

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

85304

**GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ
ASFALTİT VE LİNYİTLERİNDEN FİZİKSEL İŞLEMLERLE
KÜL VE KÜKÜRDÜN GİDERİLMESİ**

Abdurrahman SAYDUT

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(KİMYA ANABİLİM DALI)

85304

DIYARBAKIR
ARALIK — 1999

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
DIYARBAKIR

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

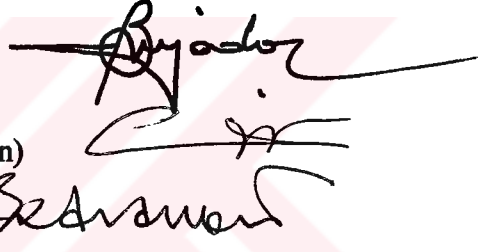
JÜRİ ÜYESİNİN ÜNVANI, ADI SOYADI:

İMZA:

Başkan: Prof. Dr. Recep ZİYADANOĞULLARI

Üye : Prof. Dr. Candan HAMAMCI (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Fikri KAHRAMAN



Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

29.12.1999


Prof. Dr. Hasan İhsan TUTALAR

Enstitü Müdürü



TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, çalışmalarım için bana gerekli koşulları sağlayan danışman Prof. Dr. Candan HAMAMCI' ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğütme ve deneysel hesaplamalarda bana yardımcı olan D.Ü. Müh. Mím. Fak. Maden Müh. Bölüm Başkanı Fikri KAHRAMAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda ve bilgisayarda yazılmasında bana yardımcı olan Arş. Gör. M.Zahir DÜZ' e teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

AMAÇ	i
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
1. GİRİŞ	1
2. ASFALTİTLER	3
2.1. Asfaltik Maddelerin Oluşumu ve Sınıflandırılması	3
2.2. Türkiye’de ki Asfaltit Rezervleri	5
2.3. Bölgenin Genel Jeolojisi	7
2.4. Türkiye’de Asfaltit kullanımı	8
3. KÖMÜR VE ÇEVRE İLİŞKİLERİ	9
3.1. Kükürt Oksitleri (SO _x)	10
3.2. SO _x ‘in Kontrolü	11
4. TÜRKİYE’DEKİ LİNYİTLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ	12
4.1. Kömürün Nem İçeriği	12
4.2. Kömürün Mineral İçeriği	13
4.3. Kömürün Kükürt İçeriği	13
4.3.1. İnorganik Kükürt	13
4.3.2. Organik Kükürt	15
5. KÖMÜR HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME	16
6. KÖMÜRÜN YIKANABİLME ÖZELLİKLERİ	16
7. KÖMÜRÜN KÜKÜRDÜNÜN GİDERİLMESİ	18
7.1. Fiziksel Yöntemler	18
7.1.1. Jigler	20
7.1.2. Siklonlar ve Benzeri Ayırıcılar	20
7.1.3. Spiraller	20
7.1.4. Sarsıntılı Masalar	20
7.1.5. Flotasyon	21
7.1.6. Yağ Aglomerasyonu	22

7.1.7. Manyetik Ayırma	23
7.2. Biyolojik Yöntemler	23
7.3. Kimyasal Yöntemler	23
8. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
9. DENEL BÖLÜM	30
9.1. Materyal	30
9.2. Metod	30
9.2.1. Numune Alma ve Hazırlama	30
9.2.1.1. Standart Kömür Analiz Yöntemleri	30
9.2.2. Yüzdürme-Batırma Deneyleri	33
9.2.3. Flotasyon Deneyleri	33
10. ARAŞTIRMA BULGULARI	34
10.1. Tüvenan Kömürün Elek Analizi	34
10.2. Tüvenan Kömürlerin Tam Kimyasal Analizleri	36
10.3. Yüzdürme-Batırma Deneyleri	36
10.4. Flotasyon Deneyleri	41
10.4.1. Flotasyonda Tane Boyutu Etkisi	42
10.4.2. Flotasyonda Katı Oranı Etkisi	47
10.4.3. Flotasyonda Reaktif Cinsinin Etkisi	53
10.4.3.1. Bastırıcı Miktarının Flotasyona Etkisi	53
10.4.3.2. Toplayıcı ve Köpürtücü Cinsinin Flotasyona Etkisi	54
10.4.4. Flotasyonda pH'ın Etkisi	58
10.4.5. Flotasyonda Karıştırma Hızın Etkisi	63
11. SONUÇ VE TARTIŞMA	68
KAYNAKLAR	70
TABLolar DİZİNİ	75
ŞEKİLLER DİZİNİ	77
ÖZGEÇMİŞ	79

AMAÇ

Türkiye, asfaltik madde rezervlerine sahip az sayıda ülkeden biridir. Ülkemizde toplam 82 milyon ton dolayında saptanan asfaltit rezervi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Bölgemizde asfaltitler ev yakıtı olarak kullanılmaktadır. Asfaltitler yaklaşık, % 3-4 yanar kükürt, % 5-8 toplam kükürt, % 35-45 uçucu madde ve % 23-45 arasında kül bırakmaları, radyoaktif maddeler içermeleri bu şekilde kullanımı ciddi boyutlarda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ancak bu asfaltitlerdeki kükürt, kül ve uçucu madde gibi havayı ve çevreyi kirleten maddelerden arındırılırsa asfaltitler kullanılır hale getirilebilir.

Bu çalışmanın amacı, fiziksel yöntemlerin uygulanmasıyla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki asfaltitlerin ve linyitlerin iyileştirilmesini sağlamaktır. Fiziksel yöntemlerde flotasyon ve yüzdürme-batırma deneyleri uygulanmıştır. Yüzdürme-batırmada kömürün yıkanabilirliği, flotasyonda ise etkin parametrelerden tane boyutu, katı oranı, reaktif miktarı (bastıncı, toplayıcı, köpürtücü), pH ve karıştırma hızının kömür bünyesindeki kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkiler araştırılmıştır.

ÖZET

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şırnak (Avgamasya, Segürük), Silopi (Halbur) sınırları içerisinde geniş asfaltit yatakları ve Diyarbakır (Hazro)' da linyit yatakları bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde katı yakıt olarak asfaltitler ve linyitler kullanılır. Bu oluşumların yapılarındaki yüksek kükürt ve kül içerdiğinden dolayı temizlenmeden yakıt olarak kullanılması uygun değildir. Bu çalışmada asfaltitleri ve linyitleri iyileştirmek için flotasyon ve yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı. Flotasyonda etkin parametrelerden tane boyutu, katı oranı, bastırıcı, toplayıcı, köpürtücü miktarı ve karıştırma hızının kömür yapısındaki kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkileri incelenmiştir. Yüzdürme batırma deneyleri ile değişik yoğunluklarda kül ve kükürt arasındaki ilişki incelendi.

Optimum flotasyon koşullarında ve yüzdürme batırma deneylerinde Hazro linyitinde kül, piridik kükürt ve sülfat kükürdü giderilebilirdi. Hazro linyitinin piritik kükürt oranı yüksek olduğundan dolayı fiziksel yöntemlerle piridik kükürdü gidermede oldukça etkilidir. Asfaltitlerin organik kükürt yüzdesi yüksek olduğundan ve piritik kükürtte organik yapıya bağlı olduğundan dolayı sonuç alınamadı.

Organik kükürt yüzdesi yüksek olan asfaltitler için bu işlemlerden sonra kimyasal zenginleştirme ve desülfürizasyon işlemleri uygulanması gerekmektedir.

SUMMARY

The southeast part of Turkey contains large deposits of asphaltites Şırnak (Avgamasya, Segürük), Silopi (Halbur) and lignites Diyarbakır (Hazro) which are largely considered as consumed of fuel. Southeastern Anatolian asphaltites and lignites are notoriously high in sulfur and therefore not suitable for direct use in combustion without extensive cleaning. In order to improve the quality of asphaltites and lignites, flotation and sink-float experiments were used. The effects of solid ratio, collector, frother, depressant and mixing velocity are investigated in desulphurisation. Sink-float experiments were conducted to examine the relationship between pyritic sulfur and ash content depending on the medium densities.

The optimum flotation and sink-float conditions for Hazro lignites were obtained and when they are employed ash, pyritic sulfur and sulfat sulfur were removed with the possible highest ratios. The physical cleaning was found to be very effective in removing ash, pyritic sulfur and sulfat sulfur from Hazro lignite, probably due to its high sulfur content, but was not successful in removing pyritic sulfur from the asphaltites, possibly due to its low pyritic sulfur and high organic sulfur.

Organic sulfur is distributed through the coal matrix as an integral part of the coal molecular structure and accordingly it can not be removed by conventional cleaning or preparation processes, but requires chemical treatment.

1. GİRİŞ

Yeraltında petrolden oluşan veya petrole benzeyen çeşitli hidrokarbonlar bulunur. Bunların başında petrol çanağının üstünün aşınmasıyla veya jeolojik olaylarla petrol çanağını terk etmesi ve hafif maddelerin uçmasıyla oluşan “asfalt gölleri” ve “bitümlü kumlar” gelir. Kayaç çatlaklarında asfalt veya asfalt içeren kayaçlarda çok rastlanır. Bunlara “kaya asfaltı” denir. Bunların dışında kayaç çatlaklarını dolduran veya damar şeklinde bulunan hidrokarbonlar “asfaltit” olarak adlandırılır (HAMAMCI,1984).

Asfaltik maddelerin kökeninin petrol olduğuna en kesin kanıt, linyitin içerdiği oksijen miktarının, asfaltik maddelerdeki oksijen miktarından çok daha fazla olmasıdır. Nitekim asfaltik maddelerde oksijen ortalama %3 dolayında iken, değişik kömür türlerinde bu oran %3-44 arasında değişmektedir (KURAL,1991). Ülkemizde toplam 82 milyon ton dolayında saptanan asfaltit rezervi Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. En önemli yataklar, Şırnak-Silopi-Harbul(Aksu) ve Şırnak-Silopi-Üçkardeşler yörelerindedir (ALTAŞ VE ARK.,1994). Asfaltitler içerdikleri yüksek oranda katran ve kükürt sebebiyle mevcut sobalarda verimli yakılmadığından, tam yanmadan bacadan kaçan gaz ve kurumlar hava kirliliğine neden olmaktadır. Üretimin yaklaşık %88’lik bölümü Doğu ve Güneydoğu illerinde yakacak olarak tüketilmektedir. %12’si sanayide kullanılmakta olup bu kullanım daha çok çimento sektörüne yöneliktir ve önemli ölçüde hava kirliliğine neden olmaktadır (DÜZ, 1995).

Yanma gazlarının atmosfere yayılımı sonucu oluşan hava kirliliğinin, canlı ve cansız varlıklar üzerinde çok olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Solunan hava içerisinde bulunan zararlı maddeler, ağız, burun, nefes borusu ve akciğer yolu ile insan vücudunda kana karışmakta ve çok sayıda sağlık problemleri yaratmaktadır (KURAL,1998). Asit yağmurlarının, orman ve bitki örtüsüne büyük miktarda zarar verdiği bilinmektedir. Avrupa kıtasında bulunan ormanların %35’i asit yağmurlarından zarar görmüştür. Özellikle Almanya’da ki ormanların %52’sinin zarar görmesi büyük dikkat çekmiştir (JAİN VE ARK.,1993). Kömür yanarken içerdiği kükürtlü bileşikler de yanar. Kükürdün yüksek sıcaklarda kararlı olan bileşiği kükürtdioksittir; ancak nispeten az miktarda kükürttrioksit de oluşmaktadır. Genellikle kömürün içerdiği kükürdün %92-98 kadarı kükürtdioksit, ortalama %5 kadarı da kükürttrioksit dönüşmektedir. Kükürttrioksitin, suyla hızlı tepkimeye girerek sülfürik asidi oluşturduğu bilinmektedir (SHEN,1980). Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitleri yayılımını azaltmak veya tamamen önlemek amacıyla uygulanabilecek işlemleri dört ana grupta toplayabiliriz (KÜÇÜKBAYRAK VE ARK.,1988).

- Kömürün, temiz sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülmesi
- Kömürün kükürdünün, yakıt olarak kullanılmadan önce azaltılması
- Kömür yakılması sırasında, katkı maddeleri kullanılarak, oluşan kükürtdioksitin tutulması
- Kömürün yakıldıktan sonra oluşan baca gazlarının temizlenmesi suretiyle kükürtdioksitin içeriğinin azaltılması

Atmosfere bırakılan kükürtdioksit miktarı, önlemlerle azaltılabilir. Küçük sanayinin yaygın olarak görülmesi ve konutların büyük bölümünde bireysel ısınmanın söz konusu olması durumunda, kükürtlü bileşiklerin, kömürün yakılmasından önce kömürden uzaklaştırılması en etkili yöntem olarak görülmektedir. Kömürün içerdiği kükürt, sadece hava kirliliğine değil, aynı zamanda kazan borularının tıkanmasında neden olmaktadır (HUCKO VE ARK.,1988).

Kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin yanma öncesi kömürden uzaklaştırılması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerden birinin veya birkaçının birlikte uygulanması yoluyla giderilebilir (ÇELİK VE SOMASUNDARAN,1994). Fiziksel yöntemlerle kükürdün giderilmesinde, kömürün organik ve inorganik kısımları arasındaki farklı özelliklerden yararlanılmaktadır. Fiziksel yöntemlerle, kömürün sadece inorganik kükürt içeriğinde belli oranlarda azalma sağlanabilmektedir. En yaygın olarak uygulanan fiziksel kükürt giderme yöntemleri; özgül ağırlık farkına dayalı ayırma yöntemleri, yüzey özelliklerini esas alan yöntemler, manyetik ve elektrostatik yöntemlerdir. Kömürdeki inorganik kükürdün azaltılması kükürt mineralinin tipine, serbestleşme derecesine ve kömürün rankına bağlıdır. İnorganik maddeler kömürden ayırmakla, kömürün kül yüzdesi düşürülerek, yanabilir madde oranı yükseltilir. Yanabilir madde oranının artması, ısıl değerin yükselmesine yol açmaktadır. Kömürün zenginleştirilmesi açısından, inorganik maddeler arasında, külü oluşturan küçük boyutlu minerallerden çok kömürde serbest olarak bulunan iri boyutlu inorganik maddeler önem taşımaktadır. Bu tür safsızlıklar, boyut küçültme işlemleriyle serbestleştirilmekte ve daha sonra da fiziksel zenginleştirme yöntemleri kullanılarak kömürden ayrılabilir (KURAL,1998).

Kömürlerin kül ve kükürtten arındırılabilmesi için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gerekir. Bu da yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesiyle mümkündür. Yıkanabilirlik deneyleri kömürün fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup, yıkama işlemi sonunda kömürün niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini gösterir. Kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklardan

temizlenmesinin kolay ya da zor olacağı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama randımanı, gibi özellikler yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilir (ATEŞOK,1986).

Laboratuvar koşullarında 5 mm iriliğine kadar kömür taneleri flotasyonla yüzdürülebilirlerse de uygulamada 0.6 mm tane boyutunun üstüne flotasyon işlemi nadir olarak uygulanır. Flotasyonda 0.3-0.075 mm arasındaki taneler iyi yüzerken bu boyut aralığının altındaki ve üstündeki tane boyutları yüzmede sorun çıkarırlar. Katı oranı genelde %3 ile %20 katı arasında değişirse de, kömür yıkama tesislerinin çoğunda %7 civarındadır. Bazı kömürler doğal yüzebilirlikleri nedeniyle sadece köpürtücü reaktif kullanımıyla yüzebilirlerse de, toplayıcı reaktifin ilavesi flotasyonda verimi artırmaktadır. Düşük kaliteli ve okside kömürlerin flotasyonunda toplayıcı reaktifin flotasyon pülpüne ilavesi bir zorunluluktur. En çok olarak kullanılan köpürtücü reaktifler: MIBC (Metil İzo Bütıl Karbinol), amil ve bütıl alkol ve azalan önem derecesine göre çamyacı, kresilik asid ve terpinoldür. Köpürtücü reaktif miktarı uygulamada 50 ile 250 g.ton⁻¹ arasında değişmektedir. En yaygın toplayıcı reaktifler ise: gazyağı, fuel-oil ve kreozottur. Toplayıcı reaktif miktarı da uygulamada 250-2500 g.ton⁻¹ arasında değişir. Yüksek flotasyon verimi eldesi için sadece uygun reaktif seçimi ve bunun yeterli miktarda ilavesi değil, aynı zamanda bu reaktifin kömür tanelerin yüzeyinde soğurulmasının sağlanmasıda gerekir (ÜNLÜ VE DOĞAN,1986).

2. ASFALTİTLER

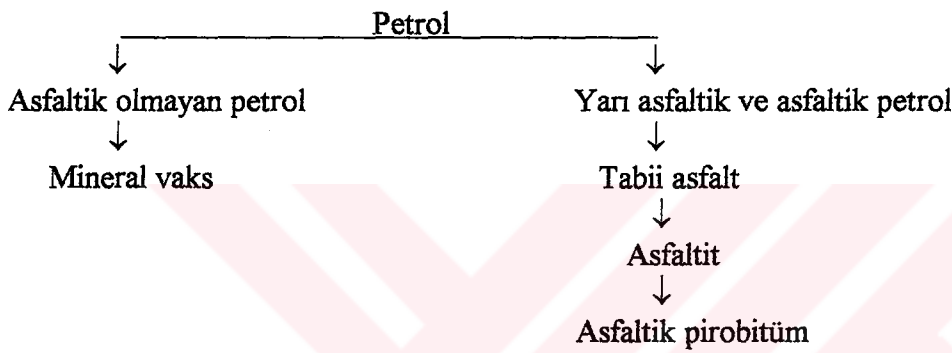
2.1. Asfaltik Maddelerin Oluşumu ve Sınıflandırılması

Yeraltında petrolden oluşan veya petrole benzer kökenden gelen çeşitli hidrokarbonlar bulunur. Bunların en başında petrol çanağının üstünün açılmasıyla veya jeolojik olaylarla petrolün çanağı terk etmesi ve hafif maddelerin uçmasıyla meydana gelen ‘asfaltit gölleri’ ve ‘bitümlü kumlar’ gelir. Kayaç çatlaklarında asfalta veya asfalt içerilmiş kayaçlarada çok rastlanılır. Bunlara ‘kaya asfaltı’denir. Bunların dışında, kayaç çatlaklarını dolduran veya damar şeklinde bulunan hidrokarbonlar ‘asfaltit’ olarak isimlendirilir (KURAL VE PİŞKİN,1988).

Geçmişte, filon şeklinde yataklanmış olan asfaltit zuhurları genellikle kömür, turba gibi bitkisel artıkların bir ürünü olarak kabul edilmiştir. Bu düşüncenin geçersiz olduğu bugün kesinlikle anlaşılmıştır. Asfaltik maddelerin kökeninin petrol olduğuna en kesin kanıt, linyitin içerdiği oksijen miktarının, asfaltik maddelerdeki oksijenin oranından çok daha fazla olmasıdır (KURAL,1991).

Oksijen içeriğinin, turba, linyit ve taş kömüründe %3-44 arasında, asfaltik maddelerde %2 olmasına dayanılarak, asfaltik maddelerin, petrolün değişimi sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Değişim derecesine bağlı olarak petrolden; doğal asfaltlar, asfaltitler ve asfaltik pirobitümler gibi farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerde asfaltik maddeler oluşmuştur (NAKOMAN, 1977).

Asfaltik maddelerin, petrolün zaman, sıcaklık ve basıncın etkisi altında uğradığı metamorfoz olayı sonunda oluştukları ve bu nedenle petrol kökenli oldukları bilinmektedir. Aşağıdaki tabloda, petrolün uğradığı bu metamorfoz olayının ilerleyişi derecesine bağlı olarak teşekkül eden değişik özelliklere sahip asfaltik maddeler görülmektedir.



Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan asfaltik maddelerin bazı bölümleri asfaltik pirobitüm özelliğe sahip, bazıları ise asfaltik pirobitüm karakteri göstermekle beraber, metamorfoz olayı asfaltik pirobitümlerde olduğu kadar ilerlememiştir. Ayrıca, bazı zuhurlar asfaltit ile asfaltik pirobitüm arasında bir bölgede yer almaktadırlar (M.T.A.,1982). Doğal asfaltlar, 15-160 °C de ergiyen ve sertliği bir dolayında olan maddelerdir.

