
BOLU GÖYNÜK LİNYİTİNİN YIKANABİLİRLİĞİ VE BİTÜMLÜ ŞİSTİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Mustafa ÜNLÜ (*)

Hacı DOĞAN (**)

Nuri ŞAHİN (***)

ÖZET

Bolu-Goynuk sahasından alınan linyit numunesi üzerinde detay analizleri ve yıkanabilirlik, ve yine aynı sahadan alınan bitümlü şist, numunesi üzerinde de kerojen zengin bir konsantr elde etme çalışmaları yapılmıştır. Yuzdurme-batırma deneylerinden, linyitin uygulamada yıkanabileceği en düşük yoğunluk 1.65 olarak bulunmuştur. Bu yoğunlukta, kömürün %77'si yüzmekte ve kül içeriği de %24 olmaktadır. Yuzdurme-batırma deneyleri, ayrıca, boyut küçültmenin linyitin kül oranının düşürülmesinde fazla etkili olmadığını göstermiştir. Bitümlü şistlerden yüzey-bağımlı zenginleştirme yöntemleriyle (seçimli aglomerasyon ve flotasyon) kabul edilebilir veümede konsantreler alınamazken, gravimetrik yöntemlele (ağır ortam ve sallantılı masa) yüksek verimle kerojen içeriği %79'l'e ulaşan konsantreler elde edilmiştir.

ABSTRACT

Washability studies on the lignite and concentration of kerogen from the bituminous schist of Bolu-Goynuk coal field were made. From the float-and-sink tests, it was found that the lowest practical specific gravity to wash the lignite was 1.65. At this specific gravity, 77% of the lignite floated and ash content was 24%. Moreover, the float-and-sink tests showed that the size reduction did not have any big effect on the ash reduction of the lignite. Concentration studies made on the

bituminous schist showed that the recovery of kerogen was under acceptable limits in the concentrates obtained with surface-dependent processes such as flotation and selective agglomeration but, it was possible to obtain concentrates containing as high as 79.1 % kerogen with high recoveries with gravity processes such as heavy-liquid tests and shaking table.

* Dr. Mad. Yk. Mh. , MTA Gen. Md. , ANKARA

** Mad. Mh. , MTA Gen. Md. , ANKARA

*** Mad. Yk. Mh. , MTA Gen. Md. , ANKARA

1. GİRİŞ

Bolu-Göynük sahası Bolu ili Göynük ilçesinin 27 km güneybatısındadır. Yapılan sondaj çalışmaları sonucunda sahada 30 milyon ton görünür linyit (1) ve 400 milyon ton görünür bitümlü şist (2) rezervinin varlığı tespit edilmiştir. Açık işletme yöntemiyle üretilen linyit, herhangi bir yıkama işlemine tabi tutulmadan sadece basit bir ayıklamadan sonra tüketime sunulmaktadır. Kömür üzerinde uzanan, ısı gücü 0-2450 kcal/kg ve kerojen yüzdesi 19.6'ya kadar çıkan bitümlü şistler dekapajla çıkarılarak atılmaktadır.

Kömür bugün sadece bir enerji kaynağı değil, fakat aynı zamanda bir çok sanayi dalının ana girdisinin üretildiği bir hammadedir. Isınma ve ısıtma amacıyla kömür, termik santrallerde, konutlarda, sanayi kazan ve fırınlarında, ve ulaşırmada kullanılır. Kömürden teknolojik yöntemlerle bir çok ürün elde edilebilir. Bu asilleştirme ve kimyasal yöntemlerden başlıcaları: koklaştırma, sıvılaştırma (hidrojenasyon) ve gazlaştırmadır. Kömür yıkama işlemleriyle kömüre tavan, taban ve ara kesmelerden karışan inorganik safsızlıkların atılmasıyla, kömür kalitesi iyileştirilir .Ayrıca, sınıflandırma, kırma ve öğütme işlemleriyle kullanım yerinin özelliklerine uygun kömür sunulur.

Diğer bir enerji hammaddesi olan bitümlü şistler kerojen adı verilen doğal hidrokarbon içeren ince taneli tortul kayaçlardır. Bu kayalardan türlü şekillerde yararlanılabilir:

1. Isıl işlem (retortlama veya piroliz) sonucu sentetik petrol veya gaz üretilir;
2. Termik santrallerde katı yakıt olarak kullanılabilir;
3. Bitümlü şist külleri çimento sanayiinde, gübre asnayıinde ve refrakter malzeme yapımında kullanılabilir;
4. İçerdikleri altın, uranyum, vanadyum, nikel vs. gibi nadir elementler yan ürün olarak elde edilebilir.

Bu yararlanma yerlerinde bitümlü şistler, ocaktan çıktığı şekliyle veya kerojen zengin bir konsantre elde edildikten sonra kullanılabilir. Bu kullanım şekillerinden ikincisinin birincisine göre bazı avantajlar sağlayacağı şüphesizdir. Bitümlü şistlerden flotasyon ve gravimetrik zenginleştirme yöntemleriyle kerojen kazanılması çalışmaları yapılmış ve % 15-35 kerojen içeren bitümlü şistlerden yüksek verimle, kerojen içeriği % 70-80'lere ulaşan konsantreler elde edilmiştir (3).

Bu çalışmada Bolu-Göynük sahasından alınan linyit numunesi üzerinde detay analizleri ve yıkama özelliklerinin saptanması ile yine ay-

in saha bitümlü şistleri üzerinde kerojence zengin bir konsantre elde etme çalışmaları yapılmıştır. Deneysel bölüme geçmeden önce konuyla ilgili bazı kuramsal bilgilerin gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Kömürdeki Safsızlıklar

Kömürdeki safsızlıklardan en önemlileri kül ve kükürttür. Diğer safsızlıklar olarak fosfor ve tuzlar (NaCl, KCl, vs. gibi) sayılabilir.

