

T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# DİYARBAKIR-HAZRO TAŞ KÖMÜRÜNÜN YIKANABİLME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Halime ABAKAY

106526

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
(MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI)

106526

DİYARBAKIR  
EKİM-2001

**T.C.**  
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**  
**DİYARBAKIR**

Bu çalışma, jürimiz tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı Soyadı :

Başkan : Doç. Dr. Fikri KAHRAMAN (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa AYHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan KAVAK

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.



Prof. Dr. Hasan İhsan TUTALAR  
Enstitü Müdürü

## TEŐEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Doç.Dr. Fikri KAHRAMAN 'a teşekkürlerimi sunarım.

MTA Genel Müdürlüğünden, deneysel verilerin değerlendirilmesi konusunda yardımcı olan Doç.Dr. Mustafa ÜNLÜ 'ye, petrografik analiz konusunda yardımcı olan Dr. Selami TOPRAK 'a teşekkürlerimi sunarım.

Kimyasal analizlerin yapılması konusunda yardımcı olan Elazığ Altınova Çimento Sanayii A.Ş. 'den Kimya Mühendisi Mehmet Nezir TELLİOĞLU 'na, Eti-Krom A.Ş. Genel Müdürlüğünden Maden Mühendisi Ali İhsan ŞANLI 'ya, Dicle Üniv. Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümünden Uzman Abdurrahman SAYDUT 'a ve yıkanabilme eğrilerinin çiziminde yardımcı olan Dicle Üniv. Müh. Mim. Fak. Mimarlık Bölümünden Yük. Mimar Neslihan DALKILIÇ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen Dicle Üniv. Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümünden Yrd.Doç.Dr. Mustafa AYHAN 'na, Arş.Gör. Fatma Deniz AYHAN 'na ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>AMAÇ</b>	i
<b>ÖZET</b>	ii
<b>SUMMARY</b>	iii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER</b>	3
2.1. Kömürün Tanımı	3
2.2. Kömürün Sınıflandırılması	4
2.3. Kömürün Kimyasal Özellikleri	5
2.4. Kömürün Fiziksel Özellikleri	5
2.4.1. Nem	5
2.4.2. Özgül Ağırlık	6
2.4.3. Yapı ve Kırılma	8
2.4.4. Tane Boyut Dağılımı	8
2.4.5. Sertlik	8
2.4.6. Gevreklik ve Mukavemet	9
2.4.7. Öğünebilirlik	10
2.4.8. Açık Havada Dağılganlık	10
2.4.9. Aşındırıcılık	10
2.4.10. Renk ve Çizgi Rengi	11
2.4.11. Parlaklık	11
2.5. Kömürün Petrografik Özellikleri	11
2.5.1. Litotipler	11
2.5.2. Maseraller	13
2.6. Kömürün Diğer Özellikleri	16
2.6.1. Kömürün Mineral Madde İçeriği	16
2.6.2. Kömürün Kükürt İçeriği	19
<b>3. KÖMÜRÜN YIKANABİLİRLİĞİ</b>	20
3.1. Kömür Yıkanabilme Özelliğinin Tespiti	20
3.2. Kömür Yıkama Sonuçlarının Değerlendirilmesi	21

3.2.1. Yıkama Eğrileri	21
3.2.2. Mayer Eğrisi	22
3.2.3. Yıkanabilme Derecesi (Numarası)	23
3.2.4. Yeni Yöntem	24
<b>4. KÖMÜRÜN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ</b>	<b>26</b>
4.1. Boyutlandırma ve Kurutma	26
4.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme	26
4.2.1. Ağır Ortam Ayırması	26
4.2.2. Ağır Ortam Siklonları	27
4.2.3. Jigler	27
4.2.4. Sallantılı Masalar	27
4.3. Manyetik Zenginleştirme	28
4.4. Düşük Sıcaklık Karbonizasyonu	28
4.5. Flotasyon	28
4.5.1. Kömürün Doğal Yüzdürülebilirliği	29
4.5.2. Flotasyon Teorisi	32
4.5.2.1. Karbon-Hidrojen Teorisi	32
4.5.2.2. Karbon İçerik Teorisi	32
4.5.2.3. Yüzey Bileşimler Teorisi	32
4.5.3. Kömür Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler	32
4.5.4. Kömür Flotasyonunu Etkileyen Faktörler	33
4.5.4.1. Tane Boyutu	33
4.5.4.2. Pülp Yoğunluğu	33
4.5.4.3. pH ve Sıcaklık	34
4.5.4.4. Oksidasyon ve Kömür Sınıfı	35
<b>5. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE KÖMÜR REZERVİ</b>	<b>36</b>
5.1. Dünyada Kömür Rezervi	36
5.2. Türkiye'de Kömür Rezervi	37
5.2.1. Taş Kömür Rezervi	37
5.2.2. Linyit Rezervi	38

<b>6. DİYARBAKIR – HAZRO KÖMÜR SAHASI</b>	<b>40</b>
6.1. Genel Jeoloji	40
6.1.1. Permiyen Öncesi Kayaçlar	40
6.1.2. Permiyen Yaşlı Kayaçlar	43
6.1.2.1. Hazro Formasyonu	43
6.1.2.1. Gomanibrik Formasyonu	43
6.1.3. Permiyen Sonrası Kayaçlar	43
6.1.3.1. Uludere Formasyonu	43
6.1.3.2. Mardin Formasyonu	43
6.2. Kömür Damarları	44
6.2.1. Üst Kömür Damarı	45
6.2.2. Alt Kömür Damarı	45
<b>7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b>	<b>49</b>
<b>8. MATERYAL VE METOD</b>	<b>59</b>
8.1. Materyal	59
8.2. Metod	61
8.2.1. Kimyasal Analiz	61
8.2.2. Petrografik Analiz	63
8.2.3. Kırma-Eleme	63
8.2.4. Öğütme-Eleme	63
8.2.5. Yüzdürme-Batırma	64
8.2.6. Ağır Ortam İle Zenginleştirme	64
8.2.7. Flotasyon	64
<b>9. ARAŞTIRMA BULGULARI</b>	<b>66</b>
9.1. Analiz Sonuçları	66
9.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	66
9.1.2. Petrografik Analiz Sonuçları	68
9.2. Elek Analiz Sonuçları	69
9.3. Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	72
9.3.1. Üst Kömür Damarı Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	72
9.3.2. Alt Kömür Damarı Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	85

9.3.3. Yıkabilme Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması	97
9.4. Zenginleştirme Deney Sonuçları	106
9.4.1. Üst Kömür Damarının Zenginleştirme Deney Sonuçları	106
9.4.2. Alt Kömür Damarının Zenginleştirme Deney Sonuçları	110
9.4.2.1. Ağır Ortam İle Zenginleştirme Deney Sonuçları	110
9.4.2.2. Flotasyon İle Zenginleştirme Deney Sonuçları	113
<b>10. SONUÇ VE TARTIŞMA</b>	<b>121</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>125</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b>	<b>130</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>133</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>135</b>



## AMAÇ

Bu çalışma, 1999-2001 yılları arasında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Diyarbakır İli Hazro İlçesinde bulunan alt bitümlü kömür niteliğindeki kömür sahası bu araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu araştırmanın amacı; üst kömür damarı ve alt kömür damarının yıkanabilme özelliklerinin belirlenmesi ve tespit edilen yıkama verilerinin değerlendirilerek bu kömürler üzerinde uygulanabilecek yıkama yöntemlerinin seçimidir.





## ÖZET

Bu çalışma, Diyarbakır-Hazro yöresinde alt bitümlü kömür yatağında bulunan; üst kömür damarı ve alt kömür damarının yıkanabilme özelliklerinin belirlenmesi ve bu kömür damarlarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek yıkama yöntemlerini araştırmak amacı ile yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömürlerin özellikleri şöyledir: üst kömür damarı; orijinal bazda %2,76 nem, %24,14 kül, %37,27 uçucu madde, %2,34 kükürt ve 5938 kcal/kg 'lık üst ısıl değerine sahip olurken, alt kömür damarı; orijinal bazda %1,64 nem, %40,07 kül, %26,78 uçucu madde içermektedir.

Yıkanabilme özelliklerinin tespiti için; -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm tane fraksiyonlarında yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Yıkanabilme sonuçlarının değerlendirilmesinde; yoğunluk dağılımı, temiz kömür miktarı, şist kalitesi, yıkanma kolaylığı ve yıkanabilme derecesi kullanılmıştır.

Üst kömür damarının; -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm tane boyutlarında ağır ortam ile zenginleştirme yöntemi, -0.5 mm fraksiyonu ise flotasyon ile değerlendirilmesi araştırılmıştır.

Alt kömür damarının; -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm tane fraksiyonlarında ağır ortam ile zenginleştirme yöntemi denenmiştir. Ancak elde edilen temiz kömürlerin yanabilir verimleri düşük olmuştur. Alt kömür damarı üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde kömürün ince boyutlarda serbestleşmesinden (-0,075 mm) dolayı olumlu bir sonuç alınamamıştır.

## SUMMARY

This study was made to determine the washability properties of upper and lower sub bituminous coal seams from Diyarbakır-Hazro region and investigate the relevant coal cleaning methods. The properties of the coal used in the studies were as follows: the upper coal seam contained %2,76 moisture, %24,14 ash, %37,27 volatile matter, %2,34 sulphur on original bases and had 5938 kcal/kg gross calorific value, the lower coal seam contained %1,64 moisture, %40,07 ash and %26,78 volatile matter.

Sink and float experiments have been made to determine the washability properties of the  $-50+19$  mm,  $-19+4,75$  mm and  $-4,75+0,5$  mm size fractions. Density distribution, clean coal amount, schist quality, washing convenience and washability degree have been used in utilizing the coal cleaning characteristics.

$-50+19$  mm,  $-19+4,75$  mm and  $-4,75+0,5$  mm size fractions from the upper coal seam have been evaluated by heavy media separation and  $-0,5$  mm size fraction has been evaluated by flotation.

Heavy media separation has been carried out on the  $-50+19$  mm,  $-19+4,75$  mm and  $-4,75+0,5$  mm size fractions of the lower coal seam. But combustible yields of the clean coal have been fairly low. Results obtained from the flotation experiments made on the lower coal seam were negative because of the high ash content and very fine liberation size ( $-0,075$  mm).

## 1. GİRİŞ

Kömür jeolojik devirler boyunca dönüşüme uğrayarak, yüksek bir kalori değeri kazanmış bitki artıklarından oluşan; farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki katı organik yakıtlara verilen isimdir. Kömür bugün sadece bir enerji kaynağı değil aynı zamanda birçok sanayiinin ana girdisinin üretildiği bir hammaddedir. Örneğin; demir-çelik, alüminyum, boya, plastik, eczacılık vs.

Isınma ve ısıtma amacı ile kömür, termik santrallerde, konutlarda, sanayi ve kazan fırınlarında ve ulaşırmada kullanılmaktadır. Kömür enerji hammaddelerinin en önemlilerinden biridir. Kömürde bulunan en önemli safsızlıklar, inorganik maddeler, kükürt ve nemdir. İnorganik maddeleri kömürden ayırmakla kömürün kül yüzdesi düşürülür ve yanabilir kısım oranı yükseltilebilmektedir. Böylece ısı değer yükseltildiği gibi mineral maddenin nakliyatı, ısıtılması, ocak ve stok nemini işgal etmesi önlenmiş olur.

Kömür çoğu kez ocaktan üretildiği şekli ile kullanılmamaktadır. Çeşitli teknolojilerin; kömür tipleri, özellikleri bakımından değişiklik göstermektedir. Bu özellikler arasında maksimum ve minimum tane boyutu, kül, kükürt ve rutubet oranı, kalorifik değer, uçucu madde oranı ve koklaşma yeteneği gibi önemli faktörler sayılabilir. Kömür hazırlama, üretilen kömürden çeşitli teknolojilerin istediği ürünleri elde etmek üzere yapılan işlemleri kapsamaktadır.

Kömür temizleme teknolojilerinden en yaygın olanı kömürün yıkanarak mineral madde içeriğinin azaltılmasıdır. Bu fiziksel ayırma işlemi ile kül içeriği kömürden daha az olan yıkanmış kömür elde edilebilmektedir. Kömürün yıkanabilirlik verilerine dayanarak fiziksel yöntemler, ile kömürün ne ölçüde temizlenebileceği veya belli bir kalitede kömür elde etmek için verimin ne olacağı (kömürün ne kadarının yüzen temiz kömür olarak ayrılacağı) belirlenebilmektedir. Kömürlerin yıkanabilme özelliklerini gösteren yıkanabilirlik eğrileri kömürün bu yol ile ne ölçüde temizlenebildiğinin bir göstergesi olmaktadır. Ayrıca bu verilerin incelenmesi sonucu kömürün fiziksel yöntem ile temizlenmesinin kolay veya zor olduğuna karar vermek mümkündür.

Kömürün içerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Bu işlemlerin başarısı, kömürün içerdiği mineral maddenin özelliklerine bağlıdır. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun daima önemli miktarda mineral madde kömürde kalmakta ve kömürün kullanımında önemli rol oynamaktadır (YAMAN ve ark., 1998).

Kömür, bir yakma ünitesinde yakıldığında içerdiği mineral madde önemli değişikliklere uğrayarak; klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratmaktadır. Kömürün temiz yakıtlara dönüştürülmesi amacı ile uygulanan sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri kömürün içerdiği mineral maddenin miktarından, türünden ve dağılımından etkilenmektedir. Kömürün içerdiği mineral maddeden kaynaklanan sorunların azaltılabilmesi için kullanılan kömürün mineral madde içeriği hakkında yeterli bilgi sahibi olmak gerekir (YAMAN ve ark., 1998).

Kömürün ana yapısını oluşturan organik maddelerle birlikte çeşitli inorganik maddelerde bulunur. Ancak organik maddeler kömürün işe yarayan kısımlarını oluştururken, katı organik maddeler kömür teknolojisi yönünden yararlı değildirler ve bunların zenginleştirme yöntemleri ile mümkün olduğu oranda kömürden uzaklaştırılmasına çalışılır (ATEŞOK, 1986).



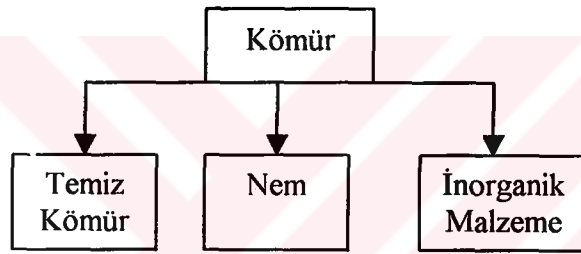
## 2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kömürün Tanımı

Yeterli miktarda yanıcı organik bileşikler ihtiva eden, doğal halde veya bazı değişimlerden sonra yakacak olarak kullanılabilen kayalara "mineral yakıtlar" adı verilmektedir. Bütün yanabilen mineraller yakıtlar sınıfına dahil edilemez. Oksijen ihtiva eden bir ortamda yanabilmesine rağmen yakıt olarak kullanılmayan kükürt gibi minerallerinde mevcut olduğunu unutmamak gerekir. Mineral yakıtların ortak özellikleri; organik kökenli olmaları, belirli oranlarda C, H, O ve N ihtiva etmeleridir. Mineral yakıtlar genel olarak 3 grupta toplanmaktadır.

#### 1.Kömürler :

Kömür organik bir kayadır. Genellikle kuru olarak % 50 oranında yanabilen madde içeren kayalardır.



#### 2.Bitümlü Şistler :

Kömürlere nazaran karbon miktarı az fakat ihtiva ettikleri mineral maddeleri çok daha fazla olan bitümlü şistler, killi bir ana kayaya empenye olmuş organik maddelerden ibarettir. Genellikle kahve rengi olup çok nadir olarak bitki artığı içermektedirler.

#### 3.Petroller :

Gaz, sıvı veya katı halde bulunabilen hidrokarbürler olup, bir depo kayaya kolayca enjekte edilmişlerdir. Sıvı hidrokarbürler ekonomik yönden en önemlileridir. Kömürün ve bitümlü şistlerin az çok düzenli sedimanter tabakalar halinde bulunmalarına karşılık, petroller şekilleri depo kayaya uyan özel ve düzensiz yataklar teşkil etmektedirler (ATEŞOK, 1986).

## 2.2. Kömürün Sınıflandırılması

Kömürlerin sınıflandırılmasında genel olarak sabit karbon yüzdesi, kalorifik değer, uçucu madde, nem ve hidrojen yüzdeleri temel olarak alınmıştır. Bu sınıflamaların tamamı 30'a yakındır. Bunların arasında en çok kullanılanı A.S.T.M. sınıflamasıdır (ATEŞOK,1986). Bu sınıflandırmada kömürleşme derecesi esas alınarak; yüksek kaliteli kömürler, kuru ve külsüz bazda, sabit karbon ve uçucu madde yüzdelerine ve düşük kaliteli kömürlerde kalori değerleri göz önüne alınarak ana ve alt sınıflara ayrılmışlardır (ÜNLÜ, 1987). Kömürlerin A.S.T.M. sınıflaması Çizelge.2.1 'de verilmiştir.

Ülkemiz kömürlerinin Ulusal sınıflaması; kömürlerimizin kalori değeri, kükürt içeriği ve koklaşma özellikleri baz alınarak hazırlanmıştır. Kömürlerimiz önce, kalori değerlerine (Q) göre sınıflandırılmış ve her bir sınıf bir büyük harf ile ifade edilmiştir.

Örneğin;

A Sınıfı: Taşkömürü	Q >6500	kcal/kg
B Sınıfı :Yarı Taşkömürü	4000<Q<6500	kcal/kg
C Sınıfı : İyi kaliteli linyit	3000<Q<4000	kcal/kg
D Sınıfı : Linyit	2000<Q<3000	kcal/kg
E Sınıfı :Düşük kaliteli Linyit	Q<2000	kcal/kg

Kükürt içeriği için indisler belirlenmiştir. Bunlar kömür sınıfı harflerine eklenmektedirler.

<u>İndis</u>	<u>Kükürt İçeriği , %</u>
0	0,50 veya altı
1	0,50-1,50
2	1,50-2,50
3	2,50-3,50
4	3,50 veya üstü

Ayrıca, taşkömürleri koklaşp koklaşmalarına göre K yada -K harflerini sınıf harfleri yanına alırlar.

Çizelge.2.1. Kömürlerin A.S.T.M. Sınıflandırması (ÜNLÜ, 1987)

Ana Sınıflar	Alt Sınıflar	Sabit C *%	Uçucu Madde* %	Kalori Değeri* kcal/kg	Koklaşma ve Hava etkisi ile bozulma
I. Antrasit	1. Meta Antrasit	98	2		Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulmaz
	2. Antrasit	92	8		
	3. Semi Antrasit	89	14		
II. Taş Kömürü	1. Düşük Uçuculu	78	22		Koklaşır ve hava etkisi ile bozulmaz
	2. Orta Uçuculu	69	31		
	3. Yüksek Uçuculu A	<69	>31	>7800	
	4. Yüksek Uçuculu B			7200-7800	
	5. Yüksek Uçuculu C			7200-6400	
III. Yarı Taş Kömürü	1. Yarı Taşkömürü A			6400-5800	Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulur
	2. Yarı Taşkömürü B			5800-5200	
	3. Yarı Taşkömürü C			5200-4600	
IV. Linyit	1. Linyit A			4600-3500	Koklaşmaz ve hava etkisi ile bozulur
	2. Linyit B			<3500	

\* Kuru külsüz baza göre

### 2.3. Kömürün Kimyasal Özellikleri

Herhangi bir kömür kapalı kaptan havasız olarak ısıtıldığı zaman gaz, sıvı ve katı ürünler elde edilmektedir. Gaz ürünler gaz yakıt, katı olanlar metalürji veya ısıtma, tekniğinde yakıt olarak kullanılmaktadırlar. "Katran" adı verilen sıvı ürün ise içerdiği kıymetli kimyasal maddelerden dolayı sıvı yakıt olarak kullanılmayarak damıtılmak üzere toplanmaktadır. Katranın içeriği kömürün cinsine, kömürün ısıtılma şartına ve ısı derecesine bağlıdır (ATEŞOK, 1986).

### 2.4. Kömürün Fiziksel Özellikleri

#### 2.4.1. Nem

Kömürlerde bünye ve yüzey rutubeti olmak üzere iki tür rutubet bulunur. Bünye rutubeti, kömürün yapısında yer alır ve kömür etrafından adsorbe edilmiş olan ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelmektedir. Yüzey rutubeti ise kömürde serbest

halde bulunan sudan oluşmakta ve rutubetli hava koşullarından veya kömürün sulu bir ortam ile temas etmesinden ileri gelmektedir. Kömürün 105 °C 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar ısıtılması ile saptanan rutubet oranı genel anlamda "toplam rutubet " olarak tanımlanmaktadır (ATEŞOK, 1986). Herhangi bir nemlendirme veya kurutma olmadığı halde, ocak çıkışı taşkömürü % 1-3, sert linyitler % 20-30, yumuşak linyitler % 40-60 ve turbalar % 60'ın üzerinde nem içermektedirler (KEMAL, 1987).

Yüzey rutubeti kömürün tane boyutuna ve rutubete neden olan koşullara bağlı olarak değişmektedir. İri boyuttaki kömürlerde yüzey rutubeti rahatça süzülerek ayrılabilir fakat kömürün boyutu küçüldükçe yüzey alanının büyümesi nedeni ile yüzey rutubeti oranı artar ve bu rutubet kendiliğinden kolaylıkla ayrılmaz. Bu bakımdan zenginleştirme yöntemleri ile elde edilen ince temiz kömürler, filtre ve santrifüj kurutuculardan geçtikten sonra ısı işlem ile kurutmayı gerektirmektedirler (ATEŞOK, 1986).

Kömür yerinde iken kuru ve yağlı gözükmese rağmen su ile doymun durumdadır. Bu nem varlığı yatak nemi olarak adlandırılmaktadır. Taş kömürleri genellikle % 10'nun altında nem içerirken, linyitler % 55'lere ulaşan oranlarda nem içermektedirler (ÜNLÜ, 1987).

Bir kömür yatağı içinde; kuru bir yerde yeni kazılmış (taze) kömür; kırıldığı zaman kuru ve tozlu görünmesine rağmen nem ile doyurulmuştur. Bu nem yüzdesi çoğunlukla "yatak nemi" olarak isimlendirilmekte ve bu nem değeri kömür yatağının her yerinde aşağı yukarı sabittir. Nem yüzdesi kömür sınıfının bir özelliğidir (YANCEY ve ark., 1979).

#### 2.4.2. Özgül Ağırlık

Ocaklardan çıkarılan tüvenan kömür farklı özgül ağırlıktaki parçaların karışımı halinde bulunmaktadır. Tüvenan kömürdeki herhangi bir parçanın özgül ağırlığı bu parçanın külüne, rutubetine, sabit karbon miktarına ve uçucu madde oranına bağlıdır. Kömürün külü arttıkça özgül ağırlığı artmaktadır. Ancak bu artışlar birbirleri ile doğru orantılı değildir. Ayrıca külün özgül ağırlık üzerindeki etkisi kül yapıcı maddelerin cinsine göre değişmektedir. Örneğin; alüminyumlu bir külün özgül ağırlığı, demirli bir külden daha azdır.

Saf kömürün özgül ağırlığı, kömürün ait olduğu sınıfa göre değişerek; linyitten antrasite doğru gittikçe artmaktadır.



Özgül Ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)

Linyit	0,05-1,30
Bitümlü kömür	1,15-1,50
Antrasit	1,40-1,70

Aynı sınıftaki kömürlerin özgül ağırlıkları arasındaki fark bunların içerdikleri farklı bünye küllerinden ileri gelmektedir. Kömürlerdeki kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı maddelerin özgül ağırlıkları kömürden yüksektir. Bu maddelerin özgül ağırlıkları aşağıda verilmiştir (ATEŞOK, 1986).

Özgül Ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)

Pirit	4,8-5,1
Şeyl, Kil, Kumtaşı	2,6
Jips	2,3
Kaolin	2,6
Kalsit	2,7

Çoğunlukla kullanılan kömür temizleme yöntemleri flotasyon dışında gravite yöntemleri şeklindedir. Bu nedenle kömür ile birleşmiş emprütelerin özgül ağırlıkları büyük bir öneme sahiptir. Karbonlu maddenin miktarına bağlı olarak karbonlu şist özgül ağırlığı 2,0 g/cm<sup>3</sup> 'den 2,6 g/cm<sup>3</sup> 'e kadar olabilmektedir. Saf kömürün özgül ağırlığı literatürde 1,23 g/cm<sup>3</sup> 'den 1,72 g/cm<sup>3</sup> 'e kadar değişmektedir. Bu değişimler kömür sınıfındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni nem, kül içeriği ve özgül ağırlığın belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Verilen sınıfın kömürü yaş olduğu zaman kuru olduğu durumdan daha yüksek bir özgül ağırlığa sahiptir. Benzer olarak özgül ağırlıktaki herhangi bir değişim kül içeriğindeki değişim ile gösterilmiş olup; daha yüksek kül içeriği daha yüksek özgül ağırlık vermektedir.

Havada kurutulmuş kömürün gözle görülür özgül ağırlığı aynı kömürün "taze şekli" veya nem ile doyurulmuş aynı kömürden daha düşüktür. Fakat havada kurutulmuş kömür 24 saat su içinde bırakılırsa kömürün orijinal özgül ağırlığı tekrar elde edilir (YANCEY ve ark., 1979).

### 2.4.3. Yapı ve Kırılma

Kömürde ilk kırılma madencilik işlemleri sırasında meydana gelmektedir. Bu işlemlerdeki kırılmalar sonucunda meydana gelen parçaların büyüklük ve şekilleri uygulanan kazı yöntemi ile kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Bu sistemin özellikleri kömürden kömüre değişir ve kazı işlemleri önem taşımaktadır. Kırık ve çatlak sistemine en yoğun biçimde düşük uçucu maddeli bitümlü kömürlerde rastlanmaktadır. Bu kömürler çok kırılındıkları ve kırıldıkları zaman fazla oranda ince malzeme meydana getirmektedirler. Bu tür kömürler bazen “zayıf” yapıları olarak tanımlanmaktadır.

Kırık ve çatlak sisteminin fazla belirgin olmadığı ve kırılma yüzeylerinin birbirinden uzak bulunduğu kömürler ise “sağlam” yapıları olarak tanımlanmaktadır. Bir kömür yatağı parçalandığı zaman kırılma sisteminin özelliğine bağlı olarak blok şeklinde, kübik veya yassı parçalar meydana gelebilir (ATEŞOK, 1986).

### 2.4.4. Tane Boyut Dağılımı

Temiz kömürün satış değerini belirleyen kül, kükürt ve ısı değeri gibi ana faktörlere, daha az önem taşımakla birlikte tane boyutu ilave edilebilir. Bazı satışlarda, kömürde belli bir boyutun altındaki malzeme oranının belli bir sınırı geçmemesi koşulu aranmaktadır.

Ocaktan çıkarılan tüvenan kömürlerin tane boyut dağılımına çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörler; kömürün sertliği, mukavemeti, kırık ve çatlak sistemi gibi yapısal özelliklerden ve uygulanan madencilik yönteminden kaynaklanmaktadır (ATEŞOK, 1986).

### 2.4.5. Sertlik

Kömürün sertliği, ufalanabilme ve öğünebilme özelliklerine etki etmektedir. Kömürün sertliği, kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişmektedir. % 85-90 oranında karbon içeren kömürler en düşük sertliğe sahiptirler. Sertlik, uçucu madde oranı % 5 ‘den % 15 ‘e doğru çıktıkça azalır, % 15 ‘den % 40 ‘a doğru çıktıkça artmaktadır.

Kömürler arasında en yumuşak olanı linyit en sert olanı antrasittir. Ancak kömürler fiziksel yapı bakımından çok farklılık gösterdiğinden sertlik dereceleri de çok değişken olup antrasit dışında herhangi bir kömür için kesin bir sertlik derecesi belirtmek mümkün değildir. Antrasitin sertliği Mohs sisteminde 2,73-3 arasında olup çakı ile kolaylıkla çizilebilir (ATEŞOK, 1986).

#### 2.4.6. Gevreklik ve Mukavemet

Farklı kömürlerin gevrekliği; zenginleştirme işleminde büyük önem taşımaktadır. Çünkü besleme malındaki ince kısımların oranı büyük miktarda olup bu büyüklük toplam zenginleştirme masrafıdır. Gerçekte besleme malının tonu başına zenginleştirme masrafı; besleme malının tonu başına partikül miktarının bir fonksiyonu şeklindedir.

Laboratuar gevreklik testleri; kömürün gevrekliği ve sınıfı arasında bir ilişki kurmak amacı ile yapılmıştır. US Bureau of Mines tarafından; değişik sınıflı kömürler üzerinde 235 gevreklik tanımlaması çalışmasını gerçekleştirmiş olup bu çalışmanın sonucu aşağıda Çizelge.2.2.'de verilmiştir.

Çizelge.2.2. Farklı Sınıflı Kömürlerin Ortalama Gevreklik Değerleri (YANCEY ve ark., 1979).

Kömür Sınıfı	Test Sayısı	% Gevreklik
Antrasit	36	33
Düşük ve orta uçuculu	27	70
Bitümlü	87	43
Alt bitümlü A	40	30
Alt bitümlü B	29	20
Linyit	16	12

Burada linyitler en az gevrek olarak tespit edilmiştir (YANCEY ve ark., 1979). Kömürün basınca karşı mukavemeti madencilikte tahkimat için kullanılan kömür topukları ile kırma ve öğütme işlemlerinde önem taşımaktadır. Baskı mukavemeti kömürün türü ve petrografik yapısı ile ilgili olup en düşük mukavemet uçucu maddenin % 20-25 olduğu oranlara rastlamaktadır .

Gevreklik, herhangi bir parçanın kendinden küçük parçalara kırılabilme eğilimi olup kömürün önemli özelliklerinden birisidir. Kolay ufalanabilen kömürlerde fiyatı daha yüksek olan iri malzeme oranı azdır. Bu kömürlerde ince malzemenin fazla olması yüzey alanının büyük olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması oksitlenmeyi hızlandırarak ani yanmalara ve koklaşan kömürlerde koklaşma kalitesinin azalmasına veya tamamen kaybolmasına neden olur (ATEŞOK, 1986).

#### 2.4.7. Öğünebilirlik

Öğünebilme özelliği özellikle kömürün toz yakıt olarak kullanılmak üzere öğütülmesi sırasında önem taşımaktadır. Öğütme için kullanılan aygıtların kapasitelerinin belirlenmesinde, öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında ve tesis kontrolünde, öğünebilme özelliğinden yararlanılır (ATEŞOK, 1986).

#### 2.4.8. Açık Havada Dağılma

Açık havada bırakılan bazı kömürler, ıslanma ve kuruma olaylarının etkisi altında dağılırlar. Dağılma derecesi kömür sınıfına bağlıdır (ATEŞOK, 1986). Düşük sınıflı kömürler; havaya maruz bırakıldığında gevşeme veya parçalara ayrılıp dağılmaya belirgin bir eğilim göstermekte olup ıslanıp ve kurutulduğunda veya güneş ışığına bırakıldıklarında linyitler kolaylıkla yumuşarken; alt bitümlü ve bitümlü kömürler bu durumdan az etkilenmektedirler.

Bureau of Mines; kömürlerin gevşeme özelliklerinin laboratuvar ölçeğinde belirlenmesi için bir test yöntemi geliştirmiştir. Yaklaşık olarak 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 çıkabilmektedir (YANCEY ve ark., 1979).

#### 2.4.9. Aşındırıcılık

Kömürün aşındırma özelliği ekonomik yönden önemli bir faktördür. Bu özellik kömür maddesinden ziyade kömürdeki artık maddelerden ileri gelmektedir. Bu nedenle madencilikte kömür bir aşındırıcı madde olarak kabul edilir. Madencilik işlemleri sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında meydana gelen aşınmalar, aşınan kısımları değiştirilmesini gerektirdiğinden masrafa neden olurlar (ATEŞOK, 1986).

Kömürün aşındırma özelliğini laboratuvar deneyleri ile saptanabilmektedir. Ancak kömür heterojen bir malzeme olduğundan tek parçalar üzerinde yapılan aşındırma deneylerini 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 (YANCEY ve ark., 1979).

#### 2.4.10. Renk ve çizgi rengi

Kömürlerin rengi, açık kahverengiden koyu siyaha kadar değişmektedir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasındadır. Üst sınıftaki kömürler ise siyahın açıktan koyuya kadar değişen çeşitli tonlarına rastlanır. Çizgi rengi ise bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çekilerek 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 (ATEŞOK, 1986).

#### 2.4.11. Parlaklık

Parlaklık, ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Işığın kuvvetli yansıdığı yüzeyler “parlak”, zayıf yansıdığı yüzeyler ise “mat” olarak tanımlanmaktadır. Kömürler mat veya parlak olabilmektedirler. Antrasit genellikle parlaktır fakat mat kısımlarda bulunur. Linyitler mat ve toprağımsı görünüşlüdürler. Bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir (ATEŞOK, 1986).

### 2.5. Kömürün Petrografik Özellikleri

Kömür yapı itibari ile homojen bir madde olmayıp 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 değişik fiziksel ve kimyasal yapıdaki oluşumları meydana getirmektedir. Bu oluşumlar genellikle bandlı yapıda olup ve gözle seçilebilmektedir (ATEŞOK, 1986).

#### 2.5.1. Litotipler

Bitümlü kömürlerin (taş kömürlerinin) farklı bantlardan oluştuğu çıplak göz ile kolayca görülebilmektedir. Makroskopik olarak tanımlanabilen bu bantlar “Litotip” olarak adlandırılmaktadır. Minimum bant kalınlığı 3 mm ile 10 mm arasında olup ülkeden ülkeye değişmektedir. Ancak çoğu ülkede gözle kolayca ayrılabilmesi için minimum bant kalınlığı 10 mm olarak alınmaktadır. Litotipler; parlaklık, renk, şekil ve kalınlık gibi fiziksel özellikleri ile birbirinden ayrılmaktadırlar. Litotipler sonlarına “en” takısı alırlar ve kahverengi kömürlerden ziyade taşkömürlerinde daha iyi bir şekilde izlenirler. Dört farklı tip litotip mevcut olup bunlar; *vitren*, *düren*, *füzen* ve *klaren* olarak adlandırılmaktadırlar. Çizelge.2.3’de kömür litotiplerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

**a) Vitren :**

Kömürlerde makroskobik olarak tanınabilen, ince, siyah camsı homojen bant olup, kalınlığı 3-10 mm 'den daha fazladır. Bu litotip eli boyamamaktadır ve genellikle çok kırılğan olup tabakalaşmaya dik yöndeki çatlakları ile karakteristiktir.

**b) Düren :**

Sert, mat, eli boyamayan kompakt kömür bandıdır. Bu özelliği ile çoğunlukla karbonlu şeyl veya saf olmayan kömürle karıştırılabilir. Ancak daha düşük yoğunluk ve kül içerikleri ile bunlardan kolayca ayrılabilir. Bant kalınlığı vitren gibi 3-10 mm 'den daha fazladır (KARAYİĞİT, 1998).

**Çizelge.2.3. Kömür Litotiplerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (ATEŞOK, 1986)**

Litotip	Görünüş	% Kül	% Uçucu Kısım	Sabit C	Kalorifik değer (kcal/kg)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Sertlik
Vitren	Homojen, parlak siyah bantlı	0,5-1	35,1	64,9	7800	1,3	2
Klaren	Tabakalı parlak ve mat bantlı	0,5-2	40,3	59,7	7800	1,3	3
Düren	Mat, yansıtmasız zayıf tabakalı	1,5	59,8	46,2	8000	1,25-1,45	7,5
Füzen	Odun kömürü	5,10	9,5	90,5	8000	1,35-1,45	1

**c) Füzen :**

Odun kömürüne benzer şekilde yumuşak ve tozlu bir görünüme sahiptir. Ancak füzenin boşlukları minerallerle doldurulduğunda oldukça sert bir yapıya sahip olabilmektedir. Çoğunlukla mercekler şeklinde kömür içinde bulunur ve sürüldüğünde eli boyayan tek kömür litotipidir.

**d) Klaren :**

Diğer litotiplerin (vitren, düren veya füzenin) ince bantlarının ardalanmasından oluşur. Bant kalınlığı 3-10 mm 'den azdır. Parlak, çizgisel, bazen merceksi, çok küçük, ince taneli, ipek parlaklığındaki litotipdir (KARAYİĞİT, 1998).

### 2.5.2. Maseraller

Kömürler ince kesitleri veya parlak kesitleri yardımı ile mikroskopta incelendiğinde farklı organik bileşenlerden “maseral” ve bileşenlerin toplanması sonucu oluşmuş bantlardan “mikrolitotip” meydana gelmiş olduğu görülmektedir. Bu organik bileşenler, değişik bitki dokularının veya turba oluşumu sırasında mevcut bitkiden türemiş maddelerin tümüyle kömürleşmesinden oluşmuştur. Bu bileşenler, görünümleri, sertlikleri, optik ve kimyasal özellikleri ile kömür kullanımı sırasındaki teknolojik davranışları ile birbirinden ayrılabilirlerdir.

Kömürü oluşturan bu bileşenler; kayaçları oluşturan minerallere benzer şekilde “maseral” olarak isimlendirilmektedir. Maseraller sonlarına “init” takısı alırlar ve vitrinit, liptinit ve inertinit olmak üzere 3 gruba ayrılırlar.

#### a) Vitrinit Grubu :

Kahverengi kömür-linyitlerde “hüminit” olarak adlandırılmaktadır. Hüminit/vitrinit, kahverengi kömürlerde genelde koyu gri, gri; bitümlü kömürlerde açık gri ve antrasitte beyaz renkte görülmektedir. Vitrinit/hüminit grubu çoğu kömürün en önemli bileşenidir. Bitkilerin kök, gövde ve yapraklarından oluşur ve bunlar; odun, periderm, yaprak mesofil dokularını ve bazı hücre dolgularını içermektedir.

