T.C.
DİCLE ÜNİVERİSTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTVİN - YUSUFELİ KÖMÜRÜNÜN YIKANABİLME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kamuran MUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI)

DİYARBAKIR
TEMMUZ–2008

AMAÇ

Bu çalışma, 2006–2008 yılları arasında Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Artvin ili Yusufeli ilçesinde bulunan antrasit niteliğindeki kömür sahası bu araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu araştırmanın amacı; Artvin-Yusufeli kömürünün yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesidir.

ÖZET

Bu çalışmada, Artvin-Yusufeli kömürünün yıkanabilirlik özellikleri incelenmiştir. Artvin-Yusufeli kömürü üzerinde yıkanabilirlik deneyleri yapılmış ve deney sonuçlarına göre yıkama eğrileri çizilmiştir. Artvin-Yusufeli kömürü kuru bazda % 22.10 kül içeriği, 70,0689 karbon içeriği ve 6386 kcal/kg kalori değerine sahip olup ASTM standartlarına göre orta-uçuculu bitümlü kömürler sınıfına girmektedir.

Yüzdürme-batırma deneyleri yapılacak kömür numunesi -50+20, -20+4,75 ve -4,75+0,5 mm boyut aralıklarına ayrıldı. Her bir boyut 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1,9 ve 2,00 g/cm^3 `lük $ZnCl_2$ çözeltilerinde yüzdürüldü. Deneylerin sonucunda Artvin-Yusufeli kömürü için optimum ayırma yoğunluğunun 1,9 g/cm^3 olduğu bulunmuştur. Yıkanabilme numarasına göre yıkama prosesi ve üst tane boyutları önerilmiştir.

SUMMARY

In this study washability characteristics of Artvin-Yusufeli coal were investigated. Artvin-Yusufeli coal has 22,10 percent of ash, 70,0689 percent carbon content and 6386 kcal/kg calorific value and according to ASTM standards it is semi-volatile-bituminous coal.

Coal samples onwhich sink and float experiments performed were separated into particle sizes (-50+20, -20+4,75 and -4,75+0,5 mm). Fractions were floated in 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 ve 2,00 g/cm^3 density $ZnCl_2$ solutions. According to washing results, optimum washing density of 1.9 g/cm^3 was obtained. According to washability number obtained processes at upper particle sizes were suggested.

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerinden büyük ölçüde faydalandığım tez danışmanım sayın hocam Prof.Dr. Fikri KAHRAMAN`a teşekkürü bir borç bilirim.

Kimyasal analizlerin yapılmasında yardımcı olan Dicle Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğretim elemanlarından Sayın Yrd. Doç.Dr. Zahir Düz`e, yüzdürme-batırma deneylerinde yol gösteren Dicle Üniversitesi M.M. F. Maden mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarından Sayın Arş. Gör. Dr. Halime ABAKAY TEMEL`e, yıkama eğrilerinin çizilmesinde yardımcı olan Dicle Üniversitesi Maden mühendisliği bölümü öğretim elemanlarından Sayın Arş. Gör. Felat DURSUN`a, mesai arkadaşım Arş. Gör. Özge Şaban`a ve maddi manevi destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA NO**

AMAÇ i
ÖZET ii
SUMMARY iii

1. GİRİŞ 1
2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER 3
2.1. Kömürün Oluşumu 3
2.1.1. Turbalaşma 3
2.1.2. Kömürleşme 4
2.2. Kömür Türleri 4
2.2.1. Turba 5
2.2.2. Linyit 6
2.2.3. Taş Kömürü 7
2.2.4. Antrasit 7
2.2.5. Grafit 7
2.3. Kömürlerin Sınıflandırılması 8
2.4. Kömürün Fiziksel Özellikleri 11
2.4.1. Yoğunluk 11
2.4.2. Gözeneklilik 12
2.4.3. Sertlik 13
2.4.4. Öğütülebilirlik 13
2.4.5. Isıl İletkenlik 13
2.4.6. Özgül Isı 14
2.5. Kömürün Kimyasal Özellikleri 14
2.5.1. Oksidasyon 14
2.5.2. Çözücülerde Ergime 14
2.5.3. Hidrojenasyon 14
2.5.4. Koklaşma 15
2.5. Kömür Petrografisi 15
2.6.1. Kömürlerin Makropetrografik Bileşenleri 15

2.6.1.1. Vitren(Vitrain) 16
2.6.1.2. Klaren(Klarain) 16
2.6.1.3. Düren(Durain) 16
2.6.1.4. Füzen(Fusain) 16
2.6.2. Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcıları 16
2.6.2.1. Vitrinit 17
2.6.2.2. Liptinit(eksinit) 18
2.6.2.3. İnertinit 18
2.6.3. Mikrolitotipler 18
2.6.4. Mineraller 19
2.6.5. Kömürün Diğer Bazı Özellikleri 20
2.6.5.1. Kömürün Nem İçeriği 20
2.6.5.2. Kömürün Uçucu Madde İçeriği 21
2.6.5.3. Kömürün Külü 21
2.6.5.4. Kömürün Sabit Karbon İçeriği 21
2.6.5.5. Kömürün Karbon ve Hidrojen İçeriği 21
2.6.5.6. Kömürün Azot İçeriği 21
2.6.5.7. Kömürün Oksijen İçeriği 22
2.6.5.8. Kömürün Isıl Değeri 22
2.6.5.9. Kömürün İçerdiği Kükürt Türleri 22

3. DÜNYADA MEVCUT DURUM 23
3.1. Kömür Rezervleri 23

4. TÜRKİYE KÖMÜR POTANSİYELİ 24
4.1. Taş Kömürü 24
4.2. Linyit, Asfaltit, Bitümlü Şist ve Turba 24

5. KÖMÜRÜN YIKANABİLİRLİĞİ 26
5.1. Kömür Yıkanabilme Özelliğinin Tespiti 26
5.2. Kömür Yıkama Sonuçlarının Değerlendirilmesi 27
5.2.1. Yıkama Eğrileri 27

5.2.2. Yıkanabilme Derecesi 28
5.3. Önceki Çalışmalar 29

6. MALZEME VE YÖNTEM 33
6.1. Kullanılan Numune 33
6.2. Yöntem 36
6.2.1. Kimyasal Analiz 36
6.2.2. Petrografik Analiz 37
6.2.3. Kırma – Eleme 37
6.2.4. Öğütme – Eleme 37
6.2.5. Yüzdürme – Batırma 37

7. ARAŞTIRMA BULGULARI 39
7.1. Analiz Sonuçları 39
7.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları 39
7.1.2. Petrografik Analiz Sonuçları 39
7.1.3. Kömür Külü Analizi Sonuçları 39
7.1.4. Elek Analizi Sonuçları 40
7.1.5. Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları 40

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 59

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA NO**

Çizelge 2.1 Bazı Doğal Yakıtların Elementer Bileşimi (saf kömür bazında) 5

Çizelge 2.2 Linyitle Turbayı Ayırtlayan Ölçütler 6

Çizelge 2.3. Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması 8

Çizelge 2.4. Çeşitli Kömürleşme Derecelerinde Kömürlerin Özellikleri 9

Çizelge 2.5. Genel Sınıflamada Yer alan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri 10

Çizelge 2.6. Amerikan Standardı Kömür Sınıflaması 11

Çizelge 2.7. Taşkömürlerinin Petrografik Bileşenleri 17

Çizelge 2.8. Bitümlü Kömürlerin Mikrolitotipleri 20

Çizelge 3.1. Kıtasal Bazda Dünya Kömür Rezervleri 23

Çizelge 5.1. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Kömürün Yıkama Kolaylığı 28

Çizelge 5.2. Yıkanabilme Numaralarına Göre Üst Tane Boyutu ve Yıkama Prosesi Seçimi 29

Çizelge 7.1. Artvin – Yusufeli Kömürünün Kimyasal Analiz Sonuçları 39

Çizelge 7.2. Artvin Yusufeli kömürü Külü Analiz Sonuçları 39

Çizelge 7.3. Elek Analizi Sonuçları 40

Çizelge 7.4. -50+20 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu 41

Çizelge 7.5. -20+4,75 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu 43

Çizelge 7.6. -4,75+0,5 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu 45

Çizelge 7.7. Değişik Boyut Grupları ile Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylerinin Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları ve Yanabilir Verim 47

Çizelge 7.8. -50+0,5mm Boyut Grubuna ait Yüzdürme-Batırma Deneyi Sonuçlarının Hesaben Birleştirilmiş Şekli 48

Çizelge 7.9. Artvin-Yusufeli kömürünün 1,9 gr/cm^3 `de yıkanması sonucu elde edilecek artık ve temiz kömür miktarları ile kül, kükürt ve kalori değerleri. 50

Çizelge 7.10. Artvin-Yusufeli Kömür Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı 51

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA NO**

Şekil 6.1. Artvin/Yusufeli Haritası 30
Şekil 6.2. Sahanın Jeolojik Haritası 31
Şekil 6.3. Laboratuarda Uygulanan Numune Hazırlama Akım Şeması 32
Şekil 7.1. Artvin-Yusufeli kömürü-50+20mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri 39
Şekil 7.2. Artvin-Yusufeli kömürü -20+4,75mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri 41
Şekil 7.3. Artvin-Yusufeli kömürü -4,75+0,5 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri 43
Şekil 7.4. Artvin-Yusufeli kömürü -50+0,5mm Tane Boyutu Yıkama Eğrileri 45
Şekil 7.5. Yıkanabilme Derecesi Eğrisi 52

1.GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca enerji, ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en temel araçlarından biri olmuştur. Gerek ulusal gerekse uluslararası alanda üzerinde en çok durulan konulardan biri olan enerji, uluslar için giderek artan yaşamsal niteliği ile zaman zaman sıcak çatışmalara varan sorunlara yol açmıştır. Günümüzde, enerji kıtlığı, gelişmiş ülkeler için yaşam kalitesinin düşmesi, gelişmekte olan ülkeler için ise yoksulluk anlamına gelmektedir.

Enerji kaynaklarının gelişimi incelendiğinde; Sanayi Devrimi ile beraber kömürün, daha sonra petrol ve doğal gazın dünya ekonomileri üzerindeki belirleyici konumları çarpıcıdır. Her ne kadar yeni ve yenilenebilir kaynaklar üzerindeki enerji teminine yönelik araştırma ve çalışmalar sürdürülmekteyse de, fosil kaynakların söz konusu ağırlıklarını bugün de devam ettirdikleri açıktır. İçinde bulunduğumuz süreçte, bir ikincil enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin de giderek öne çıktığı görülmektedir. Elektrik enerjisi, aydınlatmadan ısınmaya, televizyonlardan bilgisayarlara kadar son derece yaygın kullanım alanı ile insan yaşamı için vazgeçilmez olduğu kadar, genel ekonomi içerisindeki üretim, ulaştırma-dağıtım ve iletişim faaliyetleri bakımından da olmazsa olmaz konumuna erişmiştir. Bu özelliği ile elektrik enerjisi, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin artışı oranında diğer enerji formlarının yerini almaktadır(TAMZOK, 2005).

Dünyanın enerji ihtiyacının %70`i fosil yakıtlardan (kömür, petrol ve doğalgaz) karşılanmaktadır. Petrol ve doğalgaz kömüre göre daha hızlı tükenmektedir. Eldeki veriler günümüz yüzyılının ortalarında doğalgaz ve petrolün tükeneceğini göstermektedir. Kömür rezervleri ise Dünyanın uzun yıllar ihtiyacını karşılayacak miktardadır. Bu yönüyle kömür uzun yıllar daha önemini kaybetmeyecektir(KAFADAR, 1994). Kömür, diğer birincil enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında tartışmasız çok fazla olan rezerv ömrü ve yeryüzündeki geniş dağılımı nedeniyle özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacaktır. 2004 yılı sonu itibariyle dünya toplam kanıtlanmış kömür rezervi 909 milyar ton olup günümüzdeki üretim düzeyi dikkate alındığında, kömür rezervlerinin ömrü 200 yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu süre petrol için 40 yıl, doğalgaz için 67 yıl olarak verilmektedir.

Dünyanın ileri gelen ülkeleri arasında yer alacak bir gelişmişlik düzeyini yakalamak ve bu vizyonu gerçekleştirmek için sürdürülebilir enerji kaçınılmazdır. Bunun için de ihtiyacımız olan enerjiyi güvenli, güvenilir, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan bir ülke olmalıyız(ŞENGÜLER, 2005).

Kömür bitki kökenli bir madde olup karbon, hidrojen, oksijen ve azottan meydana gelir. Bitkilerin, sıcaklık ve basınç altında zamanla değişim geçirmesi sonucu oluşur. İnsan yaşamında ve enerji hammaddeleri içinde çok önemli bir yere sahiptir.(ÖNAL ve diğerleri, 2002).

Kömür rezervleri dünya üzerinde 70' den fazla ülkede bulunmaktadır. En büyük rezerv 247 milyar ton ile ABD' ye aittir. Bu ülkeyi 157 milyar ton ile Rusya ve 114.5 milyar ton ile Çin izlemektedir. Dünya kömür ticaretinin % 91.3 ünü 9 ülke elinde bulundurmaktadır. Bu ülkeler; Avustralya (% 29), Endonezya (% 14), Çin (% 11.4), Güney Afrika Cumhuriyeti (% 8.9), Rusya (% 8.6), Kolombiya (% 6.9), ABD (% 5.7), Kanada (% 3.6) ve Kazakistan (% 3) dır(ŞENGÜLER, 2005).

Kömür yıkama yöntemlerindeki yenilikler ve uygulanan proseslerle kömür içerisinde bulunan kül yapıcı unsurların büyük bir kısmı temizlenmekte ve kömür zenginleştirilmektedir. Daha önce su ve hava yardımıyla yapılan kömür yıkama işlemi yerini ağır ortam yöntemlerine bırakmıştır. Ağır ortam yöntemleri diğer yıkama yöntemlerine göre daha verimli ve yıkama kaçakları daha azdır. Kömür yıkama tesislerinde kömür içinde bulunan ve yıkama esnasında yükselen rutubet, mekanik yöntemlerle ısı kullanılarak düşürülmektedir. Susuzlaştırma işlemlerinden sonra kömürün ısıl değeri yükselmektedir. Isıl değeri yükselen kömür daha iyi yanmakta ve duman emisyonları azalmaktadır(KAFADAR, 1994).

