Doktora Tezi (yayınlanmamış), İTÜ FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 139 s.
- Toroğlu İ, Hacıfazlıoğlu H, Samanlı S** (2008) Karıştırmalı Değirmende Kokaksu Boksitinin Öğütülmesinde Bazı Çalışma Parametrelerinin Öğütme Verimine Etkisi Ve Bond Değirmini İle Öğütme Verimliliklerinin Karşılaştırılması, s. 23–24.
- Trimble A S and Hower J C** (2002) Studies of relationship between coal petrology and grinding properties, *Int. Journal*, 54: 253–260.
- TS 1227 ISO 3310-1** (1996) Kömür öğütülebilirliğinin Hardgrove yöntemiyle tayini. *TSE*, Ankara.
- TS 330** (1966) Maden kömüründe kül tayini. *TSE*, Ankara, 4 s.
- TS 690** (2002) Maden kömürü-toplam rutubet tayini. *TSE*, Ankara, 8 s.
- TS 711** (2002) Taşkömürü ve kok-uçucu madde tayini. *TSE*, Ankara, 8 s.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)** (2012), 2012 Yılı faaliyet raporu, <http://www.tki.gov.tr>.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Türkiye Taşkömürü Kurumu** (TTK) (2012), Üretim miktarları, <http://www.taskomuru.gov.tr>.
- TÜSİAD** (2009) *21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejilerinin Değerlendirilmesi*, Aralık.
- Ural S and Akyıldız M** (2004) Studies of the relationship between mineral matter and grinding properties for low-rank coals. *Mad. Der.*, 90: 81–84.
- URL-1** (2013) <http://www.akkomur.com/genelbilgiler> (22 Nisan 2013).
- URL-2** (2013) <http://www.tr.wikipedia.org/wiki/kömür> (25 Nisan 2013).
- URL-3** (2013) http://geol.eng.ankara.edu.tr/lecture_notes/komur/12_komur-ortamlar.pps, Kömürleri oluşturan ortamların incelenmesi, s. 27-28.
- World Coal Institute** (WCI) (2010b), Coal Facts: 2010 edition, London.
- World Coal Institute** (WCI) (2010c), Coal: Secure Energy, London.
- Yılmaz S** (2004) Katı Fosil Yakıtlarda Mineral Gidermenin Yanma Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), ZKÜ FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 105 s.
- Yiğit E** (1999) *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme*. Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 181 s.

BİBLİYOGRAFYA

- Baffi E Y and Ramani R V** (1979) Rank and maceral effects on coal dust generation. *Int. Vou. Rock. Mech. Min. Sis.*, 160: 107–115.
- Bond F C** (1947) Standart grindability test and calculations. *Trans. Sis. Met. Energy*, 183: 313–329.
- Bond F C** (1961) Crushing and grinding with pyroprocessing. *Met. Pow. Sis.*, 280: 162–166.
- Bond F C and Maxon W L** (1938) Standart grindability test and calculations. *Trans Sis. Met. Energy*, 153: 362–372.
- DPT** (2001) *Kömür Çalışma Grubu Raporu*. Enerji hammaddeler alt komisyonu, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- ICCP** (1963) International glossary of coal petrology. *Vou. Pow.*, 25-29.
- İpek M** (2003) Seramik hammadde karışımlarının öğütülebilirlik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 181 s.
- Mervit R D** (19..) Coal exploration. *Min. Pow. Dev.*, 200: 156-158.
- Mcintyre A and Plitt L R** (1980) The interrelationship between Bond and Hardgrove grindabilities. *Co. Int. Min., Bulletin*, 149–155.
- Moore M P and Bise C J** (1984) The relationship between the Hardgrove grindability index and potential for respirable dust generation. *Coal Mine Dust Conference Proceedings*, Morgantown WI, p. 250-255.
- Stopes M C** (1935) On the petrology of banded bituminous coal. *Min. Pet. Pro.*, 98: 14-26.
- TSE** (1989) Öğütme iş indeksi tayini, TS 7700.