Asfaltitler : Koyu renkli (siyah, siyah-kahverengi), sert olmayan, kristaleşen parafinleri çok az içeren veya hiç içermeyen hidrokarbonlardır. Karbon sülfürdeki çözünürlükleri %90-100, ergime dereceleri 120-315°C arasında değişir.

Asfaltik Pirobitümler : Koyu renkli (siyah, kahverengi), az sert (2-3), karbon sülfürdeki çözünürlükleri %2-10 arasında değişen ve ısıtılınca ergimeyen hidrokarbonlardır (IŞIGANER, 1985).

Güneydoğu Anadoludaki asfaltik oluşukların sınıflandırılması karbon sülfürde çözünürlük değerleri üzerine dayandırılmıştır. Karbon sülfürde çözünürlük değerleri (su ve mineral maddesiz esasta) %15' e kadar olanlar asfaltik pirobitüm, %15-25 arasındakiler

asfaltik pirobitüme yakın karakterdeki madde, %25-90 arasında olanlar asfaltit ve asfaltik pirobitüm arasındaki madde olarak kabul edilmiştir.

Filonlara ait örneklerin incelenmesi sonucu;

Avgamasya filonu	:	Asfaltik pirobitüme yakın özellikteki madde,
Milli	:	Asfaltik pirobitüm (Mineral maddeyle birleşmiş)
Anılmış-Karatepe	:	" " " " "
Seridahli	:	" " " " "
Nivekara	:	" " " " "
Anılmış-İspindoruk	:	" " " " "
Segürük	:	Asfaltik pirobitüme yakın özellikteki madde,
Ortasu	:	Asfaltik pirobitüm,
Rutkekanat	:	" "
Harbul ve Silip	:	Asfaltit ve asfaltik pirobitüm arasındaki madde,
Üçkardeşler	:	" " " " "

olarak sınıflandırılmıştır (ORHUN,1969).

2.2. Türkiye' deki Asfaltit Rezervleri

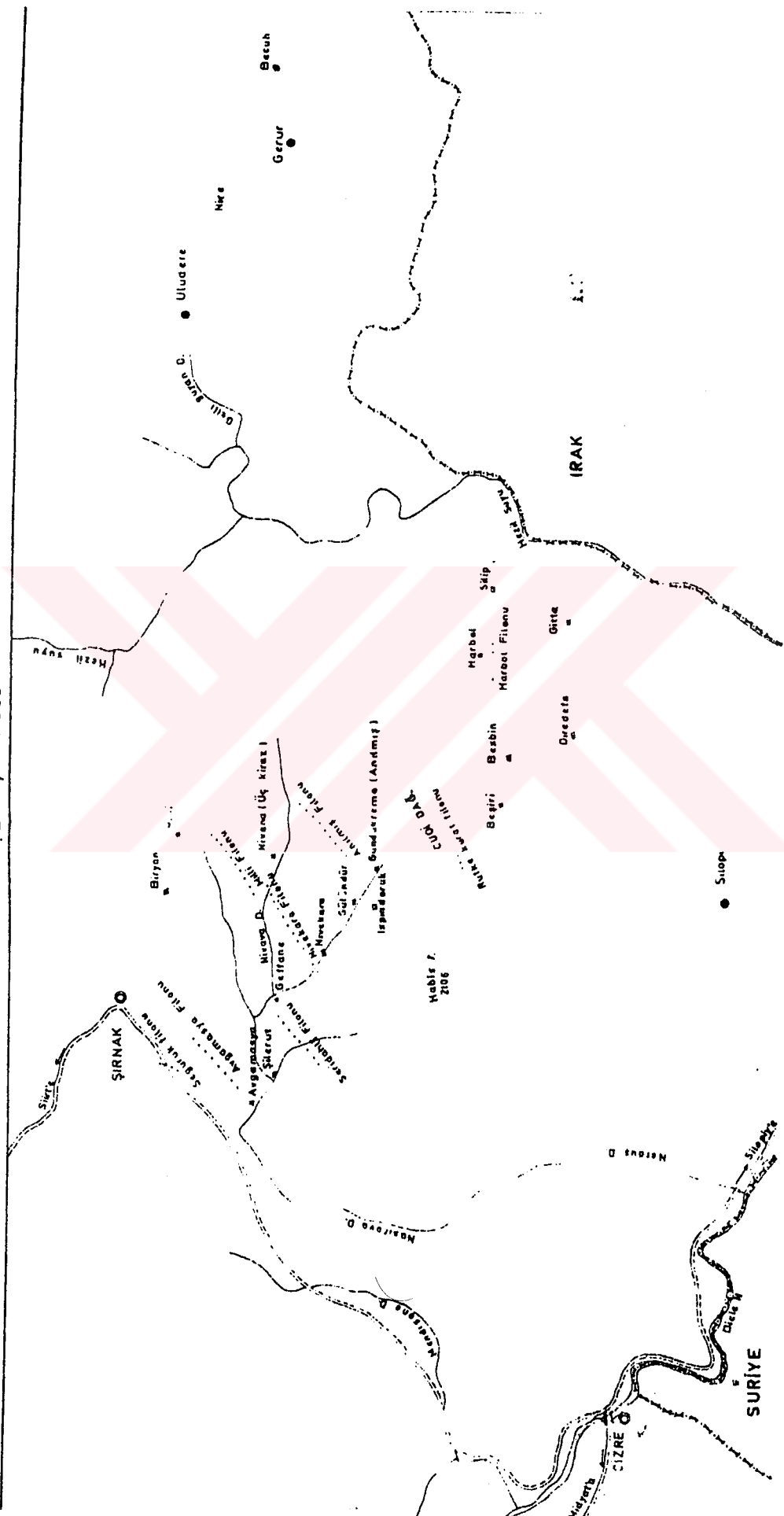
Ülkemizde toplam 82 milyon ton dolayında saptanan asfaltit rezervi Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. En önemli yatakları Şırnak-Silopi-Harbul (~25,8 milyon ton) ve Şırnak- Silopi-Üçkardeşler (~20,4 milyon ton) yörelerindedir (ALTAŞ VE ARK.1994). 45.473.000 ton görünür, 2.889.700 ton muhtemel, 7.579.000 ton mümkün olmak üzere toplam 81.949.000 ton asfaltit rezervi Tablo 2.1'de belirlenmiştir (M.T.A.,1990).

Bugüne kadar yapılan arama çalışmaları sonunda, Güneydoğu Anadolu'da, Siirt, Mardin, Hakkari ve Şırnak illeri sınırları arasında kalan bölgede, filonlar halinde 20 kadar asfaltit zuhuru tespit edilmiştir (Şekil 2.1). Ancak, bu filonlar arasında tabloda görülen Avgamasya, Milli, Anılmış-Karatepe, Seridahli, Nivekara, İspindoruk, Segürük, Harbul ve Üçkardeşler'de bulunan zuhurlar araştırma çalışmalarında elde edilen gözlemler sonucu, rezerv açısından diğerlerine oranla daha ümitli görülmüş ve arama faaliyetleri bu filonlar üzerinde yoğunlaştırılmıştır (M.T.A.,1982).

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ ASFALTİT FİLONLARININ

COĞRAFI DURUM HARİTASI

ÖLÇEK: 1/200 000



ŞEKİL 2.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Asfaltit Filonlarının Coğrafi Durum Haritası

TABLO 2. 1. Türkiye'deki Asfaltit Rezervleri

FİLON ADI	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM REZERV
	1000Ton	1000Ton	1000 Ton	1000 Ton
Avgamasya	7 481	673	-	8 154
Milli	2 000	2 900	1 600	6 500
Karatepe	500	2 000	2 500	5 000
Seridahli	3 534	1 254	1 279	6 067
Nivekara	300	1 000	700	2 000
İspindoruk	100	500	500	1 100
Segürük	550	450	-	1 000
Rutkekurat	-	-	1 000	1 000
Üçkardeşler	9 472	10 881	-	20 352
Silip	3 071	1 335	-	4 406
Harbul	17 914	7 851	-	25 765
Uludere-Ortasu	551	53	-	604
TOPLAM	45 473	28 897	7 579	81 949

2.3 Bölgenin Genel Jeolojisi

Asfaltit filonlarının yer aldığı Şırnak güneyinde en eski birim Permien yaşlı kireç taşları (Tanin grubu) ile temsil edilmektedir. Üzerine Triyas yaşlı Goyan grubu çökelleri gelir. Bunlar genellikle kireç taşı, şist ve üste doğru dolomitlerden oluşmaktadır. Daha üstte ise kireç taşları dolomitlerle temsil edilen Jüra-Kretase yaşlı Cudi grubu birimleri görülür. Şırnak güneyindeki asfaltit filonlarının içinde yer aldığı ve marn, killi kireçtaşı, kum taşı düzeylerinde oluşan Germav formasyonu Cudi grubu üzerinde uyumlu olup, yaşı üst Kretase-Paleosen' dir. Karasal fasiyesteki Gercüş formasyonu ise, Eosen yaşlı olup, güneyde Harbul-Slip dolayından geçen yaklaşık E-W uzanımlı bindirme hattının güneyinde yüzeyler. Harbul, Üçkardeşler ve Slip filonlarının yer aldığı birim, Germav formasyonu üzerinde uyumludur. Bölgenin kuzey ve doğusuna doğru Becirmen kireç taşları ile yanal geçiş gösterir. Üzerine kireç taşları ile temsil edilen Lütisiyen yaşlı Midyat kireç taşları gelir. Güneyde ise Miyosen yaşlı Şelmo formasyonu yüzeyler.

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şırnak yöresinde yer alan (Avgamasya, Milli, Seridahli, Nivekara, Karatepe, İspindoruk, Segürük) asfaltit filonları üst Kratase-Paleosen yaşlı Germav formasyonu içinde tabakalanmayı kesen NE-SW yönlü çatlak dolgusu şeklindedir. Ancak İspindoruk ve Rutkekurat filonların Cudi grubu karbonatları içinde oluşmuşlardır (M.T.A.,1990).

Hazro kömürünün çalışma sahası; orta kesimlerinde izlene Devonien yaşlı Dadaş formasyonu genelde Filiş karakterinde olup derin denizel oluşuklar niteliğindedir. Devonien

sonrası olası epirojenik hareketler neticesinde bölge yükselmiş ve sedimantasyon durmuştur. Zira Hazro formasyonunun Dadaş formasyonu üzerinde genelde boşluklu diskordan olarak izlenir. Hazro formasyonu olasılıkla literal zonda gelişmiş sığ denizel ve delta çökelek ortamı özelliklerine sahiptir. Hazro formasyonunda izlenen iyi boylanmış, yıkanmış çapraz katmanlı kum taşları bunlarla ardalanmaları alacalı kil düzeyleri, istif genelinde izlenen ters derecelenmeler yeterli olmamakla beraber çökel ortamının deltaya yakın olduğunu düşündürmektedir.

Takip eden devrelerde bölgede kısa süreli deniz etkisi olmuş ve bol fosilli yoğun kireç taşları çökelmiştir. Sonra bölge tekrar karasallaşmış ve Hazro formasyonu tekrarı niteliğinde gözüken Gomamayın Birik formasyonu üyesi oluşumu gerçekleşmiştir.

Permien sonlarından itibaren uzun bir zaman aralığında bölge tamamen deniz etkisine girmiş, bu geniş zaman aralığında, denizel fasiyeste, düzenli ve sürekli bir sedimantasyon neticesinde Mesozoik yaşlı Uludere ve Mardin formasyonları oluşmuştur.

Tersiyer başlarından itibaren bölge karasallaşmaya başlamış alt Eosen yaşlı kızıl morumsu renkte Kil taşı, Silt taşı, Marn ardalanmasından ibaret Gercüş formasyonu olasılıkla kapalı bir havzada çökelmiştir. Orta Eosen'de ise bölgede sığ-orta derinlikte bir deniz olduğu söylenebilir. Bu devrede fosilli, kumlu, dolomitik kireç taşlarından oluşan Midyat formasyonu çökelmiştir. Bu formasyon çalışma sahasındaki en geniş formasyondur (BARAN,1991).

2.4.Türkiye'de Asfaltit Kullanımı

Asfaltitler genellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan illerde ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Isıtmak ihtiyacının büyük bir bölümü asfaltitlerle karşılanmaktadır. Yörede bu ihtiyacı karşılayabilecek başka bir enerji kaynağı bulunmamaktadır. Asfaltite alternatif olarak düşünülebilecek bölgedeki linyitlerin genellikle kalori değerleri düşük ve rezervleri azdır. Asfaltitler ilk yıllarda boya ve vernik yapımında, daha sonraki yıllarda ise yol yapımında kullanılmaktaydı. Günümüzde ise asfaltitler; Isıtmada, boya, vernik, oto lastiği, elektrik yalıtımı, batarya koruyucuları, matbaa mürekkebi, genleştirilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kablolar, paslanmayı önleyici örtü boya ve v.b. yapımında kullanılmaktadır. Petrolde olduğu gib asfaltitlerde de benzer rafineri, işlemleri sonucu sentetik gaz ve sıvı yakıt, amonyak, kükürt ve metalurjik kok elde edilmektedir. Ayrıca bunlar termik santrallarda yakılarak elektrik üretiminde kullanılabileceği gibi geriye kalan küllerinden de nadir elementler elde edilme olanağı vardır (M.T.A.,1990).

Asfaltitlerin çok yönlü ve günün ekonomik ve teknolojik şartlarına uygun biçimde değerlendirilmesi halinde, ülke ekonomisindeki yerleri bugünküyle kıyaslanması güç boyutlara ulaşabilecektir. Ülkemiz ekonomisi gerekse bölge ekonomisi açısından bir şans olarak nitelendirilecek anlam ve önemdedir (HAMAMCI,1984).

3. KÖMÜR VE ÇEVRE İLİŞKİLERİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan asfaltitlerin yakıt ve metal potansiyeli dikate alınarak yapılmış olan araştırmaların doğrultusunda bu oluşumların ısınma amacıyla kullanılması ciddi boyuta hava ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Elektrik enerjisi ve amonyak üretiminde yada sentetik ham petrol ve gaz yakıtı üretiminde kullanılması halinde içindeki nadir ve değerli metallerin kazanılması mümkün olabileceğinden asfaltitlerin bugünkü kullanım şekline son verilmesi en gerçekçi yoldur. Ancak bu asfaltitlerden kükürt, kül, uçucu madde gibi havayı ve çevreyi kirleten maddelerden arındırılırsa asfaltitler yakıt olarak kullanılır hale getirilebilir (HAMAMCI,1990).

Hava kirlenmesini; havanın doğal yapısında bulunan ana maddeleri oranlarının değişmesi ya da yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını bozan; hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş hava şeklinde tanımlayabiliriz (UZUN,1990).

Dünyada, özellikle son yıllarda, hızlı sanayileşmeye paralel olarak ortaya çıkan çevre ve hava kirliliği sorunların giderilmesinde, uygulanan teknolojik yöntemlerin ıslahı yanında, insan ve çevre sağlığını bozmayacak kalitedeki hammadde üretimde gündeme gelmiştir (SEMERKANT VE ARK.,1992).

En yaygın olarak bulunan fosil yakıtlardan biri olan kömürün kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi; üretim, hazırlama, taşıma, depolama ve yakma gibi çeşitli süreçler içerir. Bu süreçlerin hepsinde, çevre az veya çok olumsuz yönde etkilenmektedir. Çevreyi korumak, kirlenmesini önlemek, büyük harcamalar gerekmektedir; ancak zamanında alınmayan tedbirlerin ileride yaratacağı sorunların giderilmesi çok daha pahalıya mal olacaktır (KURAL,1998).

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması çevre kirliliği yaratmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbondioksit, karbonmonoksit, kükürt oksitleri, azot oksitleri gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikler, başlıca hava kirliliği kaynaklarıdır. Yanma sonucu atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisiyle veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye

girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadır (BARBİR ve VEZİROĞLU,1992).

Yanma gazlarının atmosfere yayınımlı sonucu oluşan hava kirliliğinin, canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumsuz etkiler yapar. Solunan hava içinde bulunan zararlı maddeler, ağız, burun, nefes borusu ve akciğer yolu ile insan vücudunda kana karışmakta ve bir çok sağlık sorunu yaratmaktadır. Kükürt ve azot oksitlerinin, bulutlarda bulunan yağmur damlacıkları ile birleşmeleri sonucu asit yağmurları oluşmaktadır. Kuru veya yaş asit birikimi sonucunda, alıcı ortamın özelliklerine de bağlı olarak, toprak ve su asidifikasyonu olarak bilinen durum ortaya çıkmaktadır. Suda yaşayan canlıların ve toprak üzerindeki bitki örtüsü zarar görmekte ve yok olmasına neden olmaktadır (FOWLER, 1984).

Asit yağmurlarının, ormana ve bitki örtüsüne önemli zararlar verdiği bilinmektedir. Avrupa'da bulunan ormanların %35' inin, asit yağmurlarından zarar gördüğü ortaya konmuştur. Özellikle Almanya'da ormanların % 52'sinin zarar gördüğü belirtilmiştir (JAIN VE ARK.,1993).

Araştırmalarda, kükürtdioksit ve kükürttrioksidin üst solunum yollarında, keskin, boğucu ve tahriş edici etki yaptığını göstermiştir. Kükürt oksitler bu etkileri nedeniyle, özellikle, akciğer yetmezliği ve solunum sistemi hastaları için çok tehlikelidir (HABA, 1981).

3.1. Kükürt Oksitleri (SO_x)

Kükürt oksitleri (SO_x) denince akla kükürtdioksit (SO₂) ve kükürttrioksit (SO₃) gelir. Her ikiside havayı kirleten gazlardır. Her ikiside renksiz ve yanıcı olmayan gazlardır.

Yaklaşık 200 milyon ton doğal kaynaklardan, 150 milyon ton da antropojenik kaynaklardan olmak üzere atmosfere her yıl 350 milyon ton kadar kükürt oksitleri karışır. Atmosfere karışan 150 milyon tonluk antropojenik kaynaklı kükürt oksitleri başlıca kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasından ve bakır, kurşun, demir, çinko, cıva gibi metallerin sülfürlerinin işlenmesinden gelir. Fosil yakıtlardan, özellikle kömür yandığı zaman önemli ölçüde kükürt oksitleri meydana gelir. Kömürde genellikle % 0,2-7 arasında değişen oranlarda kükürt bulunur. Kalitesiz kömürler daha yüksek oranlarda kükürt ihtiva ederler. Antropojenik kaynaklı kükürt oksitlerinin yaklaşık % 70' i kömür yakıtlarından gelir. Bu nedenle kömürdeki kükürt yüzdesinin düşürülmesi gerekir. Havada bulunabilecek azami SO₂ konsantrasyonu metreküpte 365 µg veya 0,14 ppm olmalıdır (GÜNDÜZ,1994).

Kükürdioksit gazı, atmosferde bulunan çeşitli bileşiklerle tepkimeye girebilmektedir. Bu tepkimelere örnek olarak, kükürdioksitin (OH) serbest radikali ile tepkimesi sonucu kükürt trioksit (SO_3) oluşumu verilebilir.



Kükürtdioksitin atmosferde kalma süresi yaklaşık 40 gün olduğu için, kirlilik değerlendirmelerinde büyük önem taşımaktadır. Kükürttrioksitin havada kalma süresi kükürtdiokside kıyasla çok kısadır (10^{-6} saniye). Ancak bu gazın havadaki su buharı ile tepkimesi sonucu oluşan sülfürik asidin, asit yağmurlarını oluşturması önemli ölçüde kirliliğe neden olmaktadır.



Kükürttrioksit, atmosferdeki oksijende hızla oksitlenerek sülfatlara da dönüşebilmektedir (JAN VE ARK.,1993).

3.2. SO_x nin Kontrolü

Günümüzde havada bulunan SO_x konsantrasyonunun yaklaşık % 70'i yakıt olarak kullanılan kömürden ileri gelir. Kömür, insanlığın en belli başlı enerji kaynaklarından biridir. İyi kaliteli kömürü her zaman ve her yerde bulmak mümkün değildir. Kömürün desülfüre edilmesi veya kükürdünün arındırılması gerekir (GÜNDÜZ,1994).

Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin yayılımını azaltmak veya tamamen önlemek amacıyla uygulanabilecek işlemleri dört ana grupta toplamak mümkündür (KÜÇÜKBAYRAK VE ARK.,1988).

- Kömürün, temiz sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülmesi
- Kömürün kükürdünün, yakıt olarak kullanılmadan önce azaltılması
- Kömürün yakılması sırasında, katkı maddeleri kullanılarak, oluşan kükürtdioksitin tutulması
- Kömür yakıldıktan sonra oluşan baca gazlarının temizlenmesi suretiyle kükürtdioksit içeriğinin azaltılması.

Baca gazındaki kükürtdioksidi uzaklaştırmak amacıyla uygulamakta olan prosesler, genel olarak, ıslak ve kuru olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Islak proseslerde; baca gazı, sorbent içeren sulu çözeltiler ile temas ettirilerek, kimyasal adsorpsiyon yoluyla kükürtdioksit giderimi sağlanmakta ve temizlenmiş baca gazı su buharı ile doymuş olarak sistemden

çıkılmaktadır. Kuru proseslerde ise, kükürtdioksit giderilmesi, gaz- katı sorbent teması ile sağlanmaktadır (KURAL,1998).

4. TÜRKİYE'DEKİ LİNYİTLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Kömürün yanmayan bileşenleri olan mineral madde ve nem içeriğinin yüksek olması, ısı değerini düşürücü etkileri; kükürt içeriğinin yüksek olması ise çevre kirliliği yaratması nedenleriyle istenmez. Kömürün ısı değerini artırmaya yönelik olarak uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin geçmişi, kömürün enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlandığı ilk yıllara kadar dayanmaktadır. Mineral madde içeriği azaltılan kömürün, anorganik kükürt içeriğinde de azalma sağlanır. Ancak, kömürün kükürt içeriğinin bir sorun olarak görülüp, giderilmesine yönelik araştırmaların başlaması ise kükürtdioksitin havadaki derişiminin insan sağlığını tehdit edebilecek bir düzeye ulaşmasının bir sonucudur.

Rezervi en yüksek fosil enerji kaynağımız olan linyit kömürünün, mineral madde, nem ve kükürt içerikleri yüksek; ısı değeri ise düşüktür. Bu nedenle, Türkiye'deki linyitlerinin hiç bir önileme uğratılmaksızın, üretildikleri gibi tüketiciye sunulmaları doğru değildir. Kömür hazırlama aşamalarında, mineral madde, nem ve anorganik kükürt içeriği azaltılan kömürün ısı değeri yükseldiğinde yakıt olarak değeri artar; taşıma masrafları ile yakma sistemlerinde karşılaşılan sorunlar azalır; yakma sırasında çevreye yayılan uçucu kül ve kükürtdioksit miktarlarında düşüş sağlanır (KÜÇÜKBAYRAK VE YAMAN,1993).

4.1. Kömürün Nem İçeriği

Ocak çıkışında (tüvenan), taşkömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60, turbalar ise %60' ın üzerinde nem içerirler. Görüldüğü gibi, kömürün ocak çıkışında içerdiği nem miktarı, kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır.

Nem, kömürde üç şekilde bulunmaktadır.

Bünye nemi : Adsorpsiyonla ve kapiler kuvvetlerle, yani fiziksel olarak kömüre bağlı olan su, bünye nemini veya higroskopik nemi oluşturur.

Kaba nem : Kömür yüzeyinde tutulan suya kaba nem veya yüzey nemi denir ve kömür yüzeyindeki boşlukları doldurur.

Molekül suyu : Kömürün içerdiği molekül suyu veya hidrat suyu, kömüre kimyasal olarak bağlıdır. Kömürün toplam nem içeriği içindeki payı düşüktür (KURAL,1998).

Nem, kömürün yanmayan bir kısmı olduğundan ısı değerini düşürücü etki yapar; nakil masrafını artırır; kömürün yakılması sırasında buharlaşarak gizli ısını sistemden çektiğinden

sıcaklık düşüşüne neden olur; baca gazlarıyla uzaklaşırken gizli ve duyulur ısılarını da birlikte götürür. Bu nedenlerle, kömürün nem içeriğinin yüksek olması arzu edilmez (KÜÇÜKBAYRAK VE YAMAN,1993).

4. 2. Kömürün Mineral Maddesi

Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamı olarak alınmaktadır. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler, bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır. Genelde organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü, kömürde inorganik kombinasyon halinde de bulunmaktadır. Kalsiyum-, magnezyum- ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır (KURAL,1998). Kömürdeki mineral maddenin çoğu küçük taneciklerdir. Gözlem sonuçları, mineral taneciklerinin genellikle ortalama olarak 20 µm çapında olduğunu ve ancak çok az miktarda taneciğin çapının 100 µm' den büyük olabildiğini göstermiştir (KÜÇÜKBAYRAK VE YAMAN,1993).

Kömürün içerdiği mineral madde; bünye mineral maddesi ve dış mineral madde olarak sınıflandırılabilir. Bünye mineral maddesi, turbaya ve daha sonra kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanmaktadır. Dış mineral madde, oluşumu tamamlandıktan sonra kömüre katılmıştır. Dış mineral madde kömürün organik yapısına dağılmamış olduğundan fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilir. Ancak, bünye mineral maddesi, kömürün zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılamamaktadır. Kömürün yapısında bulunabilen minerallerin en önemlileri tablo 4.1'de görülmektedir (KURAL,1998).

4. 3. Kömürün Kükürt İçeriği

Kömürde bulunan kükürt genel olarak organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılır. Organik kükürt, kömürün hidrokarbon kısmına bağlı olarak bulunmaktadır. İnorganik kükürt ise başlıca pirit ve sülfat kükürdünden oluşmaktadır (BAYRAKÇEKEN VE ARK., 1989).

4. 3. 1. İnorganik Kükürt

Sülfat Kükürdü : Genelde kömürlerin sülfat kükürdü çok düşük oranlarda (%0.05'den daha az) olduğundan, inorganik kükürdün hemen hemen tamamını piritik kükürt oluşturmaktadır (BAYRAKÇEKEN VE ARK., 1989). Oksitlenmemiş kömürde, jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve barit (BaSO_4) bileşikleri halinde az miktarda bulunmaktadır. Oksitlenmiş

küküldü hidroklorik asit(.) içinde 30 dakikada çözünen sülfat iyonu miktarına eş değerdir (ASTM D2492-77).

TABLO 4.1. Kömürün içerdiği mineraller

Mineral ismi	Kimyasal Formülü	Mineral ismi	Kimyasal Formülü
<i>Killi Minareller</i>		<i>Karbonat Mineralleri</i>	
Montmorillonit	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$	Kalsit	$CaCO_3$
İllit	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Dolomit	$(Ca,Mg)CO_3$
Kolinit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	Siderit	$FeCO_3$
Halloysit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	Ankerit	$(Ca,Fe,Mg)CO_3$
<i>Sülfür Minarelleri</i>		<i>Klorür minerlleri</i>	
Pirit	FeS_2 (kübik)	Halit	$NaCl$
Markasit	FeS_2 (rombik)	Silvit	KCl
Sphalerit	ZnS_2	Bisofit	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Galen	PbS_2	<i>Silikat Mineralleri</i>	
Kalkopirit	$CuFeS_2$	Kuvars	SiO_2
Pirotit	$Fe_{1-x}S$	Biotit	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Arsenopirit	$FeAsS$	Zirkon	$ZrSiO_4$
Millerit	NiS	Turmalin	$Na(Mg,Fe)_3Al_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$
<i>Sülfat Minarelleri</i>		Garnet	$(Fe,Ca,Mg)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$
Barit	$BaSO_4$	Epidot	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$
Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Ortoklas	$KAlSi_3O_8$
Anhidrit	$CaSO_4$	Augit	$Ca(Mg,Fe,Al)(Al,Si)_2O_6$
Bassanit	$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$	Topas	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$
Jarosit	$(Na,K)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$	<i>Oksit ve Hidroksit Mineralleri</i>	
Sezomolnokit	$FeSO_4 \cdot H_2O$	Hematit	Fe_2O_3
Rojenit	$FeSO_4 \cdot 4H_2O$	Magnetit	Fe_3O_4
Melanterit	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Rutil	TiO_2
Mirabilit	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	Limonit	$FeO \cdot OH \cdot nH_2O$
Kieserit	$MgSO_4 \cdot H_2O$	Goethit	$FeO \cdot OH$
<i>Fosfat Minarelleri</i>		Diaspare	$AlO \cdot OH$
Florapatit	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$		

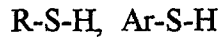
Sülfür ve Disülfür Küküldü : Disülfür küküldünü büyük ölçüde, FeS_2 'ün iki kiristal şekli olan pirit ve markazit oluşturur; piritin kristal şekli kübik, markazintinki ise rombiktir. FeS_2 'ün çoğu piridik olduğundan pirit ismi bütün FeS_2 'ler için kullanılır. İri taneli piritler; kömürde damarlar, mercekler, yumru ve küreler ile piritleşmiş bitki dokusu olmak üzere dört şekilde bulunabilir (KURAL,1998). Piritin özgül ağırlığı 5, markasitin özgül ağırlığı ise 4.87'dir. Pirit, markasitten daha kararlı ve daha az reaktiftir. Markasit, 723 K'de ısıtıldığında piritte dönüşmektedir (TSAİ,1982). Elementel kükürt kömürde çok seyrek olarak bulunur.

Bazı kömürlerin %0.15'e kadar elementer kükürt içerdikleri saptanmıştır. Piridik kükürdün miktarı, sıcak nitrik asit(HNO_3) çözeltisinde 30 dakikada çözünen demir iyonu miktarına eş değerdir (ASTM D2492-77).

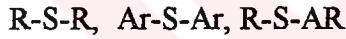
4. 3. 2. Organik Kükürt

Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir (ATTAR,1978). Organik kükürt bileşikleri kömürde asıl yapının bir parçası olarak düzgün dağılmış halde bulunurlar. Bu tür kükürdün kökeni, kömürü oluşturan bitkisel maddelerin proteinlerinin içerdiği amino asitlerdir (ELLIOT,1981). Kömürdeki organik kükürt içeriği, toplam kükürt içeriğinden piritik kükürt ve sülfat kükürdü içeriklerinin çıkarılması sonucunda bulunmaktadır (PALMER VE ARK., 1991). Kömürde bulunan organik kükürt türleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır (TSAİ,1982).

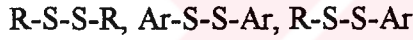
- Alifatik veya aromatik tiyoller (merkaptonlar, tiyofenoller gibi)



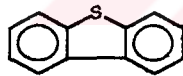
- Alifatik, aromatik veya karışık sülfürler



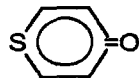
- Alifatik, aromatik veya karışık disülfürler



- Tiyofen tipindeki heterohalkalı bileşikler



- γ - thiopiron tipindeki bileşikler



Tiyoller, linyitlerde ve uçucu madde içeriği yüksek olan bitümlü kömürlerde, düşük uçucu madde içerikli kömürlere oranla daha fazla bulunmaktadır. Kömürleşme derecesi yükseldikçe tiyofenik kükürt oranı da artmaktadır (MORRISON,1981). Disülfürler ve merkaptanlar bitümlü kömürde yok gibidir; fakat, linyit kömürlerinde önemli ölçüde bulunabilirler (KURAL,1991).

5. KÖMÜR HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME

Kömür çok kez ocaktan üretildiği şekilde tüketilemez. Çeşitli teknolojilerin kullanıldığı kömür tipleri, özellikleri bakımından değişiklik gösterir. Bu özellikler arasında maksimum ve minimum tane boyutu, kül, kükürt ve rutubet oranı, kalorifik değer, uçucu kısım oranı ve koklaşma yeteneği gibi önemli faktörler sayılabilir (KURAL,1991).

Kömürün zenginleştirilmesi içerdiği mineral maddenin ve anorganik kükürdün azaltılmasına yönelik olarak uygulanan işlemleri içerir (ATEŞOK,1986). Oluşum koşulları, yapısı ve içerdiği safsızlıklara bağlı olarak kömür, zenginleştirilmesinde, çok çeşitli zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar, çok basit yıkama teknikleri olabileceği gibi, tüketim alanının istemleri doğrultusunda daha karmaşık ve gelişmiş tekniklerde olabilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş olan yöntemlerden en yaygın olarak uygulananlar şunlardır (KURAL,1998).

- Boyutlandırma ve kurutma
- Özgül ağırlık farkına göre ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon ve flokülasyon
- Manyetik ayırma
- Düşük sıcaklık karbonizasyonu
- Sallantılı masa

Bu yöntemler; kömür ile mineral maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklılığına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Genel görünüm(renek, parlaklık), manyetik ve elektrik iletkenlik, özgül ağırlık, ışığı yansıtma ve kırma, yüzey aktiflik en sık yararlanılan özelliklerdir. Kömürün mineral maddesinin; türü, miktarı, şekli, boyutu, fiziksel ve kimyasal özellikleri zenginleştirme amacıyla uygulanacak yöntemin seçimini ve etkinliğini belirlemektedir. Zenginleştirme yöntemleri, gereksinime göre, tek veya bir kaç ard arda kömüre uygulanmaktadır (KÜÇÜKBAYRAK VE YAMAN,1993).

6. KÖMÜRÜN YIKANABİLME ÖZELLİKLER

Kömürlerin kül ve kükürttten arındırılabilmeleri için, öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıklarının ve yıkama yönteminin saptanması gerekir. Bu da yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesiyle mümkündür. Yıkanabilirlik deneyleri, kömürün fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup, yıkama işlemi sonunda kömürün niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini gösterir. Diğer bir deyişle, kömürün kül ve piridik kükürt gibi

safsızlıklardan temizlenmesinin kolay veya zor olacağı, elde edilecek temiz kömürün içeriği ve yıkama randımanı gibi özellikler, yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilir. Yıkanabilirlik verileri aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınırlarını da belirler (ÖZBAYOĞLU,1982).

Kömürlerin yıkanabilme özellikleri laboratuvarında yapılan yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanır. Bu deneyler, kömür ve mineral madde yoğunlukları arasında seçilen değişik yoğunluklarda hazırlanmış, ağır sıvı banyolarında yapılır. Ağır sıvı olarak, genellikle farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış çinko klorür çözeltileri kullanılmaktadır. Hazırlanacak yoğunluklar, kömürün cinsine ve deneylerin özelliğine göre seçilmektedir. Çinko klorür ile 1.8 g.cm^{-3} yoğunluğa kadar ağır sıvı yapmak mümkün olabilmektedir. Bunun üzerindeki yoğunluklarda ise karbontetraklorür ve bromofrom gibi ağır organik sıvıların karışımları kullanılır. Küçük boyutlu (0-0.5mm) kömürle yapılacak yüzdürme-batırma deneylerinde, yalnızca yoğunluğun etkin olmayacağı, viskozite ve salkımlaşmanın, sonuçları değiştirebileceği dikkate alınmalıdır. Bu boyut grubu ile deney yapmak gerekiyorsa, tercihen viskozitesi düşük olan organik sıvılar kullanılmalıdır (ATAK, 1989).

Yapılacak bir ayırmanın güçlülüğü veya kolaylığını incelemek için parça kül eğrisi kullanıldığı zaman bu eğrinin ayırmanın yapılacağı yoğunluktaki eğimine bakılır. Eğim ne kadar yatık ise ayırma o kadar kolay, ne kadar dik ise ayırma o kadar zor olur. Aynı konuda, ± 0.10 yoğunluğundaki malzeme eğrisi kullanıldığı zaman, bu eğriden yararlanarak ayırmanın yapılacağı yoğunluktaki ± 0.10 yoğunluklu malzeme yüzdesi bulunur (ÖNAL VE ATEŞOK,1994). Bulunan yüzde değeri çizelge de gösterildiği gibi, ayırmanın güçlülüğü veya kolaylığı konusunda bilgi verir.

Çizelge : ± 0.10 Yoğunluğundaki Malzeme Yüzdeleri ve Ayırmanın Güçlük veya Kolaylık Derecesi

± 0.10 Yoğunluk Dağılım

<u>Değerleri (%)</u>	<u>Ayırım Olasılığı</u>
0-7	Kolay
7-10	Orta
10-15	Zor
15-20	Çok zor
20-25	Son derece zor
25 ten büyük	Mümkün değil

Bu kritere göre ± 0.10 Yoğunluk dağılım eğrisinde %10 madde miktarına karşı gelen yoğunluk bir tesisin çalışabileceği en düşük yoğunluk değerini göstermektedir (AKALIN VE ÖZ, 1988).

7. KÖMÜRÜN KÜKÜRDÜNÜN GİDERİLMESİ

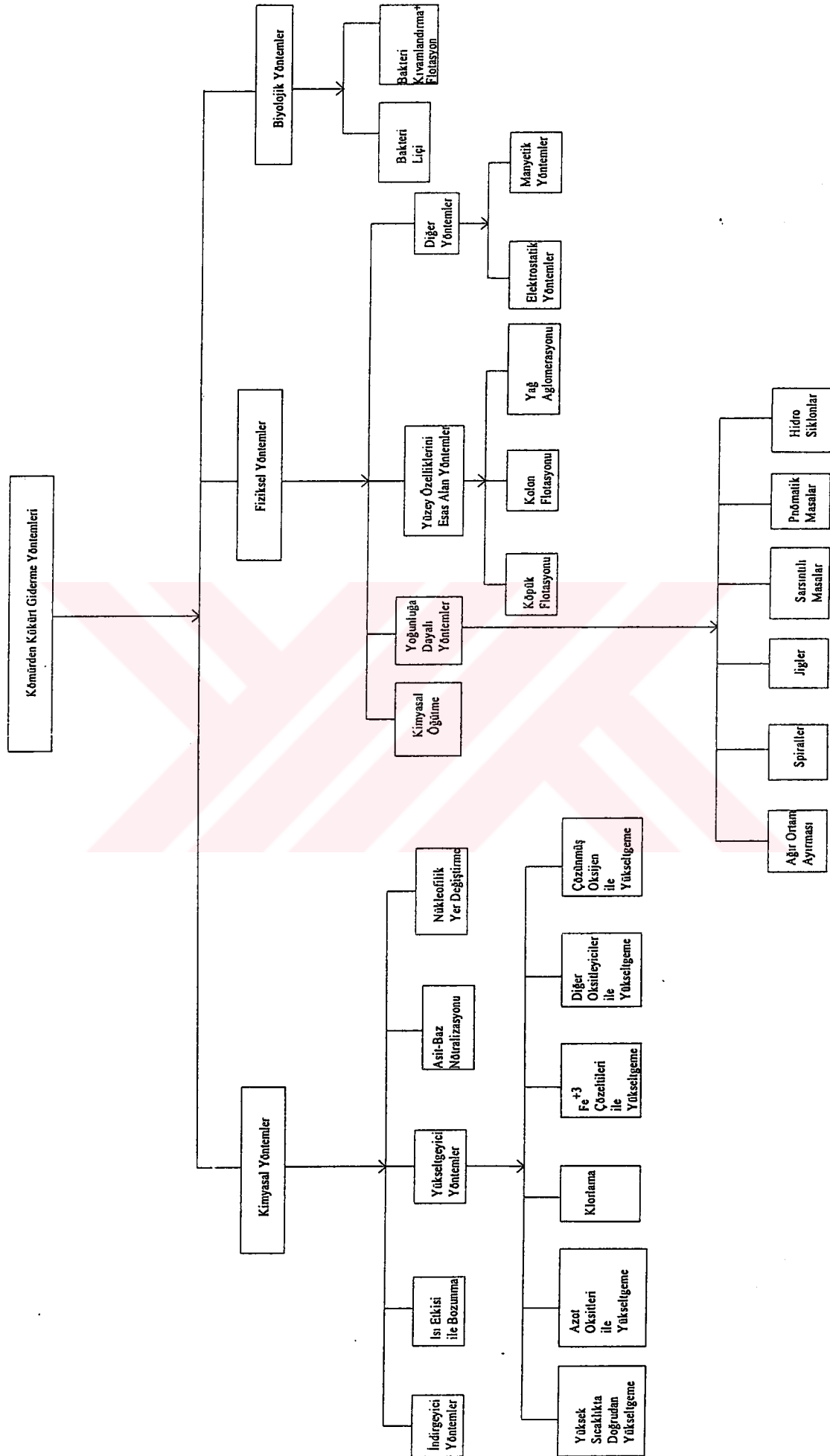
Kömürün içerdiği kükürtlü bileşiklerin yanma öncesi kömürden uzaklaştırılması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerden birinin veya bir kaçının birlikte uygulanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Mevcut ve geliştirilmekte olan, yanma öncesi kömürden kükürt giderme yöntemleri Şekil 7.1’de görülmektedir (ÇELİK VE SOMASUNDARAN, 1994).