Kömürlerin yıkanabilme karakteristiklerini saptamak amacıyla yapılan deneyler, kömürün hangi yöntem ile yıkanması gerektiğini, tesisisin tasarım biçimi, ayırmada ulaşılabilecek verimlilik derecesini ve yıkama sonucu elde edilebilecek temiz kömür ve artık maddelerin kalite ve miktarlarını önceden tespit edilmeye yarar(KESKİN, 1988).

Türkiye kömürleri üzerinde yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış olup, ancak Artvin-Yusufeli kömürleri üzerinde daha önce çalışılmamıştır. Bu çalışmanın amacı Artvin-Yusufeli kömürünün yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesidir.

2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Kömürün Oluşumu

Kömür, gerçekte değişik oranlarda organik ve inorganik bileşenler içeren tortul bir kayaçtır. Doğada, yapı, doku, bileşenler ve köken açısından birbiriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluşumuna rastlamak hemen hemen imkânsızdır.

Kömürü yapan ana element karbondur. Bu nedenle, oluşumu karbon çevrimine çok bağlıdır. Kömür çevrimi bataklıkta başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler ile havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO_2 `tir. Magma az da olsa $CO_2$, CO, $CH_4$ içerir. Hidrotermal-pnömatolitik ve volkanik etkinlik süreçlerinde, gaz, buhar ve çözeltilerle karbon çevrimine katılırlar. Hava ve sudaki $CO_2$ `in önemli bölümünü bitkiler özümler, yaşamları için gerekli olanları yapılarında tutarlar, artığı solunum yoluyla geri döner ve doğal denge korunur.

Kömürleşmede genellikle iki evre benimsenir. Bunlar turbalaşma ve kömürleşmedir(KURAL, 1991).

2.1.1. Turbalaşma

Bu evrede fungi ve bakteri faaliyetleri fazla olup biyokimyasal aşama olarak isimlendirilir(KURAL, 1998).

Turbalaşma bir dizi olayın birlikte yürümesi ile gelişir. Bataklıklarda ağaçlar ve diğer bitkiler devrildikten sonra serbest oksijen etkisinde kalırlarsa, hızla çürüyüp bozunurlar. Bu olay sulu ortamda gerçekleşirse olay hızlanır(KURAL, 1991).

Turbadan, işletilebilir kalınlık ve kalitede, yeterli uzanıma sahip kömür damarının oluşabilmesi için havanın neden olacağı oksidasyondan korunmuş yeterli miktarda bitkisel materyale ihtiyaç vardır. Aksi halde bitkisel materyal havanın serbest oksijeni ile parçalanmakta ve turba yerine CO_2 ile H_2O oluşmaktadır. Bu nedenle, turba oluşumu sırasında depolanan organik madde miktarının, havada bozunan madde miktarından fazla olması ve depolanma sırasında organik maddelerin yanı sıra havanın oksijeni ile bozunmasına engel olacak kil ve şişt gibi inorganik madde birikiminin de bulunmaması gerekmektedir(KARAYİĞİT ve KÖKSOY, 1994).

Turbalıkta çökelen organik maddeler, bakteri faaliyetleri sonucu hidroliz, oksitlenme ve indirgenme süreçlerini içeren biyokimyasal değişikliklere uğrarlar ve böylece turba gelişir.

Turba oluşumu sırasında önce organik maddelerden hümik asit meydana gelir. Hümik asitin organik karakterini kaybetmesi sonucu hüminler meydana gelir. Hümin ve bozunmakta olan organik madde(odun) turba olarak isimlendirilir. Bataklıktaki su seviyesi turba oluşumu açısından oldukça önemlidir. Bataklık kuruyacak olursa aşırı oksitlenme nedeniyle turba oluşmayabilir. Bataklıktaki su seviyesi çok olursa turba yerine organik çamur veya kömür dışı sedimanlar oluşur. Turba oluşturan bataklıklar genelde akarsu taşkın düzlüklerinde, deltalarda, göllerde ve sahil düzlükleri ile lagünlerde oluşabilir.

Turbadan yumuşak kahverengi kömüre veya linyite dereceli bir geçiş bulunmaktadır. Turbayı diğer kömürlerden kesin sınırlarla ayırmak oldukça zordur. Bu ayrım için nem, karbon içeriği, selüloz içeriği gibi bazı parametrelerden faydalanılır. Turbada nem içeriği %75`den fazla, linyitte ise azdır. Yüzde karbon içeriği turbada çoğunlukla %60`dan az, linyitte ise fazladır.

2.1.2. Kömürleşme

Kömürleşme biyokimyasal aşamanın bitişinden sonra başlar ve bu aşamada sıcaklık, basınç ve zaman önemli olup turbadan linyit oluşmaktadır. Kömürleşme derecesinin artmasıyla alt bitümlü kömür, bitümlü kömür ve daha sonra antrasit meydana gelir. Fiziksel ve kimyasal bozunma derecesi göz önüne alındığında alt bitümlü kömüre kadar olan değişimler, diyajenetik proses içerisinde değerlendirilir. Ancak alt bitümlü kömür aşamasının başlangıcından sonra organik maddenin değişimi öylesine şiddetli olmaktadır ki metamorfizma olarak ifade edilir(KURAL, 1998).

2.2. Kömür Türleri

Kömürleşme ortamındaki basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak bünyedeki su ve uçucu maddeler (CO_2, CO, CH_4, NO_X, SO_2, H_2S, H_2 vs) azalmakta, karbon oranı ve kalori değeri (antrasit seviyesine kadar) artmaktadır. Burada ideal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür(taş kömürü), antrasit ve

grafit kömür türleri oluşmaktadır(KEMAL, 1991). Kömürleşme derecesine bağlı olarak C, H, O, N, S oranlarındaki ve üst ısıl değerlerdeki değişim Çizelge 2.1`de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı Doğal Yakıtların Elementer Bileşimi (saf kömür bazında)(KEMAL ve ARSLAN, 1999)

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Üst Isı (kcal/kg)
Linyin	63	5,5	31,5	-	-	-
Selüloz	44,4	6,2	49,4	-	-	3855
Odun	48–50	5,9-6,3	43–55	0,03-0,3	Eser	4620–5055
Turba	58–60	5,5-6,0	34–35	0,7-3,4	0,1-0,3	5065–5820
Linyit	63–69	4,2-6,5	29–27	0,3-0,6	2,7-2,4	5975–7000
Uzun alevli taşkömürü	83–87	5,8-5,2	10–5	1,0-1,8	0,8-1,2	8260
Yağlı taş kömürü	87–90	5,2-4,5	5–3	1,0-1,8	0,8-1,2	8730
Antrasit	95–97	2–3	3–2	1,0-1,5	0,7-1,1	8460

2.2.1. Turba

Biyokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbalarda odunumsu yapıyı görmek mümkündür(KEMAL ve ARSLAN, 1999).

Turbaların taşıdıkları özellikler, başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak değişiklik gösterir(ATEŞOK, 1986). Turbaların önemli bazı özelliklerini şöyle sıralamak mümkündür:

- Sulandırılmış alkali ile muamele edildiğinde lif ve dal parçaları kalır.
- Elle sıkıldığında su kaybeder.
- %75`in üzerinde orijinal nem içerir.
- Turbalarda çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitkisel artıklar görülebilir.

Turbalar, havada kurutulduktan sonra yakıt olarak kullanıldığı gibi, düşük küllü olanları yarıkok ve aktif kömür yapımında da kullanılmaktadır(KEMAL ve ARSLAN, 1999).
Turba ile linyiti ayırt etmek için kullanılan ölçütler aşağıdaki tablo 2.2`de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Linyitle Turbayı Ayırtlayan Ölçütler(ÖZPEKER, 1991).

	Turba	Linyit
Rutubet(%)	>75	<75
Karbon(%)	<60	>60
Serbest Selüloz	Var	Yok
Kesilebilirlik	Evet	Hayır

2.2.2. Linyit

Linyit kömürleri, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme deresine göre, değişik oranlarda orijinal nem içerirler. Az nem içeren linyit türleri biyokimyasal kömürleşme yanında, etkin bir jeokimyasal kömürleşmeye de uğramışlardır. Orijinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedirler.

Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılır. Yumuşak linyitler, %35–75 arasında orijinal neme sahip linyitlerdir. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Bazı tür yumuşak linyitler, bağlayıcısız olarak yeterli sağlamlıkta briket vermektedir. Bu tür linyitlerden elde edilen briketler, ev yakıtı olarak kullanılmaktadır. Briketlemeye elverişli olmayan yumuşak linyitler ise elektrik üretiminde ve sanayi yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Verilen isimden de anlaşıldığı gibi, bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla sağlamlığa sahiptirler. Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolama esnasında fazla tozlanmaz. Orijinal nem oranı artıkça hem parça sağlamlığı azalır, hem de tozlanma özelliği artar(KEMAL ve ARSLAN, 1999).

2.2.3. Taş Kömürü

Bu kömürlerin orijinal nem oranları oldukça azdır (%1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine nispeten daha yüksek ısı değerine sahip olan taş kömürleri, bir çok kullanım alanına sahiptirler(KEMAL ve ARSLAN, 1999).

2.2.4. Antrasit

Bu kömür, Amerika`da sert kömür ve Galler`de kaya kömürü şeklinde adlandırılır. Demir siyahı rengi, yarı metalik parlaklığı iile tanılır. Bitümlü kömürler gibi el boyamaz, kısa ve sönük alevle yanar, az bir koku çıkar ve koklaşmaz.

Antrasitin ısıl değeri taşkömürü kadar fazla değildir. Çünkü yüksek sıcaklıklara hızla çıkamaz. Buna kadşın, toz ve is oluşturmadığı ve uzun süreli yandığı için ev yakıtı olarak çok anılır.

Antrasit kömür çeşitleri içinde en sert olanıdır. Özgül ağırlığı da 1,27 ile 1,7 gr/cm^3 arasında değişir. Çıkarıldığı ocağa göre önemli farklılıklar gösterir(KURAL, 1991).

2.2.5. Grafit

Grafit, oldukça yumuşak, dokunumu yağsı ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahiptir. Sertliği 1, yoğunluğu 2 gr/cm^3 dır. Rengi siyah ve gri, çizgi rengi kül rengidir. Doğada; kristal, pul ve amorf diye tanımlanan şekilleri mevcut olup, en iyi formu kristal grafittir ve tenörü en yüksek olanıdır. Doğada daha ziyade metamorfik zonlarda şistler ve mermerlerle birlikte ve magmatik kayaçların yakınlarında bulunmakta ve daha ziyade rejyonal metamorfizma alanlarında daha geniş rezervlere ve yüksek tenörlere sahip olabilmektedirler. Grafitin doğadaki yatak şekilleri; filon, damar, adese bazen de dissemine şeklindedir. Sadece Rusya`da cevherleşme, dayk şeklinde magmatik olarak bulunur(DPT, 2001).

2.3. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kömürler, kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterir. Bu durum bir çok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır. Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojide ileri ülkeler kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslar arası genel bir sınıflama için standartlar da geliştirmişlerdir.

Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslar arası Kömür Kurulunca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standart Örgütü(ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır.

a) Sert kömürler; ıslan ve külsüz bazda 5700 Kcal/kg`ın üzerinde kalorifik değerdedirler. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

b) Kahverengi kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5700 Kcal/kg`ın altında kalorifik değerdedirler. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Uluslar arası genel kömür sınıflaması Çizelge 2.3`de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması(DPT, 2001).

a) SERT KÖMÜRLER	b) KAHVERENGİ KÖMÜRLER
1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede) 2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a) Bitümlü kömürler b) Antrasit	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4165–5700 Kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez) 2. LİNYİT (4165 Kcal/kg altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama sistemi ise Kömürleşme Derecesi Sınıflamasıdır. Bu sınıflamada karbon içeriği temel değişkendir. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde uçucu madde içeriği, düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerde ise kalorifik değer esas alınarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.4`de kömürleşme derecesi sınıflaması ve özellikleri, Çizelge 2.5`de genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri, Çizelge 2.6`da ise, Amerikan kömür sınıflandırması verilmiştir(DPT, 2001).

Çizelge 2.4. Çeşitli Kömürleşme Derecelerinde Kömürlerin Özellikleri(DPT, 2001).

RANK (Kömürleşme Derecesi)	UÇUCU MADDE İÇERİĞİ % Ağırlık, Islak-Külsüz	KARBON İÇERİĞİ % Ağırlık, Islak-Külsüz	KALORİFİK DEĞER Btu/Lb, Mineral Maddesiz	NEM İÇERİĞİ % Ağırlık
1.LİNYİT	69–44	76–62	8300–6300	52–30
2. ALT BİTÜMLÜ	52–40	80–71	11500–8300	30–12
3. BİTÜMLÜ				
a)Yüksek uçuculu-B	50-29	86-76	1300-10500	15-2
b)Yüksek uçuculu-C				
c)Yüksek uçuculu-A	49-31	88-78	1400	5-1
d)Orta uçuculu	31–22	91–86	1400	5–1
e)Düşük uçuculu	22–14	91–86	1400	5–1
4. ANTRASİT	14–2	99–91	1400	5–1

Çizelge 2.5. Genel Sınıflamada Yer alan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri(DPT, 2001).

LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsi doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isı Değeri: 4610 Kcal/kg`ın altında	Isı Değeri: 4610–6390 Kcal/kg arasında	Isı değeri: 5390-7700 Kcal/kg arasında	Isı değeri: 7000 Kcal/kg`ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

Çizelge 2.6. Amerikan Standardı Kömür Sınıflaması(DPT, 2001).