EK A
TÜVENAN NUMUNELERE AİT KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

Çizelge A.1 Tüvenan DS 1 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	5,16	–
Kül (%)	29,14	30,73
Uçucu Madde (%)	27,27	28,75
Sabit karbon (%)	38,43	40,52
Kükürt (%)	0,81	0,85

Çizelge A.2 Tüvenan DS 2 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	2,62	–
Kül (%)	17,28	17,74
Uçucu Madde (%)	29,17	29,95
Sabit karbon (%)	50,93	52,31
Kükürt (%)	0,80	0,82

Çizelge A.3 Tüvenan DS 3 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,47	–
Kül (%)	54,81	57,37
Uçucu Madde (%)	19,77	20,70
Sabit karbon (%)	20,95	21,93
Kükürt (%)	0,58	0,61

Çizelge A.4 Tüvenan DS 4 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	5,36	–
Kül (%)	34,74	36,71
Uçucu Madde (%)	25,67	27,12
Sabit karbon (%)	34,23	36,17
Kükürt (%)	0,68	0,72

Çizelge A.5 Tüvenan DS 5 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	3,12	–
Kül (%)	9,82	10,14
Uçucu Madde (%)	30,93	31,93
Sabit karbon (%)	56,12	57,93
Kükürt (%)	0,75	0,77

Çizelge A.6 Tüvenan DS 6 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,16	–
Kül (%)	11,67	12,18
Uçucu Madde (%)	29,52	30,80
Sabit karbon (%)	54,65	57,02
Kükürt (%)	0,73	0,76

Çizelge A.7 Tüvenan DS 7 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	2,75	–
Kül (%)	26,76	27,52
Uçucu Madde (%)	28,21	29,01
Sabit karbon (%)	42,27	43,47
Kükürt (%)	0,73	0,75

Çizelge A.8 Tüvenan DS 8 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,42	–
Kül (%)	24,34	25,47
Uçucu Madde (%)	26,29	27,51
Sabit karbon (%)	44,94	47,02
Kükürt (%)	0,79	0,83

Çizelge A.9 Tüvenan DS 9 örneğe ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	5,05	–
Kül (%)	31,55	33,23
Uçucu Madde (%)	29,04	30,58
Sabit karbon (%)	34,36	36,19
Kükürt (%)	0,71	0,75

Çizelge A.10 Tüvenan DS 10 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,13	–
Kül (%)	35,49	37,02
Uçucu Madde (%)	26,95	28,11
Sabit karbon (%)	33,43	34,87
Kükürt (%)	0,67	0,70

Çizelge A.11 Tüvenan DS 11 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	3,18	–
Kül (%)	39,74	41,05
Uçucu Madde (%)	26,15	27,01
Sabit karbon (%)	30,92	31,94
Kükürt (%)	0,66	0,68

Çizelge A.12 Tüvenan DS 12 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	5,42	–
Kül (%)	44,47	47,02
Uçucu Madde (%)	25,15	26,59
Sabit karbon (%)	24,96	26,39
Kükürt (%)	0,61	0,65

Çizelge A.13 Tüvenan DS 13 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,44	–
Kül (%)	29,69	31,07
Uçucu Madde (%)	28,69	30,02
Sabit karbon (%)	37,18	38,91
Kükürt (%)	0,82	0,86

Çizelge A.14 Tüvenan DS 14 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	3,16	–
Kül (%)	29,57	30,53
Uçucu Madde (%)	28,21	29,13
Sabit karbon (%)	39,07	40,34
Kükürt (%)	0,70	0,72

Çizelge A.15 Tüvenan DS 15 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	4,02	–
Kül (%)	38,43	40,04
Uçucu Madde (%)	27,31	28,45
Sabit karbon (%)	30,24	31,51
Kükürt (%)	0,67	0,70

Çizelge A.16 Tüvenan DS 16 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	5,17	–
Kül (%)	25,74	27,14
Uçucu Madde (%)	27,71	29,22
Sabit karbon (%)	41,38	43,64
Kükürt (%)	0,77	0,81

Çizelge A.17 Tüvenan DS 17 örneğine ait kimyasal analiz sonuçları.

Analiz	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem (%)	3,74	–
Kül (%)	27,24	28,30
Uçucu Madde (%)	28,92	30,04
Sabit karbon (%)	40,10	41,66
Kükürt (%)	0,77	0,80

ÖZGEÇMİŞ

Alper ÖKTEM 1982’ de MANİSA/Akhisar’ da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Akhisar Lisesi’ nden mezun olduktan sonra 1999 yılında ZKÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdi; 2003’ te mezun olduktan sonra 2006 yılında TTK’ da maden mühendisi olarak göreve başladı; halen 2006 yılında girdiği TTK’ da çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kılıç Mahallesi Nota Sokak No:13/B
67600 Kozlu/ZONGULDAK

Tel : (536) 975 88 71

E-posta : alperoktem_@hotmail.com