7.1. Fiziksel Yöntemler

Fiziksel yöntemlerle kömürden kükürdün uzaklaştırılmasında, suda çözünen sülfat kükürdü, yıkama işlemleri sırasında giderilmekte ve herhangi bir sorun yaratmamaktadır. Organik kükürt ise kömürün bünyesine bağlı olduğundan, fiziksel yöntemlerden etkilenmemekte ve kömürden uzaklaştırılamamaktadır. Bu yüzden, kömürün organik kükürt içeriği kurumsal olarak, fiziksel yöntemlerle temiz kömürde ulaşılabilecek en düşük kükürt oranını belirlemektedir.

Fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılmasına çalışılan kükürt, piritik kükürttür. Yöntemin esası, piritle kömürün farklı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklere sahip olmalarına dayanmaktadır (KURAL,1991).

Yüzey özellikler açısından kömürün organik kısmı hidrofob, pirit dışında kalan inorganik kısmı ise çok güçlü hidrofilidir. Kömürün organik ve inorganik kısımlarının manyetik özellikleride birbirinden farklıdır; organik kısım diamagnetik, özellikle demir içeren inorganik kısım ise paramagnetiktir. Fiziksel yöntemlerle kükürdün giderilmesinde, kömürün organik ve inorganik kısımları arasındaki bu farklı özelliklerinden yararlanılmaktadır. Fiziksel yöntemlerle, kömürün sadece inorganik kükürt içeriğinden belli oranlarda azalma sağlanabilmektedir. En yaygın olarak uygulanan fiziksel kükürt giderme yöntemleri; özgül ağırlık farkına dayalı ayırma yöntemleri, yüzey özelliklerini esas alan yöntemler, manyetik ve elektrostatik yöntemlerdir. Kömürdeki inorganik kükürdün azaltılması, küküt mineralinin tipine, serbestleşme derecesine bağlıdır (KURAL, 1998).



ŞEKİL 7.1. Kömürdeki Kükürdü Yanma Öncesi Giderme Yöntemleri

7. 1. 1. Jigler

Özgöl ağırlık farkına göre zenginleştirmede çok kullanılan aygıtlardan birisi jiglerdir. Kömür hazırlamada en çok kullanılan jig tipi, Baum jigidir. Batac jiginin, Baum jiginden en önemli farkı, alt kısımda hava kopartmanlarının bulunmasıdır (LONARD,1991). Halen kömürlerin yaklaşık 1/3'ü, jig kullanılarak zenginleştirilmektedir. Baum jiginin yeni tipleri olan batac ve feldspat jigleri, 10 mm boyutlu kömürlerin zenginleştirme verimlerini artırmada başarılı olmuştur. Batac jigi kullanılarak düşük kül ve kükürt içerikli bir ürün elde edilmiştir (BURGER,1986). Son yıllarda Almanya'da geliştirilen çift frekanslı basmallı jiglerin -2 mm boyutundaki kömürlerden serbest piridik kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkiği vurgulanmaktadır (BREUER VE JUNGMAN,1986).

7. 1. 2. Siklonlar ve Benzeri Ayırıcılar

İnce kömürlerin kükürt içeriklerinin azaltılmasında siklonlar önemli bir rol oynamaktadır. -0.5 mm'lik kömürlerin temizlenmesinde en etkin yöntem olan flotasyona alternatif olarak gösterilen su siklonlarında verim flotasyona göre düşük olmasına rağmen, siklonların düşük yatırım masrafları, onları uygulamada daha fazla tercih edilir. Amerika'da kullanılan Freon isimli ağır organik sıvı, ortamın akışkanlığının ince taneler üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaktadır. Otiska adı verilen bu yöntemde Freon, saatte 100 ton kapasitesi olan bir tesiste uygulanmış ve çok yüksek ayırım verimi elde edilmiştir. Otiska yönteminin en önemli sorunu Feron'un kömür ve şistten kazanılmasıdır (WILLS, 1985).

7. 1. 3. Spiraller

Kömür için özel olarak hazırlanmış ve poliüretandan imal edilmiş, 10-12 dönümlü spiraller, 8-16 adetlik bataryalar halinde çalıştırılarak, dar bir alanda yüksek kapasitelere ulaşabilmektedir. Özellikle, 0.5 mm boyutlu ince kömürlerin zenginleştirilmesinde, Reichert spiralleri kullanılmaktadır (ATEŞOK VE ARK.,1993).

A.B.D., Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Kanada ve A.B.D. ülkelerinde kömürün temizlenmesinde başarıyla uygulanan spiraller ince kömürlerin kükürt içeriklerinin azaltılmasında da büyük bir önem arzetmektedirler (BROOKES VE MİLES,1987).

7.1.4. Sarsıntılı Masalar

İnce taneli kömürler için kullanılan sarsıntılı masalar, son yıllarda yerini silindirik yüzeyli, santrifüj etkili masalara terk etmiştir. Bu sistemle, 0.04 mm boyutlu kömürün zenginleştirildiği ve kömürün piridik kükürt içeriğinin %55-77'sinin giderilebildiği belirtilmektedir (FAN VE ARK., 1982).

7. 1. 5. Flotasyon

Flotasyon çok ince tane büyüklüğünde öğütülmüş gravimetrik yollarla zenginleştirilmesi mümkün olmayan cevherlerin fizikokimyasal, yüzey kimyası ve kolloidler kimyası kurallarına dayanılarak köpükle cevher yüzdürme işleminin yapıldığı bir zenginleştirme yöntemidir (ERGİN VE ARK.,1989). Kömürlerin doğal yüzebilirliği kömürün kimyasal ve petrografik yapısına ve kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki karbon içeriği artmakta, buna karşın oksijen, hidrojen ve uçucu madde oranları azalmaktadır. En yüksek doğal yüzebilirlik %89 C (kuru-külsüz) içeren kömürde saptanmıştır (ÖNAL VE ATEŞOK,1994).

Flotasyonun oluşabilmesi için hava kabarcığının minerale bağlanması ve su yüzeyine çıkması gerekmektedir. Genelde, flotasyon ince taneli cevhere uygulanmaktadır. Eğer cevher çok iri taneli olursa, mineral tanesi ve hava kabarcığı arasındaki adhezyon kuvveti mineralin ağırlığından az olacağından kabarcık mineral tanesini tutamayacak ve böylece tane aşağıya düşecektir (ERGİN VE ARK.,1989). Genelde kömür zenginleştirmede flotasyon, aşağıda verilen dört amaç için uygulanmaktadır.

- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü kazanmak
- Lavuarlarda atılan ve siyah (black water) olarak adlandırılan proses suyun temizlenmesinde
- Kömürün kükürdünü giderme
- Kömürde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak koklaşabilir kısımlar hazırlamak

Bunlardan, özellikle, kükürt giderilmesine yönelik çalışmalar A.B.D.'de yoğun biçimde devam etmektedir (KURAL,1998).

İnce kömürlerden piritik kükürdün flotasyonla uzaklaştırılması konusunda bir çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, piritin çöktürülüp kömürün yüzdürülmesi veya kömürün bastırılıp piritin yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. Bazen her iki yöntem de birarada uygulanabilmektedir (TAYLOR VE ARK.,1979).

Kömür flotasyonunda, piritin veya minerallerin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi, çalışma koşullarının kontrol altında tutulabilmesi ve dayanıklı köpük elde edilebilmesi amacıyla bazı reaktifler kullanılmaktadır. Bu reaktifler, köpük yapıcılar, toplayıcılar, bastırıcılar, pH ayarlayıcılar ve dispersiyon sağlayıcılarıdır (APLAN VE ARNOLD,1991). En yaygın olarak kullanılan köpük yapıcılar; alifatik alkoller (amil alkol, metil amil alkol, heptanol, oktanol), aromatik alkoller, kresoller, metil izobütil karbinol (MIBC), çamyağı, tricethoxy

bütan ve polipropilenglikol eterleridir (BAYRAKÇEKEN VE GÜRSES,1990). En yaygın olarak kullanılan kömür toplayıcısı iki numaralı yakıt yağı ve gazyağıdır (KURAL,1998).

Piritik kükürdü ayırmak amacıyla flotasyonda kullanılan bastırıcılar, önemli bir reaktif grubunu oluşturmaktadır. Bu bastırıcılar arasında; hidroksi metal iyonları, nişasta ve polisakaridle, poliksantat, oksitleyici ve indirgeyici maddeler, anyonik ve katyonik yüzey aktif maddeler ve quinonoid bileşiklerini saymak mümkündür. Günümüze kadar geliştirilen bastırıcıların büyük bir kısmı ya sadece belirli bir kömür için uygunluk göstermekte ya da maliyetleri yüksek olmaktadır (APLAN,1993).

Kolloidal parçacıklar gözle görülmeyen parçacıklardır. Kolloidal parçacıkların yüzeyleri çok büyük diğer bir deyimle enerjileri çok büyük olduğundan, kolaylıkla adsorpsiyon yaparlar. Kolloidlerin yükleri ne olursa olsun, iki tabakadan meydana gelirler. Kolloidal taneciğin ve adsorplanan iyonları içinde bulunduğu tabakadır. Kolloidal taneciklerin adsorpladıkları iyonlar kolloide sıkı sıkıya bağlanmış olduğu halde, adsorplanan iyon karşıt iyonları daha serbest olarak çözeltide dolaşabilirler. Bunun sonucu kolloid yüzeyiyle çözelti arasında çok küçük bir potansiyel farkı meydana gelir. Bu potansiyel farkına Zeta potansiyeli denir (GÜNDÜZ,1993). Zeta potansiyelinin mutlak değeri ve işareti, mineralin kolektörle muamelesinde büyük önem taşır. Kolektörlerde mineral yüzeyine adsorbe olduklarında, mineral yüzeyi elektrik şarjını kuvvetle değiştirirler. Mineral pülplerinin uygun elektrolitlerle muamele edilerek, zeta potansiyelinin mutlak değeri ve işaretinin kontrolü flotasyonda önemlidir (ATAK,1974). Nötür pH 'da kömür yüzeyleri negatif yüklü olup, potansiyel değeri çok küçüktür. Pülp asitlendirilecek olursa kömür yüzeyleri H^+ iyonlarını adsorbe eder ve bir pH değerinde sıfır yük değerine ulaşır (ATEŞOK, 1986).

7. 1. 6. Yağ Aglomerasyonu

Yağ aglomerasyonunda, suda ıslanmayan ince kömürler hidrokarbonla birleştirilerek topaklandırılmakta; su ortamında kalan pirit ve şistler ise uzaklaştırılmaktadır. Convertol yönteminde şist parçacıklarının kömür topaklarından ayrılmasında santrifüjden, Olifloc yönteminde ise eleklerden yararlanılmaktadır. Optimum yağ miktarı ağırlıkça % 12-15 arasındadır. Yöntemin en çekiçi tarafı 50 mikronun altındaki kömür tanelerinin bile temizlenebilmesi ve düşük nem içerikli bir ürünün eldesine olanak vermesidir. İnce kömürlerin aglomerasyonunda yağdan başka heptan, pentan, perkloretilen ve sıvı karbondioksit de kullanılabilir. Aglomerant olarak kullanılan yağın kükürt içeriği yüksekse, beslenen kömürün kükürt içeriğinden daha yüksek kükürtlü bir kömür elde etme olasılığı da vardır (JENKINSON,1986).

7. 1. 7. Manyetik Ayırma

Kömürün diamanyetik, piritin ise paramanyetik olmasından doğan manyetik özellik farklılığı, piritin kömürden uzaklaştırılmasında manyetik ayırma yönteminin uygulanabileceğini göstermektedir (LIU VE LIN,1976).

Kömüre 443 K'de demir pentakarbonilin uygulanması sonucunda, pirit taneciklerinin yüzeyinde yüksek manyetik özellik gösteren piritin oluşturulmakta ve manyetik ayırıcılarla kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Bu yöntemlerle, kükürdün % 99'unu gidermişlerdir (LUA VE BAUCHER,1990).

7. 2. Biyolojik Yöntemler

Biyolojik yöntemler genellikle iki şekilde uygulanmaktadır. Bakteri liçi ile bakteri kıvamlandırma ve ardından flotasyon uygulanmasıdır (DOĞAN VE ÇELİK,1992). İkinci yöntemin uygulanması sonucunda, ham kıvamlandırma süresinin birkaç dakikaya indiği, hem de piritik kükürdün ve mineral maddenin daha etkin şekilde uzaklaştırılabilmektedir. Türkiye'de bir linyite uygulanan bakteri liçi on gün gerekirken, bakteri kıvamlandırılması ve ardından flotasyon uygulanması için gerekli süre birkaç saatle indirilmiş, bu ikinci yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir (DOĞAN,1990).

Kömürün kükürt içeriğini giderebilen iki grup mikroorganizma vardır. Birinci gruba giren mikroorganizmalar oda sıcaklığında aktiftir. Bunlara *Thiobacillus ferrooxidans* ve *Thiobacillus thiooxidans*tır. Diğer gruba giren mikroorganizmalar yüksek sıcaklıklarda aktiftirler. Bu gruba girenler *Sulfolobus acidocaldarius*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Sulfobus brierleyi* ve *Sulfobus sulfatararicus*tur (ELİGWE,1988). *Sulfobus* türü termofilik mikroorganizmaların, karıştırmalı reaktörlerde ve akışkan yatakta, inorganik kükürdün yanı sıra organik kükürdün de % 60-65'ini uzaklaştırabildiği saptanmıştır (ÖZBAŞ VE ARK., 1993).

7. 3. Kimyasal Yöntemler

Kükürtlü bileşiklerin doğrudan tepkimeye girerek kömürden uzaklaştırılmasına veya kömürden kolayca uzaklaştırılabilecek bir yapıya dönüştürülmesine dayanmaktadır. Bazı kimyasal kükürt giderme yöntemleri, kömürdeki diğer mineralleri ve iz elementleri giderebilme etkisine de sahiptir (KURAL,1998). Kimyasal yöntemler kömürün içerdiği

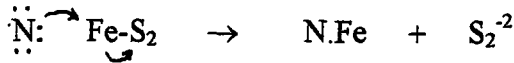
organik ve anorganik kükürdü gidermeye yönelik olarak geliştirilmiştir. Kimyasal yöntemleri başlıca iki gruba ayırabiliriz.

- Çeşitli gaz ortamlarında ısıtma işlemine dayanan yöntemler
- Yaş kimyasal yöntemler

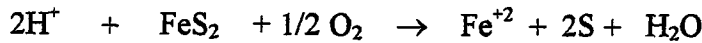
Kükürt Giderme Reaksiyonlarının Kimyası: Kömürün piridik ve organik kükürdün giderilmesinde yararlanılan kimyasal yöntemlerin dayandığı kimyasal reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir.

Piritin Kimyasal Reaksiyonları: Kömürden piridik kükürdün giderilmesinde, piritin şu reaksiyonlarından faydalanılır.

Yer değiştirme reaksiyonları:



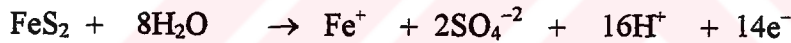
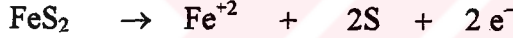
Asit-baz nötralizasyonu:



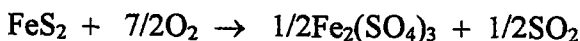
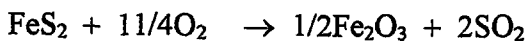
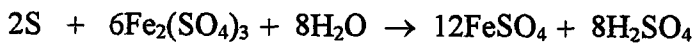
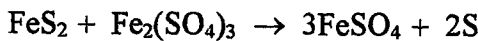
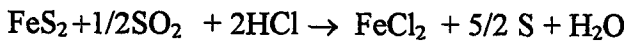
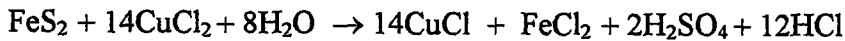
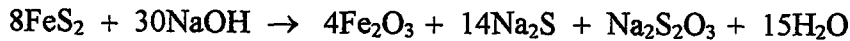
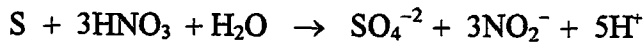
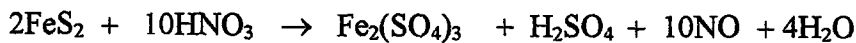
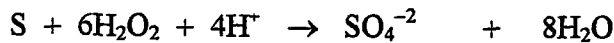
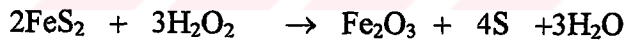
Oksidasyon reaksiyonu:



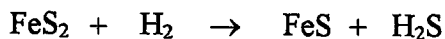
Elektrokimyasal potansiyel açısından değerlendirme:

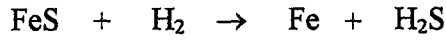


Gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar:



Redüksiyon reaksiyonu:

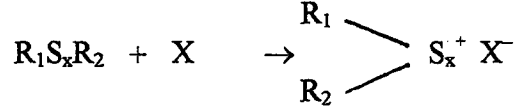




Reaksiyonun birinci kademesi 500°C'den düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği halde, ikinci kademenin oluşumu ancak 900°C'den yüksek sıcaklıklarda mümkündür.

Organik Kükürt Bileşiklerinin Reaksiyonları : Kömürde organik yapıya bağlı bulunan kükürdün giderilmesinde aşağıdaki reaksiyonlardan yararlanılmaktadır:

Çözücü ile ayırma :



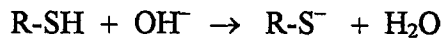
Kükürt giderme amacıyla yapılacak ekstraksiyonda, çözünen kısmın "organik kükürt / karbon" oranı, çözünmeyen kısımdan yüksek olmalıdır ve bu oran yükseldikçe işlemin etkinliği artar.

Termal bozunma :



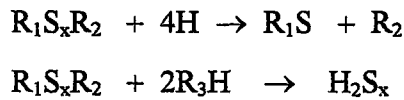
Organik sülfür bileşikleri 400 °C'nin altında bozunurlar; ancak piroliz sırasında C-O bağı C-S bağından daha kolay kırıldığından amin, eter, gibi diğer kömür makromolekülündeki bağlarda bozunmaya uğrarlar. Bu nedenle termal bozunma için, organik kükürt bağını seçici bir katalizör kullanımı zorunlu görünmektedir.

Asit-baz nötralizasyonu:



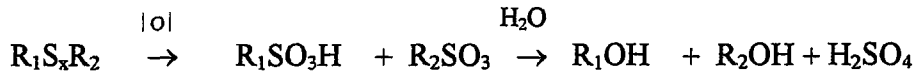
Zayıf asidik karakterli merkaptan ve tioller, kuvvetli bazların sulu çözeltiler ile nötralize edilebilirler. Bu olay sülfür, disülfür, aromatik sülfürler için geçerli değildir.

Redüksiyon:



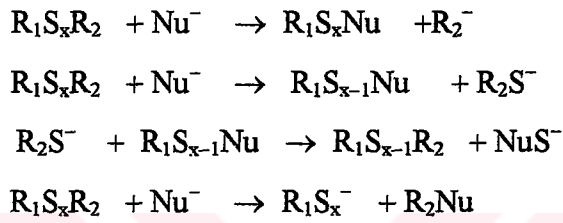
Tioller, sülfür, disülfür ve aromatik sülfürler, hidrojen veya hidrojen verici sistemler ile başarıyla indirgenirler.