		Sabit Karbon Sınırları* (%)		Uçucu Mineral Madde Sınırları*(%)		Isı Değeri (Kcal/kg)	
SINIF	ALT GRUP	> =	<	>	< =	> =	<
ANTRASİT	1.Meta-antrasit	98			2	7780	
	2.Antrasit	92	98	2		7780	
	3.Semi-Antrasit	86	92	8	14	7780	
BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	1.Düşük uçuculu	78	86	14	22	7780	
	2.Orta uçuculu	69	78	22	31	7780	
	3.Y.uçuculu-A		69	31		7780	
	4.Y.uçuculu-B		69	31		7220	7780
	5.Y.uçuculu-C		69	31		5835	7220
ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	1.Alt bitümlü A		69	31		5835	6390
	2.Alt bitümlü-B		69	31		5275	5835
	3.Alt bitümlü-C		69	31		4610	5275
LİNYİT	1.Linyit A		69	31		3500	4610
	2.linyit B		69	31			3500

(*) Kuru mineral maddesiz bazda

2.4. Kömürün Fiziksel Özellikleri

2.4.1. Yoğunluk

Kömürün kullanımını etkileyen özelliklerden birisidir(Schobert, 1987). Kömürün yoğunluğu yaşına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan araştırmalar, saf kömürdeki vitrinit ve inertinitin yoğunluğunun, kömürün karbon içeriği %82–88 arasında olduğunda en düşük değerini(yaklaşık 1,3 gr/cm^3) aldığını ve kömürün yaşı artıkça hızla yükselerek, antrasitlerde 1,80-1,85 gr/cm^3 `e ulaştığını göstermiştir(Van Krevelen, 1984). Kömürleşme derecesinin düşmesiyle; yani, kömürün karbon içeriğinin %82`nin altına inmesiyle(linyit, turba ve oduna

doğru), vitrinit ve inertinitin yoğunluğu tekrar artmaktadır. Eksinit grubunun yoğunluğu ise kömürleşme derecesi arttıkça devamlı yükselmektedir. Kömürün yoğunluğu ise karbon içeriğinin ilişkisini belirten grafik de bir minimum göstermektedir.

Linyitlerin yoğunluğu, 1,3-1,5 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Kömürleşme derecesi aynı olan kömürlerin yoğunlukları arasındaki farkın nedeni, içerdikleri mineral madde miktar ve türlerindeki farklılıklardır. Örneğin; alüminyum oranı yüksek mineral madde içeren kömürlerin yoğunluğu, demir oranı yüksek mineral madde içeren kömürlerinkinden daha düşüktür(KURAL, 1998).

2.4.2. Gözeneklilik

Katı bir maddenin gözenekliliği; sahip olduğu boşluk veya gözenek hacminin yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Kömür oldukça gözenekli bir maddedir ve toplam gözenek hacminin önemli bir kısmı çok küçük gözenekler tarafından oluşturulmuştur. Kömür için geçerli olan gözenek sınıflaması şöyledir(DUBİNİN, 1966):

Makrogözenekler: Çapları 200 Å `den büyük olan gözenekler.

Geçiş gözenekleri: Çapları 20-200 Å arasında olan gözenekler.

Mikrogözenekler: Çapları 20 Å`dan küçük olan gözenekler.

Karbon içeriği %75`in altında olan kömürlerin gözenekliliği, öncelikle makro gözeneklerin; karbon içeriği %75–84 arasından olan kömürlerin gözenekliliği daha çok makro ve geçiş gözeneklerinin; karbon içeriği %85–91 arasında olan kömürlerin gözenekliliği ise öncelikle mikrogözeneklerin varlığından kaynaklanmaktadır(MAJAHAN ve WALKER, 1978).

Kömürün; üretimi, hazırlanması ve kullanımı sırasındaki davranımlarına, gözenekliliğinin büyük etkisi vardır. Kömürün gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımı, kömür üretimi sırasında metanın iç gözeneklerden dışarı yayılma özelliklerini belirler. Kömürün satış için hazırlanması sırasında, içerdiği mineral maddenin azaltılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, mineral madde ile kömürün özgül ağırlığı arasındaki farktan yararlanılarak gerçekleştirilmekte ve kömürün organik kısmının özgül ağırlığı, gözenekliliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Kömürün gözenekliliği ve gözenek boyut dağılımı, kömürün kullanıldığı birçok süreç için çok önemlidir (WASHBURN, 1921).

2.4.3. Sertlik

Kömürün serliğini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan yöntem, yüzeye konik veya bir uç yardımıyla, bilinen standart bir kuvvet uygulamaktır. Bu işlem sonucunda, kömürün yüzeyinde bir iz oluşmakta ve oluşan izin çapı, yüzey serliğini veren bir ölçü olarak kabul edilir.

Kömürleşme dereceleri farlı olan kömürlerin, mohs sertlik ölçeğinde aldıkları yaklaşık değerler şöyledir: Linyitler için 1 ile 3 arasında, bitümlü kömürler için 2,5 ile 3,0 arasında ve antrasitler için 3 ile 4 arasındadır(SCHOBERT, 1987).

2.4.4. Öğütülebilirlik

Kömürün öğütülme kolaylığını saptamaya yönelik, yaygın olarak uygulanan yöntem, kömür numunesinin standart yük ve devir altında, sekiz çelik küre ile öğütülme prensibine dayanmaktadır. Öğütülebilirliğin hesaplanmasında 200 mesh`lik(0,074 mm) delik açıklığına sahip eleğin altına geçen kömürün ağırlığı kullanılmaktadır. Bitümlü kömürler en kolay öğütülebilen kömürlerdir. Antrasit ve linyitin öğütülmesi daha zordur(SCHOBERT, 1987).

2.4.5. Isıl İletkenlik

Bir maddenin ısıl iletkenliği, ısı enerjisini sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye iletme özelliğidir.

Kömürün ısı iletkenliğinin ölçülmesinde uygulanan yöntemlerden biri ASTM C 518`dır. Bu yöntemde; numunenin ısı iletkenliği, içinden aynı kararlılıkta ısı akışı olan bir ısı akım metresininki ile kıyaslama yoluyla saptanmaktadır. Isı akım metresi, iletkenliği bilinen bir madde içermekte ve kesiti boyunca çeşitli noktalarındaki sıcaklıklar ölçülmektedir.

Uçucu maddesinin, nem içeriğinin yoğunluğunun artmasıyla, .kömürün ısıl iletkenliği artmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi de ısıl iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır(VAN KREVELEN, 1961).

2.4.6. Özgül Isı

Özgül ısı, birim kütlenin ısıl kapasitesi olarak tanımlanabilir. Kömürün özgül ısısının en çok kullanıldığı yer, koklaşma süreci için gereken ısının hesaplanmasıdır. Özgül ısı kömürün özelliklerine bağlı olarak, genellikle 0,2-0.4 kcal/kgºC arasında değişir(MERRICK, 1987).

2.5. Kömürün Kimyasal Özellikleri

2.5.1. Oksidasyon

Kömürler, havanın oksijeni etkisinde oldukça yavaş gelişen bir oksitlenmeye uğrarlar. Gözenekliliği fazla olan ve büyük oranlarada kükürt ihtiva eden kömürler kolayca oksitlenirler. Kömürleşme derecesi arttıkça, kömürlerin oksitlenmeye karşı dirençleri de artar. Büyük kömür yığınlarının uzun müddet depolanması gerektiğinde oksitlenmeden doğabilecek yangın tehlikesine karşı önceden her türlü tedbirlerin alınması gerekir.

2.5.2. Çözücülerde Ergime

Kömürler, bazı organik çözücülerde eriyerek değişik kimyasal özellik gösteren bileşiklere ayrılırlar. Bu özelliklerinden kömürleri meydana getiren maddelerin incelenmesinde çok yaralanılmaktadır. Çözücü olarak en çok piridin kullanılmaktadır. Ekstraksiyon sonunda katı parafinler($C_{21}H_{44}$…$C_{27}H_{56}$ gibi), doymuş hidrokarbonlar(C_nH_{2n-2}) elde edilmektedir.

2.5.3. Hidrojenasyon

19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yapıla gelen çeşitli deneylerde araştırmacılar, hidrojenasyon yolu ile kömürleri sıvı hale getirmeyi başardılar. Hidrojenasyon olayının mekanizmasını araştıran yazarlar, bunun kömürün termik olarak reaktif parçalara ayrılmasından ibaret olduğunu, bu ayırma işleminde de halojen oksitler gibi katalizörlerin işlemi kolaylaştırdığını ileri sürmektedir.

Hidrojenasyon yolu ile kömürün sıvılaştırılabilmesi petrol sıkıntısı çekilen zamanlarda akaryakıt için iyi bir alternatif olarak ortaya konulabilecek bir niteliktedir.

2.4.5. Koklaşma

Kömürleşmesi belirli bir düzeye erişmiş olan kömürler ısıtılınca önce yumuşar sonra şişerek gaz çıkartırlar ve daha sonra tekrar sertleşirler. Sertleşme sonucunda oluşan çok gözenekli, oldukça hafif ve gri renkli kütleye kok kömürü; kömürün kok haline gelmesi olayına ise koklaşma denilmektedir. Her kömür cinsi koklaşmaya elverişlidir. Genellikle taşkömürleri seviyesinde olgunlaşmış ve empirik olarak H/O oranı 0,59`a eşit veya bu değerden büyük kömürler ısı tesiriyle şişer ve koklaşırlar. Genellikle koklaşma olayında şu safhalar geçirilir: İlk safhada, 200 dereceye kadar hidroskopik su ve emilmiş CO_2, O_2, N_2 ve CH_4 gibi gazlar elimine olur. İkinci aşamada, 200 derecenin üstünde kömürün bünye suyu çıkar. Üçüncü aşamada, 300 derece civarında çeşitli ürünlerin atılmasıyla birlikte yumuşama başlar. Dördüncü aşamada, 350 derece dolaylarında yumuşama son safhaya varır. Son aşamada ise; 425-550 derece arasında ısıtma hızına bağlı olarak malzeme tekrar katı hale dönüşür.

Sıcaklığın 500 derece civarına kadar artırılması ile gerçekleştirilen bir koklaşmada, 1 ton taşkömüründen yaklaşık olarak 400 metreküp gaz, 350 kg kok, 45 kg katran, 2,5 kg amonyak ve 10 kg benzol elde edilmektedir.

Koklaşma sırasında çıkan gazdan hava gazı elde edilir(İRİCAN, 2005).

2.5. Kömür Petrografisi

2.6.1. Kömürlerin Makropetrografik Bileşenleri

Kömürler, makroskobik olarak, yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Bu karakteristik bantlar onların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi gösterir. Çıplak gözle görülebilen bu bantlı bileşenlere litotip denilir. Uluslar arası Kömür Petrografisi Komitesi tarafından kabul edilen Stopes Heerlen sistemine göre taşkömürleri vitren, klaren, düren ve füzen olmak üzere dört ayrı litotip içerir(Çizelge 2.7).

2.6.1.1. Vitren(Vitrain)

Kompakt ve homojen bir yapıda ve en parlak kömür tipidir. Cmsı görünüşte, konkoidal küpler şeklinde kırılır, eli boyamaz. Bantların kalınlığı genellikle 3-5 mm arasındadır.

2.6.1.2. Klaren(Klarain)

Vitrene göre daha az parlak, kompakt ve parlaklığı vitren/duren oranına göre değişen kömür tipidir. Bantlaşma yüzeylerine dik, çok sayıda çatlakları olan bir kömür bantıdır. Hümik kömürlerin en yaygın yapısıdır.

2.6.1.3. Düren(Durain)

Mat siyah veya kahveringimsi siyah renkte, masif bir kömür tipidir. Çok serttir, kırıldığında düzgün yüzeyler içermeyen taneler halinde ayrılır. Vitren ve klarenden daha ender olarak bulunur.

2.6.1.4. Füzen(Fusain)

Odun kömürünü andıran ipliksi yapısı, siyah ve grimsi siyah rengi, kırıldığında eli boyayan, çok kırılgan ve toz haline gelebilen bir banttır. İçerdiği minerallerden dolayı sertlik kazanabilmektedirler(ÖZPEKER, 1991).

2.6.2. Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcıları

Kömürler, ince kesitleri veya parlak kesitleri yardımıyla mikroskopta incelendiğinde, farklı organik bileşenlerden maseral ve bileşenlerin toplanması sonucu oluşmuş bantlardan mikrolitotip meydana gelmiş olduğu görülür. Maseraller, sonlarına init takısı alır ve vitrinit, liptinit ve inertinit olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

2.6.2.1. Vitrinit

Vitrinit grubu, çoğu kömürlerin en önemli bileşenidir. Bitkilerin kök, gövde ve yapraklarından oluşur ve bunlar; odun, periderm, yaprak mesofil dokularını ve bazı hücre dokularını içermektedir.

Mikroskopta vitrinit, daha koyu renkli liptinit ve daha açık renkli inertinite göre gri renkli olarak görülmektedir. Vitren bantlarında, odunsu dokulardan oluşan vitrinit, jelleşmiş kalın bantlar şeklinde görülmektedir ve bunlar telokollinit olarak bilinmektedir. Daha küçük

Çizelge 2.7. Taşkömürlerinin Petrografik Bileşenleri(ÖZPEKER, 1991).

Makroskobik bileşenler	Mikroskobik bileşenler		
Litotipler bantlı bileşenler	Maseral	Maseraller Maseral grup	Mikrolitotip grup
Vitrain(parlak kömür)	Kollinit Telinit Vitrodetrinit	Vitrait	Vitrit
Fusain(taşıl odun kömürü)	Makrinit Mikrinit Semifusinit Fusinit Eklerotinit İnertodetrinit	İnertinit	Vitrinit İnertit
	Kütinit Resinit Sporinit Alginit Liptodetrinit	Eksinit(Liptinit)	Liptit
Klarain(yarı parlak) Durain(mat kömür)	Tüm maseralleri kapsar		Klarit Durit Duraklarit Klarodurit Vitrinertoliptit

parçalanmış bitki dokularından oluşan diğer vitrinitler, desmokollinit olarak bilinir ve bunlar diğer maseral ve minerallerle karışım halindedirler. Desmokollinit klarenlerin tipik üyesidir ve çoğunlukla aynı kömürde telokollinitten daha koyu renkte görülür.

2.6.2.2. Liptinit(eksinit)

Spor-polen, reçine, yağ, mum, alg, bitüm, süberin ve kütinlerden türemiştir. Diğer iki maseral grubuna göre; daha yüksek hidrojen ve uçucu madde içeriğine, daha düşük yoğunluğa, yansıtmaya ve karbon içeriğine sahiptir. Yansıyan ışıkta koyu renkte gözükürler. Mavi ışık veya ultraviole ışıkta gösterdikleri floresans renkleriyle, minerallerden kolayca ayırt edilirler. Liptinitlerin ayırt edici özelliklerinin çoğu, yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde kaybolmaktadır(KURAL, 1998).