2.1.1. Kül

Bütün kömürler organik olmayan maddeler içerirler. Kömür yandıktan sonra yanmayan bu maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerinden oluşmaktadır.

Kömürlerde iki türlü kül bulunur: bünye külü ve harici kül. Bünye kulu kömuru oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir. Bünye külü kömürdeki toplam külün % 2 veya daha az bir miktarını oluşturur (4). Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkinin dışındaki kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler kömüre, kömürleşme sırasında karışabileceği gibi, kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı vs.'den oluşmaktadır ve mikroskopik parçalar şeklinde olduğu gibi kalın damarlar halinde de bulunabilir. Tüvenan kömüre kil, şist, kumtaşı ve diğer yabancı maddeler tavan ve taban yantaşlarından da karışabilir. Bunlar da kömürdeki harici külü oluştururlar. Bünye külü kömür yıkama yöntemleriyle kömürden çıkarılmazken, harici kömür yıkama yöntemleriyle belli bir limitin altına düşürülebilir.

2.1.2. Kükürt

Bütün kömürler az miktarlarda da olsa kükürt içerirler. Kömürlerde üç tür kükürt bulunabilir: organik, inorganik ve sülfat kükürtü. Bunlara ilaveten bazı kömürlerde elementel kükürte rastlanabilir.

Toplam kükürt içeriği bir cins kömürden diğerine ve hatta aynı damar içerisinde değişirse de, bu miktar kömürlerde % 0.2 ile 10 aralığında bir değişim gösterir (4). Organik kükürt, kömürün organik materalinin bir parçasıdır ve bu nedenle, kömür yıkama yöntemleriyle

kömürden temizlenmeleri olası değildir. Sülfat kükürtü kömürdeki toplam kükürtün önemsiz bir yüzdesini oluşturur ve kömürde kalsiyum ve/veya demir sülfat olarak bulunur. Kalsiyum sülfat tüvenan kömürde bulunabilirken, demir sülfat kömürün oksidasyonu sonucu oluşur. Piritik kükürt kömürdeki pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. İster gözle görülebilir (makroskopik), ister mikroskopik olsun piritik kükürt kömür içerisinde bantlar veya damarlar, merccekler, küresel tanecikler veya ince tanecikler halinde türlü şekil ve biçimlerde dağılabilir. Bu tür kükürt kömürden serbestleştiği zaman flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle temizlenebilir.

2.2. Yüzdürme-Batırma Testleri

Kömür hazırlamada, hazırlama yönteminin ve kullanılacak donanımın saptanması amacıyla yüzdürme-batırma testleri yapılır. Bu testler, belirli bir ayırma yoğunluğunda hangi kalitede ne miktar kömür elde edileceğini veya diğer bir deyişle gereksinim duyulan bir kömür kalitesi için ayırma yoğunluğunun ne olması gerektiği konusunda bilgi verir. Tane boyutu yüzdürme-batırma testlerinde önemli bir etkenidir. Laboratuvarda $-30+1$ mm tane boyutu için yıkama ,tekne veya tanklarda, $-5+1$ mm için beherlerde ve -1 mm içinde ayırma hunilerinde yapılır. Ayırma ortamı olarak organik veya inorganik sıvılar kullanılır. Yüzdürme-batırma testlerinde kömür belirli bir yoğunlukta sıvılarda (genellikle 1.3-1.7 yoğunlukta) yüzdürülerek fraksiyonlara ayrılır. Bu fraksiyonlar kurutulup tartıldıktan sonra analize (kül, kükürt, vs. gibi) gönderilir. Analiz değerleri bir çizelge haline getirildikten sonra, bu değerleri yorumlayan yıkama eğrileri çizilir. Bu eğriler 5 tanedir:

1. Yüzen eğrisi: herhangi bir ayırma yoğunluğunda yüzen kömürdeki kül miktarını verir.
2. Batan eğrisi: bu eğri herhangi bir ayırma yoğunluğunda batan fraksiyondaki kül miktarını verir.
3. Yoğunluk eğrisi: herhangi bir yoğunlukta yüzen kömür miktarını verir.
4. Parça külü eğrisi: bu eğri herhangi bir ayırma yoğunluğunda yüzen kömürdeki en yüksek küllü parçanın külü ile batan fraksiyondaki en düşük küllü parçanın külünü gösterir.
5. $+0.1$ yoğunlukta malzeme eğrisi: bir kömürün, uygulamada yıkanabileceği en düşük yoğunluğun saptanmasında bu eğriden yararlanır. % 10 toplam yüzenden çıkılan dikmenin $+0.1$ yoğunlukta malzeme eğrisini kestiği noktaya karşı gelen yoğunluk, ayırı-

min yapılabileceği en düşük yoğunluk olarak belirlenir. +0.1 yoğunluktaki malzeme eğrisi ayrıca, ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının (a.y.y.m.m.) göstergesidir, a.y.y m.m. yıkamada kullanılacak donanımın seçiminde önemli bir rol oynar Çizelge 1, jigle yapılacak bir yıkama işleminde, a.y.y m.m. oranına göre ayırma güçlük derecelerini gösterir. Uygulamada a.y.y.m.m. oranının % 10'un üstünde olması durumunda jig yerine bu a.y.y m.m. değişiminden daha az etkilenen ağır ortam tamburu seçimi, ayırmada yüksek verim eldesi yönünden uygun görülmektedir (4).