Oksidasyon:



Tiol, sülfür ve disülfürler, sülfonik asitlere kadar yükseltgenirler; ortama kaynar su ilavesiyle, oluşan sülfonik asitler hidrolize uğratılıp H_2SO_4 halinde kömürden uzaklaştırılırlar.

Nükleofilik yerdağıtirme:



Bu yöntemin kükürt giderme işleminde kullanılabilmesi, ayrılan grubun, başlangıçtaki kükürt bağlı gruba oranla daha az karbon içermesi ve çözünebilir ya da buharlaştırılabilir olması gerekmektedir.

8. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Miller (1978), U.S. Bureau of Mines tarafından piritin uzaklaştırılması konusunda iki aşamalı bir flotasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde ilk aşamada, 35 mesh'e öğütülmüş kömür nötr pH'da gazyağı ve MIBC (Metil İzobütil Karbinol) ile yüzdürülmüştür. İkinci aşamada ise, pülpün pH'ı 6'ya indirilmiş ve kömür "Aero Depresant 633" eklenmesiyle bastırılarak piritin K-amil ksantat ve MIBC reaktifleriyle yüzdürülmesine çalışılmıştır. A.B.D. Appalachian kömürlerine iki aşamalı flotasyon yönteminin uygulanmasıyla piritik kükürdün %70-90 ve toplam kükürdün %40-70'i uzaklaştırılabilmiştir.

Miller (1978) ve Taylor (1979), ince kömürlerden piritik kükürdün flotasyonla uzaklaştırılması konusunda bir çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, piritin çöktürülüp kömürün yüzdürülmesi veya kömürün bastırılıp piritin yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. Bazen her iki yöntemde bir arada uygulanmaktadır.

Sarıkaya ve Özbayoğlu (1984), %30.47 kül, %3.31 toplam kükürt, %2.88 piridik kükürt ve %0.19 sülfat kükürdü içeren Aşkale-Erzurum linyitine iki aşamalı flotasyon yöntemi uygulamışlardır. Birinci aşamada kömür nötr pH'da, gazyağı ve MIBC ile yüzdürülmüş ve kül ile iri piritlerin artığa geçmesi sağlanmış ve elde edilen kaba konsantre iki defa temizlenmiştir. İkinci aşamada ise ortamın pH' 6'ya indirilmiş ve kömür Aero 633 ile bastırılarak, daha önce kömürle birlikte yüzen ince taneli piritlerin potasyum amil ksantat ile (K.A.X.) yüzdürülmesine çalışılmıştır. Bu yöntemle -20 mesh'e indirilmiş Aşkale-Erzurum linyitinin piridik kükürdün %74.05'i uzaklaştırılmıştır. Temiz kömürün piridik kükürt içeriği %1.27 düzeyine indirilmiştir.

Doğan ve Ark.(1984), Bakterilerle şartlandırma ve flotasyon yöntemiyle Aşkale linyitlerindeki piridik kükürdün artırılmasını çalışmışlardır. Bu çalışmada; bakteriyel şartlandırma ve flotasyonla Aşkale linyitinde mevcut %2.88'lik piridik kükürt %0.82 seviyesine %78 kömür randımanıyla düşürülmüş ve piridik kükürt giderme oranı %77.63'e ulaşmıştır.

Özbayoğlu ve Ark. (1986), 10 mm'nin altına öğütülmüş Aşkale linyitine, özgül ağırlığı 1.6 olan bir ortamda yüzdürme-batırma uygulayarak piridik kükürt içeriğinin %78.9'unu gidermişler; bıraktığı külü ise %65.19 kadar azaltmışlardır. Aynı işlemler Çan linyitine de uygulanarak, piridik kükürt içeriğinde %74.66 bıraktığı külde ise %52.79 azalma sağlamışlardır. Sarsıntılı masa kullanarak gerçekleştirdikleri zenginleştirme işlemleri sonucunda ise, -1.68 mm tane boyutundaki Aşkale linyitinin piridik kükürdü %3.77'den %1.45'e indirilmiş, organik kükürt içeriği de %0.67'den %0.77'ye çıkartılmıştır. Doğrudan ve iki kademeli olarak uyguladıkları flotasyon yönteminde -0.42 mm boyutundaki Aşkale linyiti kullanılarak piridik kükürt içeriği %1.81-2.56, organik kükürt içeriği ise %0.52-0.66 aralığında değişen kömürler elde etmişlerdir. 18000 Gauss'luk bir manyetik alan şiddeti uygulayarak gerçekleştirdikleri manyetik yöntemle, piridik kükürt içeriğini %1.47'ye indirmişlerdir. Ünlü ve Doğan (1986), Armutçuk şlam numunesi üzerinde flotasyon çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada optimum deney koşullarını tesbit etmeye çalışmışlardır.

Özbayoğlu ve Mamurekli (1988), Zonguldak kömürlerinden süper temiz kömür üretmeye çalışmışlardır. Ağır ortam ayırımı ve flotasyon yöntemlerini bir arada kullanarak Zonguldak kömürlerinin %2.50'den az kül içerikli kömürlerin elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Önal ve Ark. (1988), Yeniköy ve Gediz linyitlerini zenginleştirme araştırmalarında kullanmışlardır. %53.98 kül bırakan ve %1.92 toplam kükürt içeren Yeniköy linyiti yıkama

işlemleri sonucunda %22.12 kül bırakan ve %2.53 toplam kükürt içeren bir kömüre dönüştürülmüştür. Yüzdürme-batırma yönteminin başarıyla uygulanmasının ise çok zor olduğu saptanmıştır. Gediz linyit numunesine uygulanan yıkama işlemleri sonucunda ise, kükürt içeriği %8.22 ve bıraktığı kül %27.63 olan linyit numunesi, bıraktığı kül %12.4 olan bir kömüre dönüştürülmüştür; ancak, kükürt içeriğinde bir azalma sağlanamamıştır. Ayrıca, Gediz linyitine hidrolik ayırma, ağır ortam, sarsıntılı masa ve flotasyon yöntemleri de uygulanmıştır; ağır ortam ve flotasyon yöntemlerinin arka arkaya uygulanması sonucunda bıraktığı kül %11.67'ye indirilebilmiştir; hidrolik ayırma, sarsıntılı masa ve flotasyonun arka arkaya uygulanması sonucunda ise bıraktığı kül %12.48 olarak belirlenmiştir.

Semer kant ve Ark. (1991), %1.44 yanabilir kükürt içeren ve %57.08 kül bırakan Tunçbilek linyit numunesini, çeşitli aşamalardan oluşan ağır ortam ve hidrolik ayırma yöntemlerini uygulayarak zenginleştirmiş ve yanabilir kükürt içeriği %1.92 olan, %23.21 kül bırakan bir kömür elde etmişlerdir. Kömürün geri kazanılma oranı ise %52.52 olarak belirtilmiştir.

Hucko ve Ark. (1988), Kömür, ilk kademedeki olağan yöntemlerle yüzdürülerek özellikle külünden arındırılmakta ve ikinci kademedeki ise, pirit ksantatle yüzdürülürken, kömür de nişasta tipi bir reaktifle bastırılmaktadır. Bu uygulamayla, Amerika'daki Applochion kömürlerinde %70-90, Midwestern kömürlerinde ise %40-60 oranında bir kükürt giderme sağlanmıştır. İnce öğütme ve ardından şlam eklemenin seçiciliği artırdığı saptanmıştır.

Demirel (1988), %3.81 piritlik kükürt içeren ve %38.60 kül bırakan Çayırhan linyit numunesine iki aşamalı flotasyon uygulamışlardır. Köpürtücü olarak, metil izobütil karbinol (MIBC) kullanılarak gerçekleştirilen ilk aşamada -0.5 mm tane boyutu ile çalışılmıştır. Kısmen zenginleştirilen kömür ıslak öğütme ile -0.075 mm'ye indirilerek çok ince pirit taneciklerinin de serbestleşmesi sağlandıktan sonra ikinci bir flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. Aero Depresant 633'ün kömürü bastırma, MIBC'ün köpürtücü, potasyum amil ksantat'ın ise pirit toplayıcısı olarak kullanıldığı bu ikinci flotasyon aşaması sonunda kömürün piritlik kükürt içeriği %1.03'e, bıraktığı kül ise %15.31'e düşmüştür; kömür kazanılma verimi ise %60.52 olmuştur.

Kayataz (1988), Çayırhan linyitinin +100 mm fraksiyonuna el ile ayıklama ; 0.5-100 mm aralığındaki fraksiyonuna yüzdürme-batırma; 0.5-10 mm aralığındaki fraksiyonuna hidrolik ayırma ; 0.1-0.5 mm aralığındaki fraksiyonuna sarsıntılı masa ve -0.5 mm fraksiyonuna ise flotasyon yöntemi ile zenginleştirme uygulamışlardır. %44.58 kül bırakan tüvenan Çayırhan linyitinin %40'ı %20.50 kül bırakan temiz kömüre, %29.4'ü %44.81 kül bırakan bir ara ürüne, %30.6'sı ise %76.86 kül bırakan bir artığa dönüştürülmüştür.

Akalın ve Ark. (1988), Karlıova, Beyşehir, Gönyük, Çan, Kangal, Sekköy, Bağyaka, Tunçbilek ve Eyyez bölgelerindeki linyit yataklarından aldıkları 12 numunenin yıkanabilme özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçta, bu yöntemle, Karlıova linyitinin bıraktığı külün azaltılmadığını; Beypazarı ve Beyşehir linyitlerinin çok zor; Gönyük linyitinin ise zor olduğunu; Çan, Kangal, Sekköy ve Bağyaka numunelerinin orta derecede; Tunçbilek'teki açık ve kapalı ocaklardan alınan örnekler ile Eyyez linyit numunelerinin ise kolaylıkla azaltılabildiğini belirlemişlerdir.

Aplan ve Arnold (1991), Kömürün, piritin veya minerallerin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi, çalışma koşullarının kontrol altında tutulabilmesi amacıyla bazı reaktifler kullanılmaktadır. Bu reaktifler, köpük yapıcılar, toplayıcılar, bastırıcılar, pH ayarlayıcılar ve dispersiyon sağlayıcılar.

Hamamcı ve Ark. (1995), Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki linyit ve asfaltitlerden yaş kimyasal yöntemlerden Meyers Yöntemi ile Hazro linyitinin toplam kükürt içeriği %7.70'den, %2.15'e, piridik kükürt içeriği %5.40'ten %0.18'e Şırnak asfaltitlerinden ise piridik kükürt içeriği %1.90'dan %0.47'ye kadar azaltmışlardır.

Deniz ve Ark. (1996), Denizli linyitlerinden flotasyon ile kükürdün uzaklaştırılmasına çalışmışlardır. Bu araştırmada flotasyonda etkin parametrelerden bastırıcı, toplayıcı, köpürtücü, katı miktarı ve karıştırma hızının kömür bünyesindeki kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkileri araştırılmıştır. Flotasyon yöntemiyle %4 toplam kükürtlü tüvenan kömürden, %1.51 kükürtlü lave elde edilmiştir.

Cebeci ve Ark. (1996), Yozgat-Ayırdaş linyitlerini zenginleştirmeye çalışmışlardır. Elle ayıklama, ağır ortam, jig, sarsıntılı masa ve flotasyonla yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda düşük kül (%13-14) ve kükürt (%0.73-1.32) içerikli temiz kömürlerin üretilebileceği belirlemişlerdir. Üretilen toplam konsantrenin kuru kömür bazında %13.70 kül, %1.15 kükürt içerdiği ve 6231 kcal.kg⁻¹ üst ısı değere sahip olduğu bulunmuştur. Yanabilir kısım % 80.83'ünün konsantrede kazanıldığı tespit edilmiştir.

9. DENEL BÖLÜM

9.1. Materyal

Bu araştırmada materyal olarak O.D.T.Ü., Y.Ö.K. Dökümantasyon Merkezindeki konu ile ilgili kitap ve süreli yayınlar, kömür örnekleri (Avgamasya, Segürük, Halbur ve Hazro), kimyasal maddeler, cevher hazırlama ve cevher zenginleştirme laboratuvarlarında bulunan cihazlar kullanıldı.

Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler:

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. HNO_3 | 7. Na_2SiO_3 |
| 2. HCl | 8. Çamyağı |
| 3. BaCl_2 | 9. Gazyağı |
| 4. NH_3 | 10. İzooktanol |
| 5. H_2O_2 | 11. Dowfroth-250 |
| 6. ZnCl_2 | |

Deneylerde Kullanılan Cihazlar: Numune kırmada çeneli kırıcı Retsch BB1/A, öğütmede bilyalı değirmen, numune azaltmada Retsch PTZ numune bölücü, elek analizinde elek sarsma makinesi Retsch 3D, elemelerde ASTM elek serisi (6,25,60,120,200 ve 270 mesh), flotasyonda Flotasyon Makinası D 12, toplam kükürt ve element analizinde Carlo Erba EA1108 Model cihazları kullanıldı.

9.2. Metod

Bu araştırmada, numune hazırlama, yüzdürme-batırma ve flotasyon deneyleri şeklinde üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

9.2.1. Numune Alma ve Hazırlama:

Silopi-Harbul, Şırnak-Avgamasya-Segürük filonlarında ve Diyarbakır-Hazro kömür ocağından farklı yerlerinden örnek alma yöntemine uygun olarak örnekler alındı. Örnekler polimer kaplarda ağzı kapatılarak saklandı. Laboratuvar çalışmaları bu örnekler üzerinde yapıldı.

9.2.1.1. Standart Kömür Analiz Yöntemleri:

Nem Analizi: Nem miktarı tayin edilecek kömür numunesi tartılıp etüve kondu. Tüvenan kömürün 100 mesh'ın altına öğütüldü. 105°C'de etüvde 2 saat bekletilen kömür numunesi,

etüvden çıkarılarak tartımı yenilendi. Numunedeki nem miktarı aşağıdaki formül ile hesaplandı.

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

- a. Etüve konmadan önceki tartım
- b. Etüvden çıkarıldıktan sonraki tartım

Kül Analizi: Kül tayini ASTM 3174 standartına göre -120 mesh öğütülmüş kömür örneklerinden, 1.0000 gr alındı. 800°C'de 6 saat fırında bekletilmiş porselen krozelerin içine bırakıldı. Önce açıkta yakıldı, sonra 800°C'deki fırında 6 saat bekletildi. Küllerin tartımları alınarak aşağıda gösterilen formüle göre % kül oranları hesaplandı.

$$(\%) \text{ Kül} = \frac{\text{Kalan kül ağırlığı}}{\text{Köm. Num. Ağ.}} \times 100$$

Uçucu Madde Analizi : ASTM 3175 standartına göre - 200 mesh'lik yaklaşık 1 gr kömür numunesi analitikal terazide tartıldı. 900°C'de sabit tartıma getirilmiş boş tartımları alınan porselen krozelerin içine bek alevinde yakıldı. Sonra 900°C'deki fırında 7 dakika bekletildi. Ağırlık kaybından yararlanılarak uçucu madde miktarı aşağıda gösterilen formüle göre hesaplandı.

$$(\%) \text{ Uçucu Madde} = \left(\frac{\text{Kömür Num. Ağ.} - \text{Kalan Mad. Mik.}}{\text{Kömür Num. Ağ.}} \right) \times 100$$

Sabit Karbon Analizi : Kömür içindeki hiçbir elemana bağlanamayan karbon içeriğine sabit karbon denir. Bu miktar yaşlı kömürlerde % 98'e çıkarken genç kömürlerde % 38'e kadar düşmektedir. Sabit karbon tayini daha önce bulunan değerlerden yararlanarak hesaplama yoluyla bulunabildiği gibi, karbon analizi yapılarak da belirlendi.

$$(\%) \text{ Sabit Karbon} = 100 - (\text{Kül} + \text{Uçucu madde})$$

Element Analizi : Kömürdeki toplam kükürt, karbon, azot ve hidrojen “ Carlo Erba EA 1108Model” element analiz cihazı ile belirlendi.

Sülfat Kükürdünün Belirlenmesi : ASTM D2 492-77 standartlarına göre sülfat kükürdü belirlendi. Havada kurutulmuş -200 mesh'lik kömürlerden 20 gr'lık örnekler alındı. 1000

ml'lik behere konarak üzerine 200 ml HCl (2+3) ilave edildi. Kömürün tamamı ıslanana kadar karıştırıldı. 30 dakika magnetik karıştırıcı ile ısıtıldı. Soğutulduktan sonra üzerine 50 ml saf su ilave edildi. Karıştırılarak 10 dakika bekletildi, süzme işlemleri yapıldı. 6 defa saf suyla yıkandı. Yıkanan kömürler süzgeç kağıdı ile beraber bir başka behere aktarıldı. Oluşmuş olan çözeltiye 5 ml derişik NH_3 ilave edilerek ortama geçen demirler çöktürüldü. Çökelek çözeltiden ayrıldı. Çözeltinin pH' sı 1-2 olana kadar HCl ilave edildi. Çözelti ısıtılarak 20 ml 1 M BaCl_2 çözeltisi ilave edildi. BaSO_4 sıcak su banyosunda ya da 1-2 saat bekletilerek BaSO_4 tamamen çöktürüldü. Süzme işlemleri yapıldıktan sonra çökelti 5-6 defa saf su ile yıkandı. Daha önce 750°C 'de 2 saat fırında bekletilen porselen krezelerin boş tartımları alınarak BaSO_4 süzgeç kağıdı ile beraber krezelerin içine konarak 750°C 'ye getirilmiş fırının içinde 2 saat bekletildi. Ölçümler gravimetrik analizle yapıldı. Aşağıdaki formülden yararlanarak % sülfat kükürt miktarı hesaplandı.

$$(\%) \text{ Sülfat Kükürdü} = (A - B) \times 13.735 / W$$

A Çöktürülen BaSO_4 'un ağırlığı (Porselen kroze ile birlikte)

B Boş porselen krozenin ağırlığı

W Alınan kömür numunesinin ağırlığı

Piritik Kükürdün Belirlenmesi : Sülfat kükürdün ekstraksiyonu sonucunda arta kalan kömür numunelerinin üzerine 200 ml HNO_3 (1+7) ilave edildi. Üzeri saat camı ile kapatılarak 30 dakika ısıtıldı. Soğutulduktan sonra süzme işlemleri yapıldı ve 5-6 defa saf su ile yıkandı. Çözeltinin üzerine 10 ml % 35'lik H_2O_2 ilave edildi. Ortama geçebilecek sülfürleri sülfatlara yükseltgemek için 5 dakika kaynatıldı. Sonra sülfat kükürdün belirlenmesi işlemlerinde anlatılan yöntemle piritik kükürdün hesaplamaları yapıldı.

Organik Kükürdün Belirlenmesi : Organik kükürdün belirlenmesinde, kömürün toplam kükürt değerinden, piritik kükürt ve sülfat kükürdünün çıkarılmasıyla organik kükürt hesaplandı (DÜZ,1995).

$$(\%) \text{ Organik kükürt} = \text{Toplam kükürt} - (\text{Piritik kükürt} + \text{Sülfat kükürdü})$$

9. 2. 2. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Yüzdürme-batırma deneyleri Avgamasya, Segürük, Halbur ve Hazro kömürleri üzerinde yapıldı. Yüzdürme-batırma deneylerinde $ZnCl_2$ çözeltisi kullanıldı.

9. 2. 3. Flotasyon Deneyleri

Deneyler Avgamasya, Segürük, Halbur ve Hazro kömürleri üzerinde yapıldı. Flotasyon deneylerinde, flotasyon makinesi D 12'nin 1 litrelik hücrelerinde yapıldı. Flotasyon deneylerinde musluk suyu kullanıldı. Örnekler flotasyon hücresinde 5 dakika süreyle karıştırılıp ıslatıldı. Bu sürenin sonunda pH ayarlanarak flotasyon reaktifleri ilave edildi ve pülp 5 dakika süreyle kıvamlamaya tabi tutuldu. Daha sonra hava musluğunu açılarak 5 dakika süreyle köpük alındı. Elde edilen konsantre, ara ürün ve artık filtre edilip, kurutulduktan sonra tartılıp ve kül analizlerine bakıldı.