2.6.2.3. İnertinit

Aynı kömürde, diğer iki maseral grubundan daha yüksek yansıtma değerine, karbon içeriğine ve daha az uçucu madde ve hidrojen içeriğine sahiptir. Bu maseral grubu daha ziyade bataklık ortamında oksitlenmiş veya yanmış organik maddelerden meydana gelmiştir. Parlak kesitlerde beyaz veya çok açık gri olarak görülür. Koklaştırmada kömürde bir miktar inertinit bulunması, kokun sağlamlığını artırdığı için, koklaşan kömür içinde inertinit bulunması istenir.

2.6.3. Mikrolitotipler

Kömür maserallerinin mikroskopik ölçekteki toplanması sonucu mikrobantlar oluşur ve bunlar mikrolitotip olarak isimlendirilirler. Mikrolitotipler sonlarına -it takısı almakta ve tek, iki ve üç maseralli olmalarına ve maserallerin minerallerle olan ilişkilerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Çizelge 2.8`de mikrolitotiplerin sınıflandırılması verilmektedir(KURAL, 1998).

2.6.4. Mineraller

Çoğu kömür, tümüyle organik madde içermez ve bir miktar mineralle birlikte bulunur. İnorganik materyal, belirli kristal yapısı olan katılar, boşluk suyu içerisinde çözünmüş tuzlar veya kömürün içerisinde bulunan organometalik bileşiklerdir. Bitümlü kömürlerde bulunan mineraller, silikatlar(kil mineralleri, kuvars, kalsedon, feldspat ve turmalin), karbonatlar(kalsit, dolomit, siderit, aragonit, ankerit, davsonit, stransiyonit), sülfitler(pirit, markasit, sfalerit, galen), sülfatlar(jips, barit, anhidrit, bassanit), diğer mineraller(apatit, anataz, rutil, hematit, götit ve zirkon) şeklinde gruplara ayrılabilir. Minerallerin bir kısmı kömür içerisinde makroskobik olarak görülebilen bantlarda, mercekleri ve yumruları ile diğer bir kısmı da çatlak kırıklarda ve eklem yüzeylerinde görülmektedir.

Kuvars çoğu kömürde yaygın olarak bulunur. Kilce zengin bantlar içerisinde, detritik, köşeli kuvarsa sıkça rastlanmaktadır. Buna karşın kimyasal çökelme ile turbalaşma sırasında, kömür içerisindeki hücre boşluklarında veya minerallerin çatlak-kırıklarında kalsedon şeklinde oluşabilmektedir(KURAL, 1998).

Çizelge 2.8. Bitümlü Kömürlerin Mikrolitotipleri(KURAL, 1982).

Mikrolitotipler	Bileşim(%)
Tek Maseralli Mikrolitotipler	
Vitrit	Vitrinit(V), >%95
Liptit	Liptinit(L), >%95
İnertit	İnertinit(İ), >%95
İki Maseralli Mikrolitotipler	
Klarit	V+L, >%95
Vitrinertit	V+I, >%95
Dürit	I+L, >%95
Üç Maseralli Mikrolitotipler	
Düroklarit	V>I+L (Her biri en az ≥%5)
Vitrinertoliptit	L>I+V (Her biri en az ≥%5)
Klarodürit	I>V+L (Her biri en az ≥%5)
Karbomineritler	
Karbarjilit	Kömür+hacimce %20-60 kil mineralleri
Karbopirit	Kömür+hacimce %5-20 demir sülfit mineralleri
Karbankerit	Kömür+hacimce %20-60 karbonat mineralleri
Karbosilisit	Kömür+hacimce %20-60 kuvars
Karbopoliminerit	Kömür+hacimce %20-60 değişik mineraller

2.6.5. Kömürün Diğer Bazı Özellikleri

2.6.5.1. Kömürün Nem İçeriği

Ocak çıkışında, taşkömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60,turbalar ise %60`ın üzerinde rutubet içerirler. Kömürün içerdiği nem miktarı kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır.

Nem kömürde iki şekilde bulunur. Bunlar, bünye nemi ve kaba nemdir.

Kömürün toplam nem içeriği ya tuvenan ya da havada kuru numune kullanılarak hesaplanır.

2.6.5.2. Kömürün Uçucu Madde İçeriği

Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve kömürden, çoğunluğu hidrojen, karbon monoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlardan oluşan katran buharları ve karbondioksit ile su buharı gibi yanmayan gazlarda içeren "uçucu madde" çıkışı olur. Kaba ve bünye nemleri uçucu maddeye dahil edilmez. Değişik yaşlardaki kömürlerin uçucu maddelerinin bileşimleri ve miktarları da önemli farklılıklar gösterir. Kömürün yaşı arttıkça içerdiği uçucu maddenin miktarı ve uçucu madde içerisindeki yanmayan gaz miktarı azalır.

2.6.5.3. Kömürün Külü

Kömür yandığında kalan külün kaynağı içerdiği mineral maddelerdir. Kömürün mineral maddesi ile külü, ne içerik ne de miktar bakımından aynı değildir.
Külün kökeni kömürün içerdiği mineral maddeler olduğundan, özellikleri mineral maddenin bileşimine ve oksidasyonun gerçekleştirildiği şartlara bağlıdır.

2.6.5.4. Kömürün Sabit Karbon İçeriği

Nemsiz külün sabit karbon içeriği, uçucu madde ve kül yüzdelerinin toplamının 100`den çıkarılması ile bulunur.

2.6.5.5. Kömürün Karbon ve Hidrojen İçeriği

Karbon ve hidrojen kömürde hem organik hem de anorganik yapıda bulunur.

2.6.5.6. Kömürün Azot İçeriği

Kömürdeki azotun, bitkisel veya hayvansal proteinler, azotça zengin bakteriler, bitki alkoloidleri ve klorofilden kaynaklandığı genellikle kabul edilmektedir(KURAL, 1998). Kömürün içerdiği azotun tamamı organik yapıdadır.

Yakıtların azot içerikleri yaşlarıyla düzgün bir değişim göstermez. Genellikle, bitümlü kömürlerin azot içerikleri kahverengi kömürlerinkinden fazladır.

Aynı yaştan, aynı bölgeden ve hatta aynı damarın kesitinden alınan kömür örneklerinin azot içerikleri geniş aralıklarla değişmektedir.

2.6.5.7. Kömürün Oksijen İçeriği

Kömürün oksijen içeriğinin doğrudan saptanması oldukça zordur. Çünkü oksijen kömürün içerdiği minerallerde anorganik, organik yapı içinde ise organik bileşikler halinde ve ayrıca da rutubet içerisinde bulunmaktadır.

2.6.5.8. Kömürün Isıl Değeri

Kömür yandığı zaman ısının açığa çıkması, içerdiği karbon ve hidrojen bileşiklerinin oksitlenmesi sonucudur. Katı bir yakıtın ısıl değeri, birim ağırlıktaki yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı biriminin sayısıdır. Yaygın olarak kullanılan ısıl değer birimleri şunlardır: Btu/lb, cal/g veya kcal/kg, kj/kg veya Mj/kg`dır.

Bir kömürün ısıl değeri, türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Kömürün ısıl değeri yaşına bağlı olarak değişir. Genç kömürlerin ısıl değeri düşüktür. Çünkü oksijen ve rutubet içerikleri fazladır(Kural, 1991).

2.6.5.9. Kömürün İçerdiği Kükürt Türleri

Kükürt, kömürde inorganik ve organik yapıda olmak üzere iki ayrı türdedir. İnorganik kükürdü, sülfat ve piritik kükürt; organik kükürdü ise kömürün hidrokarbon yapısıyla bağ yapmış kükürt bileşikleri oluşturmaktadır. Kömürde eser miktarda elementel kükürt de bulunmaktadır(Kural, 1998).

3. DÜNYADA MEVCUT DURUM

3.1. Kömür Rezervleri

Dünya kömür rezervlerinin kıtalar ve kömür türleri itibariyle dağılımı 1998 yılı değerleriyle çizelge 3.1`de verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi 992.012 milyon tonluk dünya kömür rezervinin %51,36`sı antrasit ve bitümlü kömüre, %48,64`ü linyit ve alt-bitümlü kömüre aittir(DPT, 2001).

Çizelge 3.1. Kıtasal Bazda Dünya Kömür Rezervleri(DPT, 2001).

Kıtalar	Antrasit ve Bitümlü Kömür(milyon ton)	Altbitümlü-Linyit (milyon ton)	Toplam
Avrupa	41.643	88.190	129.833
Kuzey Amerika	116.707	139.770	256.477
Orta ve G. Amerika	7.839	13.735	21.574
Eski SSCB	97.476	132.702	230.178
Afrika ve Ortadoğu	61.355	250	61.605
Asya Pasifik Ülkeleri	184.450	107.895	292.345
DÜNYA	509.470	482.542	992.012

4. TÜRKİYE KÖMÜR POTANSİYELİ

Türkiye`nin genel olarak dünya enerji kaynakları rezervi oldukça düşüktür. Türkiye`de en fazla rezerv yaklaşık 8,2 milyar ton ile düşük kaliteli linyit kömüründe bulunmaktadır. Linyit dışında Zonguldak yöresinde 1 miyar ton civarında kaliteli taşkömürü rezervi bulunmaktadır. Toplam kömür rezervimiz dünya rezervinin binde birinden azdır.

4.1. Taş Kömürü

Ülkemizde taşkömürü Zonguldak havzasında bulunmakta ve mevcut rezervi 1 milyar ton olup bunun 450 milyon tonu görünür durumdadır. Havzada üretilen taşkömürü koklaşır ve koklaşamaz olmak üzere iki ayrı kalitededir. Taşkömürüne talep, demir çelik fabrikalarında tüketilmek üzere kok üretiminde, ısınma ve sanayi sektöründe ve elektrik üretmek üzere termik santrallerde olmaktadır. Elektrik üretiminde 2005 yılından sonra ithal taşkömürü ile çalışan yeni termik santrallerin hizmete alınacağı da tahmin edilmektedir.

4.2. Linyit, Asfaltit, Bitümlü Şist ve Turba

2000 yılı verilerine göre 8,2 milyar ton linyit, 1,3 milyar ton bitümlü kömür, 81 milyon ton asfaltit ve 200 milyon ton turba rezervi bulunmaktadır. Türkiye`nin hemen hemen her bölgesinde linyit oluşumlarına rastlanmaktadır. En büyük rezerv 3,4 milyar ton ile Elbistan`da bulunmaktadır. Diğer büyük rezervler Orta ve Kuzey Batı Anadolu ve Ege bölgesindedir. Linyit rezervlerinin %13`ünün alt ısıl değeri 3000 kcal/kg üzerinde ve bunun sadece %4,3`ü 4300 kcal/kg`ın üzerindedir. Diğer taraftan %58`lik kısmı ise 1200 kcal/kg`ın altındadır. 2000 yılı linyit üretimi 64,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir ve bunun yaklaşık olarak %85`i Türkiye Kömür İşletmeleri(TKİ) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye`de üretilen linyit kömürünün enerji hammaddesi olarak ekonomik değeri 2 milyar $/yıl dır. Linyit kömürünün elektrik üretimindeki oranı ise %34 gibi önemli bir seviyededir.

Kömür gibi termik santral yakıtı olarak veya damıtma yoluyla sentetik petrol üretimi için kullanılabilen ve tamamı Anadolu`nun batı yarısında yer alan Beypazarı, Seyitömer, Göynük, Ulukışla, Mengen, Bahçecik ve Buhaniye`, deki 7 sahada tespit edilen bitümlü şist

ise yaklaşık 11,1 milyar ton rezerve sahiptir. Ortalama kalorifik değer 1000 kcal/kg seviyesindedir.

Ülkemizde şimdiye kadar yapılan çalışmalarda 19 ilimiz sınırları içerisinde çeşitli büyüklüklerde turba oluşumları belirlenmiştir. Turbalar tarımsal amaçlı kullanıldığı gibi enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Ülkemiz orijinal bazda görünür rezervi 200 milyon ton olup enerji üretiminde kullanılması ekonomik görünmemektedir(TUNCER ve ESKİBALCI, 2003).

5. 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 `nin 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(KEMAL, 1987).

5.1. 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 1.8 g/cm^3 yoğunluğa kadar ağır sıvı yapılabilmektedir. Bunun üzerindeki yoğunluklarda karbontetraklorür-bromoform 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 kullanılmaktadır(ÖNAL ve DİĞERLERİ, 1998).

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

5.2. Kömür Yıkama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1. Yıkama Eğrileri

Kömür yıkama eğrileri beş tanedir. Bunlar; yüzen eğrisi(kömür eğrisi), batan eğrisi(şist eğrisi), yoğunluk eğrisi, parça kül eğrisi, ± 0,1 yoğunluk yıkama eğrisi(dağılım eğrisi) dır.

Yıkama eğrilerinden yaralanılarak 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 ± 0,1 yoğunluğundaki malzeme eğrilerinin görünümlerinden 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 gidiyorsa yani eğimleri dik ise bu yıkamanın zor olacağını göstermektedir(Ünlü, 1992). Bu üç eğrinin oluşturdukları düzlükler ayırımın yapılabileceği yoğunluk aralığını göstermektedir. Bu aralıkta ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı en azdır ve ayırma kolay olmaktadır. Çizelge 5.1`de ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre ayırma kolaylığını göstermektedir(ÜNLÜ, 1990).

Çizelge 5.1. Ayırma Yoğunluğuna Yakın Malzeme Miktarına Göre Kömürün Yıkama Kolaylığı(ÜNLÜ, 1990).

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

5.1.2. Yıkanabilme Derecesi

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 yanı sıra, bir tüvenan kömürün yıkama öncesinde kırılması gerekli üst tane boyutunun ve yıkama prosesinin seçiminde yardımcı olmaktadır. Çizelge 5.2`de yıkanabilme numaralarına göre üst tane boyutu ve yıkama prosesi seçiminin ne olabileceği verilmiştir.