Çizelge 1 — Jigle yıkamada a.y.y.m.m.'m ayırmaya etkisi (4)

+ 0,1 yoğunluk dağılım doğorlori, */•	Ayırım olasılığı
0 - 7	Kolay
7 - 10	Orta zor
10 - 15	Zor
15 - 20	Çok zor
20 - 25	Afin zor
> 25	Olanaksız

2.3. Ülkemiz Bitümlü Şist Yatakları

Ülkemizde 7 adet önemli bitümlü şist sahası vardır. Bunlar sırasıyla: Ankara-Beyazır, Bolu-Göynük, Kütahya-Seyitömer, Bilecik-Gölpazarı, Niğde-Ulukışla, İzmit-Bahçecik ve Balıkesir-Burhaniye sahalarıdır. Bu sahaların rezerv durumu ve bitümlü şistlerin ısı değerleri Çizelge 2'de verilmektedir. Bitümlü şistler hakkında geniş bilgi literatürde bulunabilir (2, 5. 7).

Çizelge 2 — Ülkemiz bitümlü şist sahalarının rezerv durumu ve ısı değerleri (2)

Saha adı	Isıl Gücü KCal/Kg	Rezerv, X 10 ton Görünür	Jeolojik
Ankara _ Beypazarı	0.2616	309	1030
Bolu _ Göynük	0_2450	400	2500
Kütahya _ Seyitömer	0.3000	480	1000
Niğde. Ulukışla	630.2790	—	130
İzmit _ Bahçecik	418_1875	-	100
Balıkesir—Burhaniye	0.1768	-	80
Bilecik —Gölpazarı	0.1265	-	356
TOPLAM			5196

2.4. Bitümlü Şistleri Zenginleştirme Yöntemleri

Zenginleştirme yöntemleri bitümlü şistin yapısına ve bu yapının bitümün serbestleşmesine olan etkilerine bağlıdır. Serbestleşme tane boyutuna bağlı olarak gravite yöntemleri veya yüzey-bağımlı yöntemler (örneğin: flotasyon, seçimli aglomerasyon ve flokülasyon gibi) ayırma yöntemleri olarak uygulanabilir. Kerojenin yoğunluğu 1 civarında ve inorganik bileşenlerin yoğunluğunun 2.7 olması nedeniyle gravite yöntemleri prensipte başarılı olabilir. Benzer şekilde, kerojenin hidrofobik ve inorganik bileşenlerin hidrofilik özellikleri nedeniyle seçimli aglomerasyon ve flotasyon yöntemleriyle de zenginleştirilmeleri mümkündür.

3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. Linyit

Linyit numunesi üretimin yapıldığı 562 kotundaki 3 m yüksekliğindeki basamaktan alınmıştır. Bu numunenin Kurumumuz analiz la-

boratuvuarlarında yapılan mineralojik analiz sonucu aynen aŖađıya aktarılmıŖtır.

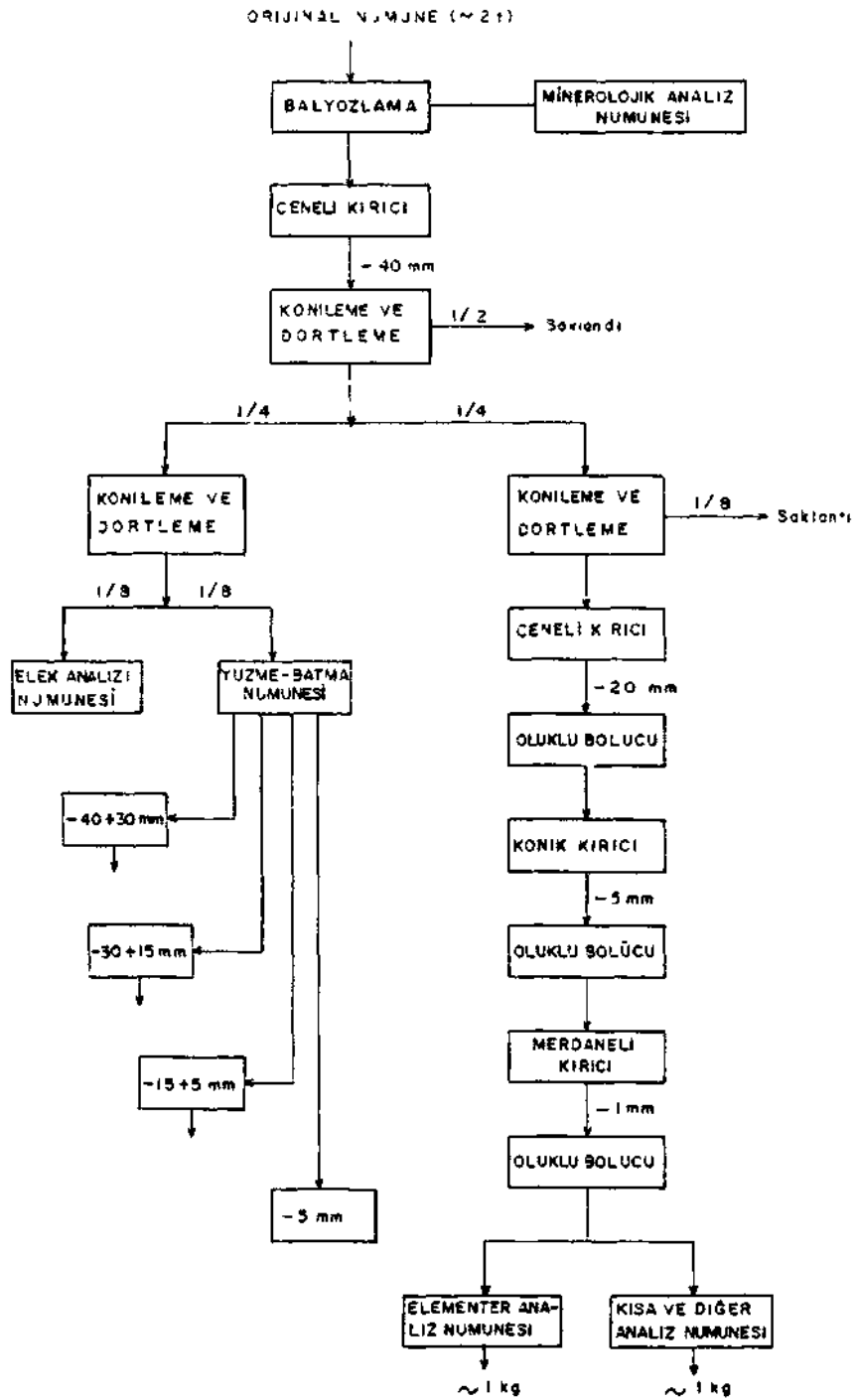
"Numunenin 5-10 mikron byklgnde kömür içinde dađılmıŖ ve bünye külü durumunda kil minerali, yer, yer 20-25 mikron byklgnde kuvars; 5-6 mikron boyutunda demir mineralleri ve çok az olarak da küçük taneli kalsit minerali içerdiği saptanmıŖtır."