Linyit ve alt bitümlü kömürlerde hüminit grubu, bitümlü kömürlerdeki vitrinitlerden daha komplekstir ve daha büyük değişiklik göstermektedir. Hüminit grubu, jelleşme derecelerine göre maserallere ve maseral tiplerine ayrılmaktadır. Tekstinit, jelleşmemiş hücre duvarı maddelerinden; ülminit, hücre yapılarının görülebildiği jelleşmiş bitki dokularından; atrinit ve densinit, hümik parçalardan; jelinit, şekilsiz hümik jellerden; korpohüminit, birincil hücre içi dolgulardan ve ikincil kolloidal hücre salgılarından oluşmaktadır.

#### b) Liptinit (Eksinit) Grubu :

Spor-polen, reçine, yağ, mum, alg, bitüm, süberin ve kütinlerden türemiştir ve diğer iki maseral grubundan daha yüksek hidrojen ve uçucu madde içeriğine, daha düşük yoğunluğa, yansıtma ve karbon içeriğine sahiptir.

Hümik kömürlerin, liptinit grubunda en yaygın üyesi olan sporinit, spor-polenlerin kömürleşmiş kalıntılarında oluşur. Oval şekli ve merkezi kısmındaki boşluk veya bir çizgi, sporinitin tipik görünümünü oluşturur. Büyüklükleri 5 mikron ile birkaç yüz mikron arasında değişir. Kütinit; kömürlerde çoğunlukla ince bantlar şeklinde görülür. Tek taraflı

dişli yapıları, bu maseralin ayırt edici özelliklerinden biridir. Resinit, çoğunlukla hücre boşluklarını doldurur durumda oluşur, oval veya çubuk şekilli olarak görülürler. Alginit; alglerin kömürleşmiş kalıntılarıdır ve hümik kömürlerde çok az oranda görülür.

Fluorinit; siyah ve şiddetli sarı flüoresans rengiyle tipiktir. Kahverengi kömür veya linyitlerde petrografik olarak kolayca tanınabilmekte ve bitkisel yağlardan oluştuğu görülmektedir. Liptodetrinit; diğer liptinit grubu maserallerin parçalarından oluşur.

### c) İneritinit Grubu :

Aynı kömürde diğer iki maseral grubundan daha yüksek yansıtma değerine, karbon içeriğine ve daha az uçucu madde ve hidrojen içeriğine sahiptir. Bu maseral grubu, bataklık ortamında oksitlenmiş veya yanmış organik maddelerden meydana gelmiştir. Parlak kesitlerde, beyaz veya çok açık gri olarak görülür. Koklaştırmada kömürde bir miktar ineritinit bulunması kokun sağlamlığını artırdığı için koklaşan kömür içinde ineritinit bulunması istenmektedir. Füsinit ve semifüsinit tipik hücre yapıları ile kolayca tanınmaktadır. Hücre içleri boştur yada mineraller veya jelokollitle doldurulmuştur.

Makrinit, çoğunlukla hücre yapısı olmayan, düzensiz şekilli masereldir ve homojen bir görünüme sahiptir. Mikrinit; küçük, yuvarlak taneler ve birkaç mikron büyüklüğündeki masereldir. Çoğunlukla vitrinit içinde taneler şeklinde dağıldığı gibi hücre boşluklarını doldurabilmekte veya bantlar oluşturabilmektedir. Mikrinit, linyit ve alt bitümlü kömürlerde nadiren görülürken bitümlü kömürlerde sıkça görülmektedir. İneritinit maserallerinin çoğu bitkilerin lignoselülozik dokularından meydana gelmiş, sklerotinit ise mantar kalıntılarından oluşmuştur. Gerçek sklerotinit maserali, Tersiyer yaşlı kömürlerde yuvarlak tek veya çok localı olarak görülür. Ülkemizde linyit ve alt bitümlü kömürlerde görülmektedir. İneritodetrinit, ineritinit maserallerinin kırılmış parçalarından oluşur (KARAYİĞİT, 1998). Çizelge.2.4.'da kahverengi kömür ve bitümlü kömürlerin maseralleri verilmiştir.



Çizelge.2.4. Kahverengi Kömür ve Bitümlü Kömürlerin Maseralleri (KARAYİĞİT, 1998)

Kahverengi kömür (linyit)				Bitümlü kömür		
Maseral Grubu	Maseral Alt grubu	Maseral	Maseral Tipi	Maseral tipi	Maseral	Maseral grubu
Hüminit	Hümotelinit	Tekstinit	Teksto- ülminit Ö-ülminit	Telinit 1	Telinit	Vitrinit
		Ülminit		Telinit 2		
	Hümodetrinit	Atrinit densinit			Vitrodetrinit	
	Hümokollinit	Jelinit	Levijelit	Desmokollinit	Kollinit	
			Porijelinit	Telokollinit		
		Korpo- hüminit	Filobafinit	Jelokollinit		
		Psödo- filobafinit	Korpokollinit			
Liptinit(eksinit)		Sporinit			Liptinit	
		Kütinit				
		Resinit				
		Alginit				
		Fluorinit				
		Liptodetrinit				
İnertinit		Füsinit			İnertinit	
		Semifüsinit				
		Mikrinit				
		Makrinit				
		Sklerotinit				
		İnertodetrinit				

## 2.6. Kömürün Diğer Özellikleri

### 2.6.1. Kömürün Mineral Madde İçeriği

Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamı olarak göz önüne alınmaktadır. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler bu sınıflamaya göre “mineral madde” olarak tanımlanmaktadır. Genelde organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü kömürde inorganik kombinasyon halinde bulunmaktadır. Kalsiyum-, magnezyum- ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır. Kömürdeki mineral madde çıplak gözle görülebilecek büyüklükten, optik mikroskopla veya elektron mikroskobu ile görülebilen mikron boyutlarına kadar çeşitli büyüklüklerde olabilmektedir.

Kömürün içerdiği mineral madde pratikte aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

1- Bünye mineral maddesi

2- Dış mineral madde

Bünye mineral maddesi, turbaya ve daha sonra kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanmaktadır. Dış mineral madde, oluşumu tamamlandıktan sonra kömüre katılmıştır. Dış mineral madde kömürün organik yapısına dağılmamış olduğundan fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Ancak bünye mineral maddesi kömür zenginleştirme yöntemleri ile uzaklaştırılamamaktadır (YAMAN ve ark., 1998).

Kömürün içerdiği mineral maddenin % 95'inden fazlasını majör bileşenler oluşturmaktadır. Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır.

#### a) Killi Mineraller :

İllit, kaolinit, montmorillonit ve illit-montmorillonitlerin karışımı olarak ortaya çıkan aluminasilikatlar toplam mineral maddenin %50'ni oluşturmaktadır.

#### b) Karbonat Mineralleri :

Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatlarında kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir.

#### c) Kükürtlü Mineraller :

Sülfür ve sülfat mineralleri bu grupta yer alır. Genellikle  $FeS_2$  'nin iki kristal şekli olan pirit ve markazit, kükürtlü mineralleri oluşturur; piritin kristal şekli kübik, markazitinki ise

rombiktir. Sülfat minerallerinin büyük bölümü ise kalsiyum ve demirin çeşitli sülfat bileşiklerini meydana getirmektedir.

**d) Silikat Mineralleri :**

Büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin % 15-20'sini oluşturmaktadır (YAMAN ve ark., 1998).

Kömürde bulunan minör bileşenler ve iz mineraller Çizelge.2.5 'de verilmiştir.

Çizelge.2.5. Kömürlerde az miktarda veya iz olarak bulunan elementler (ATEŞOK, 1986)

Azot	Nikel	Stronsiyum
Fosfor	Çinko	Skandiyum
Flor	Kadmiyum	Galyum
Boron	Kurşun	Yitriyum
Arsenik	Gümüş	Zirkon
Germanyum	Altın	Molibden
Uranyum	Krom	İndiyum
Bizmut	Platin	Kalay
Berilyum	Lityum	Talyum
Kobalt	Baryum	

Kömür yapısında bulunabilen mineral maddelerin en önemlileri Çizelge.2.6 'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Kömürün içerdiği mineral maddeler (BEKER, 1998)

Mineral İsmi	
<i>Kil Mineralleri</i>	<i>Karbonat Mineralleri</i>
Montmorillonit	Kalsit
İllit	Dolomit
Kaolinit	Siderit
Halloysit	Ankerit
<i>Sülfür Mineralleri</i>	<i>Klorür Mineralleri</i>
Pirit	Halit
Markasit	Silvit
Sfhalerit	Bisofit
Galen	<i>Silikat Mineralleri</i>
Kalkopirit	Kuvars
Pirotit	Biotit
Arsenopirit	Zirkon
Millerit	Turmalin
<i>Sülfat Mineralleri</i>	Garnet
Barit	Epidot
Jips	Ortoklas
Anhidrit	Augit
Bassanit	Topaz
Jarosit	<i>Oksit ve Hidroksit Mineralleri</i>
Szomolnokit	Hematit
Rozenit	Magnetit
Melanterit	Rutil
Mirabilit	Limonit
Kieserit	Goethit
	Diaspore
<i>Fosfat Mineralleri</i>	
Florapatit	

### 2.6.2. Kömürün Kükürt İçeriği

Kömürde kükürt; sülfat kükürdü, piritik kükürt, organik kükürt ve elementer kükürt olmak üzere dört şekilde bulunur. Kalsiyum ve demire bağlı sülfat kükürdü genellikle kömür çatlaklarında rastlanan ikinci bir mineral oluşumudur. Kömürün sülfat içeriği yüzeysel bozunma ile artmaktadır. Sülfat kükürdü suda çözüldüğünden kömürün temizlenmesi açısından sorun yaratmamaktadır. Piritik kükürt, kömürde pirit ve markasit şeklinde bulunur. Bu iki mineralin kimyasal yapıları aynı olduğu halde; pirit kübik, markasit ise ortorombik yapıda kristalleşir. Pirit yaygın olarak bulunurken markasit seyrek olarak bulunur. İri taneli makroskopik piritler kömürde; damarlar, mercekler, yumru ve küreler, piritleşmiş bitki dokusu olmak üzere dört türde bulunur. İnce film gibi bir yapıdan başlayarak birkaç cm. hatta birkaç metrelik oluşumlara yardımı ile saptanabilecek büyüklükte bulunur. Mikroskopik pirit, bitkisel madde ile yer değiştirmiş hücre dolgusu şeklinde kömür içine dağılmış kürecikler, damarcıklar ve tozlar halinde görülür. Piritik kükürdün kömür yıkama yöntemleri ile uzaklaştırılması mümkündür.

Organik kükürt, kömür bünyesine bağlı olarak bulunan kükürttür. Kömürlerde bulunan başlıca organik kükürt bileşikleri merkaptan veya tiol, sülfür veya tio-eter, di-sülfüt, kükürt içeren aromatik bileşiklerdir. Organik kükürt kömürün yapısına bağlı olarak bulunduğu kimyasal bağlar kırılmadan kömürden uzaklaştırılması mümkün değildir.

Kömür yıkama yöntemleri ile organik kükürdün uzaklaştırılması mümkün olmadığından bir kömürdeki organik kükürt yüzdesi, kömür yıkama yöntemleri ile elde edilebilecek en düşük kükürt yüzdesini belirlemektedir.

Elementer kükürt, kömürlerde çok seyrek olarak bulunur. Bazı kömürlerin % 0,15'e kadar elementer kükürt içerdiği tayin edilmiştir. Diğer kükürt türlerine göre önemsiz miktarda bulunduğu kükürtten arındırmada göz önüne alınmamaktadır.

Kömürde bulunan kükürt yanıcı bir madde olduğu için kalorifik değeri düşürücü bir etki yaratmaz. Fakat çevre kirliliğine sebep olması, yanma odası, kazan ve borularda korozif etki yapması nedeni ile kömürden uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca kükürt oranı yüksek olan kömürlerde oksidasyon sonucu ısı artışı ile kendi kendine yanma durumu ve demir-çelik endüstrisinde kullanılacak kömürlerdeki zararlı etkisi, kükürdün belirli limitlerin altına indirilmesini zorunlu kılmaktadır (DEMLİ, 1994).

### 3. KÖMÜRÜN YIKANABİLİRLİĞİ

Bir kömür yığını değişik kül içeriğine sahip parçacıklardan oluşmaktadır. Kömür yığınının ortalama kül oranı yığın içindeki az veya çok küllü parçacıkların miktarına bağlı olarak değişmektedir. Az küllü kömür elde edilebilmesi kömür yığını içindeki fazla küllü parçacıkların atılması ile mümkündür.

Kömür genellikle iri parçalar halinde kullanılmaktadır. Ocaktan gelen tüvenan kömür 50-100 mm altına kırılmakta ve bundan sonra yıkama işlemine tabi tutulmaktadır. Yıkama işlemi ile mevcut tane iriliğinde serbestleşmiş mineral maddelerin atılması hedeflenmektedir. Kömür içindeki mineral madde serbestleşinceye kadar ufalanarak yıkamaya tabi tutulmadığından yıkamaya verileceği tane iriliğindeki kömür-kül ilişkisinin tespiti önem taşımaktadır. Bu ilişkinin tespiti yoğunluk analizi ile yapılmaktadır (KEMAL, 1987).

Kömürlerin kül ve kükürtten arındırılabilmeleri için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gerekmektedir. Bunun için yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesi gerekir. Yıkanabilirlik deneyleri kömürün fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup yıkama işlemi sonucunda kömür niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklardan temizlenmesinin kolay yada zor olacağı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama randımanı gibi özellikler yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilmektedir. Yıkanabilirlik verileri aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınıflarını belirtmektedir (ATEŞOK, 1986).

#### 3.1. Kömür Yıkanabilme Özelliğinin Tespiti

Kömürlerin yıkanabilme özellikleri laboratuarda yapılan yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanmaktadır. Bu deneyler kömür ve mineral madde yoğunlukları arasında seçilen değişik yoğunluklarda hazırlanmış ağır sıvı banyolarında yapılmaktadır. Deney öncesinde ASTM veya TSE standartlarına uygun biçimde seçilen eleklerle boyuta göre sınıflandırma yapılmaktadır. Genellikle 100, 50, 18, 10, 6 ve 0,5 mm açıklıklı elekler kullanılarak; 50-100, 18-50, 10-18, 6-10 ve 0,5-6 mm gibi çeşitli boyut gruplarına ayrılan kömürlerde ayrı ayrı yüzdürme-batırma deneyleri yapılmaktadır. Ağır sıvı olarak genellikle farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış çinkoklorür çözeltileri kullanılmaktadır. Hazırlanacak yoğunluklar kömürün cinsine ve deneylerin özelliğine göre seçilmektedir. Çinkoklorür ile

1,80 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa kadar ağır sıvı yapılabilmektedir. Bunun üzerindeki yoğunluklarda ise karbondetriklorür-bromofom gibi ağır organik sıvıların karışımları kullanılmaktadır.

Küçük boyutlu (0-0,5 mm) kömürle yapılacak yüzdürme-batırma deneylerinde yalnızca yoğunluğun etkin olmayacağı viskozite ve salkımlaşmanın sonuçları değiştirebileceği dikkate alınmalıdır. Bu boyut grubu ile deney yapmak gerekiyorsa tercihen viskozitesi düşük olan organik sıvılar kullanılmalıdır (ÖNAL ve ark., 1998).

Uygun aralıklarda seçilen farklı yoğunluktaki ağır sıvıların hazırlanmasından sonra kömür numunesi en düşük yada en yüksek yoğunluktan başlayarak her bir ağır sıvıda yüzdürme-batırma işlemine tabi tutulmaktadır (ATEŞOK, 1986).

### 3.2. Kömür Yıkama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 3.2.1. Yıkama Eğrileri

Kömür yıkama eğrileri 5 tanedir.

- 1- Yüzen Eğrisi (Kömür eğrisi)
- 2- Batan Eğrisi (Şist eğrisi)
- 3- Yoğunluk Eğrisi
- 4- Parça külü Eğrisi
- 5-  $\pm 0,1$  yoğunluk malzeme Eğrisi (Dağılım eğrisi)

Yıkama eğrilerinden yararlanılarak şu bilgiler elde edilmektedir:

- a) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda hangi kalitede ne miktar temiz kömür ve şist elde edilebileceği bulunabilir.
- b) Gereksinim duyulan bir kömür kalitesi için ayırma yoğunluğu saptanabilmektedir.
- c) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda yapılan ayırmanın kolay veya zor olacağı konusunda fikir edinilebilmektedir.

Bir kömüre ait yüzdürme-batırma deney verilerinden yararlanılarak çizilen yıkanabilirlik eğrilerinden ayırmanın kolay veya zor olacağı; yoğunluk, parça külü ve  $\pm 0,1$  yoğunluktaki malzeme eğrilerinin görünümünden tespit edilebilmektedir.

Bu üç eğri yukarıdan aşağı doğru uzanımlarında bir veya iki noktada ani bir kıvrım yaparak eğimlerini azaltıp yatay veya yataya yakın konuma gelmeleri diğer bir deyişle düzlükler oluşturmaları bu yıkamanın kolay olacağını göstermektedir. Aksine bu eğriler

düzlükler oluşturmayıp yumuşak bir eğimle yukardan aşağıya doğru uzayıp gidiyorlarsa yani 'eğimleri dik ise bu yıkamanın zor olacağını göstermektedir (ÜNLÜ, 1992). Bu üç eğrinin oluşturdukları düzlükler ayırmanın yapılabileceği yoğunluk aralığını göstermektedir. Bu aralıkta ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı (a.y.y.m.m.) en azdır ve ayırma kolay olmaktadır. Çizelge.3.1'de ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre ayırma kolaylığını göstermektedir. Çizelge.3.1.'deki sınıflandırmada ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının tamamının ayırmada zorluk çıkaracağı kabul edilmektedir. Bu durum jigler gibi keskin ayırma yapamayan ve ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının yanlış ürünlere dağılmasına neden olan prosesler için geçerlidir. Ağır ortam prosesleri daha keskin ayırma yapabilmekte ve % 10 'dan daha fazla ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı içeren kömürlerin yıkanmasında seçilmesi gereken tek proses olmaktadır (ÜNLÜ, 1990).

**Çizelge.3.1. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Kömürün Yıkama Kolaylığı (ÜNLÜ, 1990)**

$\pm 0,1$ Yoğunlukta Malzeme Miktarı (%)	Yıkama Kolaylığı
0-7	Kolay
7-10	Orta zor
10-15	Zor
15-20	Çok zor
20-25	Aşırı zor
>25	Olanaksız

### 3.2.2. Mayer Eğrisi

Kömür yıkama işlemlerinde tüvenan kömür, temiz kömür (lave), ara ürün (mikst) ve artık (şist) olmak üzere üç ürüne ayrılmaktadır. Yüzdürme-batırma eğrileri sadece iki ürünlü (lave ve artık) yıkama işlemlerinde değerlendirme yapmaya uygundur. Kömür hazırlama tesislerinde olduğu gibi üç ürün alınan bir yıkama işleminde gerekli bilgileri elde etmek için iki kademeli yıkama eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Birinci kademede,



lavenin mikst+şistten, ikinci kademedede ise mikstin şistten ayrılması sonuçlarının görülmesi gerekir (ÖNAL ve ark., 1998).

Üç ürünlü bir yıkama işleminde şu tür sorunlarla karşılaşmaktadır.

- 1- Tüvenan kömür belirli iki yoğunlukta yıkanırsa elde edilecek temiz kömür, mikst ve şistin miktarları ve küllerinin belirlenmesi
- 2- Temiz kömür ve şistin belirli kül içeriğinde olmaları istendiğinde tüvenan kömür hangi iki yıkama yoğunluğunda üç ürüne ayrılabilceği ve elde edilecek temiz kömür, mikst ve şistin miktarları ve mikst külünün belirlenmesi
- 3- Belirli bir miktarda ve külde mikst elde etmek için tüvenan kömür hangi iki yoğunlukta üç ürüne ayrılabilceği ve elde edilecek temiz kömür ve şistin miktarları ve küllerinin belirlenmesi şeklinde sorunlara çözüm M-eğrisinin kullanımı ile tek bir grafikte kolaylıkla bulunabilmektedir.

M-eğrisi yıkama eğrilerine göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu durum özellikle düşük yoğunluk ve düşük kül içerikli ayırımlar için geçerlidir. Çünkü M-eğrisi kül bölümlenmesi yıkama eğrisi kül bölümlenmesine göre daha geniş aralıktır. M-eğrisi bu özelliği ile yıkama eğrilerinin yerine geçebildiği gibi yıkama eğrileri ile çözüm bulunamayan iki kömürün harmanlama sonuçlarının tahmin edilmesinde kullanılabilir. Harmanlama, temiz kömüre bir tüvenan kömürün katılması yada iki temiz kömürün birbirine katılması şeklinde olabilmektedir (ÜNLÜ, 1992).

### 3.2.3. Yıkanabilme Derecesi (Numarası)

Yıkama eğrileri ve Mayer eğrisi sadece temiz kömür miktarı/külü, temiz kömür miktarı/yıkama yoğunluğu gibi kömür bağımlı ilişkilerini göstermektedir. Bu nedenle çeşitli kömürler arasındaki yıkanabilme özelliklerinin karşılaştırılmasında kullanılmazlar. Çeşitli kömürler arasındaki yıkanabilme özelliklerinin karşılaştırılmasında temiz kömür miktarı, külü ve yıkama yoğunluğu kadar tüvenan kömür külünde dikkate alınması gerekmektedir. Bütün bu parametreleri dikkate alan “Yıkanabilme Numarası ( $W_N$ )” adı verilen bir bağıntı geliştirilmiştir.

Yıkanabilme numaraları, kömür hazırlamacılara çeşitli kömürler arasındaki yıkanabilme özelliklerinin karşılaştırılmasının yanısıra, bir tüvenan kömürün yıkama öncesinde kırılması gerekli üst tane boyunun ve yıkama prosesinin seçiminde yardımcı

olmaktadır. Çizelge.3.2 'de yıkanabilme numaralarına göre üst tane boyutu ve yıkama prosesi seçiminin ne olabileceği verilmiştir.

Yıkanabilme derecesi ve numarası bağıntıları aşağıda verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$N = \frac{a - b}{b} \times w$$

$$W_N = \frac{N_{opt}}{b_{opt}} \times 10$$

Burada ;

$N$  = Yıkanabilme derecesi (%)

$w$  = Temiz kömür miktarı (%)

$a$  = Tüvenan kömür külü (%)

$b$  = Temiz kömür külü (%)

$W_N$  = Yıkanabilme numarası

$N_{opt}$  = Optimum yıkanabilme derecesi (%)

$b_{opt}$  = Optimum yıkanabilme derecesindeki temiz kömür külü (%)

Yıkanabilme derecesi eğrisi belirli ayırma yoğunluklarında hesaplanan yıkanabilme derecesi değerlerinin yine o yoğunluklara karşılık gelecek şekilde işaretlenmesi ile çizilmektedir. Bu eğriden yıkanabilme derecesinin maksimum olduğu ( $N_{opt}$ ) nokta bulunmaktadır. Bu belirlemeden sonra kömürün ( $W_N$ ) yıkanabilme numarası hesaplanabilmektedir (ÜNLÜ, 1990).

### 3.2.4. Yeni Yöntem

Kömür yıkama uygulamasında temiz kömür miktarı yıkamanın ekonomik olup olmadığını göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Düşük küllü fakat az miktarda veya tersine çok miktarda fakat yüksek küllü temiz kömür elde edilen yıkamalar ekonomik yıkama olarak kabul edilmezler. Yıkamanın ekonomik olduğunun kabul edilebilmesi için mümkün olan en düşük külde en fazla temiz kömürün elde edilmesi gerekmektedir. Yıkama yoğunluğu temiz kömür külünün bir göstergesidir. Düşük yıkama yoğunluklarında düşük küllü ve yüksek yıkama yoğunluklarında yüksek küllü temiz kömürler elde edilmektedir.

Yeni yöntemde altı yıkanabilme parametresinin (temiz kömür miktarı, temiz kömür külü, şist külü, yıkama yoğunluğu, kalori değeri, kükürt) birbirlerine göre değişimi incelenmektedir. Bu amaçla temiz kömür külü %0-20 aralığında sabitlenerek diğer parametrelerin buna göre değişimi şeklinde çizilmektedir. Bu yöntem altı yıkama parametresi arasındaki ilişkiyi bir tek grafikte bir arada vermektedir. Böylelikle kömür yıkama sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi kolaylaşmaktadır (ÜNLÜ, 1990).

Çizelge.3.2. Yıkanabilme Numaralarına Göre Üst Tane Boyutu ve Yıkama Prosesi Seçimi (ÜNLÜ, 1990)

No	Yıkanabilme Numarası Aralığı	Üst Tane Boyutu	Yıkama Prosesi
1	50 ve daha yukarısı	250 ile 75 mm arasında herhangi bir tane boyutu	+ 0,5 mm kömür için Baum jig veya +5mm kömür için ağır ortam tamburu ve - 5 mm için sallantılı masa
2	20-49 arası	150 ile 50 mm arasında herhangi bir tane boyutu	+ 15 mm kömür için ağır ortam tamburu ve - 15 mm kömür için feldspat jigi veya 15-0,5 mm kömür için ağır ortam siklonu
3	10-19 arası	30 ile 15 mm arasında herhangi bir tane boyutu	+ 0,5 mm kömür için ağır ortam siklonu ve eşiti diğer bir ayırma cihazı
4	9 ve daha aşağısı	10 mm veya daha aşağı	

## 4. KÖMÜRÜN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

### 4.1. Boyutlandırma ve Kurutma

Kömür zenginleştirilmesinde kullanılan en basit tekniklerden biri olan boyutlandırma ve kurutma kömürün kalitesini olumsuz yönde etkileyen nem ve kilin uzaklaştırılması kullanım alanına uygun boyutlu kömür hazırlanması amacıyla yönelik bir zenginleştirme yöntemidir.

Bazı kullanım alanlarında kömürün maksimum ve minimum tane büyüklüğü önem taşımaktadır. Bu nedenle yıkanmış ve safsızlıklarından arındırılmış olan kömürün sınıflandırıldıktan sonra satışa sunulması yararlı olmaktadır. Sınıflandırma aşamaları pazarlama koşullarına göre değişmekle birlikte genelde; 50-100, 18-50, 10-18, 6-10 ve 0-6 mm olarak yapılmaktadır (ÖNAL ve ark., 1998).

### 4.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

Kömür zenginleştirmede en çok kullanılan yöntemlerden biri olan özgül ağırlık farkına göre ayırmada çoğunlukla ağır ortam ayırması, jigler, ağır ortam siklonları, spiraller ve sallantılı masalar kullanılmaktadır (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.2.1. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırma yöntemi gravite yöntemleri arasında en basiti olup bu yöntem kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemlerinden daha ekonomik olarak temiz kömür üretilmektedir. Ağır ortam olarak çoğunlukla manyetit kullanılmaktadır. İri boyutlu zenginleştirmede kullanılan manyetitin % 30 'u 45 mikron altında, ince boyutlu zenginleştirmede ise % 85 'i 45 mikron altında bir dağılım göstermektedir. Bu tip ayırıcılarda kömürün ağır ortam içerisinde rahat hareket etmesini sağlamak için süspansiyonu oluşturan katı hacminin % 25-40 arasında olması gerekmektedir. Yüksek katı hacimlerinde tanelerin hareketini başlatmak amacıyla süspansiyon karıştırılmakta veya tanelerin kayma hareketini artırmak için santrifüj kuvveti kullanılmaktadır. Genellikle ağır ortam ayırıcılarında ortam sarfiyatı 1 ton kömür başına 100-500 gram arasında değişmektedir.

Genellikle üst boyutu 100-150 mm olan kömürlerin zenginleştirildiği ağır ortam ayırıcıları günümüze kadar bir çok değişiklik geçirmişlerdir. Gravite kuvvetinin etkin olduğu ayırıcılarda çeşitli mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiş ve birden çok ayırma tankları kullanılmaya başlanmıştır. Ayırıcı tank genellikle tekne (oluk), koni ve tambur

şeklinde olabilmektedir. Tekne tipli ayırıcıların kapasiteleri 100-900 ton/saat arasında değişmektedir. Wemco, Teska ve Drewboy gibi yıkayıcılar endüstriyel çapta kullanılan ağır ortam ayırıcılardır (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.2.2. Ağır Ortam Siklonları

Santrifüj kuvvetinin uygulandığı bu ayırıcılarda ortam akışkanlığı düşürülebildiği için statik ayırıcılara nazaran daha küçük boyuttaki (-20+0,5 mm) kömürler yıkanabilmektedir.

Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi hidrosiklonlara benzemektedir. Kömür ince öğütülmüş manyetitle hazırlanmış ağır ortam ile karıştırılarak basınç altında siklona beslenmektedir. Besleme kapasiteleri ortalama 60 ton/saattir. Bu siklonlar ile 40-50 mm boyutlu kömürleri yıkamak mümkündür (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.2.3. Jigler

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmede en çok kullanılan aygıtlardan biride jiglerdir. 1848 'li yıllardan beri kömür zenginleştirilmesinde kullanılan jigler günümüzde de geçerliliğini korumaktadır. Bugün bir tek jig'in kapasitesi 100 ton/saate çıkabilmektedir (ÖNAL ve ark., 1998).

Kömürde kullanılan jiglerin en önemlisi hava pülsasyonu ile çalışan ve Baum jigi olarak bilinen tipidir. Bu jiglerde dönen bir vana ile kısa aralıklarla verilen basınçlı hava jig içindeki suyu hareketlendirerek basma etkisi oluşturmaktadır. Baum jiginde emme etkisi bulunmamaktadır. Bu jigde lave, mikst ve şist halinde üç ürün alınmaktadır. Baum jiginde ilk kompartımanda şist, ikinci kompartımanda alttan mikst ürünü alınırken lave ise üstten akarak alınmaktadır.

Baum jiglerinin performansı geliştirilmiş ve daha büyük kapasiteli Batac adı verilen jigler dizayn edilmiştir. Batac jiginde su ortamına tüvenan kömürün beslenmesi ve yaratılan pülsasyon prensibi Baum jigi ile aynıdır. Ancak jig içine hava dağıtım yöntemi yeni tip vanalar ile havanın pülsasyon işlemi ve yatak kontrolleri geliştirilerek otomasyon sağlanmıştır (ATEŞOK, 1986).

#### 4.2.4. Sallantılı Masalar

Uzun yıllardan beri kullanılmakta olan sarsıntılı masalar kömür hazırlamaya önemli bir ölçüde girmiş ve geliştirilmiştir. Mineral zenginleştirme işlemlerinde kullanılan ve çok bilinen klasik Wilfley masaları kömür hazırlama amacı ile kullanılırlar. Fakat daha çok

kömür zenginleştirme tesislerinde Deister masaları kullanılmaktadır. Deister masalarında maksimum tane boyutu 12,5 mm olan ince kömür temizlenmektedir (ATEŞOK,1986).

#### 4.3. Manyetik Zenginleştirme

Bu yöntemdeki temel ilke farklı manyetik iletkenliğe sahip taneciklerin yapay olarak oluşturulan manyetik alanda birbirlerinden ayrılmasıdır. Kömür içinde bulunan inorganik safsızlıkların önemli bir bölümünü demir sülfürlü mineraller oluşturmaktadır. Kömür orijinli çevre kirliliğinin en önemli kaynağını oluşturan bu safsızlıkların kömürden uzaklaştırılması için manyetik ayırma yöntemi kullanılabilir.

Kömür diamanyetik, pirit ise saflığa bağlı olarak zayıf paramanyetik veya diamanyetik özelliğe sahiptir. Kömür içindeki piriti manyetik ayırma işlemi ile uzaklaştırmak için iki tür işlem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisinde kömür aşırı ısıtılmış buhar karışımı ile kısa bir süre muamele edilmekte ve pirit yüzeylerinin oksitlenerek pirotine dönüşmesi sağlanmaktadır. Bu kademedен sonrada 10000 Gauss 'luk indüksiyon alan şiddetine sahip kükürdün % 80 'lik bir kısmı uzaklaştırılabilmektedir. İkinci yöntemde ise kömür 320-360 °C arası sıcaklığa kadar ısıtmakta ve piritler oksitlendirilerek manyetik duyarlılıkları yükseltilmektedir. Manyetik duyarlılıkları yükseltelen piritler daha sonra yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla ayrılmaktadır (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.4. Düşük Sıcaklık Karbonizasyonu

Düşük sıcaklık karbonizasyonu daha çok linyit kömürlerine uygulanan bir işlemdir. Yüksek nem, düşük sabit karbonlu linyit kömürlerinin 700 °C 'nin altında ve oksijensiz ortamda ısıtılması ile kalitesinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Endüstride uygulanan düşük sıcaklık karbonizasyonu uygulandığı kömürün boyutlarına göre direkt ısıtmalı ve endirekt ısıtmalı olarak ikiye ayrılmaktadır. İri kömür düşük sıcaklık karbonizasyonunda kömür boyut aralığı -80+20 mm, ince kömür karbonizasyonunda ise 20 mm altında olmaktadır (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.5. Flotasyon

Kömür flotasyonu ilk olarak 1920 yılında Hollanda 'da uygulanmıştır. Kullanım kolaylığı bakımından kömürün iri boyutta mekanik yöntemlerle zenginleştirilmesi tercih edilmektedir. Kömür madenciliğinde uygulanan mekanize kazı ile birlikte küçük boyutlu kömür miktarı artış göstermiş ve bu kömürlerinde zenginleştirilmesi için lavuarlarda yeni üniteler kurulmuştur. 0,5 mm altındaki ince kömürlerin zenginleştirilmesi flotasyon

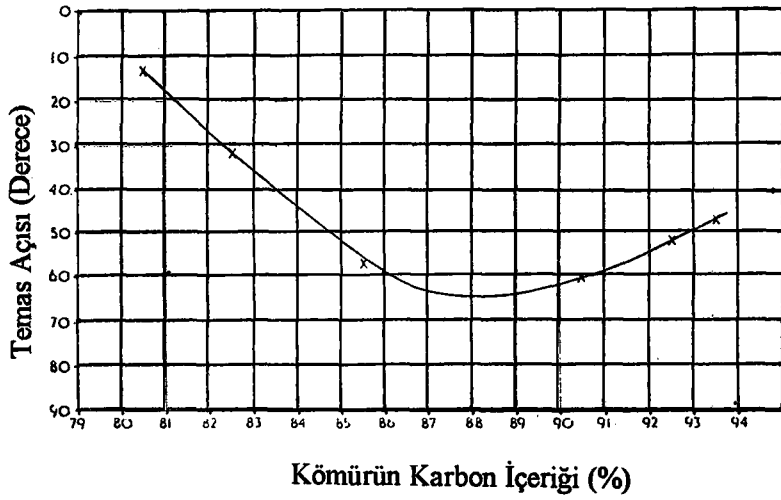
yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Genelde kömür zenginleştirilmesinde flotasyon 4 amaç için uygulanmaktadır :

- 1- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü kazanmak
- 2- Lavuarlardan atılan ve siyah su olarak adlandırılan proses suyunun temizlenmesinde
- 3- Kömürün kükürdünü gidermek
- 4- Kömürde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak koklaşabilir kısımlar hazırlamak şeklinde amaçlar için uygulanmaktadır (ÖNAL ve ark., 1998).

#### 4.5.1. Kömürün Doğal Yüzdürülebilirliği

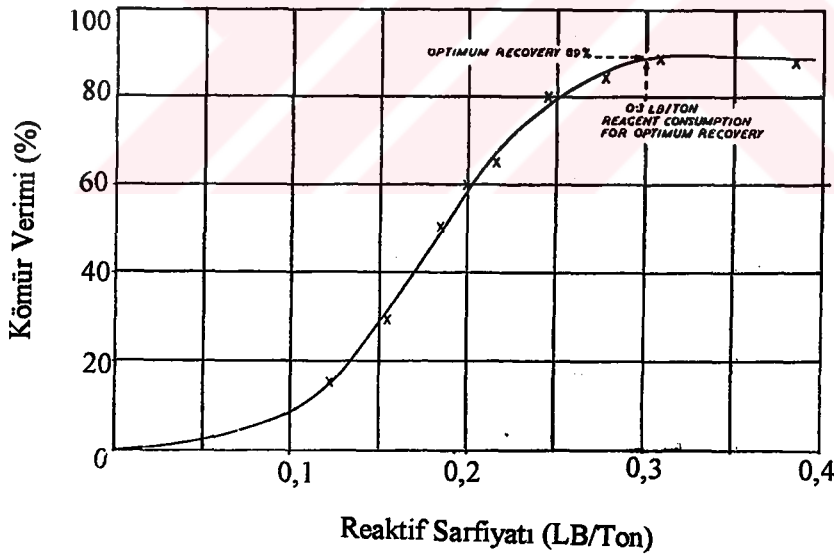
Flotasyonun gerçekleşmesi için bir hava kabarcığı sudaki bir katı yüzeyine temas etmelidir. Bu derece, hava-su ve katı-su ara yüzeylerinin yerine hava-katı ara yüzeyi temas açısı ile oluşturulmalıdır. Doğal yüzdürülebilirlik veya hidrofob eğilim kömür gibi katılar için uygun koşullar altında damıtılmış suda dayanıklı temas açısı göstermektedir. İki temas açısı önemli olup bunlar; sudan geri çekilme ve suda ilerleme açılarıdır. İlk açı değeri hava kabarcığının kömür parçalarına olan bağlılığını göstermekte olup yüksek dereceli kömürler için 0-20 derece arasında iken düşük sınıflı kömürlerde 0 dereceye yaklaşmaktadır. Kömürün yağ içeriğinin artması ile bu açı değeri 60 dereceye ulaşmaktadır. Suda ilerleme açısı kömür parçacıklarından hava kabarcıklarının naklini sağlar ve değeri 60-85 derece arasında değişerek kömürün doğal yüzebilirliğini tanımlayan denge açısının değerine yakın bir değerdir (BROWN, 1962).