10. ARAŞTIRMA BULGULARI

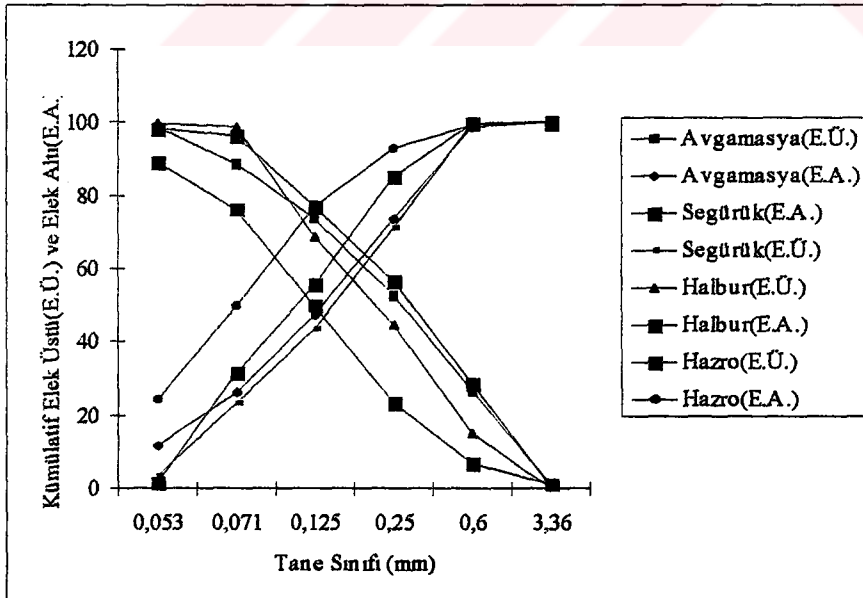
Deneysel çalışmalar, zenginleştirme öncesi tam kimyasal analizleri, boyut analizleri, yüzdürme-batırma ve flotasyon ile zenginleştirme deneylerini içermektedir.

10.1. Tüvenan Kömürün Elek Analizi

ASTM standartlarına göre havada kurutulmuş kömür örnekleri çeneli kırıcıda kırıldı ve bilyalı değirmende öğütme işlemleri yapıldı. Numune azaltma yöntemine göre 100 gr örnek alınarak elek sarsma makinesi ile 15 dakikada şu boyutlarda elek analizi yapıldı.

	+ 6 mesh		+ 3.36 mm
-6	+ 25 mesh	-3.36	+ 0.60 mm
-25	+ 60 mesh	-0.60	+ 0.25 mm
-60	+ 120 mesh	-0.25	+ 0.125 mm
-120	+ 200 mesh	-0.125	+ 0.071 mm
-200	+ 270 mesh	-0.071	+ 0.053 mm

Elek analizinde her bir elekte kalan numunelerin tartımı yapıldı. Elek altı ve elek üstü değerleri hesaplandı(Tablo 10.1, Şekil 10.1).



ŞEKİL 10.1. Halbur, Avgamasya, Segürük ve Hazro Kömürünün Tane Sınıfına Göre Elek Altı(E.A) ve Elek Üstü (E.Ü.) Değerlendirme Grafiği

TABLO 10.1. Halbur, Avgamasya, Segürük ve Hazro Kömürünün Tane Sınıfına Göre Elek Analizlerin Değerlendirilmesi

TANE SINIFI (mm)	AĞIRLIK (%)				KÜMÜLATİF ELEK ÜSTÜ (%)				KÜMÜLATİF ELEK ALTI (%)			
	Avgamasya	Segürük	Halbur	Hazro	Avgamasya	Segürük	Halbur	Hazro	Avgamasya	Segürük	Halbur	Hazro
+3.36	1.100	0.400	0.100	1.000	1.100	0.400	0.100	1.000	100.00	100.00	100.00	100.00
-3.36+0.60	25.50	28.30	14.80	6.000	26.60	28.70	14.90	7.000	98.90	99.60	99.90	99.00
-0.60+0.25	26.00	27.80	29.40	16.00	52.60	56.50	44.30	23.00	73.40	71.30	85.10	93.00
-0.25+0.125	21.10	20.40	24.20	27.00	73.70	76.90	68.50	50.00	47.40	43.50	55.70	77.00
-0.125+0.071	14.90	19.50	30.20	26.00	88.60	96.40	98.70	76.00	26.30	23.10	31.50	50.00
-0.071+0.053	10.30	2.000	1.000	13.00	98.90	98.40	99.70	89.00	11.40	3.600	1.300	24.00
-0.053	1.100	1.609	0.300	11.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.100	1.600	0.300	11.00
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00								

10. 2. Tüvenan Kömürlerin Tam Kimyasal Analizleri

Kömürün; nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri, kısa analiz sonucu saptanan özelliklerini; karbon, hidrojen, azot, kükürt ve oksijen içerikleri ise elementel analiz sonucu saptanan özelliklerini oluşturmaktadır. Kısa analiz sonuçlarını ASTM standartlarına göre hesaplandı. Elementel analiz sonuçlarını ise element analiz cihazı ile belirlendi. Kömürlerin tam kimyasal analiz sonuçları Tablo 10.2’de verilmiştir.

TABLO 10.2. Şırnak (Avgamasya, Segürük), Silopi (Halbur) Asfaltitleri ve Hazro Linyitinin Kimyasal Analiz Sonuçları

KİMYASAL ANALİZLER	ASFALTİT Ağırlık (%)			LİNYİT Ağırlık (%)
	Avgamasya	Segürük	Halbur	Hazro
Kükürt Türleri				
Toplam Kükürt	6.891	6.746	7.017	7.540
Piritik Kükürt	2.000	2.353	1.500	5.234
Sülfat Kükürdü	0.290	0.320	0.264	0.095
Organik Kükürt	4.601	4.073	5.253	2.211
Element Analizleri				
Karbon	51.436	46.775	54.079	64.284
Azot	0.910	0.762	0.764	1.020
Hidrojen	3.868	4.406	5.122	4.708
Kısa Analizler				
Nem	1.260	0.620	0.630	1.537
Kül	39.070	40.80	32.490	18.310
Sabit Karbon	25.08	24.860	20.140	32.353
Uçucu Madde	34.590	33.720	46.740	47.80
Isıl değeri k.cal.kg ⁻¹	5630.318	5430.827	6276.253	6964.848

10.3. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Yüzdürme-batırma deneyler, -12.70 + 4.76 mm , -4.76 + 3.36 mm, -3.36 + 2.38 mm, -2.38 + 1.19 mm ve -1.19+0.71mm boyut gruplarına ayrılan örneklerin, ZnCl₂ ile hazırlanan 1.30-1.40-1.50-1.60 -1.70 ve 1.80 g.cm⁻³ yoğunluğundaki ağır sıvılar ile yapılmıştır. Örnek önce suyla iyice yıkandı ve süzüldü. Yüzdürme-batırma deneyine tabi tutulacak örnek suyla yıkandıktan sonra, ilk önce 1.3 g.cm⁻³ lük ZnCl₂ çözeltisine atılarak karıştırıldı ve yüzen miktar 0.5 mm açıklıklı bir süzgeçle alınarak, 1.3 g.cm⁻³ de yüzen olarak adlandırıldı. Daha sonra batan kısım, 1.4 g.cm⁻³ yoğunluklu çözeltiye atıldı ve karıştırıldı. Karıştırıldıktan sonra yine süzgeçle

yüzen miktar alınarak 1.3-1.4 g.cm⁻³ yoğunluklu miktar olarak adlandırıldı. Aynı işlem daha yüksek yoğunluklu çözeltilerde de tekrar edildi ve en son olarak 1.8 g.cm⁻³ te batan kısım alınarak 1.8 g.cm⁻³ te batan miktar olarak isimlendirildi. Elde edilen yoğunluk fraksiyonundaki ürünler yıkanarak ZnCl₂'den arındırıldıktan sonra, kurutulup tartıldı ve her birinden ayrı ayrı numuneler alınarak kül analizlerine bakıldı. Her bir kömürün yüzdürme-batırma deney sonuçları değerlendirildi.

-12,70+4.76 mm tane boyutundaki Hazro linyiti ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı ve elde edilen sonuçlar Tablo 10.3'te verilmiştir.

TABLO 10.3. -12.70+4.76 mm Tane Boyutu Aralığında Hazro Linyitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Yoğunluk Aralığı (gr.cm ⁻³)	Yoğunluk aralığında Miktar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.10 Yoğun. Madde Mik. (%)
	Miktar % M	Kül % K	MxK	Miktar %ΣM ↓	ΣMxK ↓	Kül % ΣMxK /ΣM ↓	Miktar %ΣM ↑	ΣMxK ↑	Kül % ΣMxK /ΣM ↑	
1.30-1.40	42.00	9.49	398.58	42.00	398.58	9.49	100.00	2053.26	20.53	-
1.40-1.50	25.10	18.72	469.87	67.10	868.45	12.94	58.00	1654.68	28.53	35.50
1.50-1.60	10.40	25.40	264.16	77.50	1132.61	14.61	32.90	1184.81	36.01	17.10
1.60-1.70	6.70	36.00	241.20	84.20	1373.81	16.32	22.50	920.65	40.92	11.00
1.70-1.80	4.30	38.49	165.51	88.50	1539.32	17.39	15.80	679.45	43.00	-
+1.80	11.50	4.69	513.94	100.00	2053.26	20.53	11.50	513.94	44.69	-
Toplam	100.00	20.53	2053.0							

Hazro linyitinin bu tane boyutunda ayrılması zordur. ±0.10 yoğunluğundaki madde miktarının %10'dan büyük olması ayırmayı zorlaştırmaktadır.

-1.50 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %67.10 oranında %12.94 kül içerikli temiz kömür, %32.90 oranında %36.01 kül içerikli şist elde etmiştir.

-1.60 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %77.50 oranında %14.62 kül içerikli temiz kömür, %22.50 oranında %40.92 kül içerikli şist elde etmiştir.

–1.70 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %84.20 oranında %16.32 kül içerikli temiz kömür, %15.80 oranında %43.00 kül içerikli şist elde etmiştir.

–2.38 + 1.19 mm tane boyutundaki Hazro linyiti ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı ve elde edilen sonuçlar tablo 10.4’de verilmiştir.

TABLO 10.4. –2.38+1.19 mm Tane Boyutu Aralığında Hazro Linyitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Yoğunluk Aralığı (gr.cm ⁻³)	Yoğunluk aralığındaki Miktar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.10 Yoğun. Madde Mik. (%)
	Miktar % M	Kül %K	MxK	Miktar %ΣM ↓	ΣMxK ↓	Kül % ΣMxK /ΣM ↓	Miktar %ΣM ↑	ΣMxK ↑	Kül % ΣMxK /ΣM ↑	
1.30-1.40	48.20	6.84	329.69	48.20	329.69	6.84	100.00	1726.53	17.27	-
1.40-1.50	29.20	16.81	502.62	78.10	832.31	10.66	51.80	1396.84	26.97	37.30
1.50-1.60	7.40	29.18	215.93	85.50	1048.24	12.26	21.90	894.22	40.83	10.30
1.60-1.70	2.90	33.29	96.54	88.40	1144.78	12.95	14.50	678.29	46.78	6.80
1.70-1.80	3.90	38.96	151.94	92.30	1296.72	14.05	11.60	581.75	50.15	-
+1.80	7.70	55.82	429.81	100.00	1726.53	17.27	7.70	429.81	55.82	
Toplam	100.00	17.27	1726.5							

Hazro linyiti bu tane boyutunda çok kolay bir ayırma yapılabilir. –1.70 g.cm⁻³ yoğunluğunda ±0.10 yoğunluğundaki madde miktarının % 0-7 arasında olması ayırmayı çok kolaylaştırmaktadır. ±0.10 yoğunluğundaki madde miktarı % 6.80’dir.

–1.50 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %78.10 oranında %10.66 kül içerikli temiz kömür, %21.90 oranında %40.30 kül içerikli şist elde etmiştir.

–1.60 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %85.50 oranında %12.26 kül içerikli temiz kömür, %14.50 oranında %46.78 kül içerikli şist elde etmiştir.

–1.70 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %88.40 oranında %12.95 kül içerikli temiz kömür, %11.60 oranında %50.15 kül içerikli şist elde etmiştir. Bu tane boyutunda linyit içindeki mineraller serbestleşmektedirler.

- 4.76+3.36 mm tane boyutundaki Avgamasya asfaltit ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı ve elde edilen sonuçlar tablo 10.5 'te verilmiştir.

TABLO 10.5. -4.76+3.36 mm Tane Boyutu Aralığında Avgamasya Asfaltitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Yoğunluk Aralığı (gr.cm ⁻³)	Yoğunluk aralığındaki malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.10 Yoğun. Madde Mik. (%)
	Miktar % M	Kül %K	MxK	Miktar %ΣM ↓	ΣMxK ↓	Kül % ΣMxK /ΣM ↓	Miktar %ΣM ↑	ΣMxK ↑	Kül % ΣMxK /ΣM ↑	
1.30-1.40	15.80	28.08	443.66	15.80	443.66	28.08	100.00	3788.36	37.88	-
1.40-1.50	36.70	35.27	1294.41	52.50	1738.07	33.11	84.20	3344.7	39.72	68.10
1.50-1.60	31.40	42.06	1320.68	83.90	3058.75	36.46	47.50	2050.29	43.16	45.20
1.60-1.70	13.80	44.45	613.41	97.70	3672.16	37.59	16.10	729.61	45.32	15.00
1.70-1.80	1.20	45.89	55.07	98.90	3727.23	37.69	2.30	116.20	50.52	-
+1.80	1.10	55.57	61.13	100.00	3788.36	37.88	1.10	61.13	55.57	
Toplam	100.00	37.88	3788.36							

Avgamasya asfaltiti bu tane boyutunda bir ayırma yapılması çok zor. ±0.10 yoğunluğundaki malzeme miktarının %10'dan büyük olması ayırmayı zorlaştırmaktadır.

-1.50 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %52.50 oranında %33.11 kül içerikli temiz kömür, %47.50 oranında % 43.16 kül içerikli şist elde etmiştir.

-1.60 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre % 83.90 oranında %36.46 kül içerikli temiz kömür, %16.10 oranında %45.32 kül içerikli şist elde etmiştir.

-1.70 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %97.70 oranında %37.59 kül içerikli temiz kömür, %2.30 oranında %50.52 kül içerikli şist elde etmiştir

-1.19+0.77 mm tane boyutundaki Avgamasya asfaltit ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı ve elde edilen sonuçlar tablo 10.6 'te verilmiştir

TABLO 10.6. -1.19+0.71 mm Tane Boyutu Aralığında Avgamasya Asfaltitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deneyi Değerlendirme Sonuçları

Yoğunluk Aralığı (gr.cm ⁻³)	Yoğunluk aralığındaki Miktarı			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.10 Yoğun. Madde Mik. (%)
	Miktar % M	Kül %K	MxK	Miktar %ΣM ↓	ΣMxK ↓	Kül % ΣMxK /ΣM ↓	Miktar %ΣM ↑	ΣMxK ↑	Kül % ΣMxK /ΣM ↑	
1.30-1.40	4.30	27.42	117.91	4.30	117.91	27.42	100.00	3789.24	37.89	
1.40-1.50	46.60	33.16	1545.26	50.90	1663.17	32.68	95.70	3671.33	38.36	83.40
1.50-1.60	36.80	41.89	1541.55	87.70	3204.72	36.54	49.10	2126.07	43.30	45.00
1.60-1.70	8.20	44.73	366.79	95.90	3571.51	37.24	12.30	584.52	47.52	9.50
1.70-1.80	1.30	48.35	62.86	97.20	3634.37	37.39	4.10	217.73	53.11	-
+1.80	2.80	55.31	154.87	100.00	3789.24	37.89	2.80	154.87	55.30	
Toplam	100.00	37.89	3789.24							

Avgamasya asfaltiti bu tane boyutunda ayrılması kolaydır. -1.70 g.cm⁻³ yoğunluğunda ±0.10 yoğunluğundaki malzeme miktarının %10'dan küçük olması ayırmayı kolaylaştırmaktadır. ±0.10 yoğunluğundaki malzeme miktarının %9.50'dir. Ama kül oranı yüksek olduğundan dolayı ayırma yapılamadı.

-1.50 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %50.90 oranında %32.68 kül içerikli temiz kömür, %49.10 oranında %43.30 kül içerikli şist elde etmiştir.

-1.60 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %87.70 oranında %36.45 kül içerikli temiz kömür, %12.30 oranında %47.52 kül içerikli şist elde etmiştir.

-1.70 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %95.90 oranında %37.24 kül içerikli temiz kömür, %4.10 oranında %53.11 kül içerikli şist elde etmiştir

-2.38 + 1.19 mm tane boyutundaki Segürük asfaltit ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı ve elde edilen sonuçlar tablo 10.7'te verilmiştir.

TABLO 10.7. -2.38+1.19 mm Tane Boyutu Aralığında Segürük Asfaltitine uygulanan
Yüzdürme-Batırma Deneyi Değerlendirme Sonuçları

Yoğunluk Aralığı (gr.cm ⁻³)	Yoğunluk aralığındaki malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.10 Yoğun Madde Mik. (%)
	Miktar % M	Kül %K	MxK	Miktar %ΣM ↓	ΣMxK↓	Kül % ΣMxK /ΣM↓	Miktar %ΣM↑	ΣMxK↑	Kül % ΣMxK /ΣM↑	
1.40-1.50	18.40	40.58	746.67	18.40	746.67	40.58	100.00	4110.26	41.10	-
1.50-1.60	74.60	40.70	3036.22	93.00	3782.89	40.68	81.6	3363.59	41.22	77.90
1.60-1.70	3.30	43.50	143.55	96.30	3926.44	40.77	7.00	237.37	46.77	4.30
1.70-1.80	1.00	45.04	45.04	97.30	3971.48	40.82	3.70	183.82	49.68	-
+1.80	2.70	51.40	138.78	100.00	4110.26	41.10	2.70	138.78	51.40	
Toplam	100.00	41.10	4110.26							

Segürük asfaltiti bu tane boyutunda bir ayırma yapılabilir ama kül oranı yüksektir. -1.70 g.cm⁻³ yoğunluğunda ± 0.10 yoğunluğundaki malzeme miktarının %10'dan küçüktür. Deneye girene göre %96.30 oranında %40.77 kül içerikli bir ürün elde etmiştir. Kül oranı yüksek olduğundan dolayı ayırma yapılamadı. -1.60 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %93.00 oranında %40.68 kül içerikli temiz kömür, %7.00 oranında %46.77 kül içerikli şist elde etmiştir. -1.70 g.cm⁻³ ağır sıvı yoğunluğunda besleme ürününe göre %96.30 oranında %40.77 kül içerikli temiz kömür, %3.7 oranında %49.68 kül içerikli şist elde etmiştir.

Halbur asfaltiti yüzdürme-batırma ile herhangi bir sonuç alınamadı. Çünkü 1.30-1.40 g.cm⁻³ yoğunluğu aralığında tamamı yüzmüştür. Halbur asfaltitinin yapısında ince dağılmış inorganik maddeler veya bünye külü mevcut olduğundan bir ayırma yapılamadı.

10.4. Flotasyon Deneyleri

Flotasyon deneylerinde, tane boyutu, katı oranı, pH değişimi, bastırıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve karıştırma hızı değişiminin kül, kükürt miktarı ve verimine etkileri araştırıldı. Deneylerde pH ayarlayıcı olarak HCl, bastırıcı reaktif olarak Na₂SiO₃, toplayıcı reaktif olarak gazyağı ve köpürtücü reaktif olarak; çamyacı, İzooktanol ve Dowfroth-250 kullanıldı. Örnekler numune azaltma yöntemine göre alındı.

10.4. 1. Flotasyonda Tane Boyutu Etkisi

Sınıflandırılmış numuneye göre verimi daha yüksek, külü ve kükürdü daha düşük konsantreler elde edilemeyeceğini tesbit etmek amacıyla sınıflandırılmış numuneler üzerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır. Tane boyutunu tespit etmek amacıyla -3.36+0.60 mm, -0.60+0.25 mm, -0.25+0.125 mm, -0.125+0.074 mm ve -0.074+0.053 mm fraksiyonlarda deneyler yapılmıştır. Burada tane boyutu değişkendir. Diğer parametreler sabittir. Deney koşulları aşağıda verilmiştir.