Yıkanabilme derecesi ve numarası bağıntıları aşağıda verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$N=(a-b/a)\ X\ w$

$W_N=(Nopt/bopt)\ X\ 10$

Burada;

N= Yıkanabilme derecesi(%)

w = Temiz kömür miktarı(%)

a = Tüvenan kömür külü(%)

b = Temiz kömür külü(%)

W_N = Yıkanabilme numarası

Nopt = Optimum yıkanabilme derecesi(%)

Bopt = Optimum yıkanabilme derecesindeki temiz kömür külü(%)

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

Çizelge 5.2. 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	250–75 mm arasında herhangi bir tane boyutu	+ 0,5 mm kömür için Baum jig veya + 5 mm 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 feldispat 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 aşağısı	

5.3. Önceki Çalışmalar

Abakay (2001); Diyarbakır-Hazro yöresinde alt bitümlü kömür yatağında bulunan, üst kömür damarı ve alt kömür damarının yıkanabilme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yüzdürme batırma deneyi yapmıştır. Buna göre; 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 çıkarılmıştır. Alt kömür damarının yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde ise; üst kömür damarına kıyasla daha kötü bir yıkama özelliğine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Kömürün yıkanabilme numarası 7,16 bulunmuştur. Bu yıkama numarasına göre kömürün uygulamada kırılabileceği üst tane boyutu 9 mm `nin altında olup yıkama prosesi olarak + 0,5 mm kömür için ağır ortam siklonu kullanılabileceği belirtilmiştir.

Arslan ve Çiçek (1998); Hüstaş tarafından üretilen Eynez köyü kömür ocağından üretilen kömürün ağır ortamda yıkanma şartlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bu kömürlerin 1,6 g/cm^{3}`den yukarı yoğunluklarda yıkmaya 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 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; laboratuar 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. Laboratuarda, - 50 + 15 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.

Cebeci ve arkadaşları (1996); Yozgat- Ayrıdam linyitlerine elle ayıklama, ağır ortam, jig, sallantılı 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.

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 (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 ortaya konulmuştur.

Kaytaz ve arkadaşları (1992); Çayırhan Bölgesi kömürlerinin yapısal özelliklerini belirleyerek elle ayıklama, yüzdürme- batırma, jig ve sallantılı 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 % 30,60 oranında % 75,85 kül içeren artık elde edilmiştir. Temiz kömür (5053 kcal/kg) ev yakıtı ve sanayide kullanılabilecek, ara ürün (3100 kcal/kg) termik santrallerde yakılabilecek ve artık (850 kcal/kg) ise atılabilecek nitelikte ürünler elde edilmiştir.

Kaya (2005); yüksek kükürt içerikli Artvin/Yusufeli kömüründen kükürt giderimini hidrojen peroksit ve sülfürik asit çözeltileri ile incelemiştir. Piritik kükürt gideriminde %

97,85, toplam kükürt gideriminde % 56,54, organik kükürt gideriminde %21,33 ve kül gideriminde ise % 61,52 maksimum verim elde edilmiştir.

Keskin ve Çuhadaroğlu (1994); Merzifon yöresi linyit kömür ocaklarının taban damar kömürünün yakanabilirlik özelliğini araştırmışlardır. Kömürün gerek fiziksel özellikleri gerekse ± 0,10 düzeyinde farklı yoğunlukta malzeme miktar dağılımını belirleyen eğrideki verilere göre zenginleştirme yöntemi olarak jig yöntemi kullanılmıştır.

Önal ve arkadaşları (1998); 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 ıslatılıp 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. Kil katmanlarını pek içermeyen orta kat numunesini ise elemenin yeterli olacağı ve numune 3.36 mm elek açıklıklı elekten elendiğinde elek üstü olarak ağırlıkça verim % 90,7, yanabilir verim % 95,5 ve kül içeriği % 17,05 olan lave elde edilmiştir.

Toroğlu (1990); Amasya 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.

6. MALZEME VE YÖNTEM

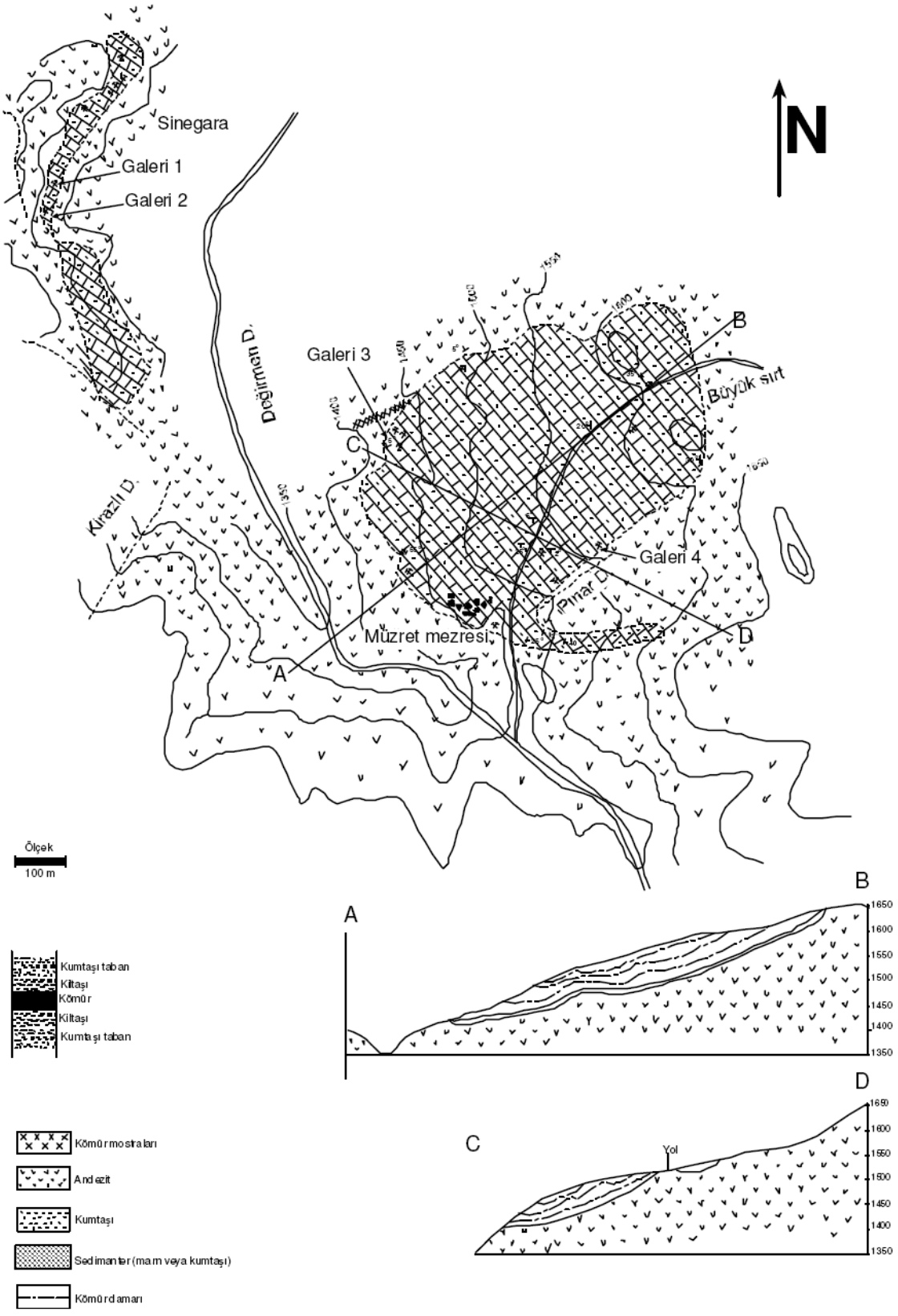
6.1. Kullanılan Numune

Numuneler, Artvin ilinin Yusufeli ilçesindeki bir kömür ocağından alınmıştır. Kömür ocağı Artvin iline bağlı Yusufeli ilçesinin 10 km güney batısında bulunmaktadır(Şekil 6.1).

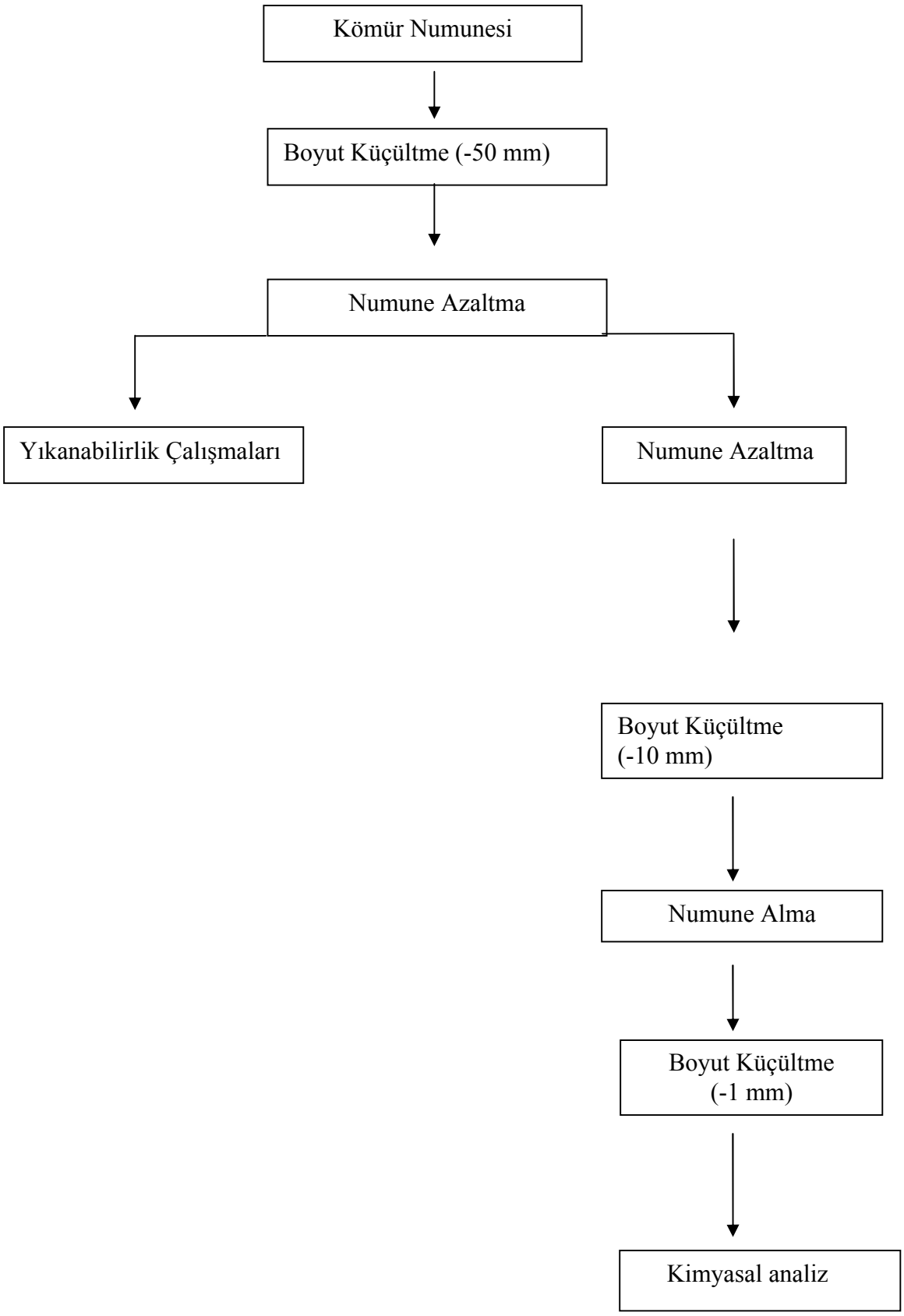


Şekil 6.1. Artvin/Yusufeli Haritası (ALP ve ARKADAŞLARI, 2004)

Sahada kömür kalınlıkları 0,5-3 m arasında değişen ve aralarında kiltaşı seviyeleri bulunan 3 damar halinde bulunmaktadır. Tabanda kil taşı tabakaları ve tavanda ise tüf-kumtaşı karakterli tabakalar bulunmaktadır(Şekil 6.2). Kömürlü zonun toplam kalınlığı 15 m kadardır(ALP ve DİĞERLERİ., 2004). Bölgede yaklaşık 250.000 ton kömür rezervinin olduğu tahmin edilmektedir(Gökmen v.d., 1993). Kömürlü seviyenin üzerinde 15-50 m arasında değişen örtü tabakası bulunmaktadır(ZENGİN, 1955).



Şekil 6.2. Sahanın Jeolojik Haritası (ZENGİN, 1955).



Şekil 6.3. Laboratuarda Uygulanan Numune Hazırlama Akım Şeması.

6.2. Yöntem

6.2.1. Kimyasal Analiz

Kömür numuneleri üzerinde aşağıdaki analizler yapılmıştır.

a) Nem Analizi :

1- Kaba Nem Tayini:

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

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. 105ºC`de etüvde 2 saat bekletilen kömür numunesi etüvden çıkarılarak yeniden tartılır. Son ağırlık ile ilk ağırlık arasındaki farkın yüzdesi ilk ağırlığa bölünerek bünye nemi tespit edilir(SEVİNÇ, 1997).

Kaba neme bünye nemi eklenerek kömür numunesinin toplam nemi hesaplanır.

b) Kül analizi

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

% Kül = a/b X 100

a = Kalan kül ağırlığı

b = Kömür numunesinin ağırlığı

c) Uçucu Madde Analizi:

ASTM 3174 standardına göre öğütülmüş kömür numunesinden 1 gram alınır ve 900ºC`de 7 dakika fırında bekletilmiş porselen krozenin içine bırakılır. Kömür numunesi önce açıkta yakılır. Sonra 800ºC`deki fırında 7 dakika bekletilir. Fırından çıkarılır desikatörde soğutulur tartımı alındıktan sonra aşağıdaki formüle göre uçucu madde oranı hesaplanır(SAYDUT, 1999).

% Uçucu Madde = b-a/b X 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:

Kömür numunesinin kükürt türlerinin tayini Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü maden analizleri ve teknolojisi dairesinde yaptırılmıştır.

f) Isıl Değer Analizi:

Kömür numunesinin kalori değerinin tayini, Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuarlarında yapılmıştır.

g) XRD ve Kömür külü Analizi:

Kömür numunesinin XRD ve Kömür külü analizi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü maden analizleri ve teknolojisi dairesinde yaptırılmıştır.

6.2.2. Petrografik Analiz

Kömür numunelerinin petrografik analizi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü maden analizleri ve teknolojisi dairesinde yaptırılmıştır.