Şekil.4.1 'de kömür türünün kömür yüzdürülebilirliğine bağlılığı gösterilmiş olup deneysel verilerden yararlanılarak kömürün karbon içeriğine karşı denge temas açısı gösterilmiştir



Şekil.4.1. Kömürün Karbon İçeriği ile Temas Açısının Değişimi (BROWN, 1962)

Kömür flotasyonu için gerekli olan reaktif miktarı kömürün en yüksek doğal yüzdürülebilirlik özelliğine sahip olduğu zaman en az değerde olup 42 farklı kömür örneği üzerinde yapılan test sonuçları Şekil.4.2 'de verilmiştir (BROWN, 1962).

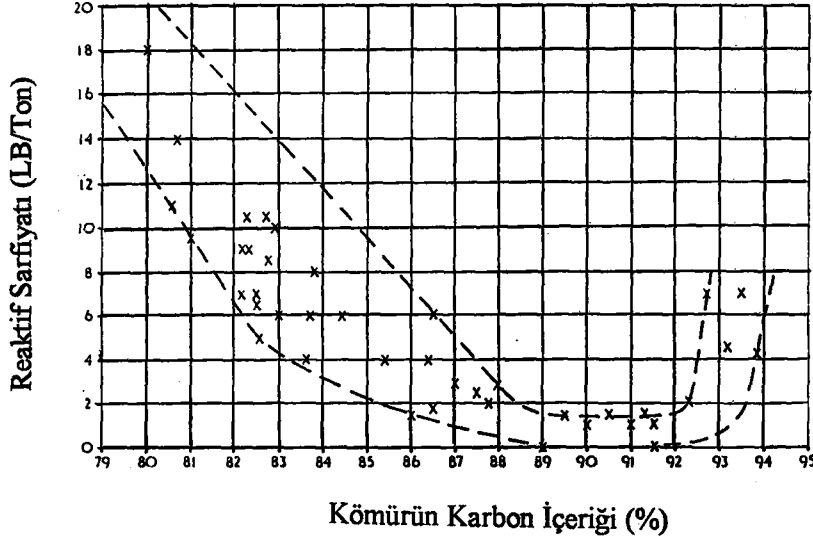


Şekil.4.2. Reaktif Sarfıyatı ile Kömür Veriminin Değişimi (BROWN, 1962)

Şekil.4.3 'de kömür karbon içeriğine karşılık optimum verim için reaktif sarfıyatı verilmiştir. Şekil.4.1 ve Şekil.4.3 mukayese edildiğinde yüksek doğal temas açısı ve yüzdürülebilirlik durumunda en düşük reaktif sarfıyatının olduğu ortaya çıkmaktadır.

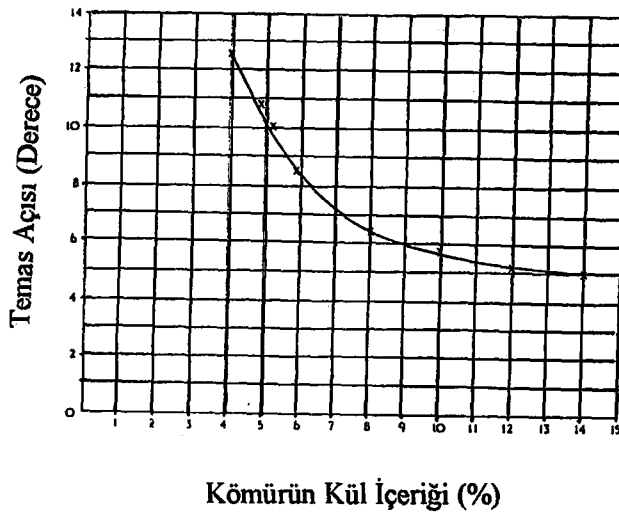


Eğrinin şekli önceden verilmiş kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uyum göstermektedir.



Şekil.4.3. Kömürün Karbon İçeriği ile Reaktif Sarfıyatının Değişimi (BROWN, 1962)

Kömür makrolitotiplerinin doğal yüzdürülebilirlik temas açısı laboratuvar flotasyon testlerinin yapılması ile araştırılmıştır. Bir araştırmacı, vitrain için maksimum yüzdürülebilirliği azalan derecede clarain, durain, fusain ve karbonlu şistin izlediğini belirtmiştir. Yüzdürülebilirlik mineral madde miktarı veya kömür türü ile değişen kül içeriği ile değişim göstermektedir. Kömürün doğal yüzebilirliği Şekil.4.4 'de gösterildiği gibi kül içeriğinin artışı ile azalmaktadır (BROWN, 1962).



Şekil.4.4. Kömürün Kül İçeriği ile Temas Açısının Değişimi (BROWN, 1962)

## 4.5.2. Flotasyon Teorisi

### 4.5.2.1. Karbon-Hidrojen Oranı Teorisi

Köpük flotasyonu için farklı sınıflı kömürlerin hatta aynı sınıfın kendi içerisinde büyük farklılık gösterme gerçeği iyi bilinmektedir (SUN, 1979). Taggart ve arkadaşları karbon-hidrojen oranı değişimi ile meydana gelen antrasit kömürü ve bitümlü kömür arasındaki yüzdürülme özelliği arasındaki farklılığı belirtmişlerdir (TAGGART ve ark., 1939).

### 4.5.2.2. Karbon İçerik Teorisi

Wilkins (1947), karbon içeriği veya kömür sınıfının artışı ile kömürlerin yüzdürülme özelliğinin arttığını belirtmiştir. Sun (1954), aynı sınıfa ait olan hidrokarbon mineralleri ve karbonların kömürlerin yüzdürülmelerinin yaklaşık olarak onların sabit karbon, uçucu madde ve nem içerikleri ile ilişkilendirilebileceğini belirtmiştir.

### 4.5.2.3. Yüzey-Bileşimler Teorisi

Bu teori Sun (1954) tarafından çeşitli kömürler, karbonlar ve hidrokarbon minerallerinin farklı yüzdürülme özelliklerinin açıklanması için öne sürülmüştür. Bu teorinin esası yüzebilen ve yüzemeyen bileşimlerden meydana gelen heterojen maddelerin yüzdürülme özelliklerinin bu iki bileşim arasındaki dengeye bağımlı olması şeklindedir. Bir materyalde yüzebilen bileşimlerin çoğunlukta olması bu materyalin yüzeyinin, yüzemeyen bileşimlerden meydana gelen bir diğer malzemedenden daha çok yüzeceğini göstermektedir. Bu yüzebilen bileşimler yağı seven ve suyu-geri iterken, yüzemeyen bileşimler suyu seven yağı-geri iten maddelerdir (SUN, 1979).

## 4.5.3. Kömür Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler

Flotasyonda kullanılan reaktifler flotasyonu kolaylaştırmak için flotasyon sırasında veya flotasyondan önce kullanılan maddelerdir. Burada kimyasal reaktiflerin üç genel sınıfı mevcut olup köpürtücüler, kollektörler ve ayarlayıcı maddeler şeklindedir.

**Köpürtücüler ;** Kömür flotasyonunda köpürtücü olarak amil ve butil alkoller, terpinol ve kresol kullanılmaktadır. Metil isobutil karbinol (MIBC) bir alifatik alkol olup çoğunlukla kullanılmaktadır (SUN, 1979).

**Kollektörler ;** Kömür flotasyonunda MIBC, kerosen (gazyağı) ve benzer yağlar köpürtücü ve toplayıcı özelliklerini taşıdıklarından kollektör olarak kullanılmaktadır.

Ksantat gibi organik kollektörler saf kollektörler olup mineral flotasyonunda büyük ölçüde kullanılmaktadır (SUN, 1979).

**Ayarlayıcılar ;** Kömür flotasyonunda çinko ve demirsülfid minerallerini bastırmak için sodyum ve potasyum cyanide kullanılırken potasyum permanganat, sodyum sülfid ve potasyum kromat pirit için bastırıcı olarak kullanılmaktadır.

Canlandırıcı reaktif olarak sodyum sülfid ve bakır sülfat kullanılmaktadır. pH düzenleyici olarak kireç veya soda külü, sodyum bisülfat, sodyum fosfat ve sodyum bikarbonat kullanılır. Dağıtıcı reaktifler olarak sodyum silikat, glue ve nişasta kullanılmaktadır (SUN, 1979).

#### **4.5.4. Kömür Flotasyonunu Etkileyen Faktörler**

##### **4.5.4.1. Tane Boyutu**

Bir kömür partikülünün yüzdürülme özelliği yalnız kömür sınıfı, türü ve kül içeriğine bağlı olmayıp partikülün özgül ağırlık ve tane boyutuna bağlıdır. Kömürün özgül ağırlığı düşük olup flotasyonda kömür-hava toplamının özgül ağırlığı düşük olduğundan tane iriliği açısından partikül maksimum ebadından daha büyük oranda yüzdürülebilmektedir. Kömür flotasyonunda değerli materyaller birleşik gangdan daha düşük özgül ağırlığa sahip olduğundan kömür flotasyonunda en üst tane boyutu limiti genelde mineral flotasyonundan daha yüksektir (BROWN, 1962). Flotasyon ile yüzdürülecek kömür partiküllerinin büyüklüğü sadece flotasyon prosesinin mekanizmasından dolayı değil aynı zamanda ekonomikliğinden dolayı çok önemlidir. Genel olarak özgül ağırlığa dayandırılan kömür yıkama aygıtları (sallantılı masalar, ağır-ortam vb.) flotasyondan daha ekonomik olup flotasyonda minimum ebat azalmaktadır (SUN, 1979). Konsantrasyon kriteri düşük olan kömürlerde gravite yöntemi ile ayrışma olanaksızdır. Bu bakımdan 0,5 mm altı malzemeyi en iyi flotasyon boyutu olarak kabul edilmektedir. Pratikte bu boyut 1 mm 'ye kadar çıkabilmektedir. Çünkü 0,15 mm 'nin ayrılması çok zor olup bazı durumlarda imkansızdır (ORUÇ, 1996).

##### **4.5.4.2. Pülp Yoğunluğu**

Pülp yoğunluğu veya kömür-su pülpündeki katıların yüzdesi flotasyon sonuçlarını etkilemektedir. Katı yüzdesi tane boyutunun etkisini ortadan kaldırmak için ayarlanmalıdır. ABD 'de kömür flotasyonunda % 3 'den % 20 'ye yaklaşık % 7 katı ortalama ile pülp yoğunluğu kullanılmaktadır. Kaba kömür partikülleri için yüksek pülp yoğunluğu ve daha ince kömür partikülleri için daha düşük pülp yoğunluklarında

çalışılmaktadır. United States Steel Corporation tarafından yapılan testlerden Çizelge.4.1 ve Çizelge.4.2 'de pülp yoğunluğunun etkisi gösterilmiştir. Çizelge.4.1 'de görüldüğü gibi besleme malının yaklaşık olarak tümü -200 meş veya -325 meştir. Bu ultra ince kömürler için % 3-5 yüzdeli çok sulandırılmış pülp yoğunluklarında flotasyondan olumlu sonuç alınmıştır (SUN, 1979).

Çizelge.4.1. Flotasyon Besleme Malının Elek Analizi (SUN, 1979)

Tane İriliği (mesh)	% Ağırlık	Küm. % Ağırlık
+200	2,3	2,3
200x325	8,7	11,0
-325	89,0	100,0

Çizelge.4.2. Pülp Yoğunluğunun Kalite ve Verim Üzerine Etkisi (SUN, 1979)

Pülp Yoğunluğu (% Katı)	Reaktifler Lbs/Ton	Konsantre			Artık		
		% Ağ.	% Kül	% S	% Ağ.	% Kül	% S
25	Frother 77 0,460	50,7	13,7	0,59	49,3	15,9	0,55
12,5	Frother 77 0,494	92,4	8,0	0,55	7,6	68,8	0,26
10,0	Frother 77 0,588	91,4	7,0	0,59	8,6	68,0	0,35
7,5	Frother 77 0,522	90,7	6,2	0,62	9,3	69,6	0,35
5,0	Frother 77 0,588	89,4	5,5	0,61	10,6	67,3	0,38

Kömür flotasyonunda beslemenin büyük çoğunluğu konsantre ve optimum pülp yoğunluğu düşük olup yaklaşık olarak % 12 katı oranında verim alınmaktadır (BROWN, 1962).

#### 4.5.4.3. pH ve Sıcaklık

Kömür pH değeri nötr duruma yakın olduğunda kömür iyi yüzmektedir. pH 7 'de kömür yüzeyi küçük bir negatif şarja sahip olacak ve pülp daha çok asitlendiğinden

hidrojen adsorplayarak yüzey şarjı sıfır olacak bu durumda yüzeyin yüzdürülme kapasitesi maksimum bir değere ulaşacaktır. Daha çok hidroksil iyonu adsorpsiyonu ile elde edilen bir alkali pülpünde asit pülpünde kömür yüzeyi pozitif şarja sahip olduğundan bu durumda negatif şarj elde ederek yüzdürülme kapasitesinde azalma meydana gelecektir. Pülpün pH'sındaki değişim reaktif özelliklerini etkilemektedir.

Pülp sıcaklığında bir artış flotasyonu az bir miktarda artırmaktadır. Optimum sıcaklık 25 °C 'den 40 °C arasında olup sıcaklığın ne gibi bir etkiye neden olduğu bilinmemektedir. Ancak sıcaklığın değişmesi ile kimyasal reaktif viskoz olmakta toplayıcı ve köpürtücü özelliklerini değiştirmektedir. Pülp ıssı değiştiği zaman kömürün yüzdürülme kapasitesinde değişiklikler meydana gelecektir (BROWN, 1962).

Suyun kalitesi flotasyon veriminde göz önüne alınmalıdır. Su içerisinde eriyebilen tuzların miktarı flotasyon sonuçlarını etkilediği ancak bu etkinin nasıl olduğu bilinmemektedir. Kolloidal killer ve şlam flotasyona engel olmaktadır (SUN, 1979).

#### 4.5.4.4. Oksidasyon ve Kömür Sınıfı

Kömürlerin oksidasyonu ve sınıfı kömürün yüzdürülebilirliğini etkilemektedir. Düşük uçuculu kömürler yüksek uçuculu kömürlerden daha kolay yüzdürülmektedirler. Petrografik bileşimlerden vitrain durain 'den daha kolaylıkla yüzdürülmektedir. Linyit kömürü en az yüzme özelliği göstermektedir. Ayrıca yüksek derecede yüzebilen bir kömür eğer yüksek derecede oksitlenmiş ise bu durumda yüzdürülmesi güçleşecektir. Ancak flotasyon reaktiflerinin uygun kullanımı ile yüzdürülme önemli ölçüde ayarlanabilmektedir (SUN, 1979).

Yeni kazılmış bir kömür birkaç gün veya saat atmosfere maruz bırakılmış kömürden çoğunlukla daha iyi yüzdürülmektedir. Bu etki yüzey oksidasyonundan ileri gelmiş olup kömür yüzeyinde asidik grupların yapısı tarafından meydana gelmekte sonuçta kömürün yüzdürülme özelliği azalmaktadır.

Oksidasyon kömürün yüzdürülme özelliğini azaltmaktadır. Fakat yeni kazılmış kömür yüzeylerinin hava ile kısa bir süre maruz kalması yüzdürülme özelliğini artırabilmektedir. Bu durum yalnızca kurumadan uzak tutulması ile meydana gelebilir daha sonra bu kömür daha güç ıslanabilme özelliğine sahip olacak ve kömür daha çok hidrofobik hale gelecektir. Oksijen ile reaksiyona girme kabiliyeti kömür sınıfı ile değişim göstermektedir. Karbon içeriğinin artışı ile reaksiyona girme kabiliyeti azalmaktadır (BROWN, 1962).

## 5. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR REZERVİ

### 5.1. Dünyada Kömür Rezervi

1998 yılı değerleri ile 992.012.000.000 tonluk dünya kömür rezervinin; % 51,36 'sı antrasit ve bitümlü kömüre, % 48,64'ü linyit ve alt-bitümlü kömüre aittir. 482.542.000.000 tonluk linyit ve alt-bitümlü kömür rezervinin % 73,4 'ü dört ülkede (Almanya % 8,9, eski SSCB % 27,5, ABD % 28,1, Avustralya % 8,9) toplanmıştır. 509.470.000.000 tonluk antrasit ve bitümlü kömür rezervinin ise % 87,6'sı altı ülkede (eski SSCB % 19,1, Çin % 12,2, Hindistan % 14,3, ABD % 21,9, Güney Afrika Cumhuriyeti % 10,9, Avustralya % 9,3) toplanmıştır (DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI, 2000).

Çizelge.5.1. Dünya Fosil Yakıtları Mevcut Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri

(BEKER, 1998)

Bölge	Petrol	Doğal gaz	Kömür
	Yıl	Yıl	Yıl
K. Amerika	18,9	12,7	247
Orta ve G. Amerika	41,4	76,1	298
Avrupa	29,2	101,6	561
Orta Doğu	93,4	>100	300
Afrika	25,2	>100	
Asya ve Okyanusya	17,6	49,7	169
Toplam	43,0	66,4	235

Dünya kömür üretiminin % 80'i Avustralya, Çin, Almanya, Polonya, Rusya Federasyonu, Güney Afrika Cumhuriyeti ve ABD tarafından yapılmaktadır. Taş kömürü üreticisi ülkelerin başında 1110 milyon ton üretim (% 34,9) ile Çin gelmekte bunu 593 milyon ton ile ABD (% 18,6), 369 milyon ton ile Birleşik Devletler Topluluğu (BDT) (% 11,6), 248 milyon ton ile Hindistan (% 7,8) takip etmektedir. Linyit üretiminde ise ilk sırada 330 milyon ton ile ABD bulunmakta (%25,9), ABD 'yi 207 milyon ton ile Almanya (% 16,3), 105,5 milyon ton ile BDT (% 8,3) ve 100 milyon ton ile Çin (% 7,8) izlemektedir (BEKER, 1998).

## 5.2. Türkiye Kömür Rezervi

### 5.2.1. Taş Kömür Rezervi

Ülkemizin önemli ve üretim yapılan taş kömür sahaları Karadeniz sahillerinde Zonguldak yöresindedir. Zonguldak taş kömürü havzası dışında Güney, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerimizde tespit edilmiştir. Bunlar; Antalya-Akseki, Göynük, Çukurköy, Diyarbakır-Hazro, Adana-Kazan, Gümüşhane-Bayburt ve Erzurum-İspir yöresinde bulunmaktadır.

Ülkemiz taş kömür rezervinin 1,5 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bunun ekonomik ve teknik olarak işletilebilir kısmı konusunda değişik görüşler vardır. 180 ile 500 milyon ton arasında değişen rakamlar ileri sürülmektedir (ÜNLÜ, 1987).

Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) ülkemizde metalürjik amaçlı koklaşabilir taş kömürü üreten tek kuruluş olup kurum, Merkez, Armutçuk, Kozlu, Üzülmöz, Karadon ve Amasra taş kömürü işletme birimleri olmak üzere altı bölgeye ayrılmıştır (BEKER, 1998). TTK 'da işletilmekte olan bu kömürlerin özellikleri Çizelge.5.2 'de verilmiştir.

Çizelge.5.2. Zonguldak Havzası Taş Kömürünün Özellikleri (BEKER, 1998)

Özellikler	Taş Kömürü
Nem (%)	0,95-6,20
Kül (%)	5,39-15,24
Uçucu madde (%)	27,26-32,61
Sabit Karbon (%)	54,93-64,96
Toplam Kükürt (%)	0,31-1,03
Isıl değer(kcal/kg)	5790-7280

Zonguldak taş kömürü havzasında 5 bölgede üretim yapılmaktadır. Bunlar; Üzülmöz, Kozlu, Karadon, Armutçuk ve Amasra şeklindedir (ÜNLÜ, 1987). Zonguldak havzasının rezervleri Çizelge.5.3 'de verilmiştir.

Çizelge.5.3. Zonguldak Havzasının Rezervleri (milyon ton) (BEKER, 1998)

Rezerv	Armutçuk	Amasra	Kozlu	Üzülmez	Karadon	Havza Toplamı
Görünür	8	33	18	66	50	175
Muhtemel	26	185	22	102	80	415
Mümkün	58	62	240	79	344	783
Toplam	92	280	280	247	474	1373

Ülkemizde üretilen taş kömürünün % 50 'si metalurjik kok üretiminde, % 12'si termik santrallerde ve geriye kalan % 38'de konutlarda ve endüstride kullanılmaktadır (ÜNLÜ, 1987). Taş kömürü üretimimiz ülke ihtiyacını karşılamadığından ABD, Avustralya, Rusya Federasyonu, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Kanada'dan ithalat yapılmaktadır (BEKER, 1998).

### 5.2.2. Linyit Rezervi

Ülkemiz 5,3 milyar tonu görünür, 2,4 milyar tonu muhtemel ve 0,4 milyar tonu mümkün olmak üzere toplam 8,1 milyar ton linyit rezervine sahiptir (ÜNLÜ, 1987). Linyit üretimi kamu kesimi ve özel sektör tarafından yapılmaktadır. Isıl değeri düşük linyitler termik santrallerde değerlendirilirken daha kaliteli olanları konutların ısıtılmasında ve çeşitli sanayi dallarında tüketilmektedir.

Ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde linyit yataklarına rastlanmaktadır. En çok bilinen linyit yataklarımız; Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Konya, Beypazarı, Adana, Tufanbeyli ve Sivas havzalarını oluşturmaktadır. Bu bölgeler içinde en büyük bölümü 3400 milyon ton ile Elbistan linyitleri teşkil etmektedir (BEKER, 1998).

Linyitlerimizin kalori değeri 800 ile 5500 kcal/kg arasında değişir ve çoğunluğu düşük kaliteli (yüksek küllü ve nemli) kömürlerdir. Sadece Soma ve Tunçbilek kömürleri yüksek kaliteli yarı taş kömürlerdir (ÜNLÜ, 1987). Çizelge.5.4'de Türk linyitlerinin orijinal temele göre ortalama analiz sonuçları verilmiştir.



Çizelge.5.4. Türk Linyitlerinin Orijinal Temele Göre Ortalama Analiz Sonuçları  
(BEKER, 1998)

Özellikler	Değişim Aralığı	Ortalama
Nem (%)	15-52	41
Kül	14-42	22
Uçucu madde	16-38	26
Sabit Karbon	11-39	20
Toplam Kükürt	0,8-0,5	1,8
Isıl değer (kcal/kg)	950-4500	1818

Ülkemizin toplam linyit rezervinin bölgelere göre dağılımı Çizelge.5.5 'de verilmiştir.

Çizelge.5.5. Linyit Rezervinin Bölgelere Göre Dağılımı (BEKER, 1998)

Bölge	Rezerv	
	Milyon ton	%
Karadeniz	215	2,4
Marmara	825	9,7
Ege	2,014	23,8
Akdeniz	363	4,4
İç Anadolu	1,325	15,5
Doğu Anadolu	3,580	43,6
Güneydoğu Anadolu	53	0,6
Toplam	8,375	100,0

Linyit üretimimizin % 53 'ü termik santrallerde ve geriye kalan bölümü ise sanayide (çimento, şeker, azot v.s.) ve konutlarda yakıt olarak kullanılmaktadır (ÜNLÜ, 1987).

## 6. DİYARBAKIR-HAZRO KÖMÜR SAHASI

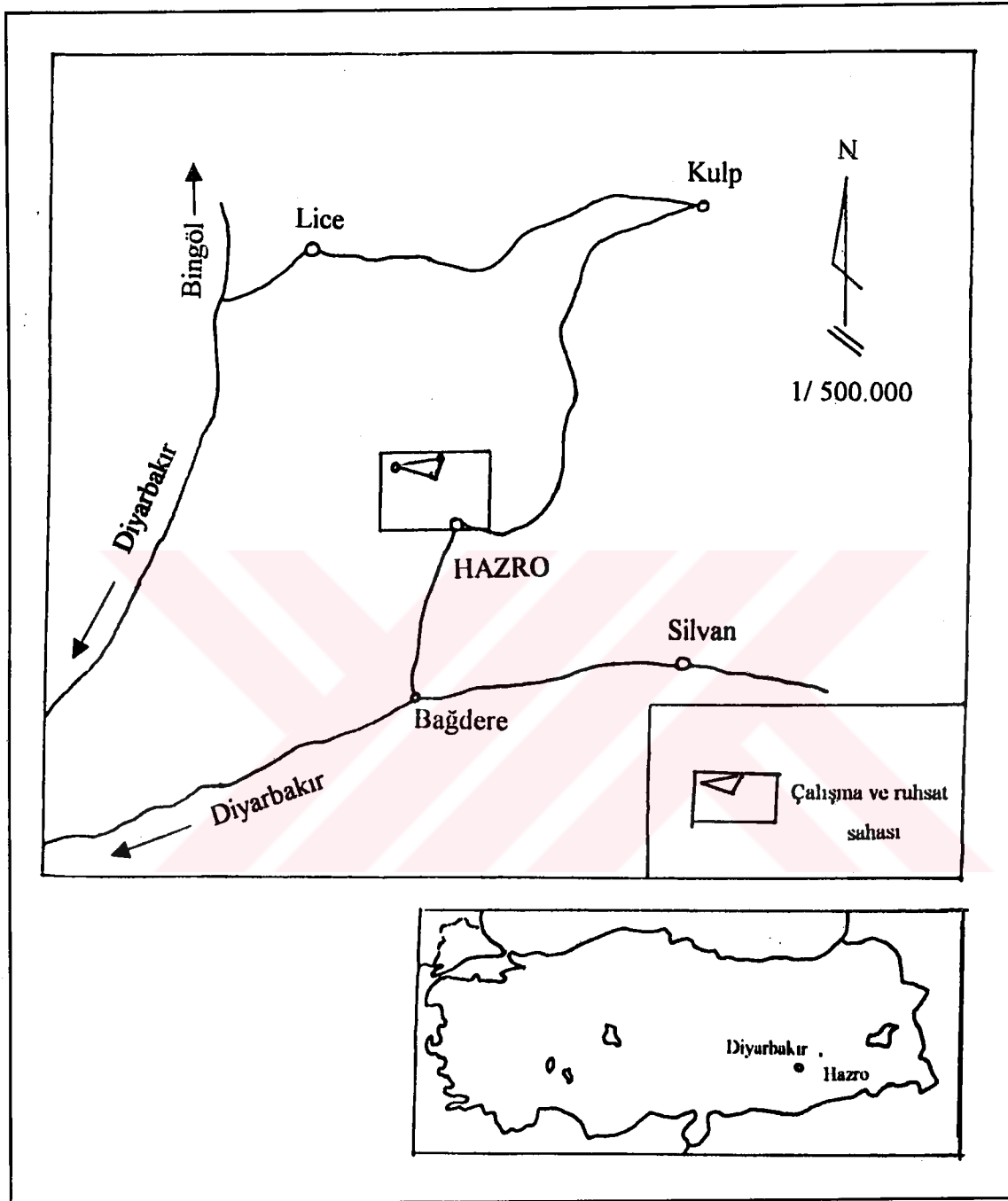
Diyarbakır ili Hazro ilçesi Halhal ve Şimşim köyleri arasında kalan AR:38744 no'lu maden ruhsat sahası ve çevresindeki kömür yayılımı bu araştırmanın konusunu oluşturmuştur. Hazro antiklinalinde yüzeylenen Permien yaşlı Hazro formasyonu içerisinde birkaç damar bulunmaktadır. Kömür havzası kuzeybatı-güneydoğu yönünde derinliği fazla değişmemektedir (GÜMÜŞSU, 1988). AR:38744 no'lu çalışma sahası yer bulduru haritası Şekil.6.1'de ve jeoloji haritası, jeoloji kesiti Şekil.6.2 'de verilmiştir.

### 6.1. Genel Jeoloji

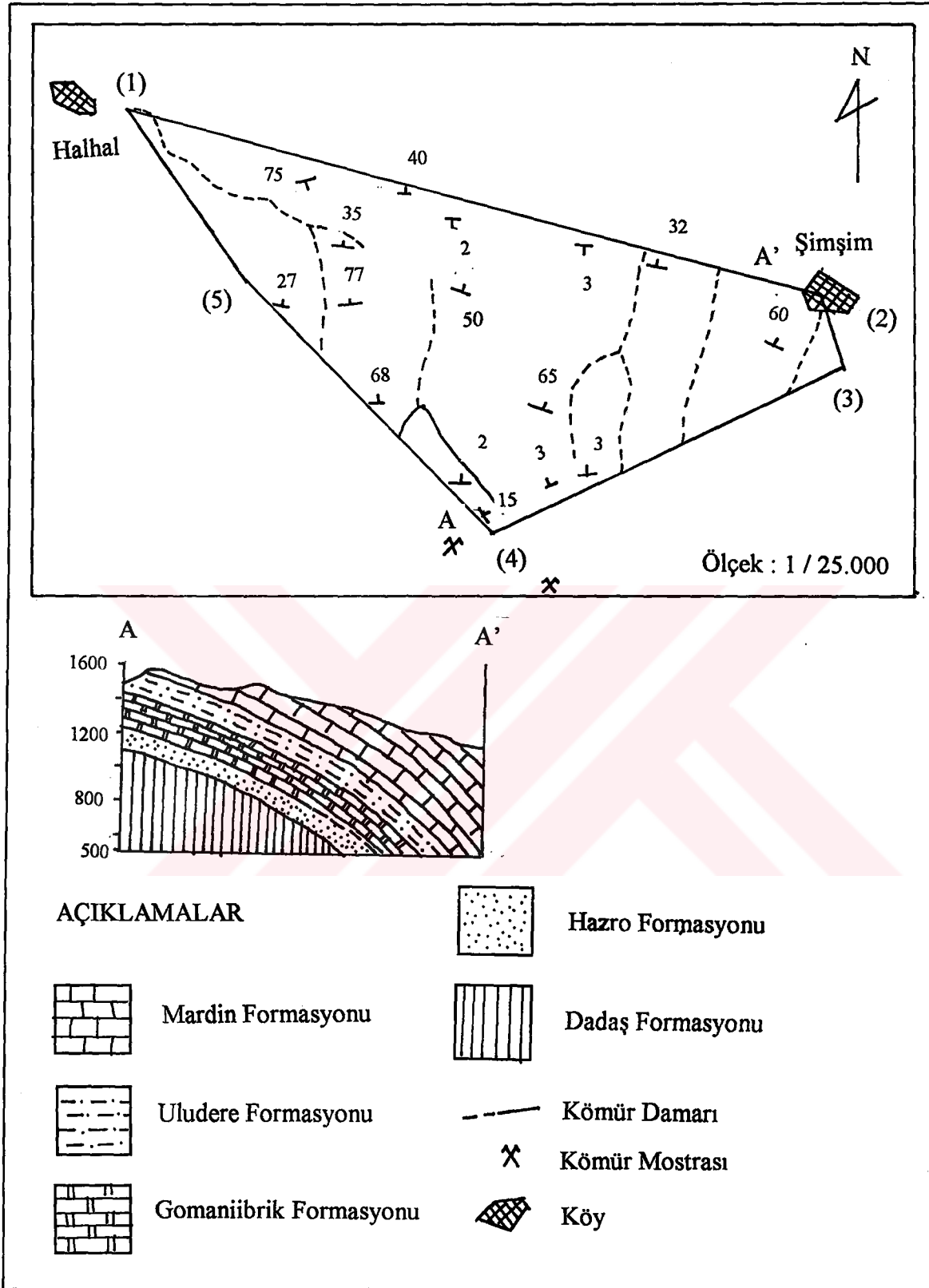
Kömür, Permien yaşlı kayalar içerisinde yer aldığından dolayı stratigrafi bu husus dikkate alınarak incelenmiştir (GÜMÜŞSU, 1988).

#### 6.1.1. Permien Öncesi Kayalar

Çalışma sahasının batı-orta kesimlerinde ve tipik olarak Dadaş köyü doğusu, Kur deresi ve Şehşap köyü batısında gözlenen bölgedeki en yaşlı kayaç topluluğudur. Formasyonun yer aldığı arazi genel görünüşü itibari ile koyu gri yeşilimsi bir görünüm gösterir. Dadaş formasyonu Siluriyen-Devoniyen yaşlıdır. Petrol amaçlı açılan sondajlarda Dadaş formasyonu kesilmiştir. Dadaş formasyonu; şeyl, kalker-marn, kumtaşı, silttaşı tabakalarından oluşan fliş karakterinde bir formasyondur. Dadaş formasyonu içerisinde cam renginde şeffaf, yuvarlak taneli, muhtelif büyüklükte kuvarslardan oluşan kuvars kumu seviyeleri bulunmaktadır (BARAN, 1991). Dadaş formasyonu, Dadaş köyü çevresi ve doğusunda yüzeylenmektedir (GÜMÜŞSU, 1988).



Şekil.6.1. Diyarbakir-Hazro AR:38744 No'lu Çalışma Sahası Yer Bulduru Haritası (BARAN, 1991)



Şekil.6.2. Diyarbakir-Hazro AR:38744 No'lu Çalışma Sahası Jeoloji Haritası ve Jeoloji Kesiti (GÜMÜŞSU, 1988)

## **6.1.2. Permiyen Yaşlı Kayaçlar**

### **6.1.2.1. Hazro Formasyonu**

Formasyon petrollü Hazro kumtaşları ile başlamaktadır. Hazro kumtaşları siyah renkleri ile diğer kayaçlardan kolayca ayırt edilebilmektedir. Dadaş köyü doğusu, Hacertum dağı güneyi ve Şehsap köyü batısında yüzeylemektedir. Kalınlığı 20 m. civarında olup 4 m. kalınlığında kumtaşı-silttaşı tabakası ile başlamaktadır. Tane boyutu üste doğru incelme olup içerisinde killi seviyeler mevcuttur (GÜMÜŞSU, 1988).

Çalışma sahasının orta kesiminde doğu-batı doğrultulu bir hat boyunca görülmektedir. Doğuda Gomanibrik, batıda ise Dadaş köyü civarında tipik mostraları gözlenmektedir. Formasyonun üst seviyelerinde kömür oluşumlarının yer alması nedeni ile kömür aramalarında esas ilgi odağını oluşturmuştur (BARAN, 1991).

### **6.1.2.2. Gomanibrik Formasyonu**

Hazro formasyonu üzerinde konkordan olarak yer alan Gomanibrik formasyonu çalışma sahası orta kesimlerinde izlenir. Gomanibrik (Çökeksu) köyü, Hazro ve Dadaş köyü kuzey kesimlerinde tipik mostraları izlenmektedir (BARAN, 1991). Üst Permiyen yaşlıdır. Gomanibrik formasyonu alt kalker üyesi, kömür-şeyl-marn-silttaşı-kumtaşı üyesi, üst kalker üyesi, kalker-marn üyesi olarak dörde ayrılmıştır (GÜMÜŞSU, 1988).

## **6.1.3. Permiyen Sonrası Kayaçlar**

### **6.1.3.1. Uludere Formasyonu**

Çalışma sahasında dar alanlarda mostra vermektedir. Ruhsat sahası (AR:38744) güneyinde sınırlı bir alanda izlenmektedir. Uludere formasyonu, kalker, marn, dolomit, kil taşı, kumtaşı, konglomera, şeyl araldanmasından oluşmaktadır. Hazro çevresinde Permiyen kayaçlarının üzerine diskordans oluşturarak meydana gelmektedir. Bu formasyonun saha genelinde ortalama kalınlığı 90-100 metredir (GÜMÜŞSU, 1988).

### **6.1.3.2. Mardin Formasyonu**

Çalışma sahasının tamamına yakını bu formasyonla kaplanmıştır. Çalışma sahasının kuzeybatı ve güneydoğusunda yaygın olarak izlenmektedir (BARAN, 1991). Örtü kayaç durumundadır (GÜMÜŞSU, 1988). Karstik bir morfoloji göstererek genelde masif, kompakt kireçtaşlarından oluşan formasyon yer yer beyazımsı seviyeler halinde dolomitik fasiyeler ihtiva etmektedir. Saha genelinde ortalama kalınlığı 600-700 metre arasında olup Jura-Kretase yaşlıdır (BARAN, 1991).

## 6.2. Kömür Damarları

Sahada yapılan jeolojik çalışmalara göre kömür oluşumlarına genelde sahanın doğu ve batı kesimlerinde rastlanmaktadır. Buna karşılık sahanın orta kesimlerinde aynı stratigrafik konumda kömürleşme ortamı izlerine rastlanmakla birlikte kömür oluşumlarına rastlanmamaktadır. Çalışma sahası kapalı bir antiklinal şeklinde olup sahada Devoniyen-Tersiyer yaş aralığında çökelmiş formasyonlar yer almaktadır.

Kömürleşme stratigrafik olarak sadece Permiyen yaşlı Hazro formasyonunun üst kesimlerinde meydana gelmiştir. Bu seviyede kömür kalınlıkları 0,20 –0,80 metre arasında değişmekte olup yanal olarak kesiklikler göstermektedir. Dolayısı ile sahanın her yerinde benzer seviyelerde kömür oluşumlarına rastlanmamıştır. AR.38744 nolu ruhsat sahası genelde kireçtaşları ile örtülü durumdadır (BARAN, 1991).

Kömür damarlarına Permiyen içinde rastlanmaktadır. Karbonifer içinde 15-20 m. kalınlığında ve Permin Alt kalker horizonundan başlayan 3 damar horizonu vardır. Bu üç karbon damarından ortadaki hiçbir tarafından değerlendirilebilecek ve işletilebilecek kömür göstermemektedir (LEBKÜCHNER, 1960).

Kömür damarları Hazro ve Gomaniiirik formasyonlarında bulunmaktadır. İşletilen damarlar Hazro formasyonu içerisinde yer almaktadır.