<u>Deney Koşulları</u>	:
Tane boyutu	: Değişken
Katı oranı	: % 10
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 1kg.ton ⁻¹ (% 5'lik Na ₂ SiO ₃)
Toplayıcı + Köpürtücü	: 1kg.ton ⁻¹ (% 90 Gazyağı + % 10 İzooktanol)
Karıştırma hızı	: 900 devir.dakika ⁻¹
Flotasyon süresi	: 5 dakika

Deney Akım Şeması

Kömür

Su → ↓ ← Kimyasal Reaktif

Flotasyon

Lave Kömür

Artık

↓

Temizleme Flotasyonu	:
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 200 g.ton ⁻¹ (%5'lik Na ₂ SiO ₃)
Flotasyon süresi	: 3 dakika

Flotasyon

Temiz lave kömür

Ara ürün

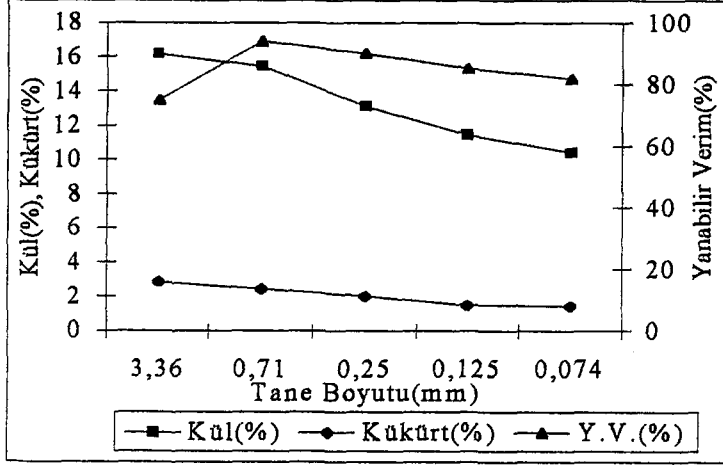
Kömür örnekleri etüvde kurutuldu. Kurutulan kömürlerden 100 g örnek (katı oranı %10) alınarak 1 L'lik flotasyon hücresinde musluk suyu ile ıslatıldı. Karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak ayarlandı. pH metre ile ortamın pH kontrol edildi. Kömürün orjinal pH'ları

7-8 arasında değişiyordu. Ortamın pH'sı HCl ile 6'ya ayarlandı ve bastırıcı olarak %5'lik Na_2SiO_3 'tan 1kg.ton^{-1} ilave edildi. Daha sonra toplayıcı ve köpük yapıcı olarak %90 gazyağ + %10 izooktanol karışımı 1kg.ton^{-1} ilave edildi ve 5 dakika beklendi. 5 dakika beklendikten sonra hava musluğu açıldı ve 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan köpük lave kömürdür. Flotasyon hücresinde kalan artık süzülüp, yıkandı. Lave kömür flotasyon hücreğine konarak pH'sı tekrar 6'ya ayarlandı ve %5'lik Na_2SiO_3 'tan 200 g.ton^{-1} ilave edildi. 5 dakika sonunda hava musluğu açılarak 3 dakika boyunca köpük alındı. Alınan köpük temiz lave kömürdür veya konsantredir. Alınan konsantre ve flotasyon hücresinde kalan ara ürün süzülüp, yıkandı. Elde edilen konsantre, ara ürün ve artık suyla yıkandıktan sonra $105-110^\circ\text{C}$ arasında etüvde kurutuldu ve tartıldı. 800°C 'de kül analizlerine bakıldı. Gravimetrik olarak piritik kükürt analizleri yapıldı ve hesaplamalarla yanabilir verimleri hesaplandı. Bu işlemler $-3.36 + 0.60\text{ mm}$, $-0.60 + 0.25\text{ mm}$, $-0.25 + 0.125\text{ mm}$, $-0.125 + 0.074\text{ mm}$ ve $-0.074 + 0.053\text{ mm}$ tane boyutlarına uygulandı. Buradaki amaç en iyi tane boyutunu tesbit etmektir. Deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hazro linyitinin tane boyutuna göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.8, Şekil 10.2) verilmiştir.

TABLO 10.8. Hazro Linyitin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Fraksiyon (mm)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim(%)
-3.36+0.71	Konsantre	63.81	16.15	2.85	74.78
	Ara ürün	1.11	42.18	-	0.90
	Artık	35.08	50.38	5.62	24.32
-0.71+0.25	Konsantre	88.88	15.47	2.43	93.85
	Ara ürün	1.21	41.94	-	0.88
	Artık	9.91	57.46	5.73	5.27
-0.25+0.125	Konsantre	84.19	13.12	2.01	89.91
	Ara ürün	1.51	45.19	-	1.02
	Artık	14.30	48.39	6.03	9.07
-0.125+0.074	Konsantre	76.35	11.46	1.47	85.09
	Ara ürün	2.91	45.95	0.01	1.98
	Artık	20.74	50.43	6.42	12.93
-0.074+0.053	Konsantre	70.18	10.43	1.46	81.65
	Ara ürün	3.92	42.71	0.02	2.92
	Artık	25.09	54.12	6.63	15.43



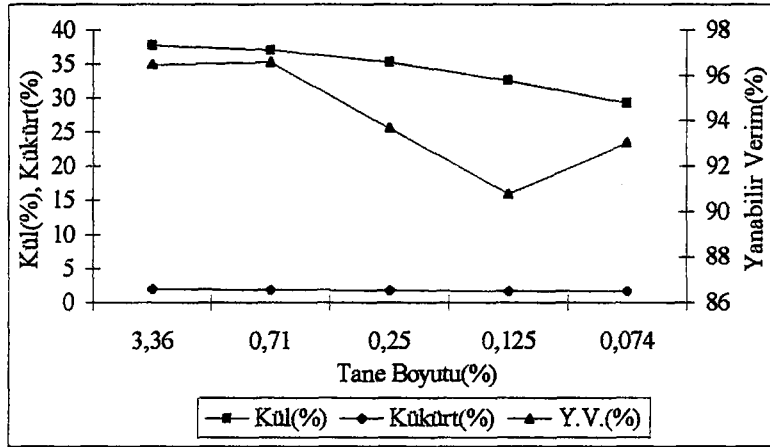
ŞEKİL 10.2. Hazro Linyiti Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verimine Etkisi

Hazro linyiti ile yapılan flotasyon deneyinde en iyi verim $-0.074+0.053$ mm tane boyutunda elde edildi. $-0.074+0.053$ mm'de piridik kükürt oranı %1.46, kül oranı %10.43, yanabilir verim %81.65'tir. Diğer deneylerde tane boyutu $-0.074+0.053$ mm olarak alındı.

Avgamasya asfaltiti tane boyutuna göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.9, Şekil 10.3) verilmiştir.

TABLO 10.9. Avgamasya Asfaltitin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Fraksiyon (mm)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
-3.36+0.71	Konsantre	95.09	37.78	1.93	96.47
	Ara ürün	1.23	55.21	-	0.90
	Artık	3.68	56.21	2.03	2.36
-0.71+0.25	Konsantre	94.56	36.97	1.82	96.60
	Ara ürün	1.11	60.72	-	0.71
	Artık	4.33	61.65	2.08	2.69
-0.25+0.125	Konsantre	91.04	35.31	1.72	93.69
	Ara ürün	1.00	55.26	-	0.71
	Artık	7.96	55.82	2.11	5.60
-0.125+0.074	Konsantre	86.81	32.60	1.66	90.77
	Ara ürün	1.71	52.58	-	1.26
	Artık	11.48	55.23	2.19	7.97
-0.074+0.053	Konsantre	87.39	29.25	1.66	93.03
	Ara ürün	3.70	62.30	0.01	2.10
	Artık	8.91	63.64	2.21	4.87



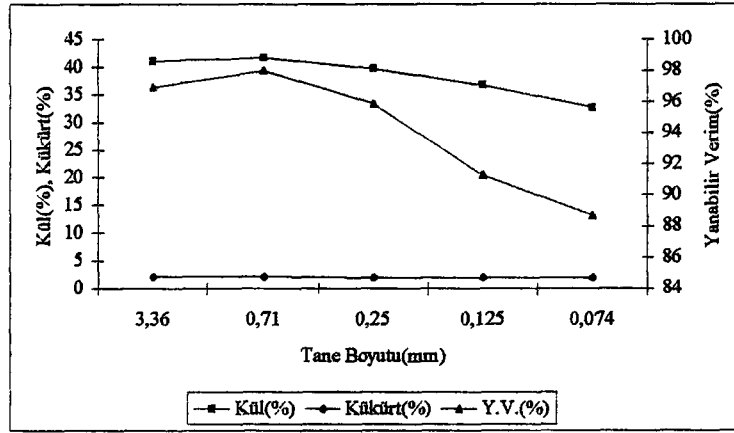
ŞEKİL 10.3. Avgamasya Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Avgamasya asfaltiti ile yapılan flotasyon deneyinde en iyi verim $-0.074+0.053$ mm tane boyutunda elde edildi. $-0.074+0.053$ mm'de piridik kükürt oranı %1.66, kül oranı %29.25, yanabilir verim %93.03'tür. Diğer deneylerde tane boyutu $-0.074+0.053$ mm olarak alındı.

Segürük asfaltiti tane boyutuna göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.10, Şekil 10.4) verilmiştir.

TABLO 10.10. Segürük Asfaltitin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Fraksiyon (mm)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim(%)
-3.36+0.71	Konsantre	95.76	41.04	2.18	96.90
	Ara ürün	1.01	52.82	-	0.82
	Artık	3.23	58.88	2.46	2.28
-0.71+0.25	Konsantre	97.07	41.68	2.12	98.01
	Ara ürün	1.01	56.57	-	0.76
	Artık	1.92	63.23	2.54	1.23
-0.25+0.125	Konsantre	93.91	39.71	2.01	95.85
	Ara ürün	1.32	55.72	-	0.99
	Artık	4.77	60.96	2.61	3.16
-0.125+0.074	Konsantre	86.85	36.71	1.97	91.26
	Ara ürün	2.85	57.38	0.01	2.02
	Artık	10.30	60.71	2.72	6.72
-0.074+0.053	Konsantre	78.13	32.67	1.96	88.69
	Ara ürün	5.83	67.57	0.02	3.19
	Artık	16.04	69.97	2.74	8.12



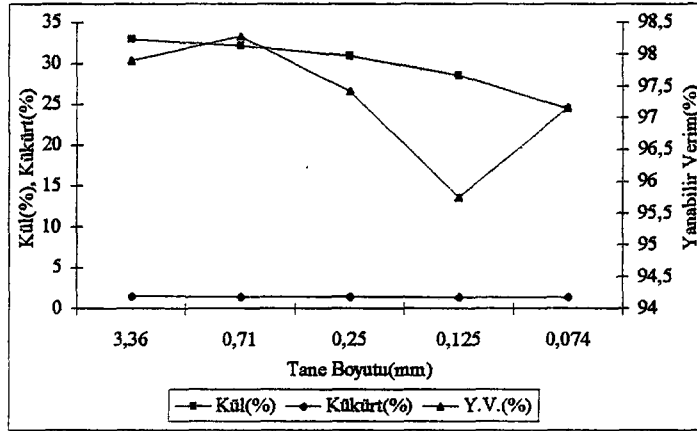
ŞEKİL 10.4. Segürük Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Segürük asfaltiti ile yapılan flotasyon deneyinde en iyi verim $-0.074+0.053$ mm tane boyutunda elde edildi. $-0.074+0.053$ mm'de piridik kükürt oranı %1.96, kül oranı %32.67, yanabilir verim %88.69'dür. Diğer deneylerde tane boyutu olarak $-0,074+0.053$ mm olarak alındı.

Halbur asfaltiti tane boyutuna göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.11, Şekil 10.5) verilmiştir.

TABLO 10.11. Halbur Asfaltitin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Fraksiyon (mm)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim(%)
-3.36+0.71	Konsantre	96.99	32.97	1.49	97.90
	Ara ürün	1.20	51.87	-	0.87
	Artık	1.81	54.90	1.51	1.23
-0.71+0.25	Konsantre	97.35	32.18	1.46	98.28
	Ara ürün	1.22	54.12	-	0.83
	Artık	1.43	58.48	1.52	0.89
-0.25+0.125	Konsantre	95.88	30.89	1.45	97.42
	Ara ürün	1.44	55.23	-	0.95
	Artık	2.68	58.45	1.51	1.63
-0.125+0.074	Konsantre	92.55	28.52	1.42	95.75
	Ara ürün	2.01	58.98	-	1.19
	Artık	5.44	61.08	1.54	3.06
-0.074+0.053	Konsantre	94.18	24.44	1.42	97.16
	Ara ürün	2.21	60.58	-	1.19
	Artık	3.61	66.64	1.55	1.65



ŞEKİL 10.5. Halbur Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Halbur asfaltiti ile yapılan flotasyon deneyinde en iyi verim $-0.074+0.053$ mm tane boyutunda elde edildi. $-0.074+0.053$ mm'de piridik kükürt oranı %1.42, kül oranı %24.44, yanabilir verim %97.16'dır. Diğer deneylerde tane boyutu olarak $-0.074+0.053$ mm olarak alındı.

10.4. 2. Flotasyonda Katı Oranı Etkisi

Katı oranını tespit etmek için yapılan deneylerde katı oranı % 5, 10, 20 olarak alınmıştır. Amaç en iyi katı oranını tespit etmektir. Burada katı oranı değişkendir. Diğer parametreler sabittir.

$-0.074+0.053$ mm tane boyutunda kurutulan kömürlerden 200 g numune (katı oranı %20) alınarak 1 L'lik flotasyon hücreinde musluk suyu ile ıslatıldı. Karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak ayarlandı. pH metre ile ortamın pH kontrol edildi. Kömürün orjinal pH'ları 7-8 arasında değişiyordu. Ortamın pH'sı HCl ile 6'ya ayarlandı ve bastırıcı olarak %5'lik Na_2SiO_3 'tan 1kg.ton⁻¹ ilave edildi. Daha sonra toplayıcı ve köpük yapıcı olarak %90 gazyağ + %10 izooktanol karışımı 1kg.ton⁻¹ ilave edildi ve 5 dakika beklendi. 5 dakika beklendikten sonra hava musluğu açıldı ve 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan köpük lave kömürdür. Flotasyon hücreinde kalan artık süzülüp, yıkandı. Lave kömür flotasyon hücreğine konarak pH'sı tekrar 6'ya ayarlandı ve %5'lik Na_2SiO_3 'tan 200 g.ton⁻¹ ilave edildi. 5 dakika sonunda hava musluğu açılarak 3 dakika boyunca köpük alındı. Alınan köpük temiz lave kömürdür veya konsantredir. Alınan konsantre ve flotasyon hücreğinde kalan ara ürün süzülüp, yıkandı. Elde

edilen konsantre, ara ürün ve artık suyla yıkandıktan sonra 105-110°C arasında etüvde kurutuldu ve tartıldı. 800°C'de kül analizlerine bakıldı. Gravimetrik olarak piritik kükürt analizleri yapıldı ve hesaplamalarla yanabilir verimleri hesaplandı. Aynı işlemler diğer katı oranları (%5, %10) için de uygulandı. Buradaki amaç en iyi katı oranını tespit etmektir. Deney koşulları ve akım şeması aşağıda verilmiştir.

Deney Koşulları:

Tane boyutu	: -0.074 + 0.053 mm
Katı oranı	: Değişken
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 1kg.ton ⁻¹ (%5'lik Na ₂ SiO ₃)
Toplayıcı + Köpürtücü	: 1kg.ton ⁻¹ (% 90 gazyağı + %10 izooktanol)
Karıştırma hızı	: 900 devir.dakika ⁻¹
Flotasyon süresi	: 5 dakika

Deney Akım Şeması

Kömür

Su → ↓ ← Kimyasal Reaktif

Flotasyon

Lave Kömür

Artık



Temizleme Flotasyonu	:
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 200 g.ton ⁻¹ (%5'lik Na ₂ SiO ₃)
Flotasyon süresi	: 3 dakika

Flotasyon

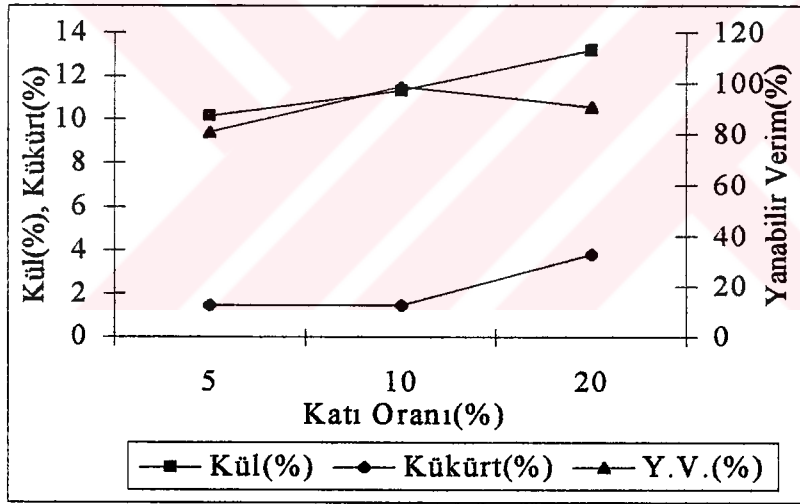
Temiz lave kömür

Ara ürün

Hazro linyitinin katı oranına göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.12, Şekil 10.6) verilmiştir.

TABLO 10.12. Hazro Linyitin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Katı Oranı (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
20	Konsantre	84.30	13.20	3.82	90.67
	Ara ürün	2.10	38.40	-	1.60
	Artık	13.60	54.20	5.46	7.73
10	Konsantre	79.94	11.33	1.46	87.73
	Ara ürün	2.97	37.04	-	2.29
	Artık	17.09	55.88	6.63	9.98
5	Konsantre	73.87	10.16	1.46	80.80
	Ara ürün	2.06	36.43	-	1.59
	Artık	24.07	39.93	6.64	17.61



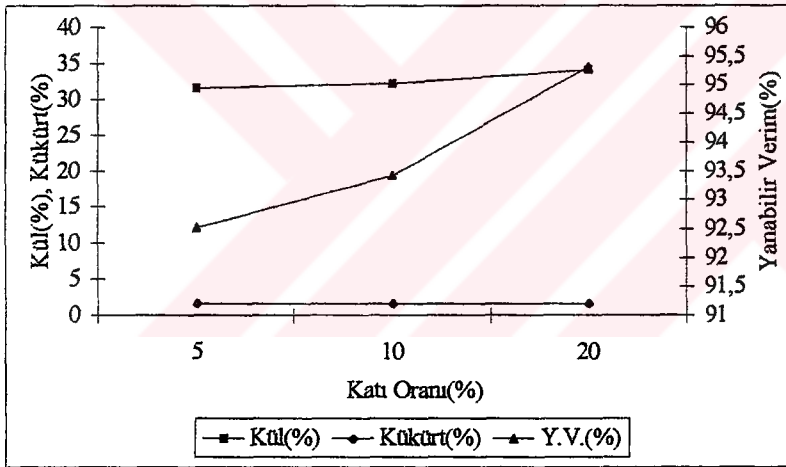
ŞEKİL 10.6. Hazro Linyitin Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Hazro kömürün flotasyonunda katı oranı %20 olduğu zaman piridik kükürt oranı %3.82, yanabilir verim %90.67, kül oranı %13.20'dir. Katı oranı %10 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.46, yanabilir verim %87.73, kül oranı %11.33'tür. Katı oranı %5 ise piridik kükürt oranı %1.46, yanabilir verim %80.80, kül oranı %10.16'dır. Hazro linyiti için en iyi katı oranı %5'tir.

Avgamasya asfaltiti katı oranına göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.13, Şekil 10.7) verilmiştir.