6.2.3. Kırma - Eleme

Kömür numunesi aşırı ufalanma eğiliminde olduğu için kırma işleminde çekiç kullanılmıştır. Çekiç yardımıyla kömür numunesi – 50 mm nin altına kırıldı. Numune azaltma yöntemleri kullanılarak oluşturulan sınıflandırma numunesi 50 mm, 20 mm, 4,75 mm ve 0,5 mm elekler kullanılarak eleme yapıldı.

6.2.4. Öğütme – Eleme

Kimyasal analizler için numuneler halkalı öğütücüde 0,2 mm`nin altına indirilmiştir.

6.2.5. Yüzdürme – Batırma

Kömür numunelerinin yüzdürme – batırma işlemleri; - 50 + 20 mm, - 20 + 4,75 mm ve – 4,75 + 0,5 mm boyut gruplarında 10 litrelik kovalarda $ZnCl_2$ çözeltilerinde yapıldı. $ZnCl_2$ belirli miktarda suda çözündürülerek 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1,9 ve 2,00 g/cm^3 yoğunluklu çözeltiler

hazırlandı. Numuneler öncelikle 2,00 g/cm^3 yoğunluktaki çözeltiye konup bu yoğunlukta yüzen malzeme süzgeçlerle alınarak 1.3 g/cm^3 yoğunluktaki çözeltiye kadar devam edildi. Numuneler su ile yıkanarak kömür yüzeyindeki $ZnCl_2$ giderildi. $ZnCl_2$ `den arındırıldı, kurutularak tartıldı ve daha sonra kül analizleri yapıldı(ABAKAY, 2001).

7. ARAŞTIRMA BULGULARI

7.1. Analiz Sonuçları

7.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Çizelge 7.1. Artvin – Yusufeli Kömürünün Kimyasal Analiz Sonuçları

Analiz Edilen Bileşen	Havada Kuru Kömür	Tam Kuru Kömür
Kaba Nem (%)	0,1	-
Bünye nemi (%)	0,6	-
Toplam nem(%)	0,7	-
Kül (%)	22,10	22,30
Sabit Karbon (%)	58,90	59,19
Uçucu Madde (%)	18,30	18,54
Kalori (kcal/kg)	6386	6412
Pritik Kükürt (%)	2,31	-
Sülfat Kükürtü (%)	0,32	-
Organik Kükürt (%)	1,73	-
Toplam Kükürt(%)	4,36	-
Karbon(%)	70,0689	-

7.1.2. Petrografik Analiz Sonuçları

Artvin – Yusufeli kömürünün Rmax değeri % 2,813 olarak ölçülmüş antrasit kömürleşme derecesinde organik madde, kil mineralleri, kuvars ve çok miktarda piritten oluşmaktadır.

7.1.3. Kömür Külü Analizi Sonuçları

Çizelge 7.2`de Artvin Yusufeli kömürüne ait külün bileşenleri ve miktarları verilmiştir.

Çizelge 7.2. Artvin Yusufeli kömürü Külü Analiz Sonuçları

Bileşen	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	SO_3
Miktarı	0,3	0,7	24,3	36,4	<0,1	1,7	3,1	1,0	<0,1	25,6	2,5

7.1.4. Elek Analizi Sonuçları

Çizelge 7.3`de yüzdürme batırma deneylerinde kullanılan numunenin elek analizi sonuçları ve her bir tane fraksiyonunun kül değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.3. Elek analizi Sonuçları

Kömür Tane Boyutu(mm)	-50+20	-20+4,75	-4,74+0,5	Toplam
Ağırlık (gr)	1855	1488	882	4225
Ağırlık (%)	43,90	35,21	20,87	100
Kül (%)	25,52	23,24	20,46	23,66
Toplam Kükürt (%S)	4,13	4,38	4,98	4,37
Kalori (Kcal/kg)	6410	6312	6326	6389

7.1.5. Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Artvin-Yusufeli kömürünün yıkanabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla -50+20, -20+4,75, -4,45+0,5mm boyut aralığındaki numuneler üzerinde yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre oluşturulan tablolar çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4`de verilmiştir. Çizelgelerden hareketle her bir boyut aralığı için yıkanabilirlik eğrileri çizilmiştir. Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4`de yıkanabilirlik eğrilerini içeren grafikler verilmektedir.

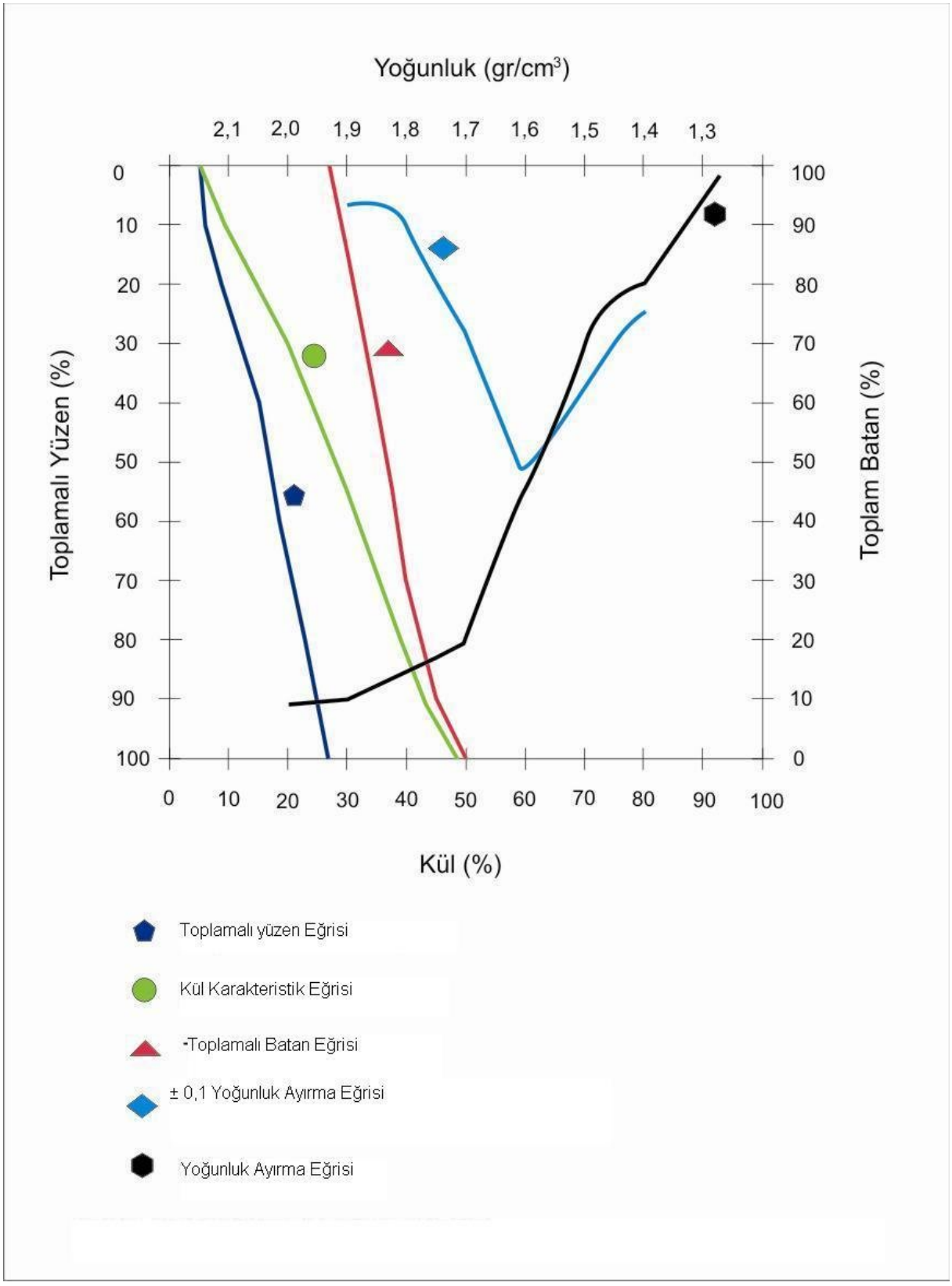
Çizelge 7.4. Artvin-Yusufeli Kömürü -50+20 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu

Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y*	±0,1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ. (A1)	% Kül	% İçerik	% Ağ.	%İçerik	% Kül	% Ağ.	%İçerik	%Kül		
1,3 Yüzen	2,85	4,90	13,96	2,85	13,96	4.90	100	2650,05	26,50	1,425	-
1,3-1,4	17,52	7,80	136,65	20,37	150,61	7,40	97,15	2636,09	27,13	11,61	24,68
1,4-1,5	7,16	17,72	126,87	27,53	277,48	10,07	79,63	2499,44	31,38	23,95	35,08
1,5-1,6	27,92	25,47	711,12	55,45	988,6	17,82	72,47	2372,57	32,73	41,50	51,69
1,6-1,7	23,77	33,13	787,50	79,22	1776,1	22,41	44,56	1661,45	37,28	67,33	27,43
1,7-1,8	3,66	37,61	137,65	82,88	1913,75	23,09	20,78	873,95	42,05	81,05	10,56
1,8-1,9	6,88	40,24	277,65	89,76	2191,4	24,40	17,12	736,38	43,00	86,33	7,76
1,9-2,00	0,86	42,18	36,27	90,62	2227,67	24,57	10,24	458,65	44,87	90,21	-
2 Batan	9,38	45,03	422,38	100	2650,05	26,50	9,38	422,38	45,12	95,33	-
Toplam	100										

* A1+A2/2

A1 = Yüzde ağırlık

A2 = Bir sonraki yoğunluğun yüzde ağırlığı



Şekil 7.1. Artvin-Yusufeli Kömürü -50+20mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

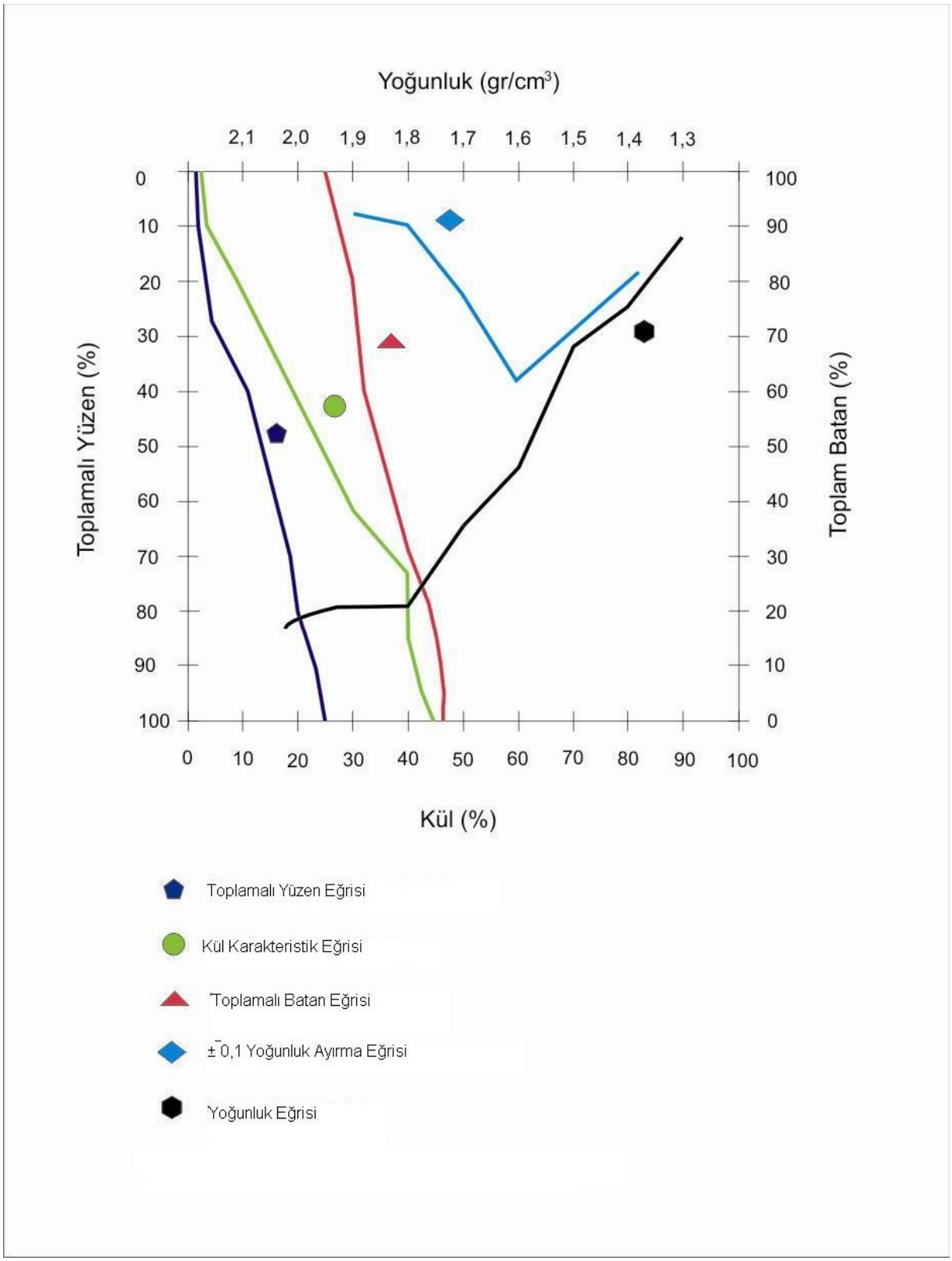
Çizelge 7.5. Artvin-Yusufeli Kömürü -20+4,75 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu

Yoğunluk	Yüzen Malda			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y*	±0,1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	% Ağ. (A1)	% Kül	% İçerik	% Ağ.	%İçerik	% Kül	% Ağ.	%İçerik	%Kül		
1,3 Yüzen	12,16	2,69	32,71	12,16	32,71	2,69	100	2453,75	24,53	6,08	-
1,3-1,4	12,30	6,82	83,88	24,46	116,59	4,76	87,84	2421,04	27,56	18,31	19,42
1,4-1,5	7,12	15,73	111,99	31,58	228,58	7.23	75,54	2337,16	30,94	28,02	29,43
1,5-1,6	22,31	22,54	502,86	53,89	731,44	13,57	68,42	2225,17	32,52	42,73	37,43
1,6-1,7	15,12	30,66	463,57	69,01	1195,01	17,31	46,11	1722,31	37,35	61,45	22,84
1,7-1,8	7,72	39,30	303,4	76,73	1498,41	19,52	30,99	1258,74	40,61	72,87	9,33
1,8-1,9	1,61	39,54	63,65	78,34	1562,06	19,93	23,27	955,34	41,05	77,53	6,65
1,9-2,00	5,06	40,14	202,30	83,40	1764,36	21,16	21,66	891,69	41,16	80,86	-
2 Batan	16,60	41,53	689,39	100	2453,75	24,53	16,60	689,39	41,47	91,68	-
Toplam	100										