Kömürlü serinin tabanında alacalı şeyl tabakaları bulunmaktadır. Şeyl tuğla kırmızısı ve açık yeşil renkli, silttaşı bantlıdır. Silttaşı, kuvars tanelerinden oluşmuş olup gri, bej renklidir. Alacalı killerin üzerinde gri yeşil, sarı, bej renkli kil, marn, silttaşı, kumtaşı ardalanması gelmektedir. Gri, yeşil rengin hakim olduğu bu seri az kalınlıkta bir kumtaşı-konglomera tabakası ile başlamaktadır. Kömür damarlarını iki kılavuz, kumtaşı-silttaşı-bitümlü şist ardalaşmasından oluşan ve çapraz tabakalaşma gösteren tabakalar birbirinden ayırmaktadır. Alt ve üst damar olarak adlandırılan damarların her ikisi işletilmiştir. Kömür mostraları batıda Dadaş köyünden doğuda Gomaniiirik (Özlüce) köyüne kadar gözlenebilmektedir (GÜMÜŞSU, 1988).

### 6.2.1. Üst Kömür Damarı

Dadaş köyü sahasında biraz kalınca olup, Gomaniibrik köyü çevresinde önemsizdir.

*Kalınlığı* : Dadaş köyünde 0,80-1,05 metredir.

*Yayıma sahası* : Mostralar molozla örtülü olduğundan şimdiye kadar bu konuda çok az bilgi edinilmiştir .

*Kömürün değeri* : Terkedilmiş olan Dadaş köyü galerisinden alınan numune %3,17 nem, %33,42 kül ve 4677 kcal/kg. 'lık aşağı kalori değerine sahiptir .

*Rezervler* : Görünür rezervi Dadaş köyünde 3500 tondur. Mümkün rezervi hesaplanmamıştır (LEBKÜCHNER,1961).

Üst kömür damarına ait kömür stampları Şekil.6.3 'de verilmiştir. Dadaş köyü galerisine ilişkin stamp Ü.1 'de verilmiş olup Ü.2 'de Aşağı Mahalle-Dadaş köyünün 1450 m. Kuzeybatısındaki Zinarebeşe sırtının doğu yamacında bulunan yarmadan alınan kömür stampı verilmiştir.

### 6.2.2. Alt Kömür Damarı

Dadaş köyü civarında körleşmiş olup, Gomaniibrik köyü sahasında işletilebilir durumdadır.

*Kalınlığı* : 0,20 ile 1,90 metre arasında olup ortalama 0,60 metredir.

*Yayıma sahası* : Gomani deresinden batıya doğru 1000 metre, mostra hattından kuzeye doğru ise 100 metre olması mümkündür.

*Kömürün değeri* : Gomaniibrik köyündeki 5 nolu ocaktan alınan numune %1,17 nem, %30,34 kül ve 5190 kcal/kg 'lık aşağı kalori değerine sahiptir .

*Rezervler* :

Görünür rezervler (Gomaniibrik İşletmesi) : 12 500 ton

Muhtemel rezerveler : 400 000 ton

Mümkün rezervler : 1,8 milyon tondur (LEBKÜCHNER,1961).

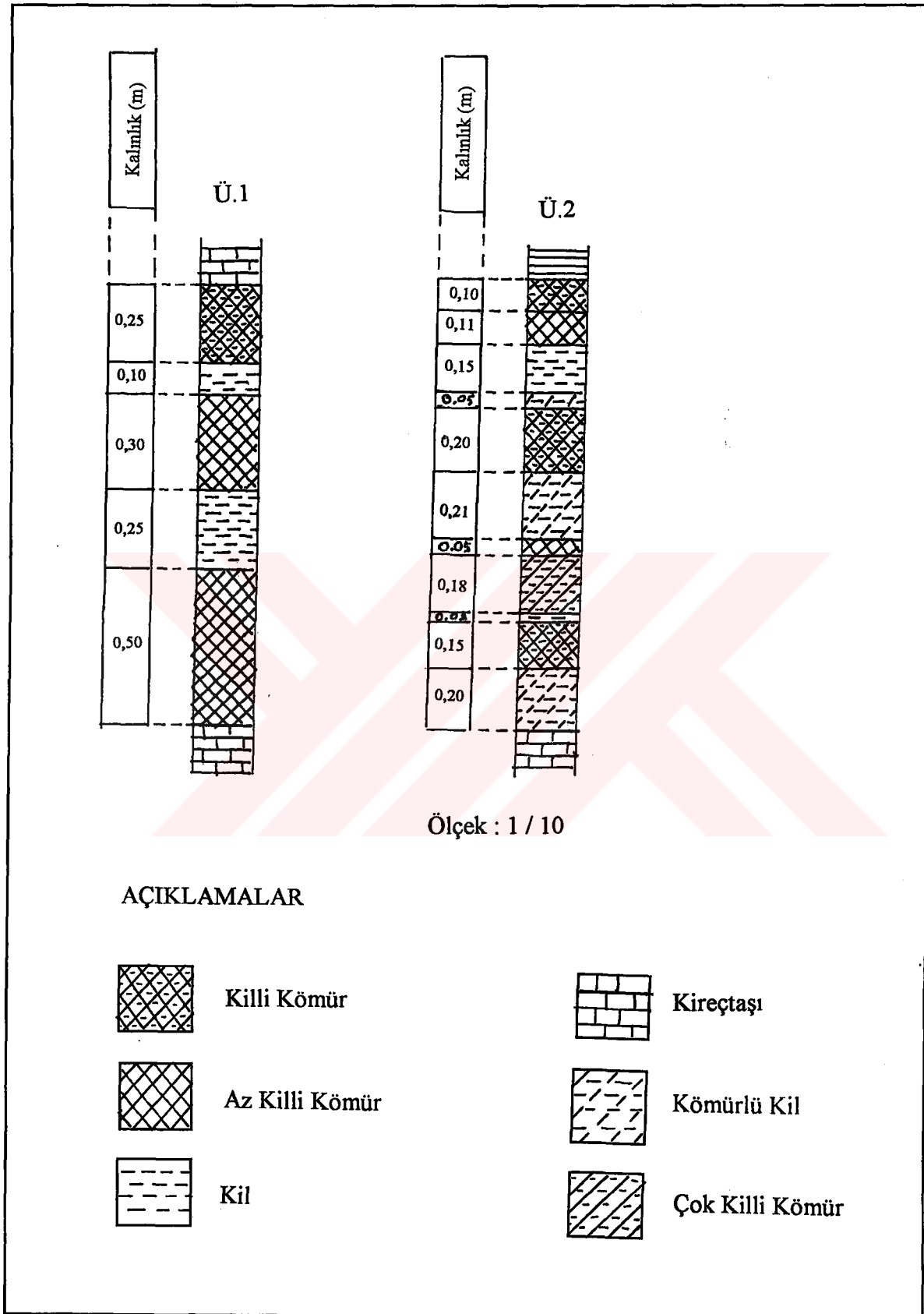
Alt kömür damarına ait kömür stampları Şekil.6.4 'de verilmiştir. Gomaniibrik köyündeki 5 nolu ocağa ait kömür stampı A.1 'de verilmiş olup 5 nolu ocağın çevresine ait stamplar A.2 ve A.3 'de verilmiştir.

1991 yılında MTA tarafından yapılan çalışmaya göre (BARAN, 1991) ruhsat sahası dışında Hazro Taşkömürü İşletmesi Ltd.Şti. 'ne ait Dadaş İşletmesinde gözlenen kömürün makroskobik özellikleri itibari ile mat görünüşlü, şisti killi ve gri-siyah renkli olduğu belirtilmiştir. Yine saha dışında Çökeksu (Gomaniibrik) İşletmesinde ise kömür siyah parlak renkli, sert ve dilinimli olarak gözlenmiştir.

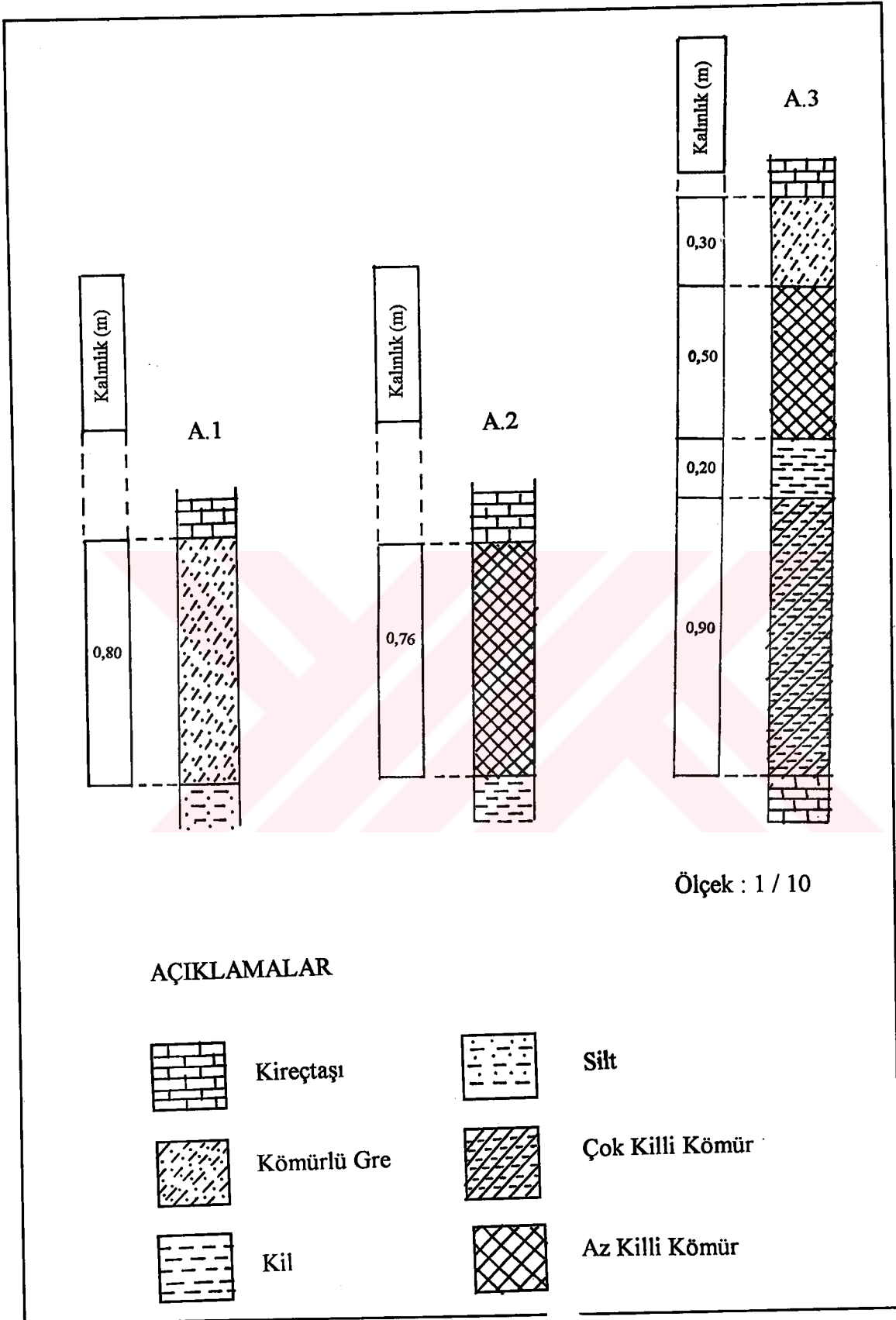
Dadaş İşletmesinden alınan kömür numunesinin analiz sonuçları şöyledir (BARAN, 1991):

	<u>Orijinal kömür</u>	<u>Havada kuru kömür</u>	<u>Kuru kömür</u>
Nem %	0,88	-	-
Kül %	42,48	-	42,86
Aşağı kalori (kcal/kg)	3770	3770	3800





Şekil.6.3. Üst Kömür Damarına ait Stamlar (GÜMÜŞSU, 1988)



Şekil.6.4. Alt Kömür Damarına ait Stamlar (GÜMÜŞSU, 1988)

## 7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Allum (1954); refraktör kömürlerdeki yüksek kimyasal reaktif sarfiyatın basit iki safhalı kondüsyonlama metodu ile reaktif maliyetinin % 50 veya daha fazla azaltılabileceğini belirtmiştir.

Arnold ve Aplan (1986); kömür flotasyonu üzerinde kil etkisinin belirlenmesi amacı ile bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalardan farklı yapıdaki killerin kömür flotasyonunu farklı şekilde etkilediği ve bu nedenle yapışkan ve nemli maddelerin iyi tanınması gerektiğini, tüvenan kömürün kil içeriğinin artışı ile bu kilin su ile taşınması sonucunda köpüğün kil içeriğini artırdığını, kaolin ve illit killerinin kömürün bastırılması üzerinde çok az etkileri olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Arslan ve Çiçek (1998); Hüstaş tarafından üretilen Eynez köyü kömür ocağından üretilen kömürün ağır ortamda yıkanma şartlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bu kömürlerin  $1,6 \text{ g/cm}^3$  'den yukarı yoğunluklarda yıkamaya uygun olduğu, kömürün yıkanabilme özelliği orta seviyede olmasına rağmen ağır ortam sistemi ile kazanım verimi % 90 'nın üzerine çıktığı, kömürün yıkanabilme özelliği iyi olmamasına rağmen ağır ortam ile çalışılan aygıtlarla bu kömürlerden kaliteli ürün elde etmenin mümkün olduğu belirlenmiştir. 50-20 mm ve 20-10 mm fraksiyonları için uygun olan  $1,7 \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta temiz kömür kazanım veriminin % 95 'i geçtiği bu nedenle ağır ortam tamburunun oldukça yüksek bir performans ile yıkama yaptığını ortaya çıkarmışlardır.

Ateşok ve arkadaşları (1994) yaptıkları çalışmada; laboratuvar ölçekli zenginleştirme deney sonuçları ile Keles ve Saray Bölgesindeki kömür üretim rakamları dikkate alınarak oluşturulan Saray tüvenan kömür ile Keles tüvenan kömürleri üzerinde ağır ortam sistemi, jig ve spiral ile pilot ölçekli zenginleştirme çalışmaları yapmışlardır. Zenginleştirme çalışmaları sonucunda, Keles tüvenan kömürden girene göre % 58,9 oranında % 14,3 kül içerikli ve kuru baza göre üst ısıl değeri 4935 kcal/kg olan bir temiz kömür % 71,6 yanabilir verimle kazanılırken, Saray tüvenan kömürden girene göre % 51,3 oranında, % 15,5 kül içerikli ve kuru baza göre üst ısıl değeri 4890 kcal/kg olan bir temiz kömür % 64 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Bentli (1993); Aydın-Şahinali linyitlerinin -50+20 mm boyutundaki kömürlerinin zenginleştirilerek ev yakıtı olarak değerlendirilmesi amacı ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Laboratuvarında, -50+15 mm ve -15+4,8 mm jig; -4,8+2,8 mm,

-2,8+1,7 mm, -1,7+0,6 mm fraksiyonları ise sallantılı masada zenginleştirilerek optimal deney sonuçları araştırılmıştır. Sonuçta, % 24,62 küllü, % 1,59 kükürt, 3408 kcal/kg alt ısıl değere sahip beslenen kömür, % 15,56 küllü, % 1,21 kükürt içerikli ve 3884 kcal/kg alt ısıl değere sahip lave kömürü % 95,40 yanabilir verim ile kazanılmıştır. Deney sonuçlarından Aydın-Şahinali kömürünün daha yüksek kalori, kül ve kükürt miktarının düşük bir lave şekline getirilerek ev yakıtı olarak kullanılmasının mümkün olabileceği ortaya çıkmıştır.

Briceno ve Chander (1988); kömür kaynağından ve cevher kaynağından ileri gelen pirit numunelerinin elektro kimyasal karakteristikleri için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elektro kimyasal tanıma çalışmaları üç farklı elektro kimyasal metodun kullanılması ile yapılmış olup, sabit durum polarizleme, devirli voltmetre ve AC özdirenç ölçümleri şeklindedir. Burada kömür ve cevherdeki piritin elektro kimyasal davranışı ilk defa olarak araştırılmış olup alkali borat (pH: 9,3) çözeltileri kullanılmıştır. Voltmetre ve öz direnç sonuçları numune hazırlama sırasında pirit cevheri üzerinde öncelikli olarak bir ürün tabakası oluşurken kömür piriti yüzeyinde böyle bir tabaka ortadan kalktığı görülmüştür. Sabit durum polarizasyon ve AC özdirenç tekniklerinin sonuçları benzer oksidasyon koşulları altında kömür piritinin, pirit cevherinden daha düşük potansiyellerde oksitlenmeye başladığını göstermiştir.

Cebeci ve arkadaşları (1996); Yozgat-Ayrıdam linyitlerine elle ayıklama, ağır ortam, jig, sarsıntılı masa ve flotasyon ile yaptıkları zenginleştirme çalışmaları sonucunda düşük kül (% 13-14) ve kükürt (% 0,73-1,32) içerikli temiz kömürlerin üretilebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Üretilen toplam konsantrenin kuru kömür bazında % 13,70 kül, % 1,15 kükürt içerdiği ve 6231 kcal/kg üst ısıl değere sahip olduğu bulunmuştur. Yanabilir kısmın % 80,83 'ünün konsantrede kazanıldığı bu çalışma neticesinde Ayrıdam kömürlerinin fiziksel yöntemlerle zenginleştirilebileceğini ortaya çıkarmışlardır.

Demirel (1988); Çayırhan linyit ocaklarından sağladığı numunelerle piritin bulunuşunu ve piritin serbestleşme imkanlarını araştırmıştır. Piritik kükürdün iki aşamalı flotasyon prosesi ile azaltılabileceğini göstermiştir. Piritik kükürt içeriği tavan kömür damarı için % 3,81 'den % 1,03 'e ve taban kömür damarı için ise % 3,21 'den % 0,96 'ya düşürmüştür. Kömür kazanım verimi % 60,5 olarak elde edilmiştir.

Demli (1994); Beypazarı ve Soma linyitlerinin yıkanabilme özelliklerinin belirlenmesi amacı ile bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, Beypazarı linyitinin kükürt

içeriği kuru temelde % 5,09 kül içeriği, kuru temelde % 39,08 olarak belirlenmiştir. Yıkama sonucunda 1,50 özgül ağırlıkta kükürt % 1,27 olarak ve % 54,23 verimle, % 27,20 küllü temiz kömür elde edilmiştir. Beypazarı linyitinde düşük verimden dolayı yıkama yolu ile fazla bir iyileştirme sağlanamamıştır. Soma linyitinde kükürt içeriği ise kuru temelde % 1,17 kül içeriği % 28,08 olarak belirlenmiştir. Yıkama sonucunda 1,50 özgül ağırlıkta kükürt % 1,07 olarak ve % 79,12 verimle % 24,70 küllü temiz kömür elde edilebildiği ortaya çıkmıştır. Yıkama eğrileri değerlendirildiğinde Soma linyitinin yıkanabilen bir kömür olduğu sonucuna varılmıştır.

Deniz ve arkadaşları (1996); Çivril (Denizli) linyitlerindeki kükürdün uzaklaştırılması için flotasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Flotasyon yöntemi ile % 4 toplam kükürlü tüvenan kömürden % 1,51 kükürlü lave elde etmişlerdir.

Deniz ve arkadaşları (2000); Eskişehir-Mihalıççık Koyunağlı Köyü % 40,14 küllü kömürlerinin zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Kömür örneğinin yoğunluğa göre zenginleşip zenginleşmediği tespiti için yüzdürme-batırma testleri yapmışlardır. Yüzdürme-batırma testleri sonucu kömür örneğinin yıkanabilirliğinin zor olduğu bu nedenle flotasyon yöntemi ile zenginleştirmeyi araştırmışlardır. En uygun şartlarda kaba flotasyon sonucunda % 22,54 kül değerindeki temiz kömür % 51,84 yanabilir verimle elde edilmiştir. Kaba flotasyon sonucunda elde edilen ön konsantreye bir kademe temizleme ve artığa bir kademe süpürme yapıldığında elde edilen konsantrenin kül oranı % 18,22 'ye indirilmiş ve kömürün yanabilir verimi % 54,64 olarak elde edilmiştir.

Doğan (1988); Tunçbilek-Beke linyitlerinin elle ayıklama ile temizlenebilme olanağının araştırılması ve yıkanabilirlik özelliğinin tespiti amacı ile bir çalışma yapmıştır. Değişik elek fraksiyonlarında elle ayıklama ile temizleme yapılmış ve + 25,4 mm tane boyutunda yapılacak elle ayıklama ile % 13,28 kül içeren temiz kömürün % 86,13 'lük verimle kazanılabileceğini saptamıştır.

Grounds (1950); refraktör kömürlerdeki yüksek kimyasal reaktif sarfiyatın kömürün yüksek derecede gözenekli yüzeyinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Hindmarch (1951); yüksek miktarda reaktif sarfiyatın kömür partiküllerinin yüzeyinde oksitlenmiş hidrofil grupların yapısından ileri geldiğini belirtirken, Jowett (1958); killerin bulunması durumunda kömür partikülleri ve adsorplanan reaktif bir tabaka ile sarılmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Karaoğlu (1999); ortalama % 49 kül içeren TKİ Alpagut-Dodurga Linyitleri İşletmesi (ADL) lavvarı atık şlamından gravite yöntemleri kullanarak temiz kömür kazanımını araştırmıştır. Laboratuvar ölçeğinde sallantılı masa ve MGS (Multi Gravite Separator) deneyleri yaparak uygun koşulları araştırmıştır. Sallantılı masada yapılan çalışmalar sonucunda; -3+0,6 mm boyutunda % 25,96 kül içeren numunelerden % 13,52 kül içeren temiz kömür % 50,16 yanabilir verimle; -0,6+0,3 mm boyutunda % 32,05 kül içeren numunelerden % 16,78 kül içeren temiz kömür % 53,12 yanabilir verimle elde edilmiştir. MGS 'de yapılan çalışmalar sonucunda -0,3+0,15 mm boyutunda % 36,31 kül içeren numunelerden % 20,53 kül içeren temiz kömür % 83,94 yanabilir verimle; -0,15+0,05 mm boyutunda % 44,43 kül içeren numunelerden % 25,58 kül içeren temiz kömür % 88,39 yanabilir verimle elde edilmiştir. Yine -0,15+0,05 mm boyutunda aynı koşullarda yapılan 2 kademeli deneyler sonucunda % 44,43 kül içeren numuneden, % 17,39 kül içeren temiz kömür, % 63,08 yanabilir verimle elde etmiştir.

Kaytaç (1988); Amasra kömürlerinin yıkanabilirlik özelliklerinin inceleyerek tesis şartlarına göre daha düşük küllü bir lavenin kazanılması ve şist boyutlarının küçültülerek tekrar yüzdürülmesi ile termik santral yakıtı kalitesinde bir ürünün elde edilebilme olanakları ve flotasyonda kullanılan yeni bir toplayıcı reaktifin etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda, % 90 Gazyağı ve % 10 İki Etil Hegzanol ile deneye girene göre % 54,5 oranında bir lave % 15,82 kül ile % 75,55 yanabilir verimle elde edilirken, Montanol 551 reaktifi kullanıldığında deneye girene göre % 54,4 oranında bir lave % 12,83 kül ile % 78,23 yanabilir verimle elde etmiştir.

Kaytaç ve arkadaşları (1992); Çayırhan Bölgesi kömürlerinin yapısal özelliklerini belirleyerek elle ayıklama, yüzdürme-batırma, jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri yapmışlardır. Çayırhan Bölgesi kömürlerine farklı zenginleştirme yöntemlerinin uygulanması ile; % 40 oranında % 20,50 kül içeren temiz bir kömür % 29,4 oranında, % 44,81 kül içeren ara ürün ve % 30,6 oranında % 75,85 kül içeren artık elde edilmiştir. Temiz kömür (5053 kcal/kg) ev yakıtı (teshin) ve sanayide kullanılacak, ara ürün (3100 kcal/kg) termik santralde yakılacak ve artık (850 kcal/kg) ise atılacak nitelikte ürünler elde edilmiştir.

Keskin ve Çuhadaroğlu (1994); Merzifon yöresi Linyit kömür ocaklarının Taban Damar Kömürünün yıkanabilirlik özelliğini araştırmışlardır. Kömürün gerek fiziksel

özellikleri gerekse  $\pm 0,10$  düzeyinde farklı yoğunlukta malzeme miktar dağılımını belirleyen eğrideki verilere göre zenginleştirme yöntemi olarak jig yöntemi kullanılmıştır.

Mamurekli (1987); ağır-ortam ayırımı ve flotasyon uygulaması ile Zonguldak taş kömürlerinden temiz kömür elde etme olanağını araştırmıştır. Kömür numunesi; % 12,1 kül ve % 0,41 toplam kükürt içerikli Zonguldak Merkez Lavvarı'nın  $-50+18$  mm jig konsantresidir. İki aşamalı ağır-ortam ayırımı uygulayarak kül yüzdesi % 12,11 'den % 3,56 'ya indirilmesi mümkün olmuştur. Son temizleme ise flotasyon yöntemi ile yapılmış olup % 2,40 kül ve % 0,42 toplam kükürt içerikli kömür ürününün üretilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Miller (RI.8224); kömürlerin flotasyona tepkilerinin artırılması için bir çalışma yapmıştır. Literatür araştırması ve tecrübeler refraktör kömürlerinin yağlı kollektörler ve köpürtücülerle büyük bir kısmının flote edilebileceğini göstermiştir. Burada flotasyon selektivitesi düşük olup iki safhalı kaba-temizleme flotasyonu önermiştir.

Refraktör kömürleri ile olan ana problem flotasyon devresinde bulunacakları zaman önceden bütünleyici kollektörlerin eklenmesidir. Besleme malındaki yüzdürülme özelliğindeki değişiminden kaynaklanan kömür kayıpları flotasyon sırasında köpürtücü ile bir nonpolar kollektör (kerosen veya fuel oil) kullanıldığında azalması mümkündür. Bu çalışmada refraktör kömürlerinin flotasyonunda kömür kayıplarının azaltılması ile flotasyonun artırılacağı öne sürülmüştür. Çalışmada; refraktör kömürlerinin yüzdürülmesi için köpürtücülerle beraber nonpolar kollektörlerin kullanım avantajını ve gerekliliğini göstermek için çeşitli U.S kömürleri (Appalachian kömürleri ve Midwestern kömürleri) ile flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Çalışma sonunda; refraktör kömürlerinin yüzdürülmesi için yağlı kollektörlere ilaveten MIBC veya 2-ETH gibi köpürtücülerin etki ettiği besleme malı pülpü ile kollektörün kondüsyonlaması üzerinde durulduğunda, çok az bir kondüsyonlamanın pülp içindeki kollektör yayılımını düşük seviyede kalmasına neden olurken çok fazla kondüsyonlamanın aşırı adsorpsiyona neden olarak kollektörün gözenekli kömür yüzeyinin içine girerek kollektör kaybına neden olduğu, bazı refraktör kömürlerinde yeterli oranda kül ve kükürt azalmasının iki safhalı kaba-temizleme kömür flotasyonu ile elde edilebileceği, standart flotasyon devresinde bir köpürtücü ile kerosen veya fuel oil gibi bir kollektör kullanılırsa flotasyon devresinde refraktör kömürlerinin değişken ve tahmin edilemeyen yapısından kaynaklanan kömür kayıplarının azaltılabileceği ileri sürülmüştür.

Miller (RI.8262); ABD 'nin orta bölgesine ait farklı kömürler üzerinde flotasyon metodu uygulayarak kömürdeki kükürdün uzaklaştırılması için çalışmalar yapmıştır. Çalışmada Kentucky ve Illinois batısından 9 kömür örneği kullanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda flotasyon işlemi ile % 70 'in üzerinde piridik kükürdün azaltılabileceği ve daha önce Appalachian bölgesi kömürleri ile yapılan flotasyon çalışmaları ile mukayese edildiğinde çalışmada kullanılan kömürlerden kükürdün giderilmesinin daha güç olduğu ortaya çıkmıştır. Orta bölgeye ait kömürler, Appalachian bölgesinden alınan aynı genel ebatları kapsayan derin-kazılmış, çok yüksek sınıflı olan Appalachian kömürlerinden flotasyon metodu ile kükürdün arındırılması daha zordur. Bu güçlük kömürlerin nispeten (Orta bölge kömürleri) yüksek organik kükürt içeriği ve pirit ve markasitin fiziksel özelliklerinden (tane büyüklüğü, serbestleşme derecesi vb.) kaynaklandığını ileri sürmüştür.

Moxon ve Keast-Jones (1986) yaptıkları çalışmada; kaba kömür partiküllerinin flotasyon verimindeki artışların emülgatörlerin kullanılması ile elde edilebileceğini böylece su/yağ ara yüzeyinin gerilimi düşerek kollektör yağının kömür yüzeyine yayılımı için gereken enerjinin daha az olacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada non-ionic bir emülgatör (polyethylene nonyl phenol) kullanılarak %0,5 v/v (emülgatör/kollektör) oranında maksimum bir verim elde edilmiştir. %0,5 v/v ve kritik misel konsantrasyonu (%15 v/v) arasındaki konsantrasyonlarda emülgatör sulu faz içine bölündüğünden ve denge durumunda temas açısı düştüğünden flotasyon verimi düşmektedir. Bu kritik misel konsantrasyonunun yukarıdaki konsantrasyonlarda hava/su ara yüzeyinde emülgatörün adsorpsiyonunun sonucu çok kuvvetli hidratlanmış köpük yapısı tekrar flotasyon veriminin artışına neden olmaktadır. Çok yüksek emülgatör konsantrasyonlarında (%60 v/v); kömür yüzeyi üzerinde emülgatör adsorplandığından şiddetli olarak kömür yüzeyinin hidrofob kapasitesi azalması sonucu flotasyon veriminin yaklaşık olarak sıfır olacağı ortaya çıkarılmıştır.

Çalışma sonunda non-ionic emülgatörlerin ilavesi durumunda (polyethylene nonyl phenol) ve bir kollektör yağı, yağ/su ara yüzey gerilimini azaltarak ve sonradan yağın yayılım enerjisini azaltarak kaba kömürün flotasyon verimini artırdığı ve maksimum verim elde edildiğinde emülgatör konsantrasyonunun dönüm noktasının bulunabileceği ortaya çıkarılmıştır.



Moxon ve arkadaşları (1988) yaptıkları çalışmada, kaba kömür flotasyonunda karşılaşılan önemli problemlerden biri olan flotasyon veriminin artırılması için iyonik olmayan köpürtücülerle flotasyon testleri yaparak MIBC 'ye bağlı olarak verimde % 25 'in üzerinde artışlar elde etmişlerdir. Verimdeki bu artışın köpüklerin yapısından meydana geldiğini, köpüğün kuvveti köpürtücü molekülünün kimyasal yapısının değişimi ile değiştirilebileceği ortaya çıkarılmıştır.

O. Olajide ve E.H. Cho (1987), Pittsburgh maden kömürü ile laboratuvar ölçeğinde katı besleme oranı, su akış oranı ve partikül ebadının jig verimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları jig bir McNally-Norton LO3OX Right Hand Model Baum jigi olup elek alanı  $0,186 \text{ m}^2$  'dir.

Çalışma sonunda daha küçük partiküllerin daha yüksek değerlerde ayırma yoğunluğu ve daha düşük bir ayırma verimi verdikleri, su akış oranının artışı ile sabit katı besleme oranında temiz kömür miktarının arttığı ve bu durumun belirli bir değere kadar suyun akış oranının artışı ile ayırma veriminin arttığı daha sonra akış oranının daha fazla artışı ile bu defa ayırma veriminin aynı seviyede kalmadığı, partikül ebadının artışı ile ayırma veriminin arttığı ortaya çıkmıştır.

Önal ve arkadaşları (1988); Yeniköy (İstanbul) kömür sahasında üretimi yapılan orta ve üst kata ait kömür damarlarından alınan numunelerin boyut dağılımı ve yıkanabilirlik özelliklerini belirlemişlerdir. Numuneler üzerinde elle ayıklama ve aktararak dağıtma deneyleri sonucu bu kömürlerin boyuta göre sınıflandırma ve aktararak dağıtma ile zenginleştirilebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Üst kat numunesi, 24 saat ıslatıp 5 dakika aktararak dağıttıktan sonra dağılmış malzeme 3,36 mm açıklıklı elekten elendiğinde elek üstünden giren malzemenin % 37,6 'sı oranında % 22,12 kül içerikli ve yanabilir verimi % 60,6 lave elde edilmiştir. Kül katmanlarını pek içermeyen orta kat numunesini ise elemanın yeterli olacağı ve numune 3,36 mm açıklıklı elekten elendiğinde elek üstü olarak ağırlıkça verim % 90,7 , yanabilir verim % 95,5 ve kül içeriği % 17,05 olan lave elde edilmiştir.

Önal ve Acarkan (1988); Gediz (Kütahya) bölgesinde bulunan 4 m. kalınlığındaki üst ve 2 m. kalınlığındaki alt damarlarından alınan temsili numuneler ile bu numunelerin uygun oranlarda karıştırılması ile hazırlanan numune üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Numuneler üzerinde ağır ortam, jig, sarsıntılı masa ve flotasyon

deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; tüvenan kömürden % 12 civarında kül içeren temiz kömürün elde edilebileceği ve Gediz bölgesi kömürlerindeki kükürdün fiziksel zenginleştirme yöntemi ile düşürülemeyeceği belirlenmiştir. Ağır ortam+flotasyon ile yapılacak zenginleştirmeden % 11,67 küllü lavenin % 64,3 yıkama verimi ve % 78,65 yanabilir verimle elde edilebilirken, jig+sarsıntılı masa+flotasyon ile yapılacak zenginleştirme sonucu % 12,48 küllü lave, % 64,1 yıkama verimi ve % 77,45 yanabilir verimle elde edilebileceği ortaya çıkmıştır.

Öney (1993); Zonguldak ince kömürünün flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesini araştırmıştır. Elde edilen optimum flotasyon koşullarına göre oktanol kullanımı ile % 22,67 kül içerikli ve % 90,21 verimde temiz konsantrenin elde edilebileceği ve etil alkol kullanımı ile % 9,61 kül ve % 48,94 verim değerinde temiz konsantrenin elde edilip bu kademenin artığına oktanol ilavesi ile % 38,10 küllü bir ara ürünün % 41,01 verimle elde edilebileceğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca verim indeksine bağlı olarak çeşitli parametrelerin kömür flotasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametreler :

- 1 ) Kollektör (gazyağı) miktarı
- 2 ) Köpürtücü ( izooktanol ) miktarı
- 3 ) Flotasyon zamanı, şeklinde olup bu parametrelerin saptanması için 3. derece regresyon denklemi kullanılmıştır.

Read ve arkadaşları (1989); ultra ince kömür flotasyon verimi üzerinde reaktif türünün etkisinin belirlenmesi amacı ile bir kinetik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan iki adet ultra ince kömür numunesi, Illinois No.5 Spring-Field ve Pittsburgh No.8 olup pirit ( $k_p$ ), kül ( $k_a$ ) ve kömür için ( $k_c$ ) verim oranlarının elde edilmesi için farklı reaktif türleri ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada reaktif olarak anionic surfactant'lar, anionic surfactant-alkol karışımı ve köpürtücü alkoller kullanılmıştır. Ultra ince kömür flotasyonunda meydana gelen önemli problem azalan flotasyon verimindeki kayıplardır.

Çalışma sonunda, anionic surfactant-alkol karışımları veya gazyağının düşük sınıflı Illinois kömürü için kömür flotasyon verimini ( $k_c$ ) artırdığı; daha yüksek sınıflı Pittsburgh kömürü için alkoller veya sodium lauryl sulfate, ethoxylated sulfonates'ler gibi anyonik surfactant alkoller ile karıştırılmasının daha iyi olacağını belirtmişlerdir. Ayırma verimleri  $k_c/k_a$  veya  $k_c/k_p$  ile belirtilen ayırma verimleri saf alkoller her iki tip kömür için

en iyi iken fakat surfactant-alkol karışımları Pittsburgh kömürüne kıyasla Illinois kömüründe daha iyi netice verdiği görülmüştür. Saf anyonik surfactantlar ticari surfactant-alkol reaktiflerden daha etkili oldukları ortaya çıkarılmıştır.

Rogers (1956); refraktör kömürlerdeki yüksek kimyasal reaktif sarfiyatın standart karıştırıcı tank yerine çok safhalı çalkalayıcı kullanılarak şiddetli kondüsyonlama ile azaltılabileceğini belirtmiştir.

Schönert ve Zimmerman (1988); Clausthal Teknik Üniversitesine bağlı Cevher Hazırlama Enstitüsünde ve F.R.G.-Research and Technology Bakanlığının himayesinde 1 mm'den küçük tane sınıfında jig testleri yapmışlardır. Bu araştırma, filtre tabakasına duyarlı bir yoğunlukta jig işlemi yapma ile ilgili yeni bir prosesin geliştirilmesine yönelik olarak yapılmıştır. Bu proseste elek üzerine bir partikül tabakası yerleştirilerek bu partiküllerin boyutu, yoğunluğu, tabaka kalınlığı ve üst akıntı hızı gibi özellikler söz konusu tabakanın yoğun bir filtre gibi davranmasına uygun şekilde ayarlanmıştır. Sürekli bir türde bir işlemin temini için bir Carousel jig geliştirilmiştir. Bu düzenekle yaklaşık % 90 'lık pirit ve % 80 'lik bir azaltma ve yüksek bir verimle temiz bir kömür ürünü kazanmışlardır.

Sokaski ve arkadaşları (1966), iki kömür zenginleştirme tesisinde jig performansını araştırmışlardır. Bu tesislerden birisi Sunnyside, UT'de olup toplam yatak alanı 28,5 m<sup>2</sup> 'ye sahip iki baum jigi ile yaklaşık 600 t/h kömür yıkanmıştır. Diğer tesis Koehler NM 'de olup toplam yatak alanı 13,7 m<sup>2</sup> 'ye sahip bir Baum jigi ile yaklaşık 320 ton kömür yıkanmıştır.