Yine Kurumumuz analiz laboratuvarlarında yapılan bu kömüre ait kısa analiz, kükürt ve ısı değereri sonuçları izelge 3'de, elementer analiz sonuçları "izelge 4'de ve elek analiz sonuçları izelge 5'de verilmektedir. Yukarda anlatılan analizler ve yüzdürme-batırma deneyleri için numune hazırlama akım Ŗeması da Ŗekil 1'de gösterilmektedir.

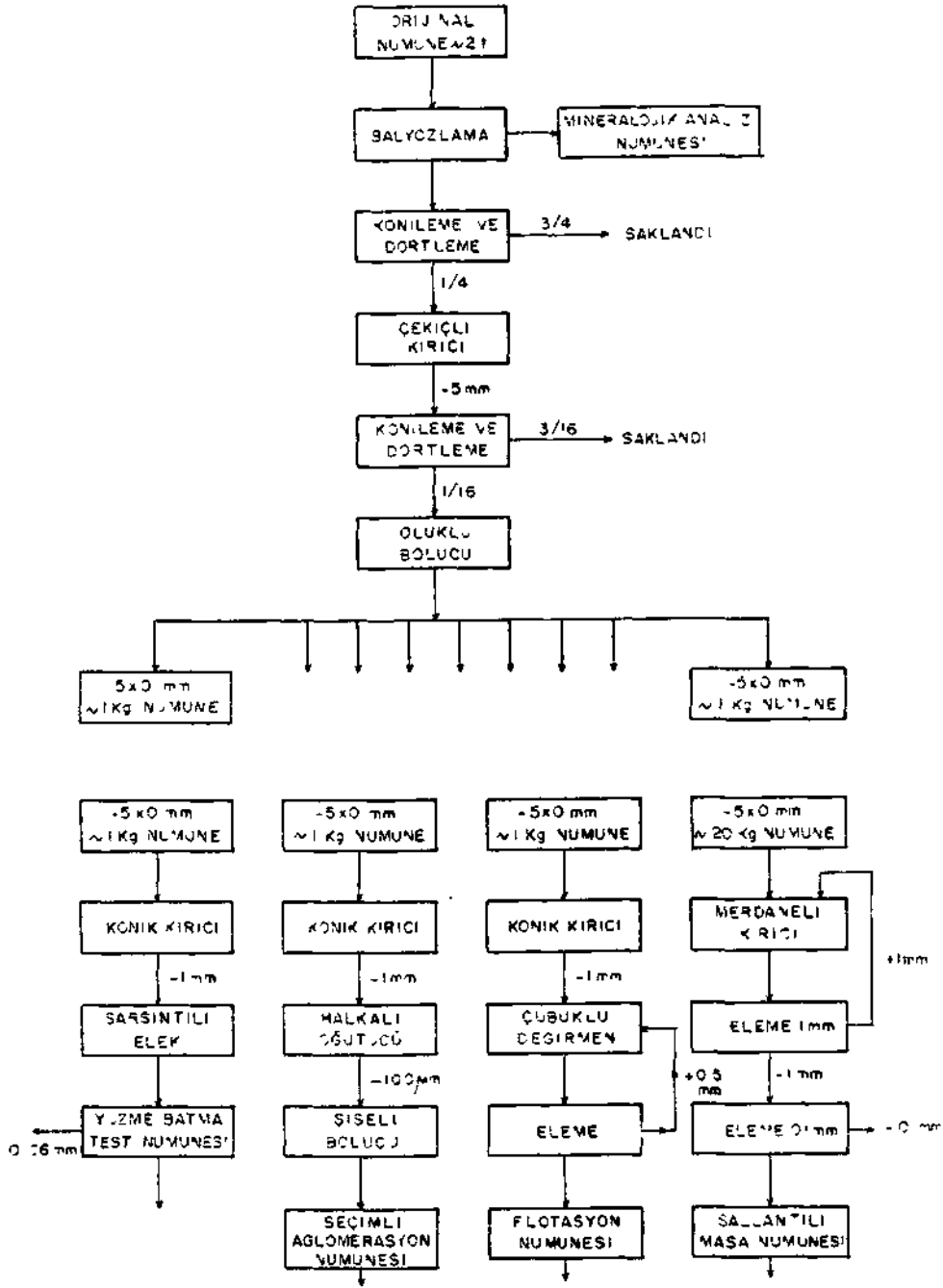
3.1.2. Bitümlü Ŗist

Bitümlü Ŗist numunesi 562 kotundaki kömür üzerinde uzanan 2,5 m kalınlığındaki damardan alınmıŖtır. Bu numunenin Kurumumuz analiz laboratuvarlarında yapılan mineralojik analiz sonucuna göre: Kerojen, bir matriks içinde dağılım göstermektedir. Bu matriks çoğunlukla tane boyutu 4-5 mikron olan kil mineralleriyle, az miktarda pirit, kuvars ve karbonat minerallerinden oluŖmaktadır. Kerojenin, matriks içinde 4-5 mikron boyutlu taneler ve arada 10-15 mikron boyutlu bantlar Ŗeklinde dağılım gösterdiği izlenmiŖtir. Numunenin yapılan benzer analizinde de, kerojenin kömür kökenli olduğu ortaya ıkmıŖtır.

Aynı numunenin nem, kül, uçucu madde ve ısı değerinin saptaması için, analizler yapılmıŖ ve sonuçları izelge 6'da sunulmuŖtur. Elek analiz sonucuyrsa izelge 7'de verilmiŖtir. Kırma, đtme, eleme ve bölme iŖlemleri sonucu elde edilen bitümlü Ŗist numuneleri yüzdürme-batırma, seçimli aglomerasyon, flotasyon ve sallantılı masa deneylerinde kullanılmıŖtır (Ŗekil 2).



Sekil 1 – Lin>it numune hasırlama akımı seması



Şekil 2 — Bitümlü şist numune hazırlama akım şeması

Çizelge 3 — Bolu-Göynük linyiti analiz değerleri

ANALİZLER		ORİJİNAL KÖMÜRDE	HAVADA KURU KÖMÜRDE	KURU KÖMÜRDE	SAF KÖMÜRDE
Kısa analiz	Nem %	24.8	10.0	—	—
	Kül %	26.5	31.7	35.3	—
	Uçucu madde %	26.0	31.2	34.6	53.5
	Sabit karbon %	22.7	27.1	30.1	46.5
	TOPLAM %	100.0	100.0	100.0	100.0
Kükürt	Yanar kükürt %	0.92	1.10	1.23	—
	Külde kükürt %	0.87	1.04	1.15	—
	Toplam kükürt %	1.79	2.14	2.38	—
Isı değeri	A.I.D. Kcal / kg	2757	3417	3864	5967