* A1+A2/2

A1 = Yüzde ağırlık

A2 = Bir sonraki yoğunluğun yüzde ağırlığı



Şekil 7.2. Artvin-Yusufeli Kömürü -20+4,75mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

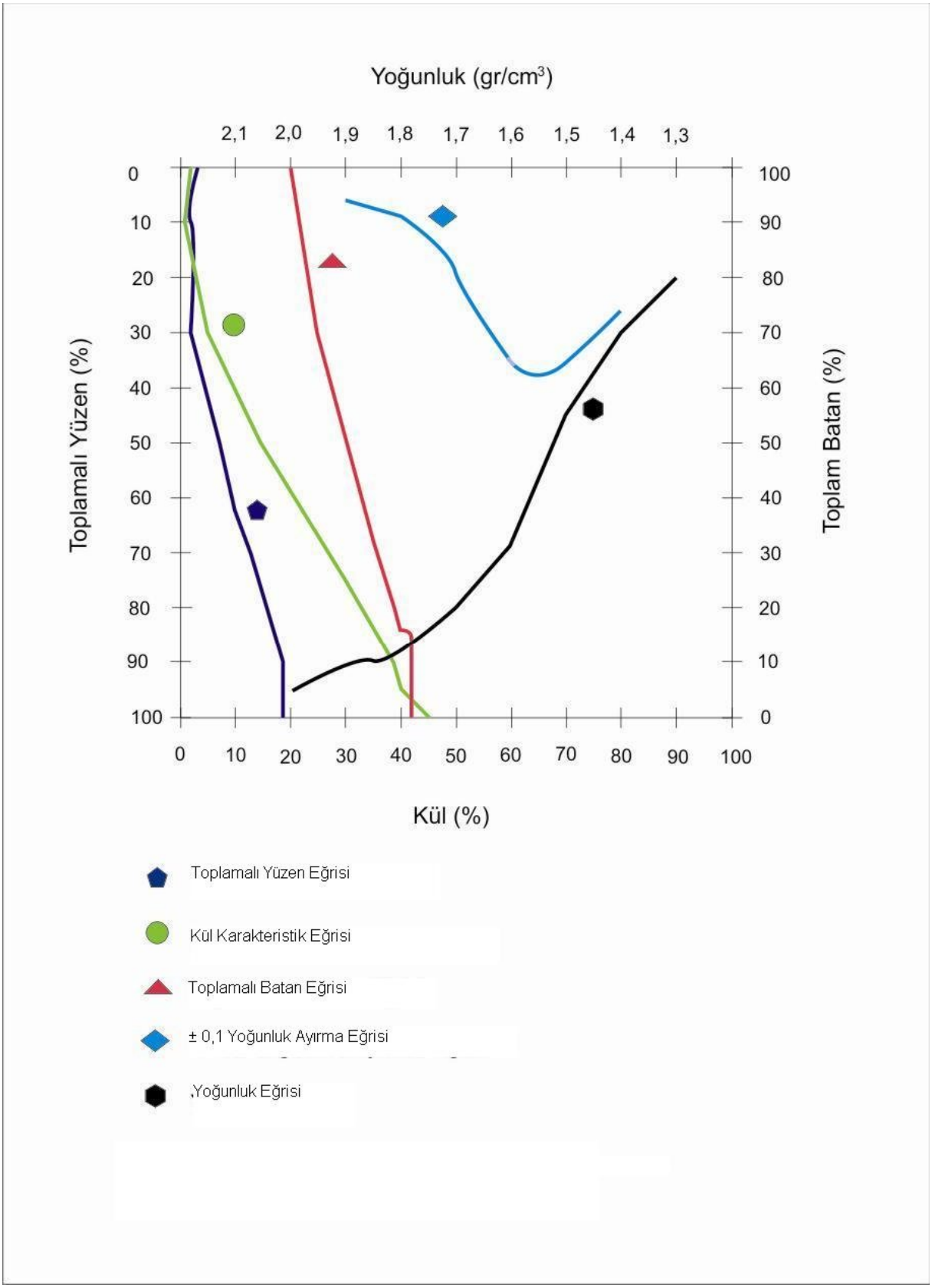
Çizelge 7.6. Artvin-Yusufeli Kömürü -4,75+0,5 mm Tane Boyutu Yüzdürme Batırma Değerlendirme Tablosu

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	21,76	2,18	47,43	21,76	47,43	2,18	100	1939,20	19,39	10,88	-
1,3-1,4	10,20	7,54	76,90	31,96	124,33	3,89	78,24	1891,76	24,17	26,86	22,44
1,4-1,5	12,24	14,04	171,84	44,20	296,17	6,70	68,04	1814,86	26,67	38,08	35,82
1,5-1,6	23,58	21,57	508,62	67,78	804,79	11,87	55,8	1643,02	29,44	55,99	35,59
1,6-1,7	12,01	29,91	359,21	79,79	1164	14,58	32,22	1134,4	35,20	73,78	19
1,7-1,8	6,46	35,62	230,10	86,25	1394,1	16,16	20,21	775,19	38,35	83,02	8,50
1,8-1,9	2,04	37,34	76,17	88,29	1470,27	16,65	13,75	545,09	39,64	87,27	6,00
1,9-2,00	3,96	39,20	155,23	92,25	1625,5	17,62	11,71	468,92	40,04	90,27	-
2 Batan	7,75	40,74	313,69	100	1939,20	19,39	7,75	313,69	40,47	96,10	-
Toplam	100										

* A1+A2/2

A1 = Yüzde ağırlık

A2 = Bir sonraki yoğunluğun yüzde ağırlığı



Şekil 7.3. Artvin-Yusufeli Kömürü -4.75+0,5mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

Çizelge 7.7. Değişik Boyut Grupları ile Yapılan Yüzdürme-Batırma Deneylerinin Girene Göre Değerleri ve Elde Edilen Lave Miktarları ve Yanabilir Verimleri.

Yoğunluk (g/cm3)	Tane Boyutu (mm)						TOPLAM		Yanabilir Verim(%)
	(-50+20)		(-20+4,75)		(-4,75+0,5)				
	Miktar(%)	Kül(%)	Miktar(%)	Kül(%)	Miktar(%)	Kül(%)	Miktar(%)	Kül(%)	
1,3 Yüzen	1,25	4,90	4,30	2,69	4,54	2,18	10,09	2,72	12,90
1,3-1,4	7,70	7,80	4,34	6,82	2,12	7,54	14,16	7,45	17,30
1,4-1,5	3,14	17,72	2,50	15,73	2,55	14,04	8,19	15,96	9,01
1,5-1,6	12,25	25,47	7,85	22,54	4,92	21,57	25,10	23,78	25,51
1,6-1,7	10,43	33,13	5,32	30,66	2,50	29,91	18,25	31,96	16,40
1,7-1,8	1,60	37,61	2,72	39,30	1,34	35,62	5,66	37,94	4,70
1,8-1,9	3,02	40,24	0,56	39,54	0,42	37,34	4,00	39,83	3,15
1,9-2,00	0,38	42,18	1,78	40,14	0,82	39,20	2,98	40,13	2,33
2 Batan	4,13	45,03	5,84	41,53	1,62	40,74	11,57	42,66	8,70
Toplam	43,90	25,52	35,21	23,24	20,89	20,46	100	23,65	100

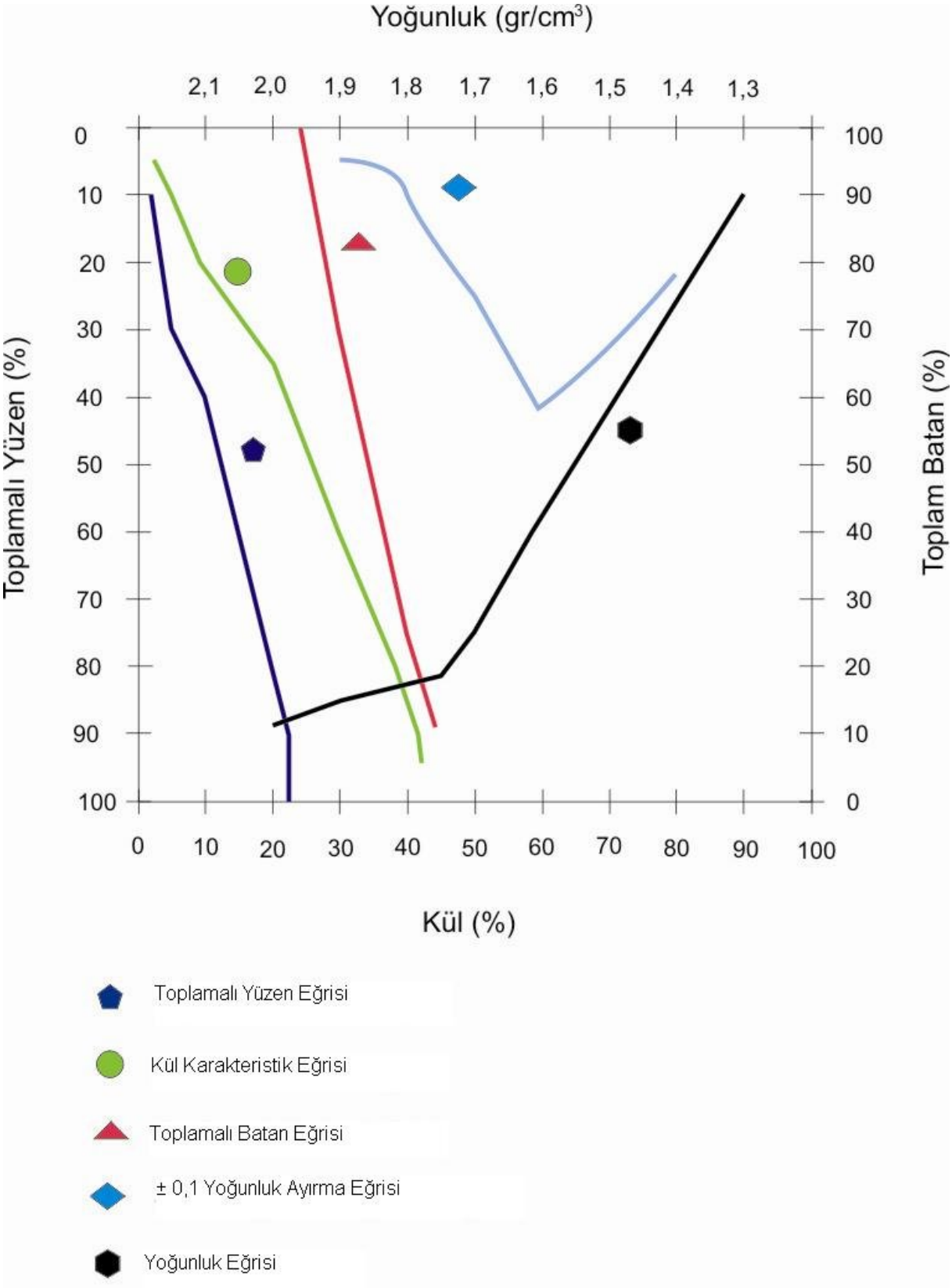
Çizelge 7.8. Artvin-Yusufeli kömürü -50+0,5mm Boyut Grubuna ait Yüzdürme-Batırma Deneyi Sonuçlarının Hesaben Birleştirilmiş Şekli

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	10,09	2,72	27,44	10,09	27,44	2,72	100	2496,09	24,29	5,04	-
1,3-1,4	14,16	7,45	105,49	24,25	132,93	5,48	89,91	2401,65	26,71	17,17	22,35
1,4-1,5	8,19	15,96	130,71	32,44	263,64	8,12	75,75	2296,16	30,31	28,34	33,21
1,5-1,6	25,02	23,78	594,97	57,46	858,61	14,94	67,56	2165,45	32,05	44,95	43,27
1,6-1,7	18,25	31,96	583,27	75,75	1441,88	19,04	42,54	1570,48	36,91	66,58	23,91
1,7-1,8	5,66	37,94	214,74	81,37	1656,62	20,35	24,29	987,21	40,64	78,54	9,66
1,8-1,9	4,00	39,83	159,32	85,37	1815,94	21,27	18,63	772,47	41,46	83,37	6,98
1,9-2,00	2,98	40,13	119,58	88,35	1935,52	21,90	14,63	613,15	41,91	86,86	-
2 Batan	11,65	42,66	493,37	100	2429,09	24,29	11,65	493,57	42,65	94,13	-
Toplam	100	23,65			2429,09						

* A1+A2/2

A1 = Yüzde ağırlık

A2 = Bir sonraki yoğunluğun yüzde ağırlığı



Şekil 7.4. Artvin-Yusufeli Kömürü -50+0,5mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Eğrileri

Artvin-Yusufeli kömürü üzerine yapılan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda her bir boyut için optimum ayırma yoğunluğunun 1,9 gr/cm^3 olduğu bulunmuştur. Bu yoğunlukta elde edilecek temiz kömür, artık miktarları, kül, kükürt ve kalori değerleri çizelge 8.1.`da verilmiştir.

Çizelge 7.9. Artvin-Yusufeli kömürünün 1,9 gr/cm^3 `de yıkanması sonucu elde edilecek artık ve temiz kömür miktarları ile kül, kükürt ve kalori değerleri.