Toroğlu (1990); Amasra bölgesinde üretim faaliyeti sürdürülen üç kömür sahasından alınan temsili numunelerin yıkanabilme, flotasyon ile zenginleştirme, kömür kül içeriğinin koklaşma özellikleri üzerine etkilerinin saptanması ve kömür karışımlarının koklaştırılmasında karışıma ilave edilebilecek maksimum Amasra kömürü miktarının saptanması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Amasra, Kurucaşile ve Azdavay kömürlerinin kül içeriği metalurjik kok üretimi için çok yüksek değerde olduğu için bu iri boyutlu kömürlerin (-100+0,5 mm boyut aralığı) fiziksel yöntemlerle, 0,5 mm altı kömürlerin ise flotasyon ile zenginleştirilmesi olanağını araştırmıştır.

Uçbaş (1988); Çatalağzı Lavvarından alınan flotasyona giren brüt kömür ve jig çıkışı ara ürün numuneleri üzerinde aglomerasyon yapmıştır. Ünal (2000); yüksek kül içeriğine

sahip (%18,47) Zonguldak kömüründen yağ aglomerasyonu ile mineral maddelerin uzaklaştırılma imkanını araştırmıştır. Yağ aglomerasyonu ile elde edilen sonuçlar ağır ortam ayırmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bağlayıcı olarak gazyağı, dizel yağı ve Kerkük ham petrolü kullanılmıştır. Gazyağı miktarı kullanılan toplam kömürün % 15 'i olarak alındığında aglomeratın geri kazanımı % 98,99 ve kül içeriği % 8,32 olmuştur.

Williams ve Fuerstenau (1987); bir film flotasyon tekniği geliştirerek yaklaşık tek tabakalı partikülleri (150×200 mikron veya 200 ×300 mikron çapında) farklı yüzey gerilimlerine sahip çözeltilerin yüzeyine yerleştirerek batan fraksiyonları belirleme şeklinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu batan fraksiyon zamandan bağımsız olarak belirlenirken partikül büyüklüğü üzerine yalnız küçük bir bağıllığı olduğunu tespit etmişlerdir. Partiküllerin hidrofob kapasitelerine karşılık (kritik ıslanma yüzey gerilimi) partiküllerin kümülatif dağılımı verisi kömür yıkamada gravite ayırımlarının değerlendirilmesinde kullanılan yıkanabilirlik eğrisine benzemektedir. Islanma yüzey gerilimi kömürün maksimum flotasyon tepkisi ile iyi bir ilişki kurmak için meydana çıkarılmıştır. Yancey ve Geer (1938), 1938 yılında toplam yatak alanı 10,9 m<sup>2</sup> olan bir baum jigi ile deneyler gerçekleştirmişlerdir.

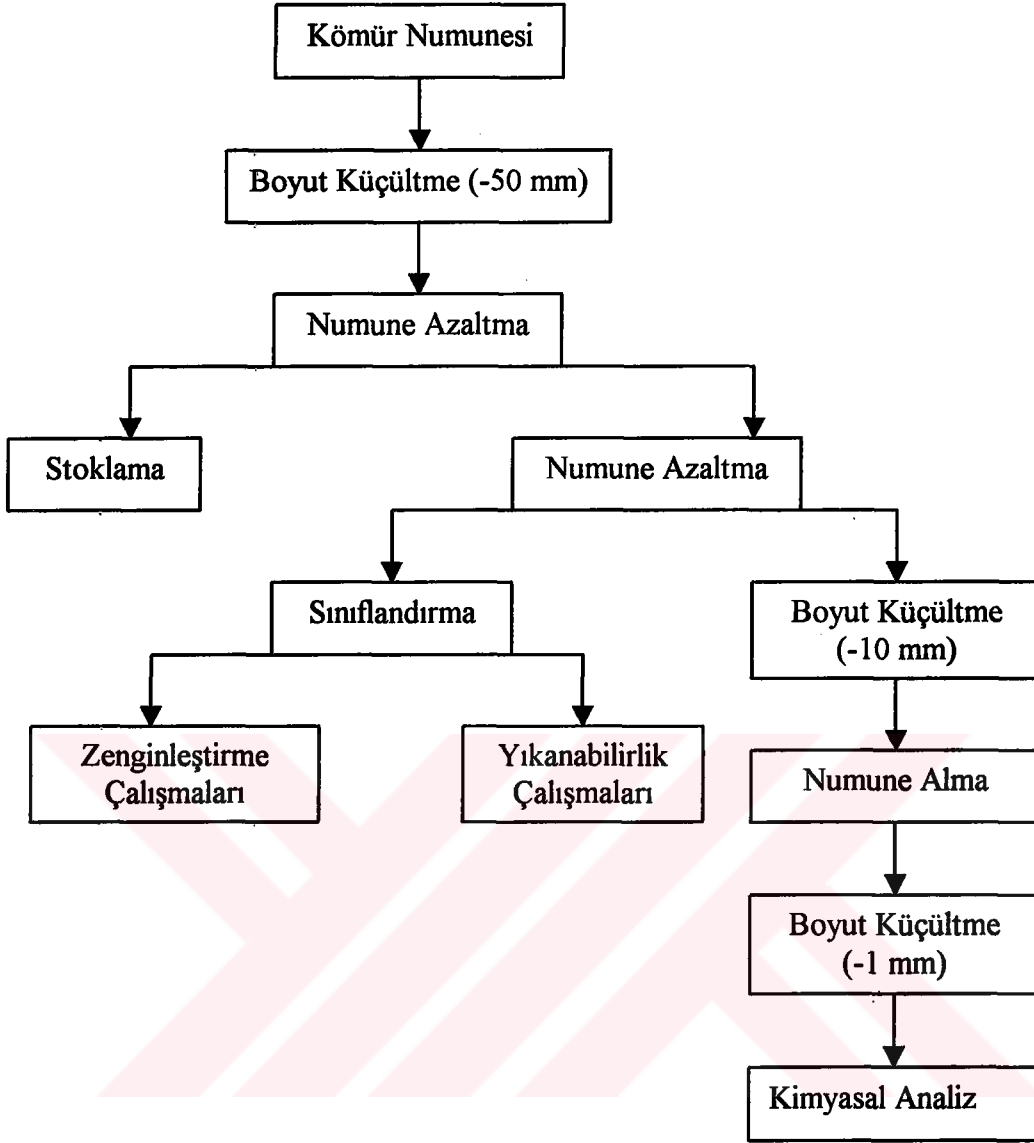
## 8. MATERYAL VE METOD

### 8.1. Materyal

Diyarbakır-Hazro yöresinde alt bitümlü kömür yatağında bulunan; alt kömür damarı ve üst kömür damarı şeklinde adlandırılan kömür katmanlarından numune alınmıştır. Üst kömür damarı numunesi, Çökeksu (Gomaniibrik) köyünde daha önce üretim yapılan kömür ocakları yıkıldığından deneysel çalışmalarda kullanılacak numune bu köyde bulunan üst kömür damarı mostralarından alınmıştır. Alt kömür damarı numunesi, Dadaş köyünde daha önce üretim yapılan kömür ocaklarından numune alınmak istenmiş ancak bu ocaklarda yeterli oranda tahkimat desteği olmadığından ocaklara girmenin tehlikeli olacağı düşünülerek alt kömür damar numunesi Dadaş köyünde yeni açılan bir kömür ocağından temsili bir şekilde numune alınmıştır. Numune alımını takip eden bir iki ay içerisinde bu kömür ocağı kapanmış olup şu an herhangi bir üretim yapılmamaktadır.

Temsili bir şekilde alınan numuneler Dicle Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir.

Üst kömür damarı ve alt kömür damarından ayrı ayrı alınan yaklaşık 200 kg 'lık numunelere laboratuvarda uygulanan numune hazırlama akım şeması Şekil.8.1 'de gösterilmiştir.



Şekil.8.1. Laboratuarda Uygulanan Numune Hazırlama Akım Şeması

## 8.2. Metod

### 8.2.1. Kimyasal Analiz

Kömür numuneleri üzerinde aşağıdaki analizler yapılmıştır.

#### a) Nem Analizi :

##### 1- Kaba Nem Tayini :

Kömür numunesi, bir levha üzerine koni biçiminde dökülür ve koninin tepesi düzlenir. Nem örneği olarak en az 10 parça alınır. Kömür numunesi 40 °C 'lik ayarlı etüvde 24 saat bekletilir. Son ağırlık ile ilk ağırlık arasındaki farkın yüzdesi ile kaba rutubet tespit edilir (SEVİNÇ, 1997).

$$\% \text{ Kaba Rutubet} = \frac{a - b}{b} \times 100$$

a = 1.Tartım, b = 2.Tartım

##### 2- Bünye Nemi Tayini :

Kaba rutubeti alınmış kömür numunesi 0,2 mm elekten geçecek şekilde öğütülüp elekten geçirilir. Sabit tartımlı bir vezin kabına 5 gram civarında kömür bırakılır. 105 °C 'de etüvde 2 saat bekletilen kömür numunesi etüvden çıkarılarak yeniden tartılır. Son ağırlık ile ilk ağırlık arasındaki farkın yüzdesi ilk ağırlığa bölünerek bünye nemi tesbit edilir (SEVİNÇ, 1997).

$$\% \text{ Bünye Rutubeti} = \frac{a - b}{b} \times 100$$

a = 1.Tartım

b = 2.Tartım

Kaba neme bünye nemi eklenecek kömür numunesinin toplam nemi hesaplanır.

#### b) Kül Analizi :

ASTM 3174 standardına göre öğütülmüş kömür numunesinden 1 gram alınır ve 800 °C 'de 6 saat fırında bekletilmiş porselen krozenin içine bırakılır. Kömür numunesi önce açıkta yakılır. Sonra 800 °C 'deki fırında 6 saat bekletilir. Fırından çıkarılıp desikatörde soğutulup tartımı alındıktan sonra aşağıdaki formüle göre kül oranı hesaplanır (SAYDUT, 1999).

$$\% \text{ Kül} = \frac{a}{b} \times 100$$

a = Kalan Kül Ağırlığı

b = Kömür Numunesinin Ağırlığı

c) Uçucu Madde Analizi :

ASTM 3175 standardına göre öğütülmüş kömür numunesinden 1,0000 gram alınır ve 900 °C 'de 7 dakika fırında bekletilmiş porselen krozenin içine bırakılır. Kömür numunesi önce açıkta yakılır. Sonra 800 °C 'deki fırında 7 dakika bekletilir. Fırından çıkarılır desikatörde soğutulur tartımı alındıktan sonra aşağıdaki formüle göre uçucu madde oranı hesaplanır (SAYDUT, 1999).

$$\% \text{ Uçucu Madde} = \frac{a - b}{b} \times 100$$

a = Kalan Madde Ağırlığı

b = Kömür Numunesinin Ağırlığı

d) Sabit Karbon Analizi :

% Sabit Karbon=100 - (Kül + Uçucu madde + nem) formülü kullanılarak hesaplanır.

e) Kükürt Analizi :

1- Sülfat Kükürdünün Analizi :

ASTM D2492-77 standartlarına göre havada kurutulmuş -200 mesh 'lik kömürden 20 gramlık numune alınır. 1000 ml 'lik behere konularak üzerine 200 ml. HCl (2+3) ilave edilir. Kömürün tamamı ıslanana kadar karıştırılıp 30 dakika magnetik karıştırıcı ile ısıtılır. Soğutulduktan sonra üzerine 50 ml. saf su ilave edildikten sonra 10 dakika bekletilip süzme işlemi yapılır. 6 defa saf su ile yıkanmıştır. Yıkanan kömürler süzgeç kağıdı ile beraber başka bir behere aktarılır. Oluşmuş olan çözeltiye 5 ml. derişik NH<sub>3</sub> ilave edilerek ortama geçen demirler çöktürülür. Çökelek çözeltiden ayrılarak çözeltinin pH 'sı 1-2 olana kadar HCl ilave edilir. Çözelti ısıtılarak 20 ml. 1 M BaCl<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilir. BaSO<sub>4</sub> sıcak su banyosunda yada 1-2 saat bekletilerek BaSO<sub>4</sub> tamamen çöktürülür. Süzme işlemleri yapıldıktan sonra çökelti 5-6 defa saf su ile yıkanır. Daha önce 750 °C 'de 2 saat fırında bekletilen porselen krozelerin boş tartımları alınarak BaSO<sub>4</sub> süzgeç kağıdı ile beraber krozelerin içine konularak 750 °C 'ye getirilmiş fırının içinde 2 saat bekletilir. Aşağıdaki formülden yararlanılarak sülfat kükürdü hesaplanır.

$$\% \text{ Sülfat Kükürdü} = \frac{(A - B)}{W} \times 13,735$$



A = Çöktürülen BaSO<sub>4</sub> 'ın ağırlığı (Porselen kroze ile birlikte)

B = Boş porselen krozenin ağırlığı

W = Alınan kömür numunesinin ağırlığı

### 2- Piritik Kükürdün Analizi :

Sülfat kükürdün ekstraksiyonu sonucunda arta kalan kömür numunelerinin üzerine 200 ml. HNO<sub>3</sub> (1+7) ilave edilir. Üzeri saat camı ile kapatılarak 30 dakika ısıtılır. Soğutulduktan sonra süzme işlemleri yapılarak 5-6 defa saf su ile yıkanır. Çözeltinin üzerine 10 ml. % 35 'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilir. Ortama geçebilecek sülfürleri sülfatlara yükseltgemek için 5 dakika kaynatılır. Sülfat kükürdün belirlenmesi işlemlerinde belirtilen yöntem ile piritik kükürdün hesaplamaları yapılır (SAYDUT, 1999).

### 3- Organik Kükürdün Analizi :

Organik kükürdün belirlenmesinde, kömürün toplam kükürt değerinden piritik kükürt ve sülfat kükürdünün çıkarılması ile organik kükürt hesaplanır (SAYDUT, 1999).

% Organik Kükürt = Toplam kükürt- (Piritik kükürt + Sülfat kükürt)

### f) Isıl Değer Analizi :

Kömür numunelerinin kalori değerlerinin tayini, kalorimetre cihazı kullanılarak Elazığ Altınova Çimento Sanayi Ticaret A.Ş.'de yapıldı.

#### **8.2.2. Petrografik Analiz**

Kömür numunelerinin petrografik analizi MTA Genel Müdürlüğünde yapıldı. Kömür örneklerinin yansıma ölçümleri ve değerlendirmelerinde MPVSP Leitz marka cihaz kullanıldı.

#### **8.2.3. Kırma-Eleme**

Kömür numunelerinin kırma işleminde laboratuvar tipi Çeneli Kırıcı (Retsch BB1/A) kullanıldı. Kömür örnekleri -50 mm altına indirildi ve numune azaltma yöntemleri kullanılarak oluşturulan sınıflandırma numunesi 19 mm, 4,75 mm, 0,5 mm , 0,212 mm ve 0,075 mm 'lik elekler kullanılarak eleme yapıldı. Numune azaltmada Retsch PTZ numune bölücü kullanıldı.

#### **8.2.4. Öğütme-Eleme**

Flotasyon için yapılan öğütme işleminde bilyalı değirmen kullanıldı. Numune/ bilya oranı 1/10 olacak şekilde 300 gram kömür kuru öğütme işlemine tabi tutuldu. Değirmen

çalıştırma hızı 54 devir/dakika olarak belirlendi. Optimum öğütme süresini belirlemek amacı ile kırılmış kömür 30, 60, 90, 120, 150, 180 dakikalık sürelerde öğütüldü. Öğütülen numune kareleme yöntemi ile 100 grama azaltılarak 850 µm, 500 µm, 212 µm, 106 µm, 75 µm, 53 µm, 45 µm ve 38 µm olacak şekilde yaş eleme işlemine tabi tutuldu.

#### 8.2.5. Yüzdürme-Batırma

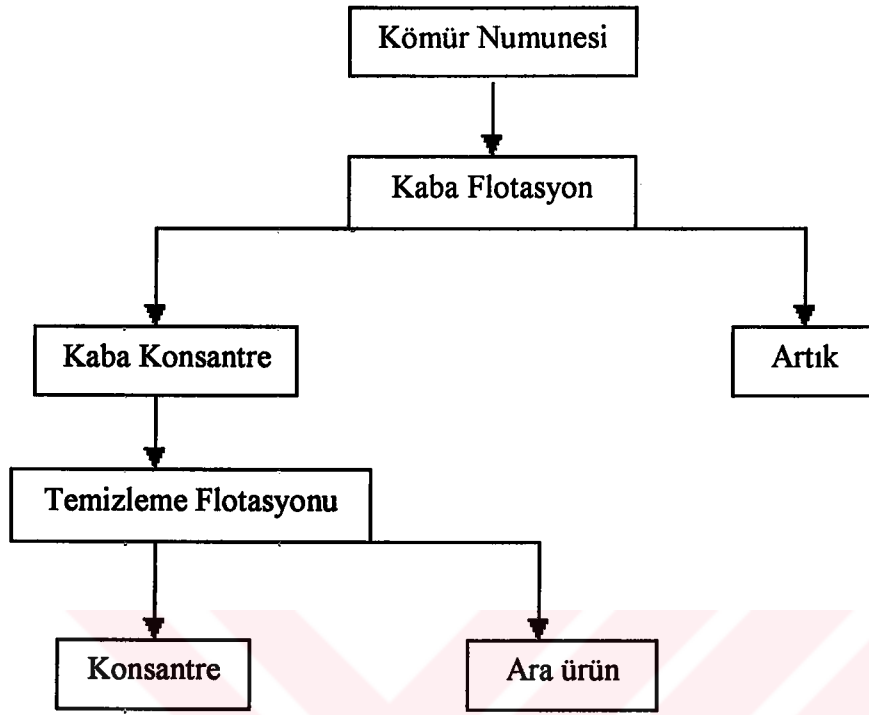
Kömür numunelerinin yüzdürme-batırma işlemleri; -50+19 mm, -19+4,75 mm,-4,75+0,5 mm boyut gruplarında 10 litrelik kovalarda  $ZnCl_2$  çözeltilerinde yapıldı.  $ZnCl_2$  belirli miktarlarda suda çözündürülerek 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu çözeltiler hazırlandı. Numuneler öncelikle 1.8 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki çözeltiye konup bu yoğunlukta yüzen malzeme süzgeçlerle alınarak 1.3 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki çözeltiye kadar devam edildi. Numuneler tekrar su ile yıkanarak kömür yüzeyindeki  $ZnCl_2$  giderildi.  $ZnCl_2$  'den arındırıldı, kurutularak tartıldı ve daha sonra kül analizleri yapıldı.

#### 8.2.6. Ağır Ortam İle Zenginleştirme

Bu çalışmada; ağır ortam ile zenginleştirme işlemi için herhangi bir cihaz kullanılmayıp sadece laboratuvar ölçeğinde  $ZnCl_2$  çözeltisi kullanılarak ağır ortam zenginleştirme işlemi yapıldı. Bunun için 1,5 g/cm<sup>3</sup> ve 1,9 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu  $ZnCl_2$  çözeltileri kullanıldı. Kömür örneği önce 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'lük çözeltiye bırakılarak elde edilen yüzen ürün "konsantre" olarak alınırken, batan ürün 1,9 g/cm<sup>3</sup> 'lük çözeltiye bırakıldı. Bu çözeltiden alınan yüzen ürün "ara ürün" olarak alınırken batan ürün "artık" olarak adlandırıldı.

#### 8.2.7. Flotasyon

Flotasyon deneyleri Denver Laboratuvar tipi flotasyon cihazı ile yapıldı. Deneylerde 1 litrelik flotasyon hücresi ve dijital pH metre kullanıldı. Deneylerde kollektör olarak Gazyağı, köpürtücü olarak Çamyacı, bastırıcı olarak  $Na_2SiO_3$ , pH 'yı ayarlayıcı olarak HCl ve NaOH kullanıldı. Yapılan flotasyon işlemi Şekil.8.2 'de akım şeması gösterilmiştir.



Şekil.8.2. Flotasyon Deneş Akım Şeması

## 9. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 9.1. Analiz Sonuçları

#### 9.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

##### a) Üst Kömür Damarı Kimyasal Analiz Sonuçları :

##### Kükürt Analizi (%):

Sülfatik Kükürt : 0,10

Piritik Kükürt : 2,14

Organik Kükürt : 1,25

Toplam Kükürt : 3,49

Karbon : 60,78

##### Çizelge.9.1. Üst Kömür Damarının Kimyasal Analiz sonuçları

Analiz Edilen Bileşen	Orijinal Kömür	Havada Kuru Kömür	Tam Kuru Kömür
Nem %	2,76	1,99	-
Kül %	24,14	24,77	25,27
Uçucu Madde %	37,27	35,18	35,90
Sabit Karbon	35,83	38,06	38,83
Toplam Kükürt %	2,34	3,49	3,01
Üst Isı Değeri kcal/kg.	5938	5937	5919

**b) Alt Kömür Damarı Kimyasal Analiz Sonuçları**

**Kükürt Analizi (%)**

Sülfatik Kükürt : 0,08  
 Piritik Kükürt : 2,06  
 Organik Kükürt : 0,70  
 Toplam Kükürt : 2,84  
 Karbon : 38,15

**Çizelge.9.2. Alt Kömür Damarının Kimyasal Analiz Sonuçları**

Analiz Edilen Bileşen	Orijinal Kömür	Havada Kuru Kömür	Tam Kuru Kömür
Nem %	1,64	1,32	-
Kül %	40,07	43,22	43,80
Uçucu Madde %	26,78	25,37	25,71
Sabit Karbon	31,51	30,09	30,49
Toplam Kükürt %	*	2,84	2,30
Üst Isı Değeri kcal/kg.	*	3936	4364
Alt Isı Değeri kcal/kg.	*	3785	4202

\* Kalorimetre cihazında, orijinal kömür numunesi yakılamadığından bir değer elde edilememiştir.

### 9.1.2. Petrografik Analiz Sonuçları

#### a) Üst Kömür Damarı Petrografik Analiz Sonuçları :

Tekstinit	: % 2	
Tekstulminit	: % 4	
Eu-ulminit	: % 2	
Attrinit	: % 1	
Densinit	: % 6	
Gelinit	: % 57	olmak üzere toplam % 72 Huminit,
Sporinit	: % 3	
Alginit	: % 1	
Kütinit	: % 1	
Liptodetrinit	: % 1	olmak üzere toplam % 6 Liptinit,
Makrinit	: % 1	
Füzinit	: % 4	
Sklerotinit	: % 1	
İnertodetrinit	: % 1	olmak üzere toplam % 6 İnertinit
Pirit		
Framboidal	: % 3	
Tane	: % 2	
Çatlak	: % 1	olmak üzere toplam % 6 Pirit,
Kil ve silikat mineralleri	: % 10	

**b) Alt Kömür Damarı Petrografik Analiz Sonuçları :**

Tekstinit	: % 1	
Teksto ulminit	: % 1	
Eu-ulminit	: % 1	
Attrinit	: % 3	
Densinit	: % 8	
Gelinit	: % 56	olmak üzere toplam % 70 Huminit,
Sporinit	: % 1	
Alginit	: % 2	
Kütinit	: % 1	
Liptodetrinit	: % 1	olmak üzere toplam % 5 Liptinit,
Makrinit	: % 5	
Füzinit	: % 2	
Sklerotinit	: % 1	
İnertodetrinit	: % 1	olmak üzere toplam % 9 İneritit
Pirit		
Framboidal	: % 4	
Tane	: % 2	
Çatlak	: % 1	olmak üzere toplam % 7 Pirit,
Kil ve silikat mineralleri	: % 9	

**9.2. Elek Analiz Sonuçları**

**a) Üst Kömür Damarı Elek Analiz Sonuçları :**

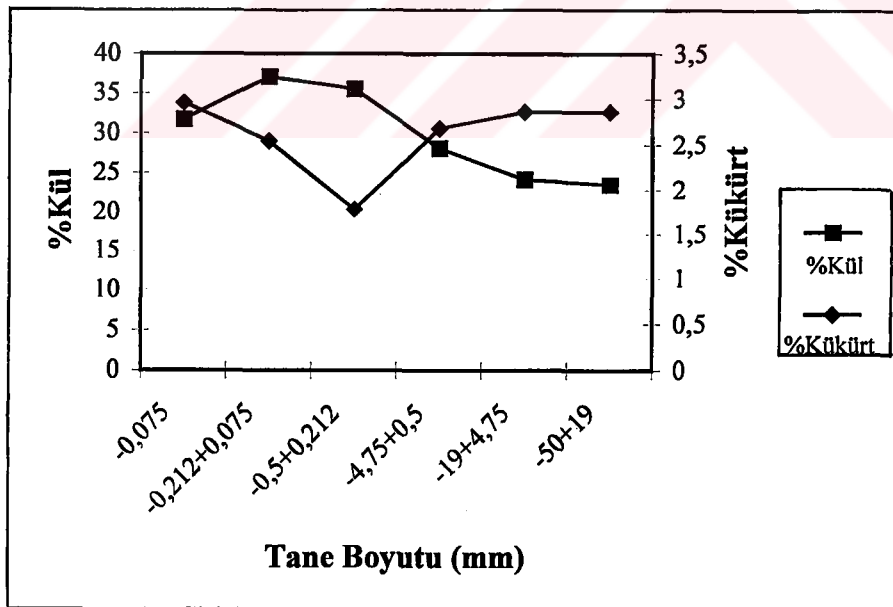
Üst kömür damarına elek analizi uygulanarak tanelerin boyut dağılımı incelenmiştir. Üst damar kömür numunesinin boyuta göre kül, kükürt ve kalori değerlerinin değişimi Çizelge.9.3 ve Şekil.9 'de verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi; tane iriliği küçüldükçe kül oranı artmaktadır. Buradan yan kayacın kömüre göre daha kırılabilir olduğu sonucuna varılmaktadır.

İri boyutta  $-50+19$  mm tane boyutunda % 23,60 olan kül miktarı,  $+0,075$  mm tane boyutunda % 37,09 değerine ulaştığı görülmektedir.

Çizelge.9.3.Üst Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt ve Kalori Değerinin Değişimi

Tane Boyutu (mm)	Ağ. %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isı Değeri Kcal/kg.
-50+19	56,07	23,60	2,86	6088
-19+4,75	34,04	24,18	2,86	5978
-4,75+0,5	7,94	28,10	2,68	5472
-0,5+0,212	0,71	35,59	1,78	4760
-0,212+0,075	0,61	37,09	2,54	4935
-0,075	0,63	31,76	2,96	4967
Toplam	100,00	24,37		



Şekil.9.1. Üst Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt Değerinin Değişimi Eğrileri



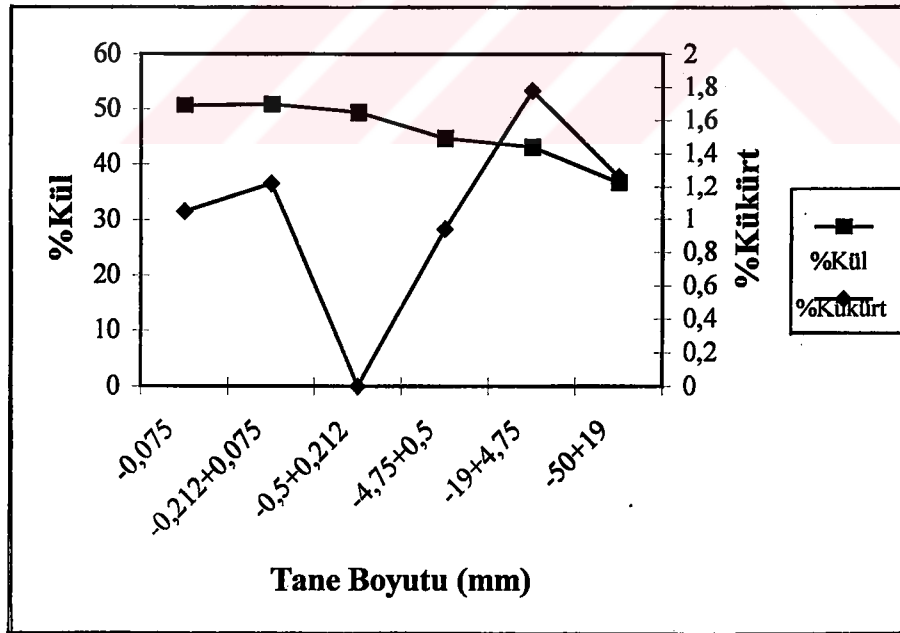
**b) Alt Kömür Damarı Elek Analiz Sonuçları :**

Alt kömür damarına boyuta göre kül, kükürt ve kalori değerlerinin değişimi Çizelge.9.4 ve Şekil.9.2 'de verilmiştir.

**Çizelge.9.4. Alt Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt ve Kalori Değerinin Değişimi**

Tane Boyutu (mm)	Ağ. %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isı Değeri Kcal/kg.	Alt Isı Değeri Kcal/kg.
-50+19	29,08	36,72	1,26	4570	4397
-19+4,75	36,86	43,20	1,78	4028	3869
-4,75+0,5	26,80	44,75	0,94	2744	2600
-0,5+0,212	3,54	49,39	*	*	*
-0,212+0,075	2,52	50,87	1,22	2387	2237
-0,075	1,20	50,65	1,05	2419	2269
Toplam	100,00	42,23			

\* Kalorimetre cihazında, kömür numunesi yakılamadığından bir değer elde edilememiştir.



**Şekil.9.2. Alt Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt Değerinin Değişimi Eğrileri**

Şekilden de görüldüğü gibi tane boyutu büyüdükçe kükürt oranı artarken kül oranı ince tane boyutlarına göre nispeten düşmektedir.

### 9.3. Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

#### 9.3.1. Üst Kömür Damarı Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Üst kömür damarının yıkanabilme özelliklerini belirleyebilmek amacı ile  $-50+19\text{mm}$ ,  $-19+4.75\text{ mm}$  ve  $-4.75+0.5\text{ mm}$  boyut aralıkları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil.9.3, Şekil.9.4, Şekil.9.5 ve Çizelge.9.5, Çizelge.9.6, Çizelge.9.7 'de verilmiştir.

Yıkama çalışmasında Üst kömür damarı numuneleri suda ıslatıldıklarında çok az miktarda ufalanmışlardır. Bu gözlemden kömürün yıkama için yeterli parça sağlamlığına sahip olduğu sonucuna varılabilir.

%10 ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı kriter olarak alınırsa kömürlerin uygulamada yıkanması gerekli en düşük yıkama yoğunluklarını vermektedir.

Üst kömür damarının  $-50+19\text{ mm}$  ve  $-19+4.75\text{ mm}$  tane boyutlarında yıkanması gerekli en düşük yıkama yoğunluğu  $1,68\text{ g/cm}^3$  iken,  $-4.75+0.5\text{ mm}$  tane boyutunda  $1,67\text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur.

$-50+19\text{ mm}$  tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının;  $1,4\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 28,18 oranında % 14,76 küllü temiz kömür,  $1,5\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 69,89 oranında % 18,73 küllü temiz kömür,  $1,6\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 89,54 oranında % 21,42 küllü temiz kömür,  $1,7\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 95,83 oranında % 22,63 küllü temiz kömür,  $1,8\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 96,27 oranında % 22,73 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

$-50+19\text{ mm}$  tane boyutunda;  $1,7\text{ g/cm}^3$  yoğunluk değerinden daha düşük yoğunluklarda  $\pm 0.1$  yoğunluk değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca kül karakteristik eğrisinin dike yakın bir şekilde olması yıkamanın iyi olmayacağını göstermektedir.  $1,5\text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda bir ayırma ile % 18,73 küllü temiz kömür % 69,89 yıkama verimi ile kazanılır. Bu tane boyutunda düşük yoğunluk değerinde kömürün yıkanabilirliği zordur.

$\pm 0.1$  eğrisinde  $1,5\text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda yıkama işleminin zor olduğu ancak aynı boyutun  $1,7\text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda yıkanması ile bu işlemin kolaylaştığı görülmektedir. Burada kömür  $1,7\text{ g/cm}^3$  'de yıkanması sonucunda % 22,63 kül ve % 95,83 oranında temiz kömür elde edilir.

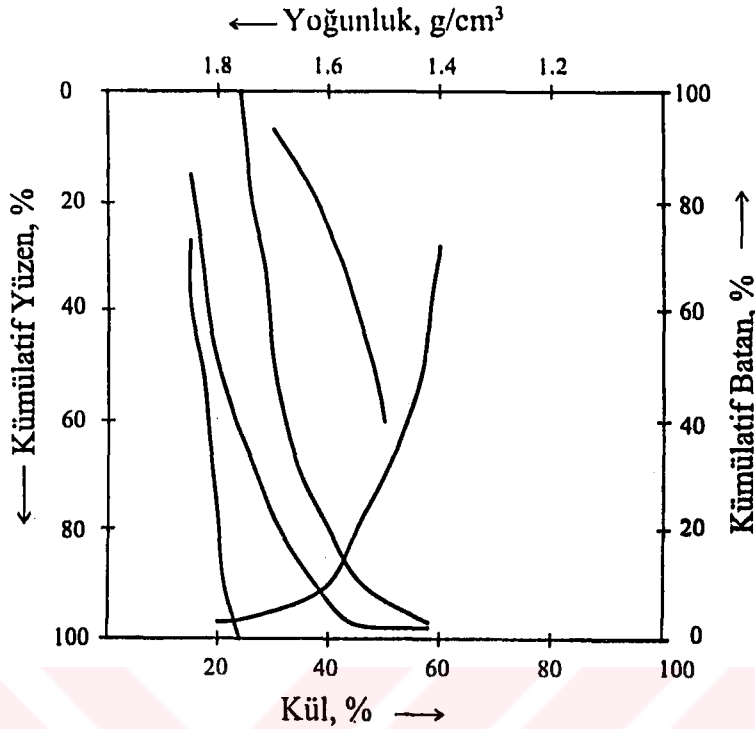
Çizelge.9.5. Üst Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu

Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	±0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ.	% Kül	İçerik	% Ağ.	İçerik	% Kül	% Ağ.	İçerik	% Kül		
1,3 Yüzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-1,4	28,18	14,76	415,94	28,18	415,94	14,76	100,00	2403,80	24,04	14,09	-
1,4-1,5	41,71	21,41	893,01	69,89	1308,95	18,73	71,82	1987,86	27,68	49,04	61,36
1,5-1,6	19,65	31,00	609,15	89,54	1918,10	21,42	30,11	1094,85	36,36	79,72	25,94
1,6-1,7	6,29	39,87	250,78	95,83	2168,88	22,63	10,46	485,70	46,43	92,69	6,73
1,7-1,8	0,44	43,74	19,25	96,27	2188,13	22,73	4,17	234,92	56,34	96,05	-
1,8 Batan	3,73	57,82	215,67	100,00	2403,80	24,04	3,73	215,67	57,82	98,14	-
Toplam	100,00	24,04	2403,80								



Çizelge.9.7. Üst Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu

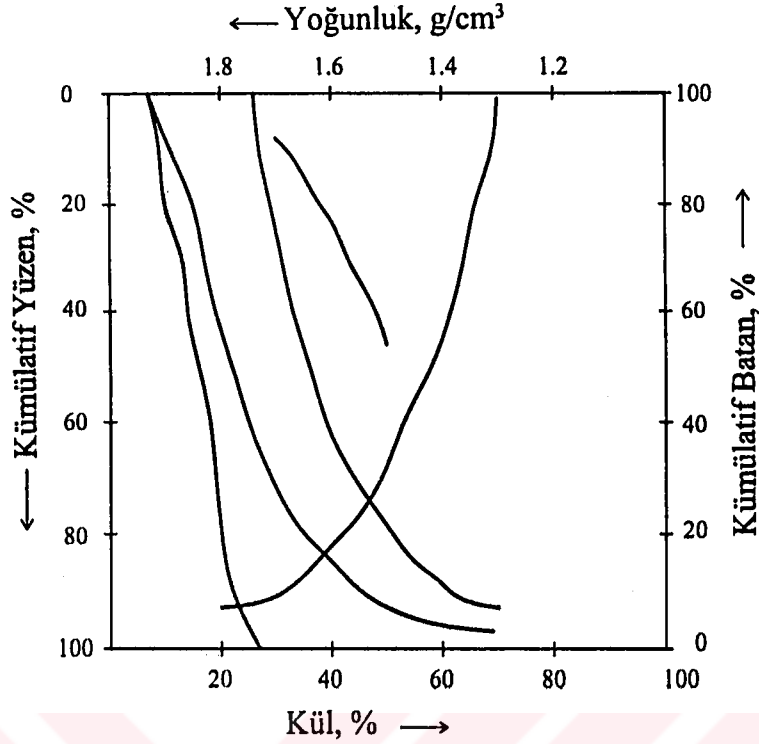
Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	±0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ.	% Kül	İçerik	% Ağ.	İçerik	% Kül	% Ağ.	İçerik	% Kül		
1,3 Yüzen	5,69	4,59	26,12	5,69	26,12	4,59	100,00	3182,10	31,82	2,85	-
1,3-1,4	31,08	13,11	407,46	36,77	433,58	11,79	94,31	3155,98	33,46	21,23	48,28
1,4-1,5	17,20	21,93	377,20	53,97	810,78	15,02	63,23	2748,52	43,47	45,37	28,20
1,5-1,6	11,00	30,96	340,56	64,97	1151,34	17,72	46,03	2371,32	51,52	59,47	16,65
1,6-1,7	5,65	38,50	217,53	70,62	1368,87	19,38	35,03	2030,76	57,97	67,80	7,86
1,7-1,8	2,21	43,60	96,36	72,83	1465,23	20,12	29,38	1813,23	61,72	71,73	-
1,8 Batan	27,17	63,19	1716,87	100,00	3182,10	31,82	27,17	1716,87	63,19	86,42	-
Toplam	100,00	31,82	3182,10								



Şekil.9.3. Üst Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

-19+4.75 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının; 1,3 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 0,18 oranında % 8,43 küllü temiz kömür 1,4 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 38,40 oranında % 15,50 küllü temiz kömür, 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 67,93 oranında % 18,55 küllü temiz kömür, 1,6 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 84,75 oranında % 21,25 küllü temiz kömür, 1,7 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 90,56 oranında % 22,51 küllü temiz kömür, 1,8 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 93,02 oranında % 23,12 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

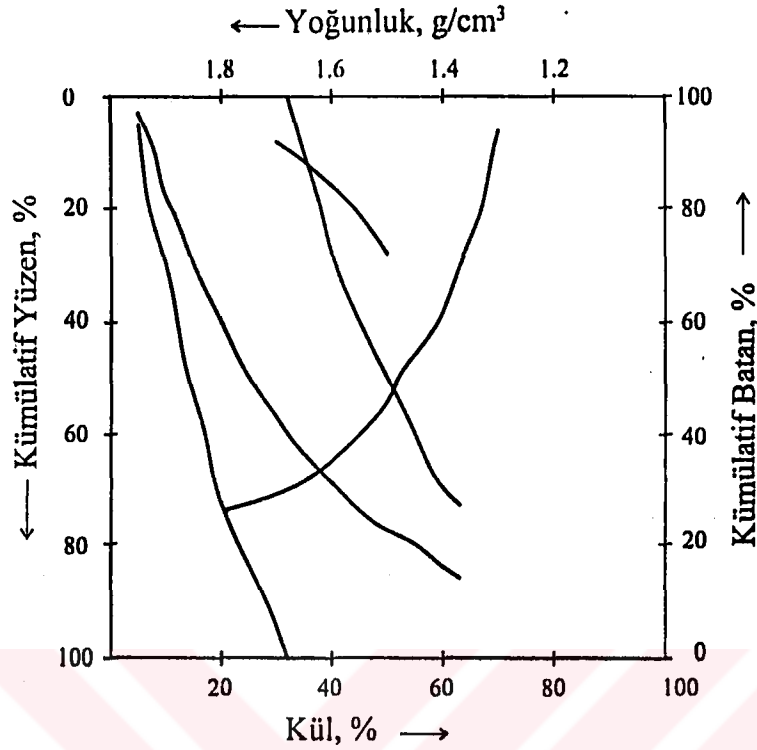
-19+4.75 tane boyutunda  $\pm 0.1$  yoğunluk değerlerinin düşük yoğunluk değerinde çok yüksek olmasına karşılık 1,7 g/cm<sup>3</sup> 'de 8,27 olup bu yoğunlukta yapılacak bir yıkama işleminin kolay-zor arası olacağı görülüyor. Bu tane boyutunda düşük küllü ürünler 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'den küçük yoğunluk değerlerinde elde edileceği görülmektedir. % 10 küllü bir ürünün 1,32 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır. 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'de bir ayırma işlemi uygulanırsa % 18,55 küllü bir kömür % 67,93 ağırlık oranında elde edilirken; 1,6 g/cm<sup>3</sup> 'de % 21,25 kül ve % 84,75 ağırlık oranında elde edilmektedir.