	Ü.I.D. Kcal / kg	3050	3650	4056	6264
Koklaşma oranı	Kok %	49.2	58.8	65.4	—
	Gaz %	50.8	41.2	34.6	—
Koklaşma özelliği		Siyah toz halinde			
Kül Analizi		Kül yumuşama noktası : 1180°C Kül erime noktası : 1270°C Kül akma noktası : 1340°C			

Çizelge 4 — Bolu-Göynük linyiti elementer analizi

ELEMENT	ORİJİNAL KÖMÜR %	HAVADA KURU KÖMÜR %	SAF KÖMÜRDE %
C	32.71	39.15	67.19
H	2.54	3.04	5.22
(O, N) ^x	12.51	14.98	25.70
S (yanar)	ü. 92	1.10	1.89

Çizelge 5 — Bolu-Göynük linyit elek analizi

Fraksiyon, mm	Ağırlık %	Kül [*] %	Kükürt %
- 40 + 30	19.3	35.5	1.39
- 30 + 15	43.1	31.4	1.46
- 15 + 10	8.2	34.4	1.35
- 10 + 5	14.4	35.7	1.23
- 5	15.0	45.6	1.25
TOPLAM	100.0	35.2	1.37

Çizelge 6 — Bolu-Göynük bitümlü şKt numunesi analizi/ değerleri

Analizler	Orijinal Numune	Hava da Kuru Numune	Kuru Numune
Nem	% 9.2	% 3.0	—
Kül	% 45.7	% 48.8	% 50.3
Kalori Değeri			
A. I. D.	2728	2915	3005
Ü. I. D.	2949	3151	3249

Çizelge 7 — Bolu-Göynük bitümlü şKt numunesi elek analizi

Fraksiyon, mm	Ağırlık %	Kül %	Kerojen İçeriği %
-1 +0.1	88.0	43.3	56.7
-0.1	12.0	65.1	34.9

3.2. Deneysel Yöntemler

3.2.1. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Bu deneyler kömür için 40 cm çapında ve 70 cm yüksekliğindeki yüzdürme-batırma tanklarında yapılmıştır. Yoğunluk ayarlamalarında CaCl₂ ve ZnCl₂ kullanılmıştır. Seçilen sıvı yoğunlukları en düşük 1.3 ve en yüksek 1.7 olup -0.1 aralıkla artırılmıştır. Yüzdürme-batırma deneyleri -40 + 30, -30+15 ve -15+5 mm fraksiyonları üzerinde yapılmıştır. CaCl₂ ve ZnCl₂ soğurmasını minimuma indirmek için, her bir fraksiyon deney öncesi yaklaşık 4 saat suda ıslatılmıştır. Islatma süresince bir kısım kömürün suda ufalandığı gözlenmiştir.

Bitümlü şist için yüzdürme-batırma deneyleri hunilerde yapılmıştır. Yaklaşık 80 gr. -1.0 + 0.106 mm bitümlü şist fraksiyonu yoğunlukları 1.7, 1.9 ve 2.1 olan karbon tetra klorür+tetra brom etilen karışımı organik sıvılarda yüzdürme-batırma testine tabi tutulmuşlardır.