Boyut Aralığı(mm)	Ürünler	Miktar (%)	Kül(%)	Kükürt(%S)	Kalori(Kcal/kg)
-50+20	Temiz Kömür	89,78	24,40	4,08	8476
	Artık	10,22	44,87	4,52	2013
	Toplam	100	26,49	4,12	6410
-20+4,75	Temiz Kömür	78,34	19,93	4,23	8327
	Artık	21,66	41,16	4,87	1482
	Toplam	100	24,52	4,36	6326
-4,75+0,5	Temiz Kömür	88,29	16,65	4,82	7524
	Artık	21,66	40,04	6,04	1965
	Toplam	100	19,38	4,96	6301

Yıkama numarası hesabı:

Çizelge 7.10. Kömür Numunesinin Yıkanabilme Numarası Hesabı

Yoğunluk Aralığı	%Ağırlık	%Kül	∑ %Ağırlık	% ağırlık X%Kül	∑ %Ağırlık X %Kül	∑ %Ağırlık X %Kül / ∑ %Ağırlık
1,3 Yüzen	10,09	2,72	10,09	27,44	27,44	2,72
1,3-1,4	14,16	7,45	24,25	105,49	132,93	5,48
1,4-1,5	8,19	15,96	32,44	130,71	263,64	8,12
1,5-1,6	25,02	23,78	57,46	594,97	858,61	14,94
1,6-1,7	18,25	31,96	75,75	583,27	1441,88	19,04
1,7-1,8	5,66	37,94	81,37	214,74	1656,62	20,35
1,8-1,9	4,00	39,83	85,37	159,32	1815,94	21,27
1,9-2,00	2,98	40,13	88,35	119,58	1935,52	21,90
2,00 Batan	11,57	42,66	100	493,37	2429,09	24,29
TOPLAM	100	23,65			2429,09	

N=(a-b/a) X w

W_N =(Nopt/bopt) X 10

Burada;

N= Yıkanabilme derecesi(%)

w = Temiz kömür miktarı(%)

a = Tüvenan kömür külü(%)

b = Temiz kömür külü(%)

W_N = Yıkanabilme numarası

Nopt = Optimum yıkanabilme derecesi(%)

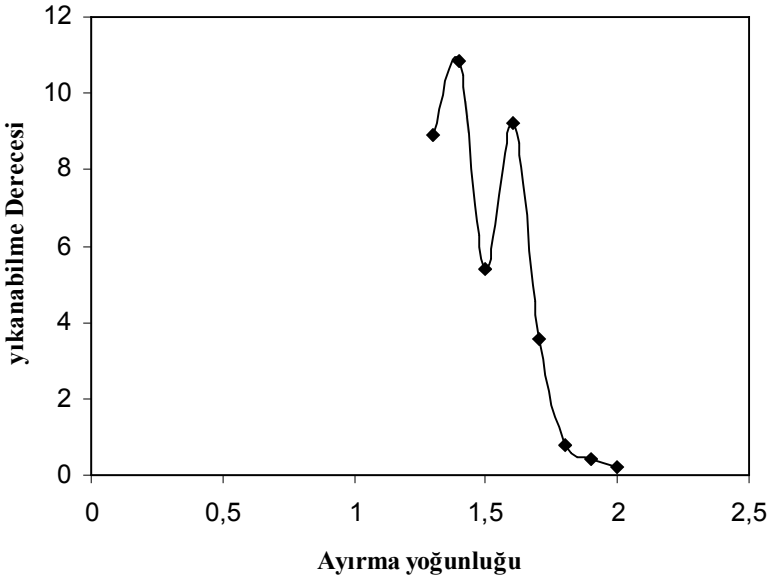
Bopt = Optimum yıkanabilme derecesindeki temiz kömür külü(%)

$W_{1.3}$ = 8,94 $W_{1,4}$ = 10,96 $W_{1,5}$ = 5,45 $W_{1,6}$ = 9,63 $W_{1,7}$ = 3,94 $W_{1,8}$ = 0,91 $W_{1,9}$ = 0,50

$W_{2,00}$ = 0,30

W_N = 10,96/5,48 X 10 = 20 (yıkanabilme numarası)

Şekil 7.5`de yıkanabilme derecesi eğrisi verilmiştir.



Şekil 7.5. Yıkanabilme Derecesi Eğrisi

Yıkanabilme numarasına göre(çizelge 5.2) üst tane boyutu 150-50 mm olup +15mm kömür için ağır ortam, -15mm tane boyutu için feldspat jigi ve 15-0,5 mm tane boyutu için ağır ortam siklonu uygundur.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Artvin-Yusufeli kömürü kuru bazda % 22.10 kül içeriği, 70,0689 karbon içeriği ve 6386 kcal/kg kalori değerine sahip olup ASTM standartlarına(çizelge 2.6) göre orta-uçuculu bitümlü kömürler sınıfına girmektedir.

Çizelge 7.4, 7.5, 7.6`de ±0,1 yoğunluk ayırma değerlerine baktığımızda kullanılan boyut aralıklarında 1,8 ve 1,9 g/cm$^3$ yoğunluklarında yıkama mümkün iken diğer yoğunluklarda ayırma imkansızdır. Sonuçlardan optimum ayırma yoğunluğu olarak 1,9 g/cm$^3$`ü seçilmiştir.

-50+0,5 mm boyut grubundaki kömürün optimum ayırma yoğunluğu olan 1,9 g/cm^3`de ağır ortam ile ayrılması durumunda (çizelge 7.8) %21,27 küllü temiz bir lave kömür, miktarca da %85,37 oranında elde edilmektedir. Yanabilir verim yaklaşık olarak %2,33`dür. Optimum ayırma yoğunluğunda yanabilir verim oldukça düşüktür.

Yıkama çalışmalarında kömür numuneleri suda ıslandığında çok fazla ufalanmaktadır. Bu gözlemden kömürün yıkama için yeterli parça sağlamlığına sahip olmadığı sonucuna varılabilir.

Tane boyutu küçüldükçe yıkanabilirlik olanakları kolaylaşmaktadır. İri boyutlarda yıkama oldukça zordur.

Yüzdürme-batırma deneyleri yapılan her bir tane boyutu için yıkanabilirlik eğrilerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 7.4`de görüldüğü gibi -50+20mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinde 1,4 g/cm$^3$`de yıkanması ile %7,40 küllü %20,37 temiz kömür, 1,5 g/cm^3`de yıkanması ile %10,07 küllü %27,53 temiz kömür, 1,6 g/cm$^3$`de yıkanması ile %17,82 küllü %55,45 temiz kömür, 1,7 g/cm^3`de yıkanması ile %22,41 küllü %79,22 temiz kömür, 1,8 g/cm$^3$`de yıkanması ile %23,09 küllü %82,88 temiz kömür, 1,9 g/cm^3`de yıkanması ile %24,40 küllü %89,78 temiz kömür ve 2 g/cm$^3$`de yıkanması ile %24,57 küllü %90,64 temiz kömür elde edilir.

Çizelge 7.5`de görüldüğü gibi -20+4,75mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinde 1,4 g/cm$^3$`de yıkanması ile %4,76 küllü %24,46 temiz kömür, 1,5 g/cm^3`de yıkanması ile %7,23 küllü %31,58 temiz kömür, 1,6 g/cm$^3$`de yıkanması ile %13,57 küllü %53,89 temiz kömür, 1,7 g/cm^3`de yıkanması ile %17,31 küllü %69,01 temiz kömür, 1,8

g/cm^3`de yıkanması ile %19,52 küllü %76,73 temiz kömür, 1,9 g/cm$^3$`de yıkanması ile %19,93 küllü %78,34 temiz kömür elde edilir.

Şekil 7.3`de görüldüğü gibi -4,75+0,5mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma testlerinde 1,4 g/cm$^3$`de yıkanması ile %3,89 küllü %31,96 temiz kömür, 1,5 g/cm^3`de yıkanması ile %6,70 küllü %44,20 temiz kömür, 1,6 g/cm$^3$`de yıkanması ile %11,87 küllü %67,78 temiz kömür, 1,7 g/cm^3`de yıkanması ile %14,58 küllü %79,79 temiz kömür, 1,8 g/cm$^3$`de yıkanması ile %16,16 küllü %86,25 temiz kömür ve 1,9 g/cm^3`de yıkanması ile %16,65 küllü %88,29 temiz kömür elde edilir.

KAYNAKLAR

ABAKAY, H., 2001. Diyarbakır Hazro Taş kömürünün Yıkanabilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.Ü. Maden Mühendisliği Böl., DİYARBAKIR.

ALP, İ., USLU, T., VICIL, M., YILMAZ, A.O., ve DEVECİ, H., 2004. Müzret (Yusufeli-Artvin) Kömürlerinin Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Ed: Aydın, H., ve ÇOLAK, K., ZONGULDAK.

ARSLAN, V., ÇİÇEK, T., 1998. Soma-Eynez Kömürünün Ağır Ortamla Yıkanma Şartlarının İncelenmesi, The Journal of Ore Dressing, 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, 185-200s.

ATEŞOK, G., 1986. Kömür Hazırlama, İTÜ, İSTANBUL, 190s.

BENTLİ, İ., 1993. Aydın Şahinali Yöresi 20-50mm Boyutlu Linyit Kömürlerinin Çok Yönlü Olarak Kalori Değerinin Artırılması yöntemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ., Maden Müh.Böl., ISPARTA.

DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI(DPT), 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Kömür Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş yıllık Kalkınma Planı, ANKARA.

CEBECİ, Y., AYDOĞAN, S., ÖZKAN, A., 1996. Yozgat Ayrıdam Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, 10. Kömür kongresi, 79-92s.

DEMLİ, F., 1994. Beypazarı ve Soma Linyitlerinin Yıkanabilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Ünv. Kimya Müh. Böl., ANKARA.

DENİZ, V., DENLER, E., GÜNEŞ, A.N., 2000. Mihalıççık(Eskişehir) Kömürlerinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması, 12. Kömür Kongresi, 193-201s.

DUBININ, M.M., 1966. Chemistry and Physics of Carbon, P.L.Walker, Jr., Ed., Vol:2, New York.

İRİCAN, A.,2005. Kömür ve Kömür Analizleri, HÜ Staj Çalışma Raporu, ANKARA.

KAFADAR, İ., 1994. 21. Yüzyılda Kömür, Türkiye Kömürlerinin Verimli Kullanılması, Türkiye Linyit Potansiyeli ve Ülke Ekonomisi Açısından Önemi Semineri, İZMİR.

KARAYİĞİT, A.İ., KÖKSOY, M., 1994. Clasification of Coal, In: Kural O., Ed., Coal: Resource, Properties, Utilization and Pollution, pp45-58.

KAYA, Ö., 2005. Asidik Hidrojen Peroksit Çözeltileri ile Artvin-Yusufeli Linyitinin Desülfirizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Ünv. Kimya Müh. Böl., ERZURUM.

KAYTAZ, Y., TOROĞLU, I., ALTAŞ, A., 1992. Çayırhan Bölgesi Kömürlerinin Değerlendirilmesi, 8. Kömür Kongresi, 303-320s.

KEMAL, M., 1987. Kömür Teknolojisi, DEÜ, İZMİR.

KEMAL, M., 1991. Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Ed: Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojileri ve Kullanımı Semineri, YMGV, 270-282s.

KEMAL, M., ve ARSLAN, V., 1999. Kömür Teknolojisi, DEÜ.M. Fak., İZMİR, 370s.

KESKİN, Y., 1988. Kömür Hazırlama Yöntemleri, TTK Kurumu Genel Müdürlüğü, İnsan Gücü Eğitim Şube Müdürlüğü Yayınları, ZONGULDAK.

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

KURAL, O., 1998. Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İSTANBUL, 60-63s.

KURAL, O., 1991. Kömür, İSTANBUL, 8-20 s.

MAJAHAN, O.P., WALKER, P.L., 1978. Bor Technical Report.

MERRİCK, D., 1987. The Thermal Decomposition of Coal: Mathematical Models of The Chemical and Physical Changes, Coal Science and Chemistry, A. Volborth, Ed., Elsevier Science Publishers B. V., AMSTERDAM.

ÖZPEKER, I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması, Ed: Kural, O., Kömür, Kürtiş Matbaası, İZMİR, 8-74s.

ÖNAL, G., ACARKAN, N., TOROĞLU, İ., 1998. İstanbul Çevresi (Yeniköy) Linyit Kömürlerinin Zenginleştirilerek Değerlendirilmesi, 6. Kömür Kongresi, 275-286s

SAYDUT, A., 1999. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Asfaltit ve Linyitlerinden Fiziksel İşlemlerle Kül ve Kükürdün Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.Ü. Fen-Ed. Fak. Kimya Böl., DİYARBAKIR.

SCHOBERT, H.H., 1987, Coal-The Enerji Source of The past and Future, American Society, WASHINGTON.

SEVİNÇ, M., 1997. Madenciler için Kimyasal Analiz Yöntemleri, YMGV, İSTANBUL.

ŞENGÜLER, İ., 2003. Ülkemiz Bütünlemesinde Marmara ve Trakya bölgesi kömürlerinin Yeri, MTA Genel Müdürlüğü Enerji Dairesi Başkanlığı, ANKARA.

TAMZOK, N., 2005. Kömür Rezervlerine Sahip Ülkelerde Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynakların Seçimi ve Türkiye`nin Konumu, TMMOB V. Enerji Sempozyumu, ANKARA.

TOROĞLU, İ., 1990. Amasya Bölgesi Kömürlerinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Böl., İSTANBUL.

TUNCER, G., ESKİBAL, M.F., 2003. Türkiye Enerji Hammaddeleri Potansiyelinin Değerlendirilebilirliği, İÜ M. Fak. Yerbilimleri Dergisi, İSTANBUL, 81-92S.

ÜNAL, G., ÇALLI, L., 2002. Vazgeçilmez Enerji Kaynağı Kömür, YM GV Yayını, İSTANBUL.

ÜNLÜ, M., 1990. Linyitlerimizin yıkanabilme Özellikleri ve Yıkanma Olanakları, 3. Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İSTANBUL, 274-286s.

VAN KREVELEN, P.L., 1961. Coal, Elsevier Science Publishing Company, AMSTERDAM.

ZENGİN, Y., 1955. Yusufeli (Çoruh) Kömürleri MTA Araştırma Raporu, No: 2342, ANKARA, 15s.

WASHBURN, E.W., 1921. Physical Review, Vol: 17, pp273.

ÖZGEÇMİŞ

Kamuran Muş, 1982 yılında Rize`de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimlerini Rize`de tamamladıktan sonra 2000–2004 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden mühendisliği Bölümünde Üniversite eğitimini tamamladı. 2006 yılında Dicle üniversitesi maden mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.