Şekil.9.4. Üst Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

-4.75+0.5 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının; 1,3 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 5,69 oranında % 4,59 küllü temiz kömür, 1,4 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 36,77 oranında % 11,79 küllü temiz kömür, 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 53,97 oranında % 15,02 küllü temiz kömür, 1,6 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 64,97 oranında % 17,72 küllü temiz kömür, 1,7 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 70,62 oranında % 19,38 küllü temiz kömür, 1,8 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile % 72,83 oranında % 20,12 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

-4.75+0.5 mm tane boyutunda düşük yoğunluk değerlerinde  $\pm 0.1$  yoğunluk değerleri çok yüksek olduğundan düşük yoğunluklarda yıkama işleminin zor olacağı ortaya çıkmaktadır. % 10 küllü bir ürün ancak 1,36 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda elde edilebilecektir.  $\pm 0.1$  yoğunluk eğrisinde 1,5 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yıkama işlemi zor olacağı ancak aynı boyutun 1,7 g/cm<sup>3</sup> 'de yıkanması ile bu işlemin kolaylaştığı görülmüştür. 1,5 g/cm<sup>3</sup> 'de bir ayırma ile % 15,02 kül oranında ve % 53,97 ağırlık oranı ile elde edilirken, 1,6 g/cm<sup>3</sup> 'de % 17,72 kül ve % 64,97 ağırlık oranında elde edilir.



Şekil.9.5. Üst Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

Üst damar kömür numunesinin tane boyutu küçüldükçe serbestleşmenin artması sonucu düşük yoğunluklarda yüzen kısmın kül içeriği azalmaktadır. Boyut küçüldükçe 1,5-1,8 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığındaki malzeme miktarı artmaktadır.

Üst kömür damarının değişik boyut grupları ile yapılan yüzdürme-batırma deneylerinin girene göre değerleri ve elde edilen lave miktarları, yanabilir verimleri Çizelge.9.8 'de verilmiştir. Üst kömür damarı (-50+0.5 mm) boyut grubuna ait yüzdürme-batırma deneyi sonuçlarının hesaben birleştirilmiş şekli Çizelge.9.9 'da verilmiştir.

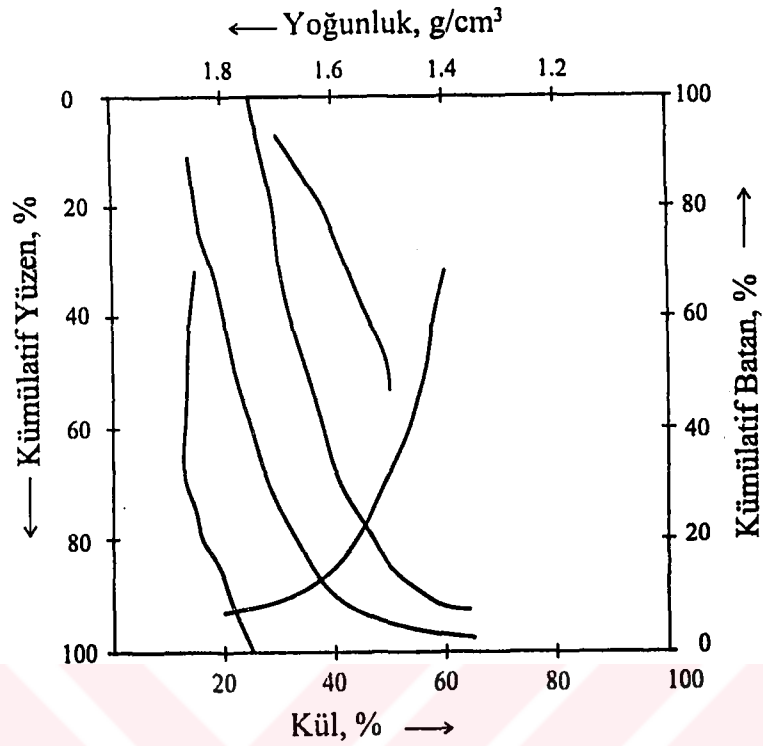


Çizelge.9.8. Üst Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylelerinin Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları,  
Yanabilir Verimleri

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tane Boyutu (mm)								Toplam		Yanabilir Verim (%)
	-50+19		-19+4.75		-4.75+0.5		% Ağ.	% Kül	% Ağ.	% Kül	
	% Ağ.	% Kül	% Ağ.	% Kül	% Ağ.	% Kül					
1,3 Yüzen	-	-	0,06	8,43	0,45	4,59	0,51	5,04	0,65		
1,3-1,4	15,80	14,76	13,01	15,53	2,47	13,11	31,28	14,95	35,78		
1,4-1,5	23,39	21,41	10,05	22,51	1,37	21,93	34,81	21,75	36,64		
1,5-1,6	11,02	31,00	5,72	32,18	0,87	30,96	17,61	31,38	16,25		
1,6-1,7	3,53	39,87	1,98	40,94	0,45	38,50	5,96	40,12	4,80		
1,7-1,8	0,24	43,74	0,84	45,51	0,17	43,60	1,25	44,91	0,93		
1,8 Batan	2,09	57,82	2,38	69,16	2,16	63,19	6,63	63,64	3,24		
-50+0.5 mm	56,07	24,04	34,04	26,34	7,94	31,82	98,05	25,47	98,29		
- 0.5 mm Elek Altı											
Giren											
							100,00	34,82	25,65	100,00	

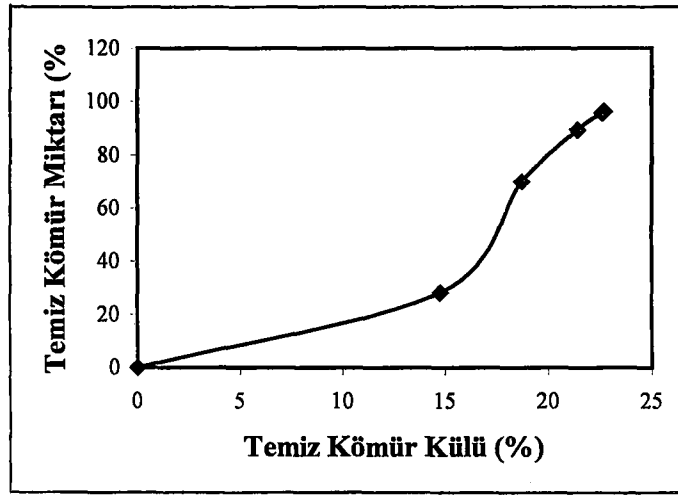
Çizelge.9.9. Üst Kömür Damarı (-50+0.5 mm) Boyut Grubuna Ait Yüzdürme- Batırma Deneyi Sonuçlarının Hesaben Birleştirilmiş Şekli

Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	±0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ.	% Kül	İçerik	% Ağ.	İçerik	% Kül	% Ağ.	İçerik	% Kül		
1,3 Yüzen	0,52	5,04	2,62	0,52	2,62	5,04	100,00	2546,86	25,47	0,26	-
1,3-1,4	31,90	14,95	476,91	32,42	479,53	14,79	99,48	2544,24	25,58	16,47	67,40
1,4-1,5	35,50	21,75	772,13	67,92	1251,66	18,43	67,58	2067,33	30,59	50,17	53,46
1,5-1,6	17,96	31,38	563,58	85,88	1815,24	21,14	32,08	1295,20	40,37	76,90	24,04
1,6-1,7	6,08	40,12	243,93	91,96	2059,17	22,39	14,12	731,62	51,81	88,92	7,36
1,7-1,8	1,28	44,91	57,48	93,24	2116,65	22,70	8,04	487,69	60,66	92,60	-
1,8 Batan	6,76	63,64	430,21	100,00	2546,86	25,47	6,76	430,21	63,64	96,62	
Toplam	100,00	25,47	2546,86								

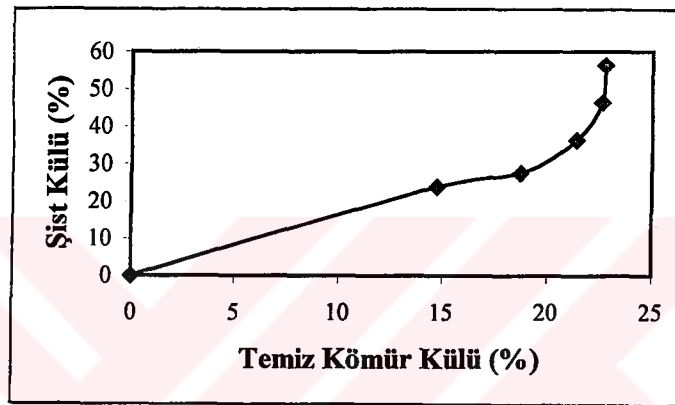


Şekil.9.6. Üst Kömür Damarı -50+0.5 mm Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

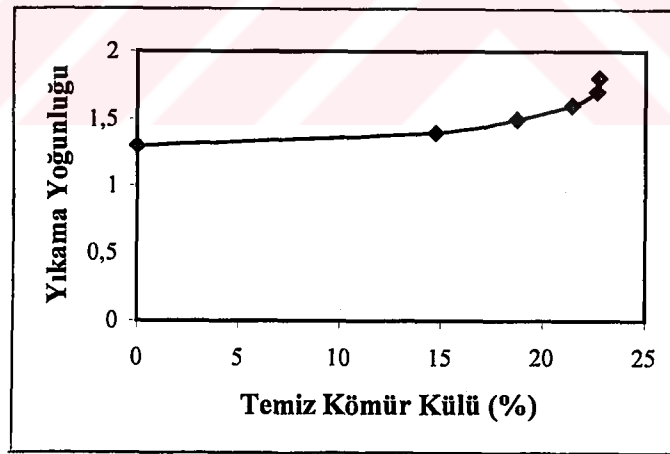
Üst damar kömür örneğinin yıkanabilme parametrelerinin birbirine göre değişimi “Yeni Yönteme” göre incelenmiştir (ÜNLÜ, 1992). Bu amaçla, temiz kömür külüne karşılık temiz kömür miktarı, temiz kömür külü, şist miktarı, şist külü ve yoğunluğa karşı değişimi Şekil.9.7, Şekil.9.8 ve Şekil.9.9 ‘da verilmiştir.



a)

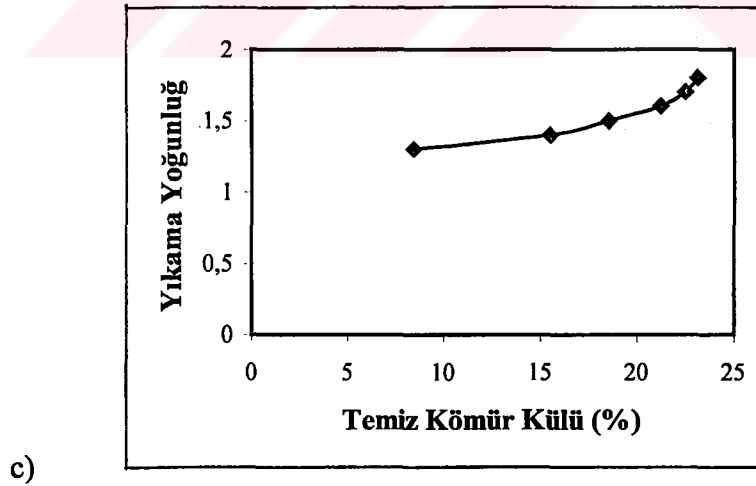
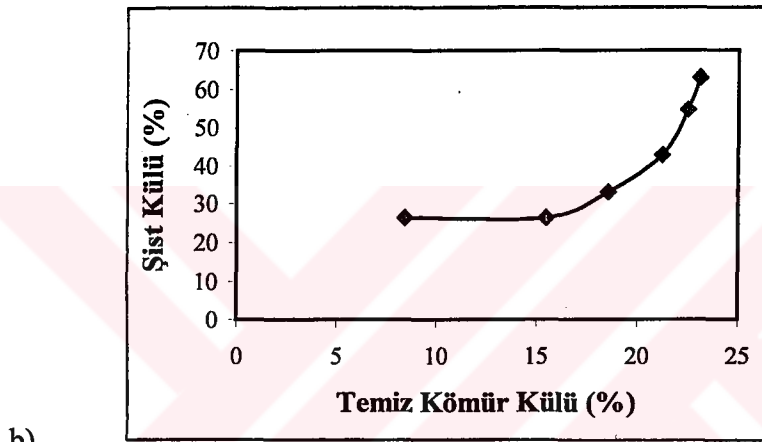
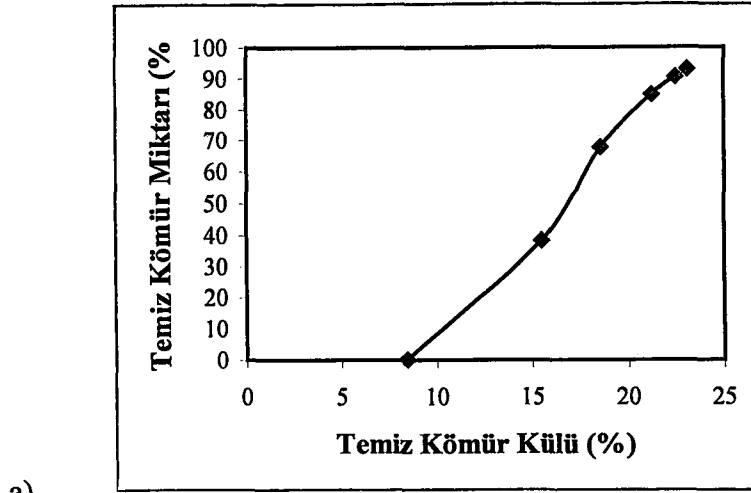


b)

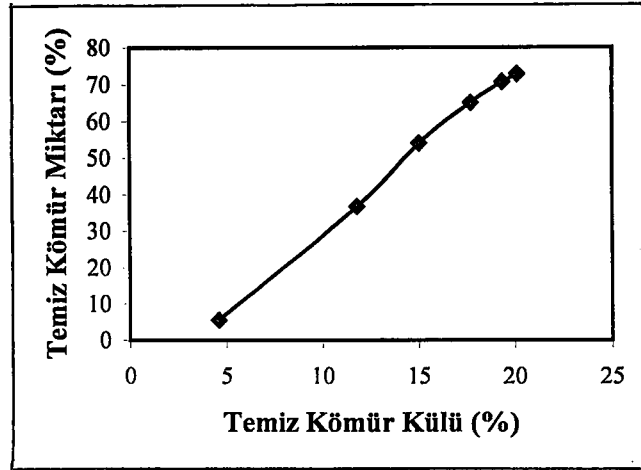


c)

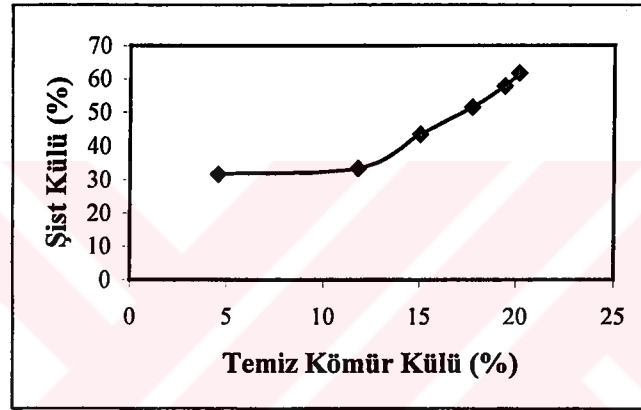
Şekil.9.7. Üst Kömür Damarı -50+19mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)



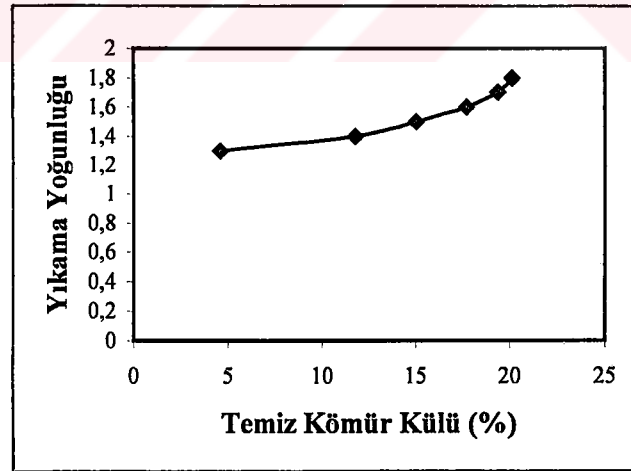
Şekil.9.8. Üst Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)



a)



b)



c)

Şekil.9.9. Üst Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)

### 9.3.2. Alt Kömür Damarı Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Alt kömür damarı numunesinin yıkanabilme özelliklerini belirleyebilmek amacı ile -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm boyut aralıkları kullanılarak yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge.9.10, Çizelge.9.11, Çizelge.9.12 'de ve Şekil.9.10, Şekil.9.11, Şekil.9.12 'de verilmiştir.

Yıkama çalışmasında Alt kömür damarı numuneleri suda ıslatıldıklarında çok fazla miktarda ufalanma olmuştur. Bu gözlemden kömürün yıkama için yeterli parça sağlamlığına sahip olmadığı görülmektedir. Alt kömür damarının -50+19 mm ve -19+4.75 mm tane boyutlarında yıkanması gerekli en düşük yıkama yoğunluğu % 10 ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı kriterinden yola çıkıldığında  $\pm 0.1$  eğrisini kesmez iken -4.75+0.5 mm tane boyutunda  $1,63 \text{ g/cm}^3$  değeri bulunmaktadır.

-50+19 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının;  $1,3 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 2,69 oranında % 5,56 küllü temiz kömür,  $1,4 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 8,72 oranında % 11,05 küllü temiz kömür,  $1,5 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 17,62 oranında % 16,73 küllü temiz kömür,  $1,6 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 28,59 oranında % 21,26 küllü temiz kömür,  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 44,89 oranında % 25,86 küllü temiz kömür,  $1,8 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 58,57 oranında % 29,90 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

-19+4.75 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının;  $1,3 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 1,64 oranında % 13,52 küllü temiz kömür,  $1,4 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 15,64 oranında % 14,12 küllü temiz kömür,  $1,5 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 28,47 oranında % 18,46 küllü temiz kömür,  $1,6 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 39,61 oranında % 71,53 küllü temiz kömür,  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 52,41 oranında % 25,87 küllü temiz kömür,  $1,8 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 62,99 oranında % 29,04 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

-4.75+0.5mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinden söz konusu tane sınıfının;  $1,3 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 4,69 oranında, % 3,62 küllü temiz kömür,  $1,4 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 16,12 oranında % 12,26 küllü temiz kömür,  $1,5 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 25,31 oranında % 16,83 küllü temiz kömür,  $1,6 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 34,07 oranında % 20,80 küllü temiz kömür,  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 38,54 oranında % 2,64 küllü temiz kömür,  $1,8 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 38,85 oranında % 22,77 küllü temiz kömür elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Çizelge.9.10. Alt Kömür Damarı Numunesinin -50+19 mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu

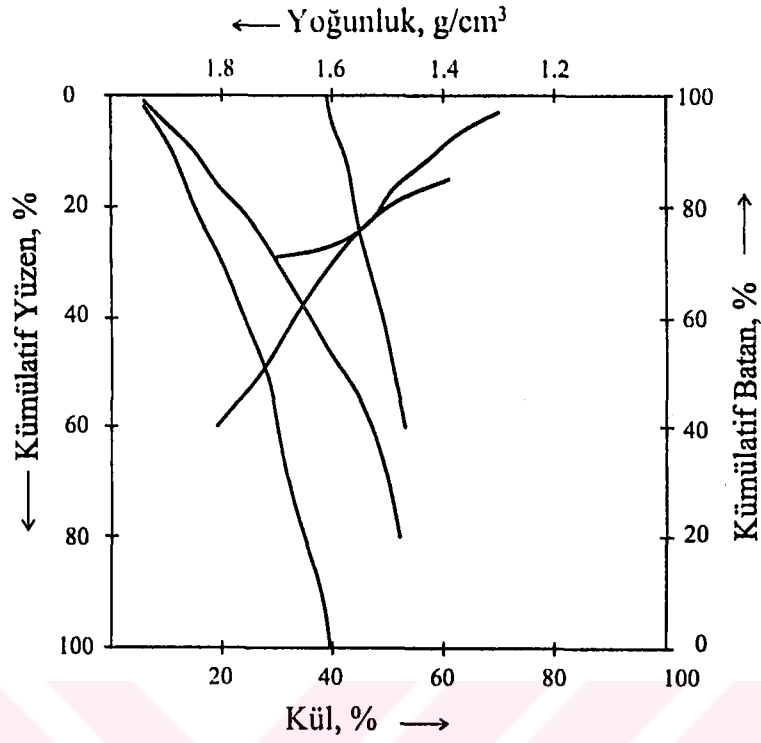
Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	±0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ.	% Kül	İçerik	% Ağ.	İçerik	% Kül	% Ağ.	İçerik	% Kül		
1,3 Yüzen	2,69	5,56	14,96	2,69	14,96	5,56	100,00	3920,23	39,20	1,35	-
1,3-1,4	6,03	13,50	81,41	8,72	96,37	11,05	97,31	3905,27	40,13	5,70	14,93
1,4-1,5	8,90	22,29	198,38	17,62	294,75	16,73	91,28	3823,86	41,89	13,17	19,87
1,5-1,6	10,97	28,55	313,19	28,59	607,94	21,26	82,38	3625,48	44,01	23,11	27,27
1,6-1,7	16,30	33,91	552,73	44,89	1160,67	25,86	71,41	3312,29	46,38	36,74	29,98
1,7-1,8	13,68	43,18	590,70	58,57	1751,37	29,90	55,11	2759,56	50,07	51,73	-
1,8 Batan	41,43	52,35	2168,86	100,00	3920,23	39,20	41,43	2168,86	52,35	79,29	-
Toplam	100,00	39,20	3920,23								



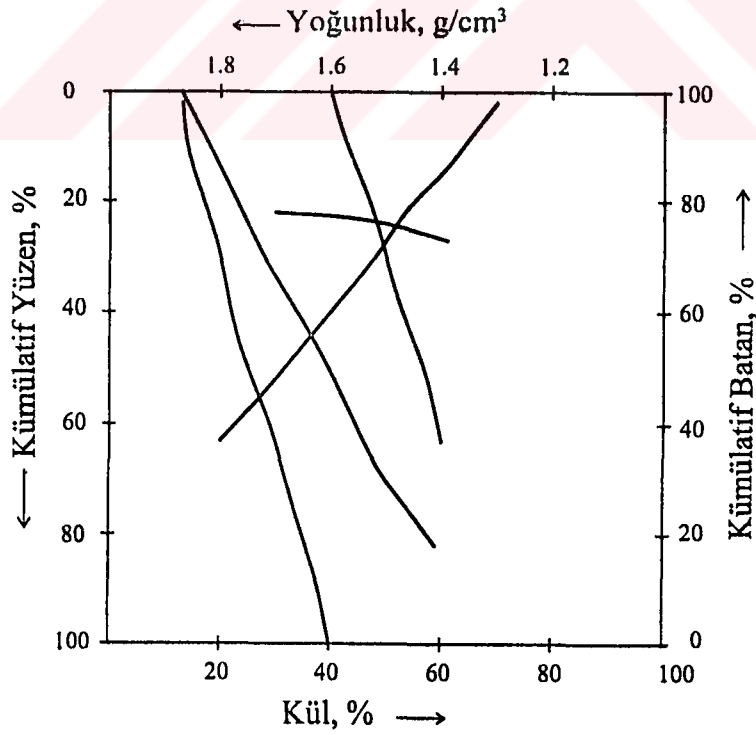


Çizelge.9.12. Alt Kömür Damarı Numunesinin -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu

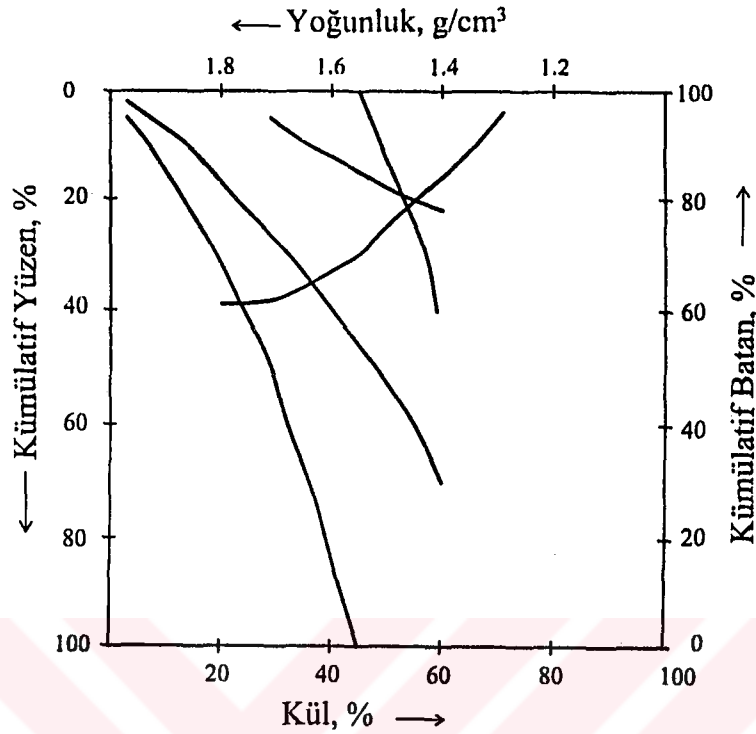
Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	±0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ.	% Kül	İçerik	% Ağ.	İçerik	% Kül	% Ağ.	İçerik	% Kül		
1,3 Yüzen	4,69	3,62	16,98	4,69	16,98	3,62	100,00	4496,10	44,96	2,35	-
1,3-1,4	11,43	15,80	180,59	16,12	197,57	12,26	95,31	4479,12	47,00	10,41	20,62
1,4-1,5	9,19	24,84	228,28	25,31	425,85	16,83	83,88	4298,53	51,25	20,72	17,95
1,5-1,6	8,76	32,27	282,69	34,07	708,54	20,80	74,69	4070,25	54,50	29,69	13,23
1,6-1,7	4,47	36,71	164,09	38,54	872,63	22,64	65,93	3787,56	57,45	36,31	4,78
1,7-1,8	0,31	38,54	11,95	38,85	884,58	22,77	61,46	3623,47	58,96	38,70	-
1,8 Batan	61,15	59,06	3611,52	100,00	4496,10	44,96	61,15	3611,52	59,06	69,43	-
Toplam	100,00	44,96	4496,10								



Şekil.9.10. Alt Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri



Şekil.9.11. Alt Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri



Şekil.9.12. Alt Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

Yıkama eğrilerinin görünülerinden alt damar kömürlerinin yıkanmalarının zor olacağı görülmektedir. Yoğunluğun  $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$  değişmesi ile elde edilecek malzemenin fazla miktarda olması bu bulguyu doğrulamaktadır.

Her üç tane boyutu için yıkama eğrilerinden kömürün düşük yoğunluklarda yıkanabilirliğinin zor olduğu tespit edilmiştir. Serbestleşmenin artması ile tane iriliği küçüldükçe  $1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklu malzeme miktarı azalmaktadır. Düşük küllü ürünler düşük yoğunluk değerlerinde elde edilir.

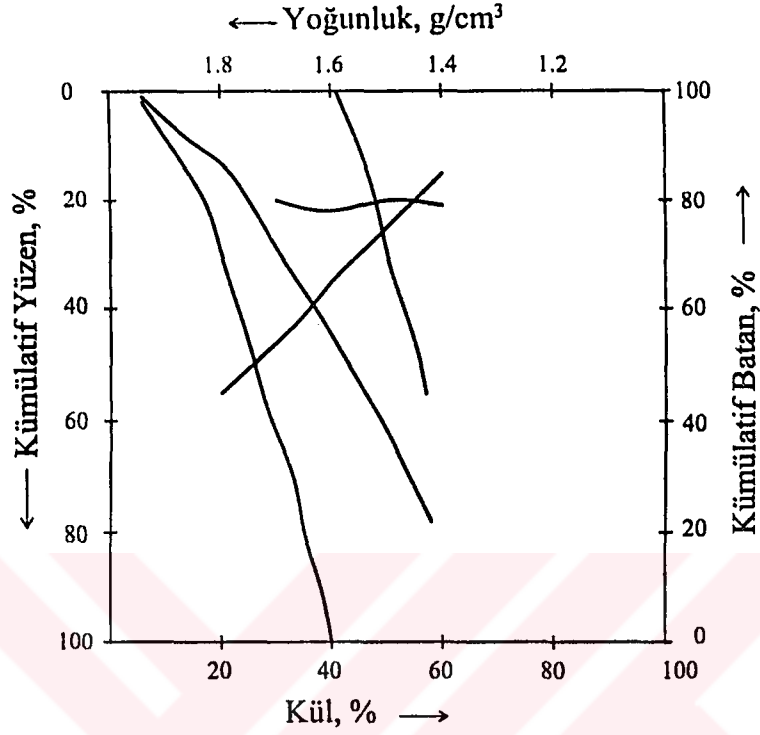
Her üç tane boyutu karşılaştırıldığında  $1,7 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda  $\pm 0.1$  değeri  $-50+19$  mm ve  $-19+4.75$  mm tane sınıfları için yüksek değerlerde olmasına karşılık  $-4.75+0.5$  mm tane sınıfında  $1,78$  değerinde olup bu tane sınıfının  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması sonucunda % 22,64 kül ve % 38,54 ağırlık oranında bir ürünün elde edilebileceği ve yıkama işleminin kolay olacağı görülmektedir.