3.2.2. Seçimli Aglomerasyon Deneyleri

Bu deneylerde hızı ayarlanabilen Ultraturrax ve Fisher mikserleri kullanılmıştır. Deneyler 1 lt'lik beherlerde 350 ml suya 125 gr. bitümlü şist ilavesiyle yapılmıştır. Gaz yağı ve fuel-oil aglomerasyon reaktifi olarak kullanılmıştır. Aglomerasyon reaktiflerinin ilavesi katı ilavesinden 5 dakika önce -emülsifiye edilerek- veya katı ilavesinden sonra -emülsifiye edilmeden- yapılmıştır. Her bir deneyde 25 ml aglomerasyon reaktifi ilave edilmiş ve pülp 20 dakika kıvamlamaya tabi tutulmuştur. Bu sürenin sonunda pülp değişik boyuttaki (150, 106 ve 56 mikron) eleklerde elenerek, aglomerasyona uğrayan taneler uğraymayan tanelerden ayrılmışlardır. Elde edilen ürünler filtre edilip kurutulduktan sonra kül analizine gönderilmişlerdir.

3.2.3. Flotasyon Deneyleri

Flotasyon deneyleri 4 lt'lik Humboldt-Wedag hücrelerinde yapılmıştır. Deneylerde pervane hızı 1500 rpm ve hava verimi de 5 lt/dak. olarak sabit tutulmuşlardır. % 75 gaz yağı + % 25 metil izo bitül karbinol karışımı flotasyon reaktifi olarak kullanılmış ve reaktif ilavesi kademeli olarak yapılmıştır.

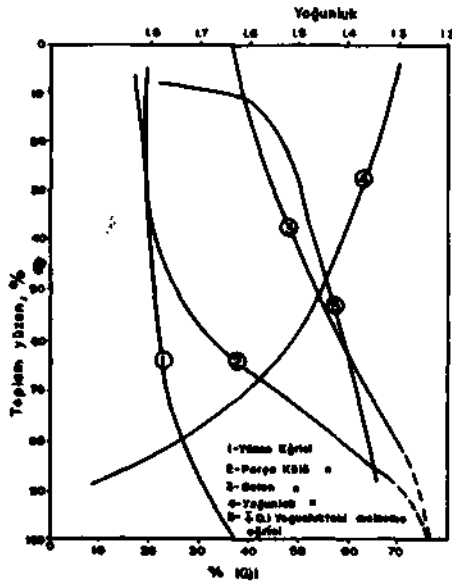
3.2.4. Sallantılı Masa Deneyleri

Bu deneyler 125x60 cm ebadında Wilfley tipi yerli yapım sallantılı masada yapılmıştır. Masaya -1+0.1 mm boyutunda bitümlü şist numunesi beslenilmiştir. Önce, düşük hız, yüksek genlik ve düşük eğimde kaba ayırım yapılmış ve bu ayırımda elde edilen orta ürün daha sonra yüksek hız, kısa genlik ve yüksek eğimde tekrar temizleme tabi tutulmuştur.

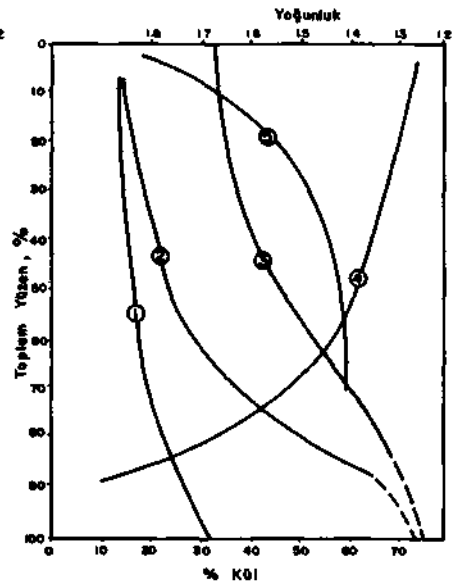
4. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELENMESİ

4.1. Kömürün Yıkanabilirlik Analizleri

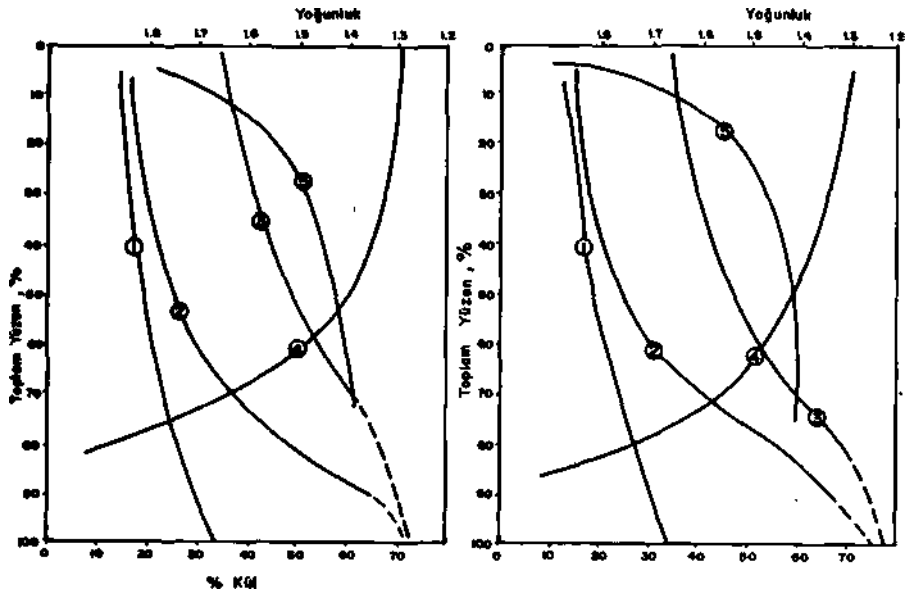
Üç elek fraksiyonu ($-40 + 30$, $-30 + 15$ ve $-15 + 5$) ve kompozit numune ($-40 + 5$ mm) için, yıkama eğrileri Şekil 3-6'da verilmektedir. Kompozit numune sonuçları elek fraksiyonu sonuçlarından hesapla elde edilmişlerdir. Şekillerden görülebileceği gibi, fraksiyonların uygulamada yıkanabileceği en düşük yoğunluklar sırasıyla 1.63, 1.68 ve 1.65, ve kompozit numune içinde 1.65 olarak bulunmuştur. Bu yoğunluklarda kömürün % 72, 82, 70 ve 77'si yüzmektedir. Yüzen kömürün kül içeriği % 35'den % 22-24'lere düşürülebilmektedir. Batan kömürün kül içeriği de yine fraksiyonlara bağlı olarak % 60 ile 68 arasında değişmektedir. Bu sonuçlardan boyut küçültmenin külün düşürülmesinde fazla etkili olmadığı, diğer bir deyişle boyut küçültmeye safsızlıkların serbestleşmediği söylenebilir. Kömürde yanar kükürt içeriğinin düşük olması (% 1.37) nedeniyle, yüzdürme-batırma fraksiyonlarında kükürt analizlerinin yapılmasına gerek görülmemiştir.



Şekil 3 — 40 + 30 mm fraksiyonu yıkama eğrileri



Şekil 4 — 30 + 15 mm fraksiyonu yıkama eğrileri



Şekil 5 — 15 + 5 mm fraksiyonu Şekil 6 — Kompozit numune (–40 + 5) yıkama eğrileri

4.2. Kerojençe Zengin Konsantre Elde Etme Çalışmaları

Kerojençe zengin bir konsantre elde etmek amacıyla seçimli aglomerasyon ve flotasyon gibi yüzey-bağımlı ve yüzdürme-batırma ve sallantılı masa gibi gravimetrik yöntemlerle zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Çizelge 8'deki veriler bu çalışmalardan seçimli aglomerasyon deney sonuçlarını içerir. Reaktif cinsi, reaktifin emülsifikasyonu, pülp ısı, dağıtıcı reaktif ilavesi, elek ebadı ve mikser cinsi gibi deney koşullarının değiştirilmesiyle yüksek bir verim elde etmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda verimi % 50.2'den yukarı çıkarmak mümkün olamamıştır. Seçimli aglomerasyon deneylerinden umulan sonucun alınamaması üzerine flotasyon deneyleri yapılmıştır. Flotasyona beslenen malzeme boyutunun (–0.5x0 mm) kerojenin serbestleşme tane boyutundan iri olmasına rağmen, öğütlemeyle serbestleşen kerojen tanelerinin ve kenetli tanelerdeki kerojenin hava kabarcıklarına yapışarak bir ayırımın olası olabileceği düşünülmüştür. Yapılan ön flotasyon deneylerinde, verim % 30'u geçmemiştir (Çizelge 9). Deney koşullarının değiştirilmesiyle (örneğin: katı oranı, sılam atma,

MİKSER DİNSİ	PERVANE HIZI	DENEY KOŞULLARI	Kons Ağ %			Kons Külü %			Verim %		
			ELEK EBAĞI MİKRON								
			+150	+105	+56	+150	+105	+56	+150	+105	+56
ULTRA- FLORAX MİKSER	YÜKSEK HIZ	Gaz yağı emulsifiye edilmemiş	12.3	—	—	15.7	—	—	18.8	—	—
		Gaz yağı emulsifiye edilmiş	15.5	—	—	17.1	—	—	23.5	—	—
		Gaz yağı emulsifiye edilmiş NaSiO ₃	13.9	—	—	17.1	—	—	21.0	—	—
		Gaz yağı emulsifiye edilmiş Pulp ısı=60°C	26.7	—	—	21.0	—	—	39.7	—	—
	DÜŞÜK HIZ	Gaz yağı emulsifiye edilmiş	14.7	19.5	26.2	18.7	19.8	23.4	22.5	29.4	40.6
FISHER MİKSER	HIZ SKALA 2.5	Gaz yağı emulsifiye edilmiş	22.9	31.9	44.2	29.4	33.4	35.5	30.4	40.4	53.7
		Fuel-Oil emulsifiye edilmiş	27.9	40.4	—	26.4	29.2	—	36.0	50.2	—

* Sonuçların olumsuz olma s nedeniyle hız ölçümlerine (dev/dak) olarak gerek duyulmamıştır.

dağıtıcı reaktif ilavesi, kıvamlama ve yüzdürme zamanı, ve kademeli reaktif ilavesi gibi) verim, daha yüksek seviyelere çıkarılamamıştır. Bu çalışmalarda verimin artırılamaması aşağıdaki nedenlerden bir veya birkaçına bağlanabilir:

- 1) Kerojenin tamamen serbestleşmemesine;
- 2) Kerojenin kullanılan reaktiflere cevap vermemesine;
- 3) Bitümlü şistin çok miktarda kil içermesine.

Yüzey-bağımlı yöntemlerin zenginleştirmede fazla etkili olmaması üzerine yüzdürme-batırma ve sallantılı masa gibi gravimetrik yöntemler denenmiştir. Yüzdürme-batırma deney sonuçları Çizelge 10'da verilmektedir. Bu sonuçlardan görülebileceği gibi, 1.7 ayırma yoğun-

Çizelge 9 — Flotasjon deney sonuçları

DENEY KOŞULLARI	KONSANTRE Ag %	KONSANTRE KÜLÜ %	VERİM %
<p>% 9 Katı</p> <p>Tane boyu -0,5 x 0 mm, kademeli % 75 gazyağı + % 25 MIBC ilavesi, Na₂S₂O₈ ilavesi, 20 dak kıvamlama, 10 dakika yüzdürme</p>	29,6	41,0	26,8
<p>% 14 Katı</p> <p>Slamı atılmış -0,5 + 0,053 mm, kademeli % 75 gazyağı + % 25 MIBC ilavesi, 5 dakika kıvamlama, 20 dakika yüzdürme</p>	32,3	54,9	28,6

lugunda beslenen bitümlü şistin < * 54 \unun atılmasıyla " 79 1 kerojen içeren bir konsantre elde etmek mümkün olmaktadır. Ayırma yoğunluğu olarak 19 seçilirse, beslenen bitümlü şistin V 42 5 inin atılmasıyla verim ; 65 7'den " 75 4'e çıkmakta fakat, kerojen içeriği % 79 l'den 'e, 72 0 a düşmektedir. Sallantılı masa deney sonuçları Çizelge U'de sunulmaktadır. Bu çizelgeden görülebileceği gibi, beslenen bitümlü şistin < 39 unun orta ürün ve artık olarak atılmasıyla sallantılı masadan toplam olarak r 73 verimle < 61 kerojen içeren bir konsantrenin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

5 SONUÇ VE ÖNERLER

Bu çalışmadaki deneysel bulgulardan aşağıdaki genel sonuçlar çıkarılabilir.

- 1 Yıkama yoğunluğunun yüksekliği (Şekil 3, 6) ve kulan bünye kulu olması nedenleriyle Bolu-Goynuk linyitmin zor yıkanabilir bir komur olduğu ortaya çıkmaktadır.

2. Bitümlü şişten kerojen zengin bir konsantre elde etmek mümkün olmaktadır. Flotasyon ve seçimli aglomerasyon gibi yüzey-bağımlı zenginleştirme yöntemleri verimi % 50'den düşük konsantreler verirken, gravimetrik yöntemlerle verimi % 75'e ve kerojen içeriği % 70'lere ulaşan konsantreler elde edilebilmektedir.

Bu aşamada aşağıdaki detay çalışmalara gerek görülmediğinden yapılmamışlardır. Fakat, bu çalışmaların ileride tesis kurulması düşünüldüğünde yapılması faydalı olacaktır.

- i. Seçimli aglomerasyon ve flotasyon deneylerinde değişik reaktiflere iş verilmesi;
- ii. Sallantılı masa verim ve kerojen içeriğini artırıcı çalışmaların yapılması (örneğin dar tane boyut aralığında besleme ve konsantrenin yeniden temizlenmesi gibi)
- iii. Ağır ortam siklonu ile çalışmalar yapılması;
- iv. Sallantılı masa konsantresinin flotasyonla zenginleştirilmesi çalışmalarının yapılması önerilir.

Çizelge 10 — Yüzdürme batırma deney sonuçları

Ayrım Yog.	Yüzen Atf. %		KÜ1%	Kerojen içeriği %		Verim %		Kalori Değeri Kcal/kf
	Fraksiyon	Kümülatif		Yüzen	Batan	Falata * KÜ1%	Uzun	
1.7	45.6	45,6	20.9	72.1	34.6	65.7	657	4524
1.9	11.9	57.5	55.0	72.0	31.7	9.7	75-4	1719
2.1	37.5	95.0	66.7	66.7	19.3	21.0	964	860

Çizelge 11 — Sallantılı masa deney sonuçları

Ürünler	Afl%	Kül%	Kerojen içeriği %	Verim %	Kalori Değeri Kcal/kg
Konsantre 1	50.0	41.0	59.0	57.8	4680
Koneantre 2	11.0	29.9	70.1	15.2	5420
Orta Ürün	24.6	56.9	43.1	19.4	2619
Artık 1	9.1	75.3	24.7	4.5	737
Artık 2	5.3	70.9	29.1	3.1	830

KAYNAKLAR

- 1 TURGUT, A.T. ve Dięerleri, Bolü-Göynük Neojen Havzasının Linyit Olanakları, M.T.A. Raporu, Rap: 6885, Ağustos 1980
- 2 AKKUŞ, M.F., Bitümlü Şeyi ve Türkiye'nin Bitümlü Şeyi Potansiyeli, M. T.A. Raporu
- 3 Concentration of Oil Shale, The World Bank Report, Prepared by Nathaniel Arbiter Associates Inc., January 1983
- 4 CORRIVEAU, M.P., and SCHAPIRD, N., Projecting Data from Samples in "Coal Preparation", 4th Ed. by Leonard, J.W., AIME: New York, Chapter 4
- 5 AKKUŞ, M.P., Bitümlü Şeyl'lerin Ekonomik önemi ve M.T.A. Tarafından Yapılan Bitümlü Şeyi Etüdüleri, M.T.A., 50. Yıl Simpozyumu Teblięi, Kasım 1985
- 6 KÖKSOY, M. ve SAĞIROĞLU, A., Enerji Sorunları, Sentetik Petrol ve Türkiye, Yerbilimleri: H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayın Organı, Cilt 2. Sayı: 2, Aralık 1976
- 7 ÜNALAN, G., Bitümlü Şistlerden Petrol Üretme Yöntemleri, Yeryuvarı ve İnsan, H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü yayın Organı, Ağustos 1976