Çizelge.9.13. Alt Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylerinin Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları,

Yanabilir Verimleri

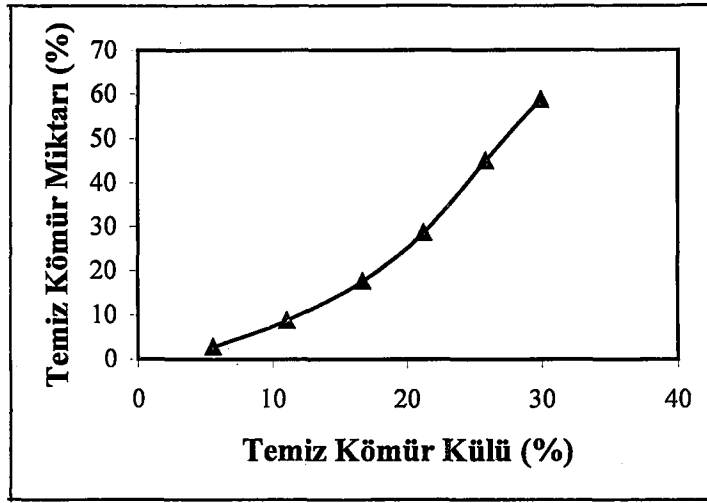
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Tane Boyutu (mm)										Toplam		Yanabilir Verim (%)	
	-50+19		-19+4.75		-4.75+0.5		%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül		
	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül								
1,3 Yüzen	0,78	5,56	0,61	13,52	1,26	3,62	2,65	6,47	4,26					
1,3-1,4	1,75	13,50	5,16	14,19	3,06	15,80	9,97	14,56	14,65					
1,4-1,5	2,59	22,29	4,73	23,75	2,46	24,84	9,78	23,64	12,84					
1,5-1,6	3,19	28,55	4,11	31,30	2,35	32,27	9,65	30,63	11,51					
1,6-1,7	4,74	33,91	4,71	37,61	1,20	36,71	10,65	35,86	11,74					
1,7-1,8	3,98	43,18	3,90	44,76	0,08	38,54	7,96	43,91	7,68					
1,8 Batan	12,05	52,35	13,64	58,76	16,39	59,06	42,08	57,04	31,09					
-50+0.5 mm	29,08	39,20	36,86	40,04	26,80	44,96	92,74	41,20	93,77					
- 0.5 mm Elek Altı												7,26	50,11	6,23
Giren												100,00	41,85	100,00



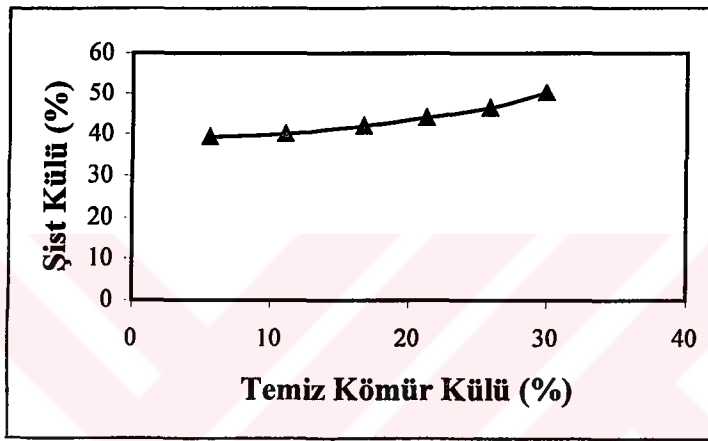


Şekil.9.13. Alt Kömür Damarı -50+0.5 mm Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

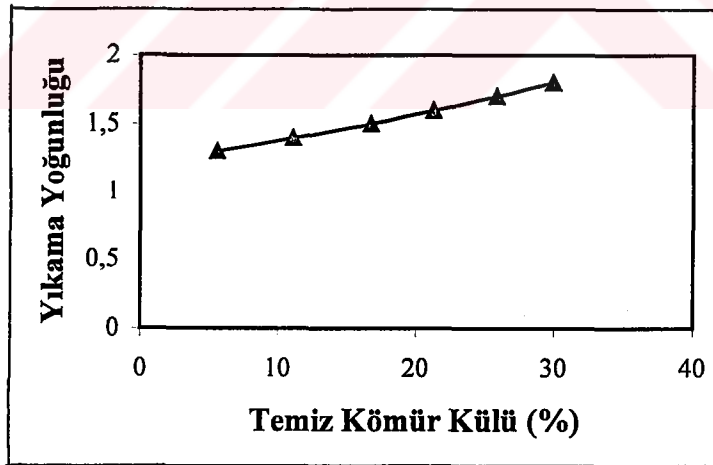
Alt damar kömür örneğinin yıkanabilme parametrelerinin birbirine göre değişimi “Yeni Yönteme” göre incelenmiştir (ÜNLÜ, 1992). Bu amaçla, temiz kömür külüne karşılık temiz kömür miktarı, temiz kömür külü, şist miktarı, şist külü ve yoğunluğa karşı değişimi Şekil.9.14, Şekil.9.15 ve Şekil.9.16 ‘da verilmiştir.



a)



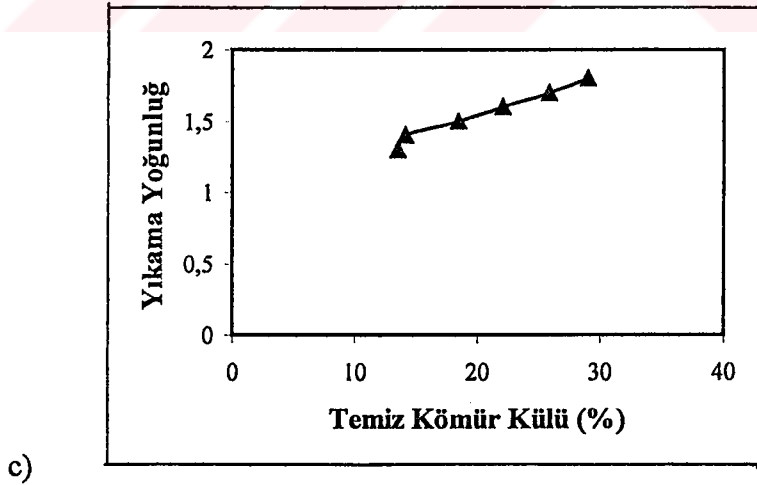
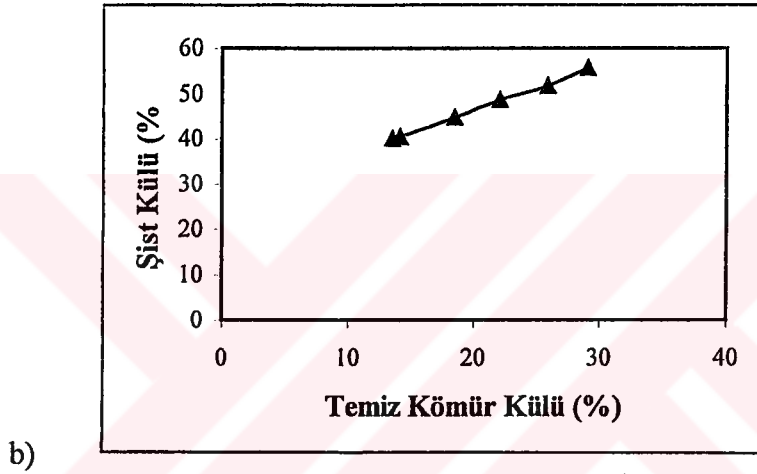
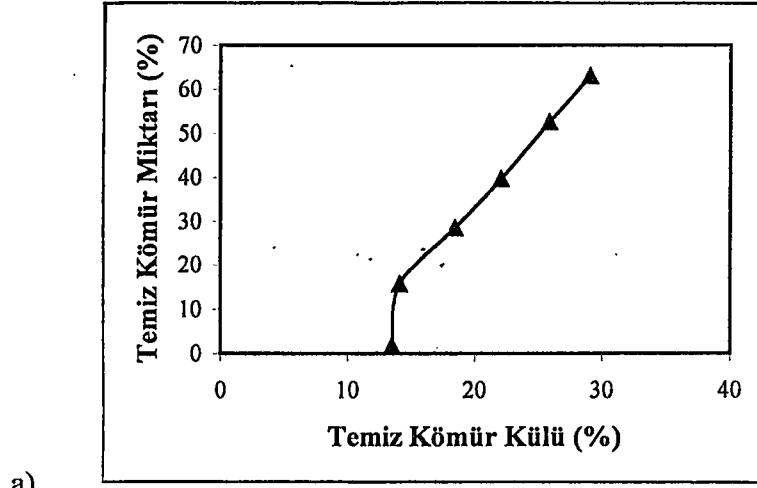
b)



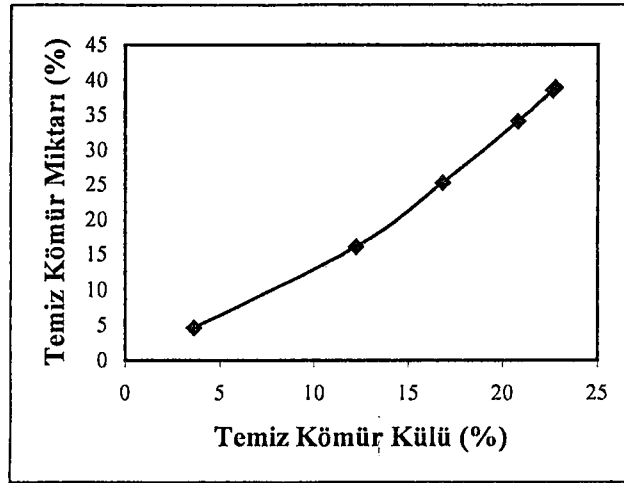
c)

Şekil.9.14. Alt Damar -50+19 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)

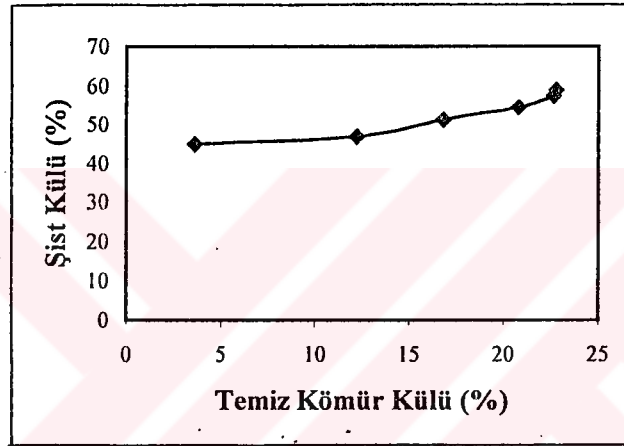




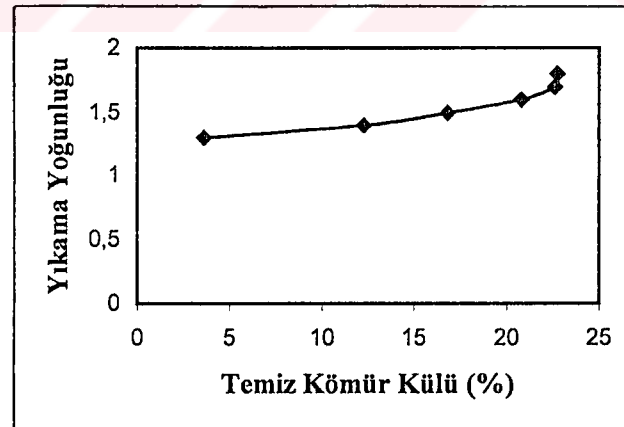
Şekil.9.15. Alt Damar -19+4.75 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)



a)



b)



c)

Şekil.9.16. Alt Damar -4.75+0.5 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi (a: Temiz Kömür Miktarı, b: Şist Külü, c: Yıkama Yoğunluğu)

### 9.3.3. Yıkanabilme Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması

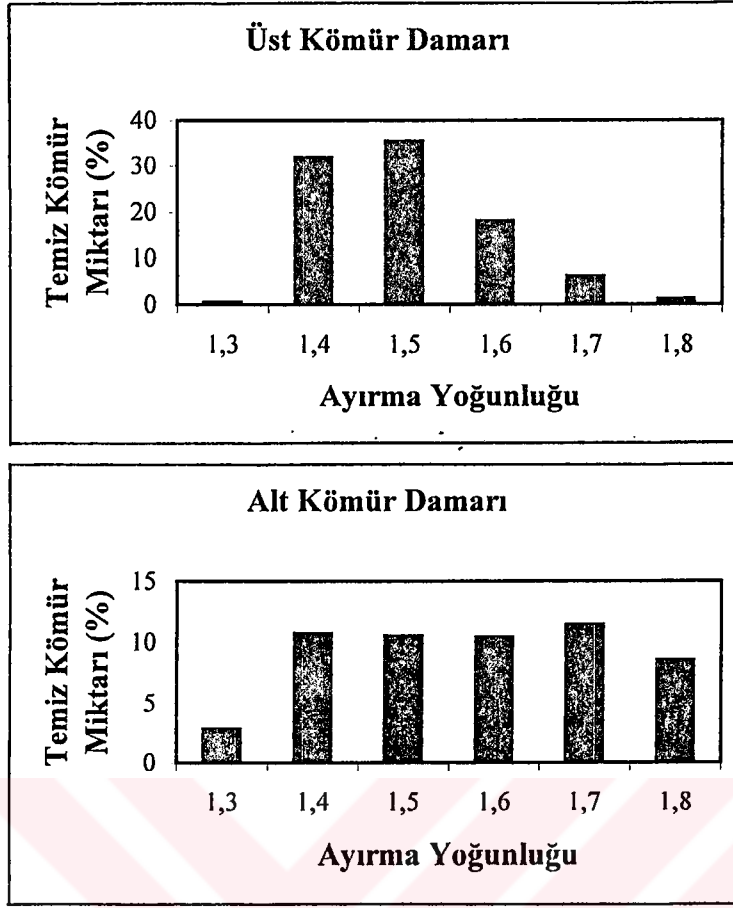
Diyarbakır-Hazro yöresinde alt bitümlü kömür yatağında bulunan; alt kömür damarı ve üst kömür damarının yıkanabilme özelliklerinin değerlendirilmesinde ve karşılaştırılmasında;

- 1- Yoğunluk dağılımı
- 2- Temiz kömür miktarı
- 3- Şist kalitesi (şist kül içeriği)
- 4- Yıkanma kolaylığı
- 5- Yıkanabilme derecesi (numarası) kullanılmıştır.

#### 1- Yoğunluk Dağılımı :

Yoğunluk dağılımı, belirli bir yoğunluk aralığında yüzen temiz kömür miktarını ve külünü göstermektedir. Temiz kömür miktarı ve külü yıkama yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır (ÜNLÜ, 1990). Şekil.9.17 'de her iki kömür damarın ait yoğunluk dağılımı verilmiştir.

Şekilden de görüleceği gibi üst kömür damarında düşük ayırma yoğunluğunda ( $1,3 \text{ g/cm}^3$ ) yüzen temiz kömür miktarı nispeten az olurken özellikle  $1,4$  ve  $1,5 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklarında yüzen temiz kömür miktarı oldukça fazladır. Alt kömür damarında üst kömür damarına göre  $1,3 \text{ g/cm}^3$  'deki temiz kömür miktarı daha fazla olurken kömürün yaklaşık olarak tamamının diğer ayırma yoğunluklarında yaklaşık olarak eşit bir dağılım gösterdiği meydana çıkmıştır. Bu kömürlerde düşük ayırma yoğunluklarında yüzen temiz kömürün az olması nedeni ile bu kömürlerin uygulamada yüksek yıkama yoğunluklarında yıkanmaları gerektiği ve sonuçta yüksek küllü temiz kömürlerin elde edilebileceği ortaya çıkmıştır.



Şekil.9.17. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Yoğunluk Dağılımı

## 2- Temiz Kömür Miktarı :

İki kömür damarı için farklı yıkama yoğunluklarında elde edilen toplam temiz kömür içindeki ortalama kül değişimi Şekil.9.18 'de verilmiştir. Çizelge.9.15 'de % 5, 10, 15, 20 kül içeriklerine karşılık gelen toplam temiz kömür miktarları verilmiştir.

Çizelge.9.15. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Toplam Temiz Kömür Miktarı

Kömür Damarı	Toplam Temiz Kömür Miktarı (%)			
	% 5	% 10	% 15	% 20
Üst Kömür Damarı	-	-	75	88
Alt Kömür Damarı	-	9	18	30

Şistte en fazla % 50 yanabilir kaybına izin verildiğinde; % 5, % 10, % 15 külde hiçbir kömür damarı, % 20 külde her iki kömür damarı bu standarda uyum sağlayabilmektedir.

#### 4- Yıkama Kolaylığı :

Yıkama eğrilerinden yararlanarak eğrilerin oluşturduğu düzlükler yıkanmanın kolay olabileceği yoğunluk aralığını vermekte ve parça külü eğrisinin yaptığı düzlüğün yatay eksene (kül eksenine) olan mesafesi kömürün içerdiği batan ürün miktarını vermektedir. Mikst miktarda yıkama kolaylığının bir göstergesi olup Avrupa'da ve özellikle F.Almanya'da yaygın olarak kullanılır (ÜNLÜ, 1990). Çizelge.9.17 'de mikst miktarının yıkanmaya etkisi ve Çizelge.9.18 'de ayırma yoğunluğuna yakın malzemenin etkisi verilmiştir.

Çizelge.9.17. Mikst Miktarına Göre Yıkama Kolaylığı (ÜNLÜ, 1990)

Mikst Miktarı (%)	Yıkama Kolaylığı
0-7,5	Kolay
7,5-15	Kolay-Zor Arası
>15	Zor

Çizelge 9.18. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Yıkama Kolaylığı

Yıkama eğrilerinden okunan ve % 5, 10, 15, 20 temiz kömür kül içeriklerine karşılık gelen ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre kömür damarlarının yıkanma kolaylıkları Çizelge.9.19 'da verilmiştir.

Çizelge.9.19. Kömür Damarlarının Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Yıkanma Kolaylığı

Kömür Damarı	Temiz Kömür Külü (%)			
	% 5	% 10	% 15	% 20
Üst Kömür Damarı	-	-	6	3
Alt Kömür Damarı	-	-	4	5

Açıklama :

1. Kolay
2. Kolay-Zor Arası
3. Zor
4. Çok Zor
5. Aşırı Zor
6. Mümkün Değil

Her iki kömür damarının yüksek ayırma yoğunluğunda yüksek oranda ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı içerdiklerinden dolayı yıkamanın zor olacağı görülmüştür.

5- Yıkanabilme Derecesi (numarası) :

a) Üst Kömür Damarı İçin Yıkanabilme Derecesi Hesabı :

Üst kömür damarı numunesi için yıkanabilme numarası 3 fraksiyon (-50+19 mm, -19+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm) yüzdürme-batırma deney sonuçlarının tek fraksiyonda (-50+0,5 mm) birleştirilerek yapılmıştır. Çizelge.9.20 'de yıkanabilme numarası ve derecesinin hesaplanması verilmiştir.

Çizelge.9.20. Üst Kömür Damarı Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı

Yoğunluk Aralığı	% Ağ.	% Kül	Σ % Ağ.	Σ % Ağ.x% Kül	<u>Σ% Ağ.x%Kül</u>
					Σ % Ağ.
1,3 Yüzen	0,6	5,1	0,6	3,1	5,1
1,3-1,4	31,9	15,0	32,5	478,5	14,7
1,4-1,5	35,5	21,7	68,0	1248,8	18,4
1,5-1,6	18,0	31,4	86,0	1814,0	21,1
1,6-1,7	6,1	40,2	92,1	2059,2	22,4
1,7-1,8	1,3	44,8	93,4	2117,4	22,7
1,8 Batan	6,6	63,7	100,0	2537,8	25,4

$$N = \frac{a - b}{b} \times w$$

$$W_N = \frac{N_{opt}}{b_{opt}} \times 10$$

Burada ;

N = Yıkanabilme derecesi (%)

w = Temiz kömür miktarı (%)

a= Tüvenan kömür külü (%)

b= Temiz kömür külü (%)

$W_N$  = Yıkanabilme numarası

$N_{opt}$  = Optimum yıkanabilme derecesi (%)

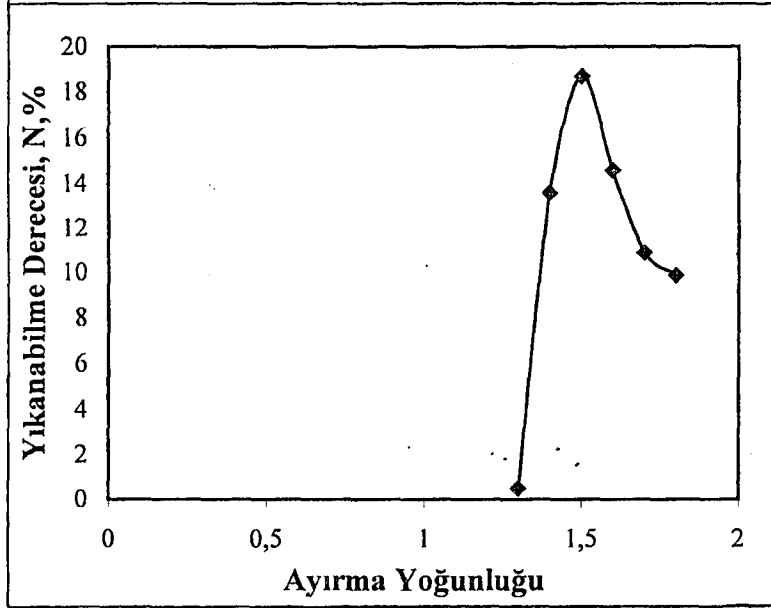
$b_{opt}$  = Optimum yıkanabilme derecesindeki temiz kömür külü (%)

$N_{1,3} = 0,5$  ,  $N_{1,4} = 13,6$  ,  $N_{1,5} = 18,7$  ,  $N_{1,6} = 14,6$  ,  $N_{1,7} = 10,9$  ,  $N_{1,8} = 9,9$

$W_N = 18,7 / 18,4 \times 10$

$W_N = 10,1$  bulunur.

Üst kömür damarı için yıkanabilme derecesi eğrisi Şekil.9.19'da verilmiştir.



Şekil.9.19. Üst Kömür Damarı Numunesi İçin Yıkanabilme Derecesi Eğrisi

b) Alt Kömür Damarı İçin Yıkanabilme Derecesi Hesabı :

Alt kömür damarı numunesi için yıkanabilme numarası 3 fraksiyonun (-50+19 mm, -19+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm) yüzdürme-batırma deney sonuçlarının tek fraksiyonda (-50+0,5 mm) birleştirilerek yapılmıştır. Çizelge.9.21 'de yıkanabilme numarası ve derecesinin hesaplanması verilmiştir.



Çizelge.9.21. Alt Kömür Damarı Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı

Yoğunluk Aralığı	% Ağ.	% Kül	Σ % Ağ.	Σ % Ağ.x% Kül	$\frac{\Sigma \% \text{Ağ.} \times \% \text{Kül}}{\Sigma \% \text{Ağ.}}$
1,3 Yüzen	2,85	6,67	2,85	19,01	6,67
1,3-1,4	10,75	14,60	13,60	175,96	12,94
1,4-1,5	10,54	23,62	24,14	424,91	17,60
1,5-1,6	10,39	30,61	34,53	742,95	21,52
1,6-1,7	11,49	35,86	46,02	1154,98	25,10
1,7-1,8	8,60	43,72	54,62	1530,98	28,03
1,8 Batan	45,38	57,03	100,00	4118,99	41,19

$$N = \frac{a - b}{b} \times w$$

$$W_N = \frac{N_{opt}}{b_{opt}} \times 10$$

Burada ;

N= Yıkanabilme derecesi (%)

w= Temiz kömür miktarı (%)

a= Tüvenan kömür külü (%)

b= Temiz kömür külü (%)

$W_N$ = Yıkanabilme numarası

$N_{opt}$ = Optimum yıkanabilme derecesi (%)

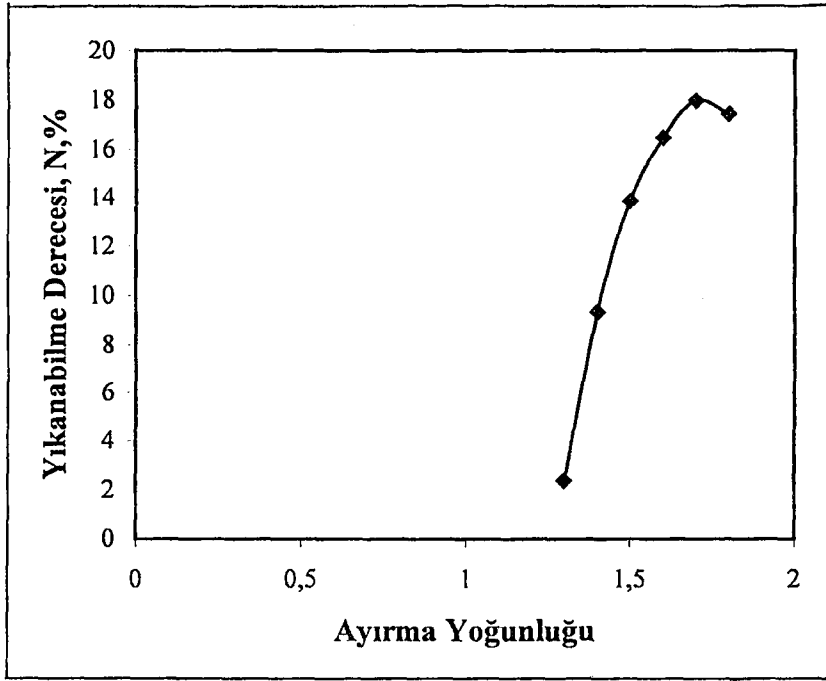
$b_{opt}$ = Optimum yıkanabilme derecesindeki temiz kömür külü (%)

$N_{1,3} = 2,39$  ,  $N_{1,4} = 9,33$  ,  $N_{1,5} = 13,83$  ,  $N_{1,6} = 16,49$  ,  $N_{1,7} = 17,98$  ,  $N_{1,8} = 17,45$

$W_N = 17,98 / 25,10 \times 10$

$W_N = 7,16$  bulunur.

Alt kömür damarı için yıkanabilme derecesi eğrisi Şekil.9.20’de verilmiştir.



Şekil.9.20. Alt Kömür Damarı Numunesi İçin Yıkanabilme Derecesi Eğrisi

Üst kömür damarı ve alt kömür damarı için yıkanabilme numarası ( $W_N$ ) hesaplandıktan sonra belirlenen bu yıkanabilme numaralarında her iki kömür damarı için optimum ayırma yoğunluğundaki yıkama sonuçları Çizelge.9.22 'de verilmiştir.

Çizelge.9.22. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı İçin, Optimum “Yıkanabilme Derecesindeki” Özellikleri

Kömür Damarı	Üst Damar	Alt Damar
Optimum Yıkanabilme Derecesi	18,7	17,98
Optimum Yıkama Yoğunluğu ,g/cm <sup>3</sup>	1,5	1,7
Temiz Kömür Miktarı , %	68,0	46,02
Kül , %	18,4	25,10
Yıkanabilme Numarası , $W_N$	10,1	7,16

## 9.4. Zenginleştirme Deney Sonuçları

### 9.4.1. Üst Kömür Damarının Zenginleştirme Deney Sonuçları

Üst kömür damarı numunesinin gerek fiziksel özellikleri gerekse  $\pm 0.1$  düzeyinde farklı yoğunlukta malzeme miktar dağılımını belirleyen eğrideki verilere göre % 10 'dan fazla ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı içerdiğinden bu kömürün yıkanmasında -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm boyutlarında yoğunluk farkına göre yapılacak bir zenginleştirme yönteminin ancak ağır ortam ile zenginleştirme metodu olabileceği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ağır ortam ile zenginleştirme yönteminin yapılması durumunda elde edilecek ürünlerin miktar ve kalitesinin belirlenmesi amacı ile laboratuvar düzeyinde -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm boyutlarında denenirken, % 34,82 kül içerikli -0.5 mm tane fraksiyonunun üzerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır.

-50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm boyutlarında yapılan ağır ortam ile zenginleştirme sonuçları Çizelge.9.23, Çizelge.9.24 ve Çizelge.9.25 'de verilmiştir.

Çizelge.9.23. Üst Kömür Damarı Numunesinin -50+19 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	75,23	20,11	78,67
1,5-1,9	24,77	34,20	21,33
1,9 Batan	-	-	-
Toplam	100,00	23,60	100,00

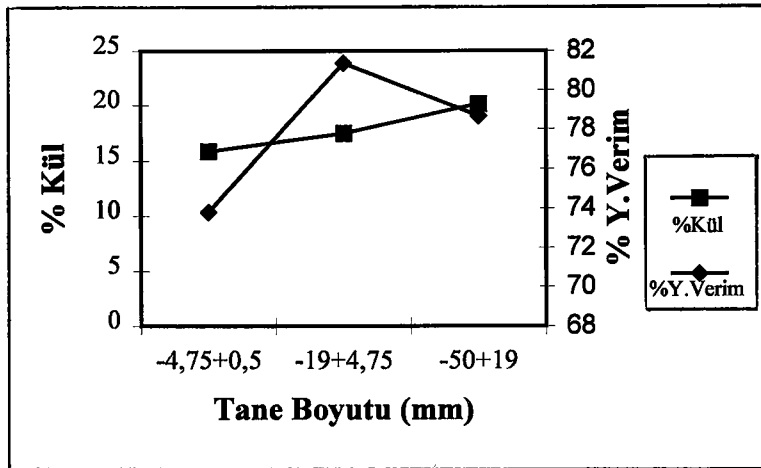
Çizelge.9.24. Üst Kömür Damarı Numunesinin -19+4.75 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	74,76	17,46	81,39
1,5-1,9	17,91	30,34	16,45
1,9 Batan	7,33	77,68	2,16
Toplam	100,00	24,18	100,00

Çizelge.9.25. Üst Kömür Damarı Numunesinin -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	63,06	15,87	73,79
1,5-1,9	24,00	38,07	20,67
1,9 Batan	12,94	69,19	5,54
Toplam	100,00	28,10	100,00

Şekil.9.21 'de Üst kömür damarı üzerinde yapılan ağır ortam zenginleştirme sonuçlarına göre elde edilen konsantrelerin kül ve yanabilir verim açısından karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil.9.21. Üst Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üst kömür damarının % 34,82 kül içerikli -0.5 mm tane fraksiyonunun üzerinde kaba+temizleme flotasyonu yapılmıştır. Kaba ve temizleme flotasyon deney koşulları aşağıdaki gibi alınmıştır.

Kaba flotasyon deney koşulları :

Bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) Miktarı : 500 g/ton

Kollektör (Gazyağı) Miktarı : 3000 g/ton

Köpürtücü (Çamyağı) Miktarı : 700 g/ton

Motor Hızı : 900 devir/dakika

pH : 6

Kondüsyonlama süresi : 15 + 10 + 3 + 5 dakika

Flotasyon süresi : 8 dakika

Temizleme flotasyon deney koşulları :

Kollektör (Gazyağı) Miktarı : 1000 g/ton

Köpürtücü (Çamyağı) Miktarı : 350 g/ton

pH: 6

Flotasyon süresi : 6 dakika

Bu koşullarda yapılan kaba+temizleme flotasyon deney sonuçları Çizelge.9.26 'da verilmiştir.

Çizelge.9.26. Üst Kömür Damarının -0,5 mm Tane Boyutu Kaba + Temizleme Flotasyon Deney Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Y.Verim	% Toplamalı Y.Verim
2' dakikalık konsantre	48,03	19,66	59,20	59,20
2' dakikalık konsantre	6,13	36,97	5,93	65,13
1' dakikalık konsantre	1,41	42,56	1,24	66,37
1' dakikalık konsantre	1,63	41,40	1,47	67,84
Ara ürün	10,8	45,55	9,02	76,86
Artık	32,00	52,86	23,14	100,00
Toplam	100,00	34,82	100,00	

Temizleme flotasyonunda optimum köpük alma süresi 6 dakika olarak alındığında konsantrenin yanabilir verimi % 67,84 olmaktadır. -0,5 mm tane fraksiyonunun külü % 34,82 'den % 22,70 'e düşerek toplam % 12,12 'lik bir azalma olmuştur. -0,5 mm tane fraksiyonunun elek analizine göre ağırlığı % 1,95 olup elde edilen bu flotasyon konsantresinin toplam besleme malına göre verimi % 1,04'dür. Mikroskop çalışmaları sonucunda üst kömür damarının -75 mikronda serbestleştiği belirlenmiştir. Üst kömür damarının elek analizi sonuçlarından -0,5 mm tane fraksiyonunda -0,075 mm ağırlık oranı % 32,18 'dir. -0,5 mm fraksiyonunun geriye kalan ağırlık miktarı % 67,82 'dir. -0,075 mm oranının küçük olması flotasyona verilen malzemenin büyük bir oranda serbestleşmediğini göstermektedir. Dolayısıyla serbestleşme tam olmadığından % 34,82 küllü -0,5 mm tane fraksiyonunu külü ancak % 12,12 'lik bir azalma göstererek % 22,70 'e düşmüştür. Bu tane boyutunda yapılan flotasyonda yanabilir verimin düşüklüğü büyük oranda tanelerin serbestleşmesine bağlıdır. Bu tane fraksiyonunun -0,075 mm altına öğütülmesi durumunda çok ince boyutta malzeme elde edileceğinden ve bu malzemenin

kül oranının yüksek olmasından dolayı kömür ve piritin selektif olarak ayrılması olumsuz yönde etkilenecektir. Bu fraksiyonun (-0,5 mm) ağırlık oranı % 1,95 olup üst kömür damarının bu tane fraksiyonunun flotasyon ile uygun bir yanabilir verimde zenginleştirilmesi bu nedenlerden dolayı mümkün değildir.

#### 9.4.2. Alt Kömür Damarının Zenginleştirme Deney Sonuçları

##### 9.4.2.1. Ağır Ortam ile Zenginleştirme Deney Sonuçları

Alt kömür damarı üzerinde yapılan yüzdürme-batırma testlerinden bu numunenin yıkanma özelliğinin üst kömür damarı ile benzer yapıda bir yıkama özelliği gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle numune üzerinde laboratuvar düzeyinde -50+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75+0.5 mm boyutlarında ağır ortam ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Yapılan zenginleştirme deney sonuçları Çizelge.9.27, Çizelge.9.28 ve Çizelge.9.29 'da verilmiştir.

Çizelge.9.27. Alt Kömür Damarının -50+19 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	23,23	22,97	28,28
1,5-1,9	68,33	38,54	66,36
1,9 Batan	8,44	59,84	5,36
Toplam	100,00	36,72	100,00

Çizelge.9.28. Alt Kömür Damarının  $-19+4.75$  mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	23,89	19,11	34,02
1,5-1,9	45,29	42,45	45,89
1,9 Batan	30,82	62,97	20,09
Toplam	100,00	43,20	100,00

Çizelge.9.29. Alt Kömür Damarının  $-4.75+0.5$  mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları

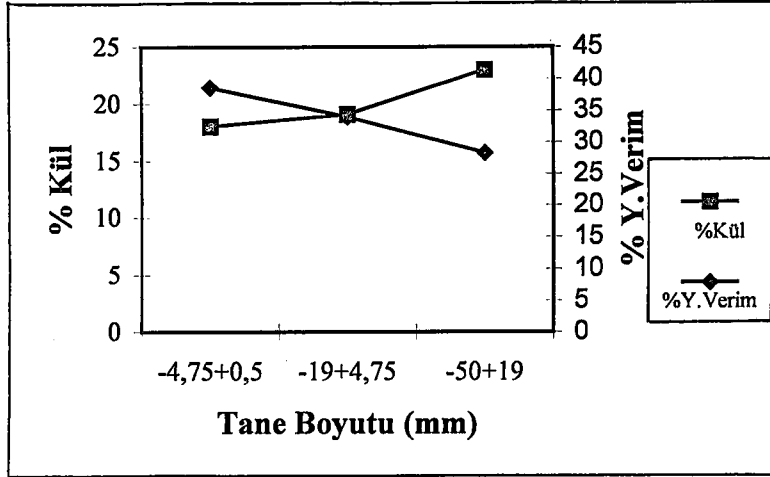
Ürünler	% Ağ.	% Kül	% Yanabilir Verim
1,5 Yüzen	26,02	18,06	38,59
1,5-1,9	37,10	43,14	38,18
1,9 Batan	36,88	65,20	23,23
Toplam	100,00	44,75	100,00

Alt kömür damarı ile  $-50+19$  mm tane boyutunda yapılan zenginleştirme sonucu % 22,97 kül oranında ve % 28,28 yanabilir verimle konsantre elde edilmiştir.  $-19+4.75$  mm boyutunda; % 19,11 kül oranında ve % 34,02 yanabilir verimle konsantre elde edilmiştir.  $-4.75+0.5$  mm boyutunda; % 18,06 kül oranında ve % 38,59 yanabilir verimle konsantre elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi serbestleşme derecesinin ince tane sınıflarına doğru artması sonucu elde edilen temiz kömürlerin kül oranlarında düşmeler ve bunun sonucu olarak yanabilir verimleri artmıştır.



Şekil.9.22 'de Alt kömür damarı üzerinde yapılan ağır ortam zenginleştirme sonuçlarına göre elde edilen konsantrelerin kül ve yanabilir verim açısından karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil.9.22. Alt Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Alt kömür damarı üzerinde yapılan ağır-ortam ile zenginleştirme çalışmaları sırasında kömürün yeteri kadar bir paça sağlamlığına sahip olmadığı için deneyler sırasında fazla miktarda malzeme ufalandığı gözlenmiştir. Kömür içinde bulunan emprüteler kömür tanelerinin yapısı ile beraber hareket ettiğinden dolayı elde edilen yanabilir verimlerin düşük olmasına neden olmuştur.

#### 9.4.2.2. Flotasyon İle Zenginleştirme Deney Sonuçları

Alt kömür damarı üzerinde yapılan ağır ortam zenginleştirme deneylerinde elde edilen konsantrelerin yanabilir verimlerinin düşük olduğu görülmüştür. % 43,22 'lük kül değerine sahip orijinal alt kömür damarının tamamının serbestleşme tane iriliğinin (-0,075 mikron) altına indirilmesi ve flotasyon zenginleştirme yöntemi uygulayarak külünün düşürülme olasılığı araştırılmıştır. Böylelikle taş kömürü niteliğindeki alt damar kömür numunesi flotasyon ile belirli bir kül oranına düşürülerek bu kömürün kullanılabilir hale gelebilecektir.

Flotasyon öncesi öğütme testleri yapılmıştır. Bu öğütme sürelerinde flotasyon yapılarak optimum süre tespit edilmiştir. Şekil.9.23 'de farklı sürelerde öğütülen kömürün kaba flotasyon sonuçları verilmiştir.

Flotasyon Deney Koşulları :

Karıştırma Hızı : 900 devir/dakika

Köpürtücü Miktarı (Çamyacı) : 700 g/ton

Kollektör Miktarı (Gazyacı) : 3000 g/ton

Bastırıcı Miktarı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 500 g/ton

Katı-sıvı Oranı : %10

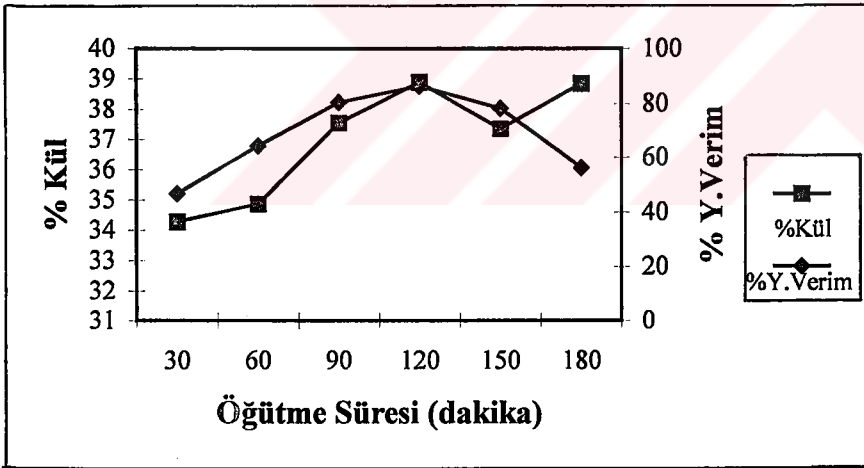
pH : 6

Kondüsyon Süresi : 15+3+5 dakika

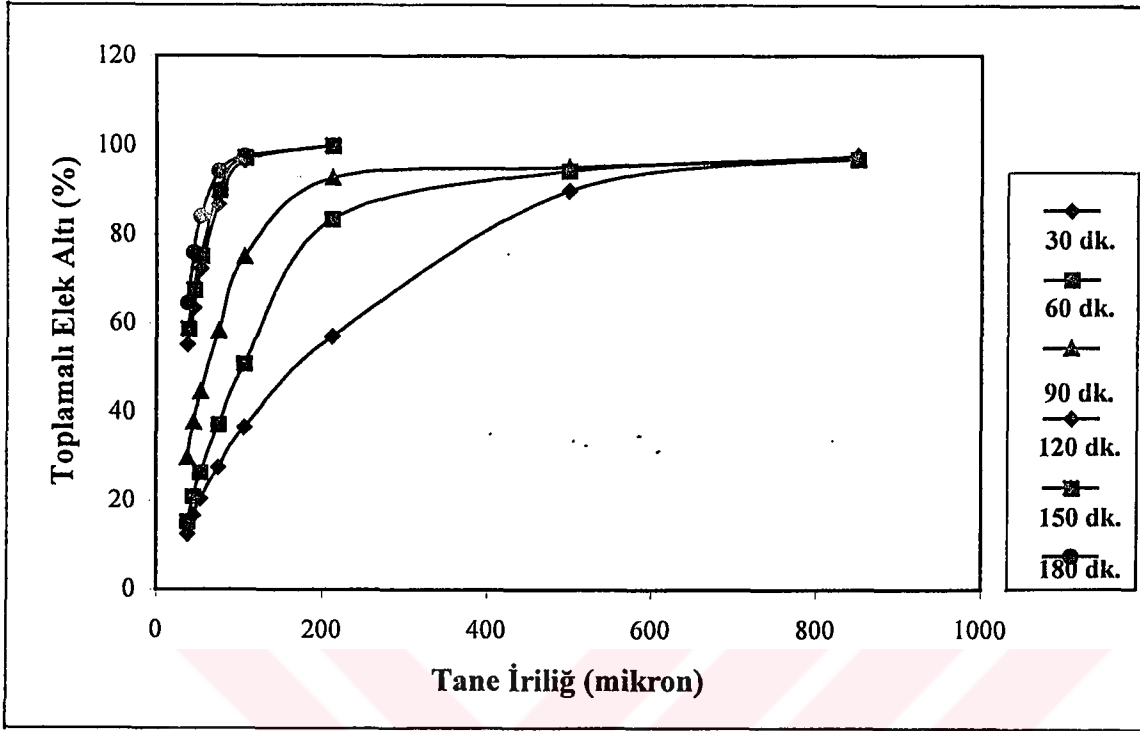
Flotasyon Süresi : 8 dakika

Çizelge.9.30. Farklı Sürelerde Öğütülen Kömürün Kaba Flotasyon Sonuçları

Öğütme Süresi (dakika)	Konsantre		Artık	
	% Kül	% Y.Verim	% Kül	% Y.Verim
30	34,28	46,71	49,27	53,29
60	34,87	64,42	53,72	35,58
90	37,56	80,41	58,62	19,59
120	38,89	86,34	61,29	13,66
150	37,36	78,35	57,58	21,65
180	38,85	56,21	47,99	43,79



Şekil.9.23. Farklı Sürelerde Öğütülen Kömürün Kaba Flotasyon Sonuçları



Şekil.9.24. Değişen Sürelerde Öğütülen Kömürün Karşılaştırmalı  $\Sigma$ EA Sonuçları

Öğütme Koşulları :

Numune Miktarı : 300 gram

Bilya Ağırlığı : 3000 gram

Değirmen Hızı : 54 devir/dakika

Öğütme Tipi : Kuru

Eleme Tipi : Yaş

Eleme Miktarı : 100 gram

Çizelge.9.31. Değişen Sürelerde Öğütülen Kömürün Karşılaştırmalı ΣEA Sonuçları

Tane İriliği ( $\mu\text{m}$ )	Öğütme Süresi (dakika)					
	30	60	90	120	150	180
+850 $\mu\text{m}$	100,0	100,0	100,0	-	-	-
-850+500	97,7	96,8	97,4	-	-	-
-500+212	89,8	94,3	95,1	-	-	-
-212+106	56,9	83,4	92,7	100,0	100,0	100,0
-106+75	36,6	50,6	75,0	96,5	97,3	97,6
-75+53	27,6	37,2	58,1	86,7	89,9	94,2
-53+45	20,4	26,3	44,5	72,3	75,3	84,1
-45+38	16,6	20,9	37,8	63,4	67,5	76,0
-38 $\mu\text{m}$	12,5	15,1	29,8	55,0	58,7	64,5
Toplam						

Optimum öğütme süresi 120 dakika olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda kaba flotasyon yapılarak optimum köpük alma süresi tespiti yapılmıştır. Kaba flotasyonda 2, 2, 2, 1, 1 dakika şeklinde farklı sürelerde köpük alınmıştır. Çizelge.9.32 'de kaba flotasyon deney sonucu verilmiştir.

Deney Koşulları :

Öğütme Süresi : 120 dakika

Karıştırma Hızı : 900 devir/dakika

Köpürtücü Miktarı (Çamyacı) : 700 g/ton

Kollektör Miktarı (Gazyacı) : 3000 g/ton

Bastırıcı Miktarı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 500 g/ton

Katı-sıvı Oranı : % 10 , pH : 6

Kondüsyon Süresi : 15 + 10 + 3 + 5 dakika

Flotasyon Süresi : 8 dakika

Çizelge.9.32. Alt Kömür Damarının Kaba Flotasyon Deney Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	%Kül	% Y.Verim	% Toplamalı Y.Verim
2' dakikalık konsantre	49,53	35,06	56,65	56,65
2' dakikalık konsantre	22,32	42,69	22,53	79,18
2' dakikalık konsantre	6,84	50,20	6,00	85,18
1' dakikalık konsantre	1,61	56,00	1,25	86,43
1' dakikalık konsantre	1,77	56,94	1,34	87,77
Artık	17,93	61,29	12,23	100,00
Toplam	100,00	43,22	100,00	

Kaba flotasyon deney sonuçlarından, optimum köpük alma süresi 6 dakika olarak belirlenmiştir. Elde edilen kaba konsantre üzerinde temizleme flotasyonu yapılmıştır. Temizleme flotasyon aşamasında 2, 2, 1, 1 dakika şeklinde farklı sürelerde köpük alınarak en uygun köpük alma süresi tespit edilmiştir. Çizelge.9.33 'de temizleme flotasyon deney sonucu verilmiştir.

**Deney Koşulları :**

Kollektör (Gazyağı) Miktarı : 1000 g/ton

Köpürtücü (Çamyacı) Miktarı : 350 g/ton

pH : 6

Kondüsyon Süresi : 10+3+5 dakika

Flotasyon Süresi : 6 dakika

Çizelge.9.33. Alt Kömür Damarı Temizleme Deney Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Y.Verim	% Toplamalı Y.Verim
2' dakikalık konsantre	60,71	35,96	68,47	68,47
2' dakikalık konsantre	14,21	44,92	13,78	82,25
1' dakikalık konsantre	2,19	52,46	1,83	84,08
1' dakikalık konsantre	1,73	54,53	1,39	85,47
Ara ürün	3,23	59,77	2,3	87,77
Artık	17,93	61,29	12,23	100,00
Toplam	100,00	43,22	100,00	

Temizleme flotasyonu; % 10 katı oranında yapılan kaba flotasyon sonucu elde edilen kaba konsantre üzerinde yapılmıştır. % 10 katı oranının flotasyonu olumsuz yönde etkileyeceği bu nedenle aynı deney koşullarında katı oranı % 3'e düşürülerek kaba+temizleme flotasyonu yapılmıştır. Çizelge.9.34 'de % 3 katı oranında yapılan kaba+temizleme flotasyon deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge.9.34. % 3 Katı Oranında Alt Kömür Damarı Kaba+Temizleme Flotasyonu Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Y.Verim	% Toplamalı Y.Verim
2' dakikalık konsantre	56,61	36,73	63,08	63,08
2' dakikalık konsantre	8,56	44,88	8,31	71,39
1' dakikalık konsantre	4,27	47,88	3,92	75,31
1' dakikalık konsantre	0,59	50,19	0,52	75,83
Ara ürün	7,62	52,89	6,32	82,15
Artık	22,35	54,65	17,85	100,00
Toplam	100,00	43,22	100,00	

% 10 katı oranında kaba+temizleme flotasyon sonuçlarına (Çizelge.9.32 ve Çizelge.9.33) göre temizleme flotasyonunda optimum süre 4 dakika olarak alındığında elde edilecek konsantre, ara ürün ve artığın miktar ve külleri aşağıda Çizelge.9.35 'de verilmiştir.

Çizelge.9.35. % 10 Katı Oranında Alt Kömür Damarı İçin Optimum Flotasyon Deney Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Yanabilir Verim
Konsantre	74,92	37,66	82,25
Ara ürün	7,15	56,26	5,52
Artık	17,93	61,29	12,23
Toplam	100,00	43,22	100,00



% 3 katı oranında kaba+temizleme flotasyonu sonuçlarına (Çizelge.9.34) göre temizleme flotasyonunda; optimum süre 6 dakika olarak alındığında elde edilecek konsantre, ara ürün ve artığın miktar ve külleri aşağıda Çizelge.9.36 'da verilmiştir.

Çizelge.9.36. % 3 Katı Oranında Alt Kömür Damarı İçin Optimum Flotasyon Deney Sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Yanabilir Verim
Konsantre	70,03	38,52	75,83
Ara ürün	7,62	52,89	6,32
Artık	22,35	54,65	17,85
Toplam	100,00	43,22	100,00

Deney sonuçlarından görüleceği gibi % 10 katı oranında kül azalması % 5,56 seviyesinde kalırken, % 3 katı oranında % 4,7 oranında kalmıştır. % 10 katı oranında daha az artık ve daha fazla kül oranında elde edilirken, % 3 katı oranında daha fazla artık daha az kül içeriği ile elde edilmiştir. Serbestleşme boyutuna (-0,075 mm) indirilen kömür yüksek kül oranına sahip olduğundan flotasyon çalışmalarından olumlu sonuç alınamamıştır.

## 10. SONUÇ VE TARTIŞMA

Diyarbakır-Hazro yöresinde alt bitümlü kömür yatağında bulunan; alt kömür damarı ve üst kömür damarı üzerinde yapılan bu çalışmaların sonuçları iki kısımda incelenmiş olup aşağıda verilmiştir.

### *Üst Kömür Damarı Yıkanabilirlik ve Zenginleştirme Çalışmaları*

Orijinal bazda; % 2,76 nem, % 24,14 kül, % 37,27 uçucu madde ve % 2,34 kükürt içerikli üst kömür damarı üzerinde elek analizi yapılarak boyuta göre kül, kükürt ve kalori değerlerinin değişimi incelenmiştir. Elek analizi verilerine göre tane iriliği küçüldükçe kül oranı arttığından yan kayacın kömüre göre daha kırılğan olduğu görülmüştür. Bu kömür damarının yıkanabilme özelliğinin tespiti için  $-50+19$  mm,  $-19+4.75$  mm ve  $-4.75+0.5$  mm tane boyutlarında yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Yıkama çalışmalarında üst kömür damarı suda ıslandığında çok az miktarda ufalandığı bu nedenle kömürün yıkama için yeterli parça sağlamlığına sahip olduğu görülmüştür.

$-50+19$  mm tane boyutunda;  $1,7 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk değerinden daha düşük yoğunluklarda  $\pm 0,1$  yoğunluk ayırma değerinin yüksek olduğu bu nedenle bu boyuttaki kömürün düşük yoğunluk değerlerinde yıkanabilirliğinin zor olacağı ortaya çıkmıştır.  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması sonucunda % 22,63 kül ve % 95,83 oranında temiz kömür elde edilmektedir.

$-19+4.75$  mm tane boyutunda; düşük küllü ürünlerin  $1,5 \text{ g/cm}^3$  'den daha küçük yoğunluklarda elde edilebileceği ve  $1,5 \text{ g/cm}^3$  'de bir ayırma işlemi uygulandığında % 18,55 küllü temiz kömür % 67,93 ağırlık oranında elde edilirken,  $1,6 \text{ g/cm}^3$  'de % 21,25 kül ve % 84,75 ağırlık oranında temiz kömür elde edilmektedir.

$-4.75+0.5$  mm tane boyutunda; % 10 küllü bir ürünün ancak  $1,36 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda elde edilmektedir. Üst kömür damarının yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde kömürün yıkanabilirliğinin iyi olmadığı, kömürün düşük ayırma yoğunluklarında yüzen temiz kömür miktarının az olduğu bu nedenle uygulamada yüksek yıkama yoğunluklarında kömürün yıkanması gerektiği ortaya çıkmıştır. Üst kömür damarı için yıkanabilme numarası 10,1 olarak bulunmuştur. Bu yıkama numarasına göre kömürün uygulamada ufalanabileceği üst tane boyutunun 30 mm ile 15 mm arasında olup yıkama prosesi olarak  $+0.5$  mm kömür için ağır ortam siklonu kullanılabilecektir. Üst kömür damarı üzerinde  $-50+19$  mm,  $-19+4.75$  mm, ve  $-4.75+0.5$  mm boyutlarında yapılan yıkanabilirlik çalışmalarından; % 10 ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı kriter

olarak alındığında ve yıkanabilme numarası göz önüne alınarak bu tane boyutlarında ağır ortam ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan en iyi yanabilir verim  $-19+4.75$  mm boyutunda elde edilmiş olup % 24,18 küllü kömürden % 17,46 küllü temiz kömür % 81,39 yanabilir verim ile kazanılmıştır.  $-50+19$  mm boyutunda; % 23,60 küllü kömürden % 20,11 küllü temiz kömür % 78,67 yanabilir verimle kazanılabileceği,  $-4.75+0.5$  mm boyutunda; % 20,10 küllü kömürden % 15,87 küllü temiz kömür % 73,79 yanabilir verimle kazanılabileceği görülmüştür.

Ağır ortam deneyleri elde edilebilecek en yüksek yanabilir verim değerlerini göstermektedir. Aletli ayırmalarda yanabilir verimde azalmalar ve kül oranında yükselmeler olabilecektir. Bu nedenle kömürün  $+0.5$  mm boyutunda ağır ortam siklonu ile yıkama çalışmasının yapılması gerekmektedir. Kömürün optimum yıkanabilme derecesinde yıkama yoğunluğu  $1,5 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlendiğinden kömürün 30 mm altına ufalanarak bir veya iki kademedede ( $1,5 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda) yıkanması gerekmektedir.

Üst kömür damarı  $-0.075$  mm 'de serbestleşmektedir.  $-0.5$  mm tane fraksiyonu üzerinde yapılan flotasyon sonuçlarından; % 34,82 küllü kömürden % 12,12 'lik bir azalma göstererek % 22,70 küllü temiz kömür % 67,84 yanabilir verim ile kazanılmıştır. Flotasyon işlemine verilen malzemenin ancak % 32,18 oranında serbestleştiği bu nedenle elde edilen temiz kömürün külünün % 22,70 seviyesinde kalmasına neden olmuştur. Bu tane fraksiyonunun  $-0.075$  mm altına öğütülmesi durumunda mikron boyutunda yüksek küllü bir malzeme ile çalışılacağından kömürün yanıcı olmayan kısımlardan selektif olarak ayrılması mümkün değildir.

#### *Alt Kömür Damarı Yıkanabilirlik ve Zenginleştirme Çalışmaları*

Orijinal bazda % 1,64 nem, % 40,07 kül ve % 26,78 uçucu madde içerikli alt kömür damarı üzerinde yapılan elek analizinden tane boyutu arttıkça kükürt oranının arttığı ancak kül oranının ince tane boyutlarına doğru azaldığı görülmüştür. Yıkama çalışmalarında kömür suda ıslatıldığında çok fazla miktarda ufalandığından kömürün yıkama için yeterli parça sağlamlığına sahip olmadığı tespit edilmiştir.

$-50+19$  mm tane boyutunda; yoğunluk arttıkça  $\pm 0.1$  yoğunluk ayırma değerinin arttığı bu nedenle yüksek ayırma yoğunluklarında ayırmanın zor olacağı görülmüştür. Düşük ayırma yoğunluklarında yüzen temiz kömür miktarı oldukça düşük olmuştur.  $1,8 \text{ g/cm}^3$  'de ayırma işlemi sonucunda % 58,57 oranında % 29,90 küllü temiz kömür elde edilmiştir.

-19+4.75 mm tane boyutunda; yoğunluk değerlerinin tümünde oldukça yüksek  $\pm 0.1$  yoğunluk ayırma değerleri mevcuttur. -50+19 mm boyutuna benzer olarak düşük yoğunluk değerlerinde yüzen temiz kömür miktarı oldukça düşük seviyede kalmıştır.

-50+19 mm boyutunun;  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 52,41 oranında % 25,87 küllü temiz kömür,  $1,8 \text{ g/cm}^3$  'de yıkanması ile % 62,99 oranında % 29,04 küllü temiz kömür elde edilebilecektir.

-4.75+0.5 mm tane boyutunda;  $1,7 \text{ g/cm}^3$  'de  $\pm 0.1$  yoğunluk ayırma değeri 4,78 olup bu yoğunlukta yapılacak bir yıkamanın kolay olacağını göstermektedir. Alt kömür damarının yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde üst kömür damarına kıyasla daha kötü bir yıkama özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Kömürün yıkanabilme numarası 7,16 bulunmuştur. Bu yıkama numarasına göre kömürün uygulamada kırılacağı üst tane boyutu 9 mm 'nin altında olup yıkama prosesi olarak +0.5 mm kömür için ağır ortam siklonu kullanılabilir.

Alt kömür damarı üzerinde -50+19 mm, -19+4.75 mm, ve -4.75+0.5 mm boyutlarında yapılan yıkanabilirlik çalışmalarından; % 10 ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı kriter olarak alındığında ve yıkanabilme numarası göz önüne alınarak bu tane boyutlarında ağır ortam ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, -50+19 mm boyutunda; % 36,72 küllü kömürden % 22,97 küllü temiz kömür % 28,28 yanabilir verimle kazanılabileceği, -19+4.75 mm boyutunda; % 43,20 küllü kömürden % 19,11 küllü temiz kömür % 34,02 yanabilir verimle kazanılabileceği, -4.75+0.5 mm boyutunda; % 44,75 küllü kömürden % 18,06 küllü temiz kömür % 38,59 yanabilir verimle kazanılabileceği görülmüştür.

Alt kömür damarı üzerinde yapılan ağır ortam zenginleştirme çalışmalarından yanabilir verimlerin düşük olmasını kömürün optimum yıkanabilme derecesinde; optimum yıkama yoğunluğunda ( $1,7 \text{ g/cm}^3$ ) elde edilecek temiz kömür miktarının % 46,02 seviyesinde olması bunu doğrulamaktadır. Bu nedenle ağır ortam zenginleştirme yerine yapılacak flotasyon işlemi ile havada kuru bazda % 43,22 küllü kömürün külünün düşürülme olanağı araştırılmıştır. Alt kömür damarı -0.075 mm 'de serbestleştiğinden kömürün bu boyuta indirildiği öğütme koşulları tespit edilmiştir. En uygun öğütme süresi 120 dakika olarak belirlenmiş olup flotasyon çalışmaları iki farklı (% 3 ve % 10) katı oranında kaba+temizleme flotasyonu şeklinde yapılmıştır. % 10 katı oranında kül azalması % 5,56 seviyesinde kalırken % 3 katı oranında % 4,7 oranında kalmıştır.

Flotasyon deney sonuçlarından literatürde verildiği gibi tane boyutu küçüldüğü için zorlaşmış ve elde edilen temiz kömürün kül oranı arttığı ortaya çıkmıştır. Çok ince boyuta indirilen kömür taneleri yüksek oranda mineral madde içerdiğinden selektivitedeki azalma kül ayırımını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu kadar ince boyutta yapılan flotasyonda katı oranının etkisi olmaksızın randıman yükselmesine ve temiz kömürde kül oranının artmasına neden olmuştur.

Bölgemizde Şırnak-Silopi asfaltitleri dışında sanayide kullanılacak başka kömür kaynağının olmaması, Diyarbakır-Hazro yöresindeki alt bitümlü kömür niteliğindeki kömür olması geniş bir pazar imkanı yaratacaktır. Bu nedenle kömür sahasının yeniden incelenerek kısa süreli ilkel koşullarda yapılan madencilik çalışmaları yerine uzun süreli ve günümüz teknolojisine uygun bir biçimde işletilmesi ülke ekonomisi ve yöredeki işsizliğin azaltılmasında önemli rol oynayacaktır.

Yöredeki kömürün ekonomik bir şekilde işletilmesi durumunda yıkanarak sanayide kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür. Taş kömür niteliğinde olan kömürün, koklaşabilme özelliği taşıması durumunda özellikle demir-çelik sanayisi için önem taşıyabilir.

**KAYNAKLAR**

- ALLUM, J.A.E., WHELON, P.F., 1954. Froth Flotation of Low-Rank Coals, J.Inst. Fuel., 27, 142-147.
- ARNOLD, B.J., APLAN, F.F., 1986. The Effect of Clay Slimes on Coal Flotation Part I: The Nature of The Clay, International Journal of Mineral Processing, 17, 225-242.
- ARSLAN, V., ÇİÇEK, T., 1998. Soma-Eynez Kömürünün Ağır Ortamla Yıkama Şartlarının İncelenmesi, The Journal of Ore Dressing, 1. İZMİR.
- ATEŞOK, G., ÖNAL, G., YILDIRIM, İ., ACARKAN, N., GÜRKAN, V., ALTAŞ, A., 1994. Keles ve Saray Bölgesi Kömürlerinin Pilot Ölçekli Teknolojik Araştırması, 9.Kömür Kongresi, 185-200.
- ATEŞOK, G., 1986. Kömür Hazırlama. İstanbul Teknik Üniversitesi. İSTANBUL.
- BARAN, S., 1991. Diyarbakır-Hazro Kömür Sahası Jeoloji Raporu, MTA Genel Müdürlüğü. ANKARA.
- BEKER, Ü.G., 1998. Kömürün Kullanım Alanları, (ORHAN KURAL. editör), 325-337, İSTANBUL.
- BENTLİ, İ., 1993. Aydın Şahinali Yöresi 20-50 mm Boyutlu Linyit Kömürlerinin Çok Yönlü Olarak Kalori Değerlerinin Artırılması Yöntemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Müh. Böl. İSPARTA.
- BRICENO, A., CHANDER, S., 1988. An Electrochemical Characterization from Coal and Ore Sources, International Journal of Mineral Processing, 24, 73-80.
- BROWN, D.J., 1962. Coal Flotation, (D.W. FUERSTENAU. editör ), 518-538.
- CEBECİ, Y., AYDOĞAN, S., ÖZKAN, A., 1996. Yozgat-Ayırdağ Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, 10.Kömür Kongresi, 79-92.
- DEMİREL, H., 1988. Linyitlerde Piritik Kükürdün İki Aşamalı Flotasyon İle Temizlenmesi, 6.Kömür Kongresi, 191-203.
- DEMLİ, F., 1994. Beypazarı ve Soma Linyitlerinin Yıkabilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Kimya Müh. Böl., ANKARA.
- DENİZ, V., DİNLER, E., GÜNEŞ, A.N., 2000. Mihalıççık (Eskişehir) Kömürlerinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması, 12. Kömür Kongresi, 193-201.

DENİZ, V., KIBİCİ, Y., YAMIK, A., ÇİLEK, E.A., 1996. Çivril (Denizli) Linyitlerinden Flotasyon İle Kükürdün Uzaklaştırılması, 10. Kömür Kongresi, 93-102.

DOĞAN, H., 1988. Washability Characteristics of Tunçbilek-Beke Lignites, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. Maden Müh. Bölümü, ANKARA.

DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI (DPT), 2000. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, ANKARA

GÜMÜŞSU, M., 1988. Diyarbakır İli Hazro İlçesi Maden Kömürü Havzasının Jeolojisi ve Madenciliği, MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA.

GROUNDS, A., 1950. Some Factors and Problems in Coal Preparation, Trans. Inst. Min. Eng., 110, No.3322, 13.

HINDMARCH, E., WATERS, P.L., 1951. Froth Flotation of Coal, Trans. Inst. Min. Eng., 111, No.3377, 223.

JOWETT, A., 1958. The Influence of The Adsorption on The Percentage Recovery of Coal From Flotation Pupls, J. Inst. Fuels, 31, 308-318.

KARAOĞLU, M., 1999. TKİ Alpagut-Dodurga Linyitleri İşletmesi Şamlarından Kömürün Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR.

KARAYİĞİT, A.İ., 1998. Kömür Petrografisi, (ORHAN KURAL. editör), 71-87, İSTANBUL.

KAYTAZ, Y., 1988. Amasra Havzası Taş Kömürlerinin ve Lavuar Artığı Şistlerinin Yıkanabilme Özellikleri, 6.Kömür Kongresi, 303-320.

KAYTAZ, Y., TOROĞLU, İ., ALTAŞ, A., 1992. Çayırhan Bölgesi Kömürlerinin Değerlendirilmesi, 8.Kömür Kongresi, 211-224.

KEMAL, M., 1987. Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İZMİR.

KESKİN, Y., ÇUHADAROĞLU, D., 1994. Merzifon Yöresi Linyit Ocakları Taban Damar Kömürünün Yıkanabilirlik Özelliğinin Araştırılması, 9.Kömür Kongresi, 51-60.

LEBKUCHNER, R.F., 1960. Diyarbakır-Hazro Antiklinal Bölgesindeki Kömür Ümitli Sahaların Detay, Jeolojik Etüdlere Sonuçlarını İlgilendiren Kısa Rapor, MTA Genel Müdürlüğü, No.2968, ANKARA.

LEBKUCHNER, R.F., 1961. Kömür Bakımından Ümitli olan Diyarbakır-Hazro Antiklinali Sahasında Yapılan Detay Jeolojik Etüdler ve Madencilik Çalışmaları Hakkında Rapor, MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA.

MAMUREKLİ, M., 1987. An Investigation on The Production of Super Clean Coal From Zonguldak Basin, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. Maden Müh. Bölümü, ANKARA.

MILLER, J.K. Flotation Study of Refractory Coals, RI.8224, US Bureau of Mines.

MILLER, J.K. Desulfurization of Various Midwestern Coal Flotation, RI.8262, US Bureau of Mines.

MOXON, N.T., KEAST-JONES, R., 1986. The Effect of Collector Emulsification Using Non-Ionic Surfactants on The Flotation of Coarse Coal Particles, International Journal of Mineral Processing, 18, 21-32.

MOXON, N.T., KEAST-JONES, R., ASTON, J.R., 1988. Increased Coarse Coal Yield From Flotation Using Non-Ionic Frothers, International Journal of Mineral Processing, 24, 295-305.

OLAJIDE, O., CHO, E.H., 1987. Study of The Jigging Process Using a Laboratory Scale Baum Jig, Minerals and Metallurgical Processing, 11-14.

ORUÇ, M., 1996. Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniv. Maden Müh. Anabilim Dalı , ZONGULDAK.

ÖNAL, G., ACARKAN, N., 1988. Gediz Kömürlerinin Zenginleştirilmesi, 6.Kömür Kongresi, 229-244.

ÖNAL, G., GÜNEY, A., 1998. Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri, (ORHAN KURAL. editör), 269-297, İSTANBUL.

ÖNAL, G., ACARKAN, N., TOROĞLU, İ., 1988. İstanbul Çevresi (Yeniköy) Linyit Kömürlerinin Zenginleştirilerek Değerlendirilmesi, 6.Kömür Kongresi, 275-286.

ÖNEY, Ö., 1993. The Enrichment of Zonguldak Fine Coal by Flotation, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniv. Maden Müh. Bölümü, İZMİR.

READ, R.B., CAMP, L.R., SUMMERS, M.S., RAPP, D.M., 1989. The Influence of Reagent Type on The Kinetics of Ultrafine Coal Flotation, Powder Technology, 59,

153-162.



- ROGERS, R.B., SIMPSON, D., WHELAN, P.F., 1956. Froth Flotation of Low-Rank Coal; Semi-Scale Investigation of Conditioning Methods, J. Inst. Fuel, 29, 545-551.
- SAYDUT, A., 1999. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Asfaltit ve Linyitlerinden Fiziksel İşlemlerle Kül ve Kükürdün Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.Ü.Fen-Edebiyat Fak. Kimya Böl., DİYARBAKIR.
- SCHORT , K., ZIMMERMAN, 1988. Separation of Fine Coal Below 1 mm in a Carousel Jig, II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu , 751-763, İSTANBUL.
- SEVİNÇ, M., 1997. Madenler için Kimyasal Analiz Yöntemleri.Yurt Madeniliğini Geliştirme Vakfı, İSTANBUL.
- SOKASKI, M., JACOBSEN, P.S., GEER, M.R., 1966. Performance of Baum Jigs in Treating Rocky Mountain Coals, RI. 6306, US Bureau of Mines.
- SUN, S.C., 1954. Hypothesis for Different Floatabilities of Coals, Carbons and Hydrocarbon Minerals, Trans AIME , 199, 67-75.
- SUN, S.C., 1979. Froth Flotation, (J.W. LEONARD, D.R. MITCHELL. editör ), 66-89.
- TAGGART, A.F., DELGUIDICE, G.R., SADLER, A.M., HASSIALIS, M.D., 1939. Oil-Air Separation of Non-Sulfide and Non-Metal Minerals, Trans AIME , 134, 180.
- TOROĞLU, İ., 1990. Amasra Bölgesi Kömürlerinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Müh. Böl., İSTANBUL.
- UÇBAŞ, Y., 1988. Zonguldak İnce Kömürlerinin Yağ Aglomerasyonu İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. Maden Müh. Bölümü, ANKARA.
- ÜNAL, İ., AKTAŞ, Z., OLCAY, A., 2000. Bitümlü Kömür ve Linyitin Yağ Aglomerasyonu, 12.Kömür Kongresi ,251-261.
- ÜNLÜ , M., 1990. Linyitlerimizin Yıkabilme Özellikleri ve Yıkama Olanakları, 3.Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu , 274-286, İSTANBUL.
- ÜNLÜ , M., 1992. Kömür Yıkama sonuçlarının Değerlendirilmesi-Yeni bir Yöntem.
- ÜNLÜ, M., DOĞAN, H., TETİK, T., 1999. Tuncerler Karakaya Köyü Kömürlerinin Yıkabilme Özellikleri ve Jig Yıkama Performansının Belirlenmesi Çalışmaları, MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA.

- ÜNLÜ , M., 1987. Ülkemiz Kömür Endüstrisine Genel Bakış, Yıkama Uygulaması ve Linyitlerimizin Yıkanabilirliği, MTA Genel Müdürlüğü , No.8235, 2-14, ANKARA.
- YAMAN, S., KÜÇÜKBAYRAK, S., 1998. Kömürün İçerdiği Mineral Maddenin Kullanımına Etkileri, (ORHAN KURAL. editör), 139-149, İSTANBUL.
- YANCEY, H.F., GEER, M.R., 1938. Performance of a Baum-Type Coal Washing Jig, RI.3371, US Breau of Mines.
- YANCEY, H.F., GEER, M.R., 1979. Properties of Coal and Impurities in Relation to Preparation, (J.W. LEONARD, D.R. MITCHELL. editör ), 3-55.
- WILLIAMS, M.C., FUERSTENAU, D.W., 1987. A Simple Flotation Method For Rapidly Assessing The Hydrophobicity of Coal Particles, International Journal of Mineral Processing , 20 ,153-157.
- WILKINS, E.T., 1947. Coal Preparation: Some Development to Pulverized Practice, Conference on Pulverized Fuel, 398.

**ÇİZELGE LİSTESİ****Sayfa No**

Çizelge.2.1. Kömürlerin A.S.T.M. Sınıflandırması	5
Çizelge.2.2. Farklı Sınıflı Kömürlerin Ortalama Gevreklik Değerleri	9
Çizelge.2.3. Kömür Litotiplerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	12
Çizelge.2.4. Kahverengi Kömür ve Bitümlü Kömürlerin Maseralleri	15
Çizelge.2.5. Kömürlerde az miktarda veya iz olarak bulunan elementler	17
Çizelge.2.6. Kömürün içerdiği mineral maddeler	18
Çizelge.3.1. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Kömürün Yıkama Kolaylığı	22
Çizelge.3.2. Yıkabilme Numaralarına Göre Üst Tane Boyutu ve Yıkama Prosesi Seçimi	25
Çizelge.4.1. Flotasyon Besleme Malının Elek Analizi	34
Çizelge.4.2. Pülp Yoğunluğunun Kalite ve Verim Üzerine Etkisi	34
Çizelge.5.1. Dünya Fosil Yakıtları Mevcut Rezervlerinin Kullanılabilir Süreleri	36
Çizelge.5.2. Zonguldak Havzası Taş Kömürünün Özellikleri	37
Çizelge.5.3. Zonguldak Havzasının Rezervleri (milyon ton)	38
Çizelge.5.4. Türk Linyitlerinin Orijinal Temele Göre Ortalama Analiz Sonuçları	39
Çizelge.5.5. Linyit Rezervinin Bölgelere Göre Dağılımı	39
Çizelge.9.1. Üst Kömür Damarının Kimyasal Analiz sonuçları	66
Çizelge.9.2. Alt Kömür Damarının Kimyasal Analiz Sonuçları	67
Çizelge.9.3. Üst Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt ve Kalori Değerinin Değişimi	70
Çizelge.9.4. Alt Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt ve Kalori Değerinin Değişimi	71
Çizelge.9.5. Üst Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu	73

Çizelge.9.6. Üst Kömür Damarı $-19+4.75$ mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma	
Değerlendirme Tablosu	74
Çizelge.9.7. Üst Kömür Damarı $-4.75+0.5$ mm Tane Boyutu Yüzdürme-Batırma	
Değerlendirme Tablosu	75
Çizelge.9.8. Üst Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylerinin	
Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları, Yanabilir Verimleri	79
Çizelge.9.9. Üst Kömür Damarı $(-50+0.5)$ mm Boyut Grubuna Ait Yüzdürme- Batırma	
Deneyi Sonuçlarının Hesaben Birleştirilmiş Şekli	80
Çizelge.9.10. Alt Kömür Damarı Numunesinin $-50+19$ mm Tane Boyutu	
Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu	86
Çizelge.9.11. Alt Kömür Damarı Numunesinin $-19+4.75$ mm Tane Boyutu	
Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu	87
Çizelge.9.12. Alt Kömür Damarı Numunesinin $-4.75+0.5$ mm Tane Boyutu	
Yüzdürme-Batırma Değerlendirme Tablosu	88
Çizelge.9.13. Alt Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylerinin	
Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları, Yanabilir Verimleri	91
Çizelge.9.14. Alt Kömür Damarı $(-50+0.5)$ mm Boyut Grubuna Ait Yüzdürme- Batırma	
Deneyi Sonuçlarının Hesaben Birleştirilmiş Şekli	92
Çizelge.9.15. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Toplam Temiz Kömür Miktarı	98
Çizelge.9.16. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Şist Kül İçeriği	99
Çizelge.9.17. Mikst Miktarına Göre Yıkanma Kolaylığı	100
Çizelge.9.18. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre	
Yıkanma Kolaylığı	100
Çizelge.9.19. Kömür Damarlarının Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına	
Göre Yıkanma Kolaylığı	101
Çizelge.9.20. Üst Kömür Damarı Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı	102

Çizelge.9.21. Alt Kömür Damarı Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı	104
Çizelge.9.22. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı İçin, Optimum “Yıkanabilme Derecesindeki” Özellikleri	105
Çizelge.9.23. Üst Kömür Damarı Numunesinin –50+19 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	106
Çizelge.9.24. Üst Kömür Damarı Numunesinin –19+4.75 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	107
Çizelge.9.25. Üst Kömür Damarı Numunesinin –4.75+0.5 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	107
Çizelge.9.26. Üst Kömür Damarının –0,5 mm Tane Boyutu Kaba + Temizleme Flotasyon Deney Sonuçları	109
Çizelge.9.27. Alt Kömür Damarının –50+19 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	110
Çizelge.9.28. Alt Kömür Damarının –19+4.75 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	111
Çizelge.9.29. Alt Kömür Damarının –4.75+0.5 mm Tane Boyutu Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçları	111
Çizelge.9.30. Farklı Sürelerde Öğütülen Kömürün Kaba Flotasyon Sonuçları	114
Çizelge.9.31. Değişen Sürelerde Öğütülen Kömürün Karşılaştırmalı ΣEA Sonuçları	116
Çizelge.9.32. Alt Kömür Damarının Kaba Flotasyon Deney Sonuçları	117
Çizelge.9.33. Alt Kömür Damarı Temizleme Deney Sonuçları	118
Çizelge.9.34. % 3 Katı Oranında Alt Kömür Damarı Kaba+Temizleme Flotasyonu Sonuçları	119
Çizelge.9.35. % 10 Katı Oranında Alt Kömür Damarı İçin Optimum Flotasyon Deney Sonuçları	119
Çizelge.9.36. % 3 Katı Oranında Alt Kömür Damarı İçin Optimum Flotasyon Deney Sonuçları	120

**ŞEKİL LİSTESİ****Sayfa No**

Şekil.4.1. Kömürün Karbon İçeriği ile Temas Açısının Değişimi	30
Şekil.4.2. Reaktif Sarfiyatı ile Kömür Veriminin Değişimi	30
Şekil.4.3. Kömürün Karbon İçeriği ile Reaktif Sarfiyatının Değişimi	31
Şekil.4.4. Kömürün Kül İçeriği ile Temas Açısının Değişimi	31
Şekil.6.1. Diyarbakır-Hazro AR:38744 No'lu Çalışma Sahası Yer Bulduru Haritası	41
Şekil.6.2. Diyarbakır-Hazro AR:38744 No'lu Çalışma Sahası Jeoloji Haritası ve Jeoloji Kesiti	42
Şekil.6.3. Üst Kömür Damarına ait Stamlar	47
Şekil.6.4. Alt Kömür Damarına ait Stamlar	48
Şekil.8.1. Laboratuvarında Uygulanan Zenginleştirme Akım Şeması	60
Şekil.8.2. Flotasyon Deney Akım Şeması	65
Şekil.9.1. Üst Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt Değerinin Değişimi Eğrileri	70
Şekil.9.2. Alt Kömür Damarının Boyuta Göre Kül, Kükürt Değerinin Değişimi Eğrileri	71
Şekil.9.3. Üst Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	76
Şekil.9.4. Üst Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	77
Şekil.9.5. Üst Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	78
Şekil.9.6. Üst Kömür Damarı -50+0.5 mm Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	81
Şekil.9.7. Üst Kömür Damarı -50+19mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	82
Şekil.9.8. Üst Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	83
Şekil.9.9. Üst Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	84
Şekil.9.10. Alt Kömür Damarı -50+19 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	89

Şekil.9.11. Alt Kömür Damarı -19+4.75 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	89
Şekil.9.12. Alt Kömür Damarı -4.75+0.5 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	90
Şekil.9.13. Alt Kömür Damarı (-50+0.5 mm) Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri	93
Şekil.9.14. Alt Damar -50+19 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	94
Şekil.9.15. Alt Damar -19+4.75 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	95
Şekil.9.16. Alt Damar -4.75+0.5 mm Tane sınıfı Yıkama Parametrelerinin Temiz Kömür Külüne Göre Değişimi	96
Şekil.9.17. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Yoğunluk Dağılımı	98
Şekil.9.18. Üst Kömür Damarı ve Alt Kömür Damarı Toplam Temiz Kömür Miktarı Eğrileri	99
Şekil.9.19. Üst Kömür Damarı Numunesi İçin Yıkanabilme Derecesi Eğrisi	103
Şekil.9.20. Alt Kömür Damarı Numunesi İçin Yıkanabilme Derecesi Eğrisi	105
Şekil.9.21. Üst Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması	108
Şekil.9.22. Alt Kömür Damarı Üzerinde Yapılan Ağır Ortam Zenginleştirme Sonuçlarının Mukayesesi	112
Şekil.9.23. Farklı Sürelerde Öğütülen Kömürün Kaba Flotasyon Sonuçları	114
Şekil.9.24. Değişen Sürelerde Öğütülen Kömürün Karşılaştırmalı ΣEA Sonuçları	115

## ÖZGEÇMİŞ E

1975 yılında Diyarbakır'ın Çınar ilçesinde doğdum. İlk, orta öğrenimimi burada tamamladım. 1993 yılında Çınar Lisesinden mezun oldum. Aynı yıl Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdim. 1997 yılında birincilik derecesi alarak mezun oldum. 1999 yılında Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladım. Aynı yıl Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi oldum. Halen bu görevi sürdürmekteyim.