TABLO 10.13. Avgamasya Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Katı Oranı (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
20	Konsantre	92.37	34.11	1.63	95.31
	Ara ürün	2.14	59.42	-	1.36
	Artık	5.49	61.32	2.21	3.33
10	Konsantre	89.74	32.17	1.66	93.42
	Ara ürün	1.83	55.63	-	1.25
	Artık	8.43	58.80	2.52	5.33
5	Konsantre	88.52	31.53	1.65	92.52
	Ara ürün	2.05	54.40	-	1.43
	Artık	9.43	57.98	2.53	6.05



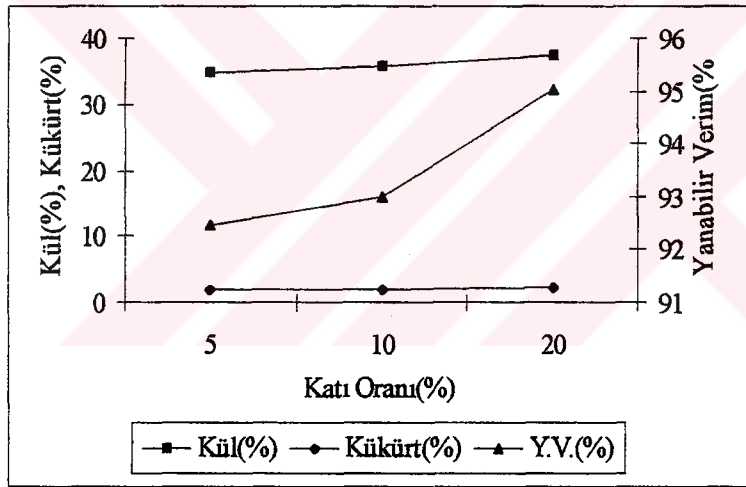
ŞEKİL 10.7. Avgamasya Asfaltitinin Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Avgamasya asfaltitinin flotasyonunda katı oranı %20 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.63, yanabilir verim %95.31, kül oranı %34.11'dir. Katı oranı %10 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.66, yanabilir verim %93.42, kül oranı %32.17'dir. Katı oranı %5 ise piridik kükürt oranı %1.65, yanabilir verim %92.52, kül oranı %31.53'tür.

Segürük asfaltiti katı oranına göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.14, Şekil 10.8) verilmiştir.

TABLO 10.14. Segürük Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Katı Oranı (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim(%)
20	Konsantre	92.00	37.40	2.19	95.04
	Ara ürün	1.96	62.25	-	1.22
	Artık	6.04	62.40	2.39	3.74
10	Konsantre	88.54	35.77	1.96	92.45
	Ara ürün	2.50	57.58	-	1.72
	Artık	8.96	59.98	2.74	5.83
5	Konsantre	89.16	34.95	1.95	93.00
	Ara ürün	2.27	57.95	-	1.53
	Artık	8.57	60.21	2.75	5.47



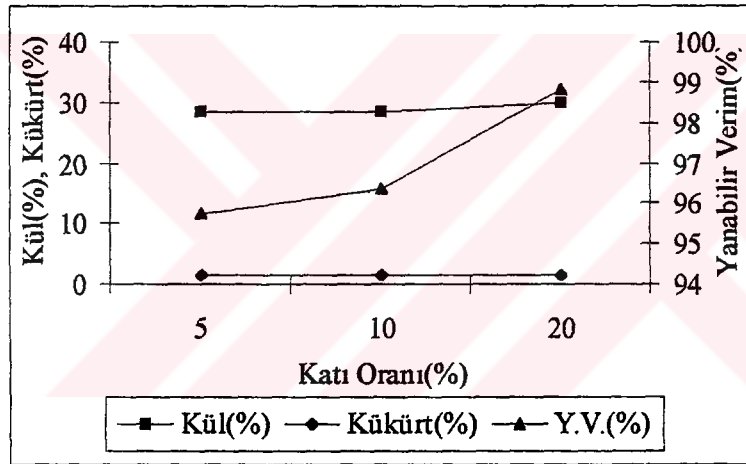
ŞEKİL 10.8. Segürük Asfaltitinin Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir, Verime Etkisi

Segürük asfaltitinin flotasyonunda katı oranı %20 olduğu zaman piridik kükürt oranı %2.19, yanabilir verim %95.04, kül oranı %37.40'tır. Katı oranı %10 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.96, yanabilir verim %92.45, kül oranı %35.77'dir. Katı oranı %5 ise piridik kükürt oranı %1.95, yanabilir verim %93.00, kül oranı %34.95'tir.

Halbur asfaltiti katı oranına göre yapılan flotasyon deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.15, Şekil 10.9) verilmiştir.

TABLO 10.15. Halbur Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Katı Oranı (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim(%)
20	Konsantre	97.53	30.01	1.48	98.82
	Ara ürün	0.57	52.34	-	0.39
	Artık	1.90	71.39	1.51	0.79
10	Konsantre	93.79	28.53	1.42	96.34
	Ara ürün	1.93	57.32	-	1.18
	Artık	4.28	59.74	1.54	2.48
5	Konsantre	92.79	28.38	1.41	95.74
	Ara ürün	2.61	57.53	-	1.60
	Artık	4.60	60.06	1.56	2.66



ŞEKİL 10.9. Halbur Asfaltitinin Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime etki

Halbur asfaltitinin flotasyonunda katı oranı %20 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.48, yanabilir verim %98.82, kül oranı %30.01'dir. Katı oranı %10 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.42, yanabilir verim %96.34, kül oranı %28.53'tür. Katı oranı %5 ise piridik kükürt oranı %1.41, yanabilir verim %95.74, kül oranı %28.38'dir. Katı oranı %5 olduğu zaman kül oranı daha azdır. Bundan sonraki deneylerde katı oranı %5 olarak alındı.

10.4.3. Flotasyonda Reaktif Cinsinin Etkisi

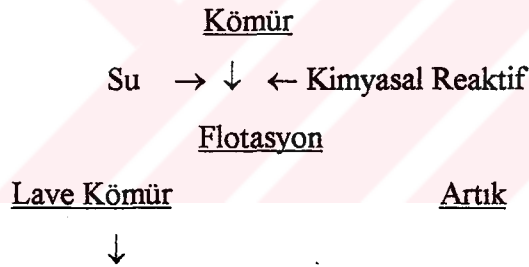
10.4.3.1. Bastırıcı Miktarın Flotasyona Etkisi

Bastırıcı miktarının flotasyona etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Bastırıcı olarak sodyum silikat kullanılmıştır. Deney koşulları ve deney akım şeması aşağıda verilmiştir.

Deney Koşulları:

Tane boyutu	: -0.074+0.053 mm
Katı oranı	: %5
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 1kg.ton ⁻¹ (%5'lik Na ₂ SiO ₃)
Toplayıcı + Köpürtücü	: 1kg.ton ⁻¹ (%90 gazyağı + %10 izooktanol)
Karıştırma hızı	: 900 devir. dakika ⁻¹
Flotasyon süresi	: 5 dakika

Deney Akım Şeması



Temizleme Flotasyonu	:
pH	: 6.00 (HCl ile)
Bastırıcı	: 200 g.ton (%5'lik Na ₂ SiO ₃)
Flotasyon süresi	: 3 dakika

Flotasyon

Temiz lave kömür

Ara ürün

Deneyler katı oranını belirlemek için yapılan deneylerin aynısıdır. Deneyde elde edilen sonuçlar aşağıda (Tablo 10.16) verilmiştir.

TABLO 10.16. Bastırıcının Kömür Flotasyona Etkisi

Kömür cinsi	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
Hazro	Konsantre	56.90	9.37	1.46	61.66
	Ara ürün	1.72	23.04	-	1.58
	Artık	41.38	25.73	6.47	36.76
Avgamasya	Konsantre	80.86	26.63	1.65	87.67
	Ara ürün	3.83	50.03	-	2.83
	Artık	15.31	58.05	2.50	9.50
Segürük	Konsantre	80.59	30.36	1.95	89.17
	Ara ürün	3.84	59.03	-	2.50
	Artık	15.57	66.30	2.75	8.33
Halbur	Konsantre	94.58	23.58	1.41	97.26
	Ara ürün	1.95	59.24	-	1.07
	Artık	3.47	64.34	1.56	1.67

Deneylerde bastırıcının fazla bir etkisi yoktur. Bastırıcı kullanıldığı zaman piridik kükürt ve kül oranında bir değişme olmuyor. Ara üründe piridik kükürt yoktur. Bundan sonraki deneylerde ara ürün alınmadı.

10.4.3.2. Toplayıcı ve Köpürtücü Cinsinin Flotasyona Etkisi

Burada bastırıcı ilave edilmemiştir. Toplayıcı olarak gazyağı, köpürtücü olarak; izooktanol, çamyağı ve Dowfroth-250 kullanılmıştır. Toplayıcı ve köpürtücünün flotasyonu nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deney koşulları ve deneyin akım şeması aşağıda verilmiştir.

Deney Koşulları :

Tane boyutu : -0.074+0.053 mm

Katı oranı : %5

pH : 6.00 (HCl ile)

Toplayıcı +Köpürtücü : Değişken

Karıştırma hızı : 900 devir.dakika⁻¹

Flotasyon süresi : 5 dakika

Deney Akım Şeması

Kömür

Su → ↓ ← Kimyasal Reaktif

Flotasyon

Lave Kömür

Artık

Köpürtücü olarak izooktanol reaktifi kullanımı; kurutulmuş kömürlerden 50 g örnek (katı oranı%5) alınarak 1 L'lik flotasyon hücreğine konarak musluk suyu ile ıslatıldı. Ortamın pH'sı 6'ya ayarlandı. Toplayıcı ve köpürtücü olarak %90 gazyağı+%10 izooktanol karışımı 1 kg.ton^{-1} ilave edildi. 5 dakika karıştırıldıktan sonra hava musluğu açılarak 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan konsantre ve artık süzülüp yıkandıktan sonra etüvde kurutularak kül ve kükürt analizlerine bakıldı.

Köpürtücü olarak çamyağı reaktifi kullanımı; kurutulmuş kömürlerden 50 g örnek (katı oranı%5) alınarak 1 L'lik flotasyon hücreğine konarak musluk suyu ile ıslatıldı. Ortamın pH'sı 6'ya ayarlandı. Toplayıcı ve köpürtücü olarak %90 gazyağı+%10 çamyağı karışımı 1 kg.ton^{-1} ilave edildi. 5 dakika karıştırıldıktan sonra hava musluğu açılarak 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan konsantre ve artık süzülüp yıkandıktan sonra etüvde kurutularak kül ve kükürt analizlerine bakıldı.

Köpürtücü olarak Dowfroth-250 reaktifi kullanımı; kurutulmuş kömürlerden 50 g örnek (katı oranı%5) alınarak 1 L'lik flotasyon hücreğine konarak musluk suyu ile ıslatıldı. Ortamın pH'sı 6'ya ayarlandı. Toplayıcı ve köpürtücü olarak %90 gazyağı+%10 Dowfroth-250 karışımı 1 kg.ton^{-1} ilave edildi. 5 dakika karıştırıldıktan sonra hava musluğu açılarak 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan konsantre ve artık süzülüp yıkandıktan sonra etüvde kurutularak kül ve kükürt analizlerine bakıldı.

Hazro linyitinin köpürtücü ve toplayıcı reaktifleriyle yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.17) verilmiştir.

TABLO 10.17. Hazro Linyitin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Reaktif Kombinasyonu	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
(1) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	74.11	10.16	1.46	81.07
	Artık	25.89	39.93	6.64	18.93
(1) %90 Gazyağı %10 Çamyağı	Konsantre	93.24	12.10	4.04	97.21
	Artık	6.76	65.20	5.78	2.79
(1) %90 Gazyağı %10 Dowfroth-250	Konsantre	94.22	12.88	3.98	97.54
	Artık	5.78	64.16	5.82	2.46
(2) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	67.99	9.55	1.45	75.02
	Artık	32.01	36.01	6.78	24.98

1. Reaktif Oranı: 1 kg.ton^{-1}
2. Reaktif Oranı: 600 g.ton^{-1}

Hazro linyitine köpürtücü ve toplayıcı etkisi; %90 gazyağı+%10 izooktanol kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.46, kül oranı %10.16, yanabilir verim %81.07'dir. %90 gazyağı+%10 çamyacı kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %4.04, kül oranı %12.10, yanabilir verim 97.21'dir. %90 gazyağı+%10 Dowfroth-250 kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %3.98, kül oranı %12.88, yanabilir verim %97.54'tür. Köpürtücü cinsinin flotasyona büyük etkisi olduğu tespit edildi. Reaktif miktarının piridik kükürt giderilmesinde fazla etkisi olmamakla beraber külün giderilmesi üzerinde belirli bir etkisi vardır.

Avgamasya asfaltitinin köpürtücü ve toplayıcı reaktifleriyle yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.18) verilmiştir.

TABLO 10.18. Avgamasya Asfaltitinin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Reaktif Kombinasyonu	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
(1) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	88.80	31.53	1.65	92.81
	Artık	11.20	57.98	2.50	7.19
(1) %90 Gazyağı %10 Çamyacı	Konsantre	91.81	32.10	1.98	95.32
	Artık	8.18	62.70	2.08	4.68
(1) %90 Gazyağı %10 Dowfroth-250	Konsantre	92.86	33.09	1.97	95.78
	Artık	7.14	61.60	2.06	4.22
(2) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	84.44	26.43	1.64	90.76
	Artık	15.56	59.36	2.60	9.24

1. Reaktif Oranı: 1 kg.ton⁻¹

2. Reaktif Oranı: 600 g.ton⁻¹

Avgamasya asfaltitine köpürtücü ve toplayıcı etkisi; %90 gazyağı+%10 izooktanol kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.65, kül oranı %31.53, yanabilir verim %92.81'dir. %90 gazyağı+%10 çamyacı kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.98, kül oranı %32.10, yanabilir verim 95.32'dir. %90 gazyağı+%10 Dowfroth-250 kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.97, kül oranı %33.09, yanabilir verim %95.78'dir. Köpürtücü cinsinin flotasyona etkisi olduğu tespit edildi. Reaktif miktarının piridik kükürt giderilmesinde fazla etkisi olmamakla beraber külün giderilmesi üzerinde belirli bir etkisi vardır.

Segürük asfaltitinin köpürtücü ve toplayıcı reaktifleriyle yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.19) verilmiştir.

TABLO 10.19. Segürük Asfaltitinin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Reaktif Kombinasyonu	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
(1) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	88.79	35.77	1.95	97.20
	Artık	11.21	59.98	2.75	7.30
(1) %90 Gazyağı %10 Çamyağı	Konsantre	94.17	37.10	2.29	96.52
	Artık	5.83	63.30	2.39	3.48
(1) %90 Gazyağı %10 Dowfroth-250	Konsantre	94.25	36.65	2.30	96.65
	Artık	5.75	63.94	2.42	3.35
(2) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	78.03	30.43	1.93	88.92
	Artık	21.97	69.21	2.80	11.08

1. Reaktif Oranı: 1 kg.ton⁻¹
2. Reaktif Oranı: 600 g.ton⁻¹

Segürük asfaltitine köpürtücü ve toplayıcı etkisi; %90 gazyağı+%10 izooktanol kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.95, kül oranı %35.77, yanabilir verim %92.70'dır. %90 gazyağı+%10 çamyağı kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %2.29, kül oranı %37.10, yanabilir verim 96.52'dir. %90 gazyağı+%10 Dowfroth-250 kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %2.30, kül oranı %36.65, yanabilir verim %96.65'dir. Köpürtücü cinsinin flotasyona etkisi olduğu tespit edildi. Reaktif miktarının piridik kükürt giderilmesinde fazla etkisi olmamakla beraber külün giderilmesi üzerinde belirli bir etkisi vardır.

Harbul asfaltitinin köpürtücü ve toplayıcı reaktifleriyle yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.20) verilmiştir.

TABLO 10.20. Harbul Asfaltitinin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları

Reaktif Kombinasyonu	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
(1) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	95.57	27.25	1.41	97.68
	Artık	4.43	62.64	1.56	2.32
(1) %90 Gazyağı %10 Çamyağı	Konsantre	93.00	28.38	1.49	95.98
	Artık	7.00	60.06	1.51	4.02
(1) %90 Gazyağı %10 Dowfroth-250	Konsantre	97.33	29.99	1.50	98.61
	Artık	2.67	64.19	1.51	1.39
(2) %90 Gazyağı %10 İzooktanol	Konsantre	94.87	24.91	1.40	97.59
	Artık	5.13	65.80	1.58	2.41

1. Reaktif Oranı: 1 kg.ton⁻¹
2. Reaktif Oranı: 600 g.ton⁻¹

Harbul asfaltitine köpürtücü ve toplayıcı etkisi; %90 gazyağı+%10 izooktanol kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.41, kül oranı %27.25, yanabilir verim %97.68'dir. %90 gazyağı+%10 çamyağı kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.49, kül oranı %28.38, yanabilir verim 95.98'dir. %90 gazyağı+%10 Dowfroth-250 kullanıldığı zaman piridik kükürt oranı %1.50, kül oranı %29.99, yanabilir verim %98.61'dir. Köpürtücü cinsinin flotasyona büyük etkisi olduğu tespit edildi. Reaktif miktarının piridik kükürt giderilmesinde fazla etkisi olmamakla beraber külün giderilmesi üzerinde belirli bir etkisi vardır.

Yaptığımız deneylerde en iyi köpürtücü ve toplayıcı cinsi %90 gazyağı+%10 izooktanol olduğu tespit edildi.

10.4.4. Flotasyonda pH'nın Etkisi

Kömürlerin orijinal pH'ları 7-8 aralığında değişiyordu. pH değişimini 5-7 aralığında araştırılmıştır. pH değişken diğer parametreler sabittir. Deney koşulları ve deney akım şeması aşağıda verilmiştir.

Deney Koşulları:

Tane boyutu	: -0.074+0.053 mm
Katı oranı	: %5
pH	: Değişken
Toplayıcı +Köpürtücü	: 600 g.ton ⁻¹
Karıştırma hızı	: 900 devir.dakika ⁻¹
Flotasyon süresi	: 5 dakika

Deney Akım Şeması

Kömür

Su → ↓ ← Kimyasal Reaktif

Flotasyon

Lave Kömür

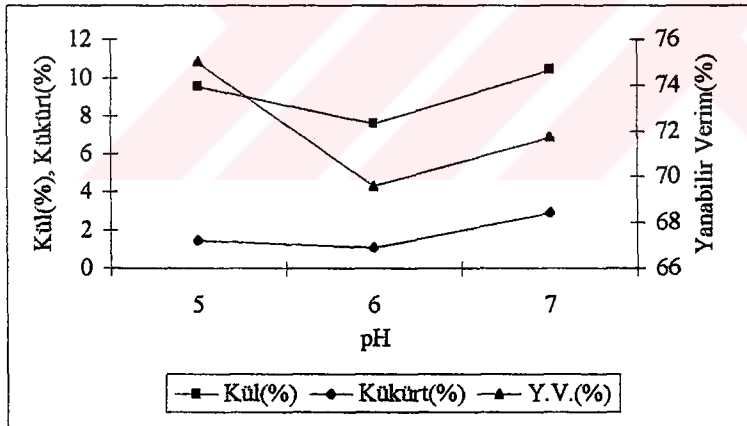
Artık

Kurutulmuş kömürlerden 50 g (katı oranı %5) örnek alınarak 1 L'lik flotasyon hücreğine konarak musluk suyu ile ıslatıldı. Ortamın pH'sı 6'ya ayarlandı. Köpürtücü ve toplayıcı ilave edildi. 5 dakika karıştırıldıktan sonra hava musluğu açılarak 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan konsantre ve artık süzülüp yıkandıktan sonra etüvde kurutuldu. Kükürt ve kül analizlerine bakıldı. Aynı işlemler pH= 5 ve pH= 7 için de yapıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hazro linyitin pH ile yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.21, Şekil 10.10) verilmiştir.

TABLO 10.21. Hazro Linyitin Flotasyonuna pH'ın Etkisi

pH Değeri	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
5	Konsantre	67.99	9.55	1.45	75.02
	Artık	32.01	36.01	6.78	24.98
6	Konsantre	61.98	7.59	1.08	69.59
	Artık	38.02	34.19	4.48	30.41
7	Konsantre	63.57	10.42	2.93	71.74
	Artık	36.43	38.42	6.50	28.26



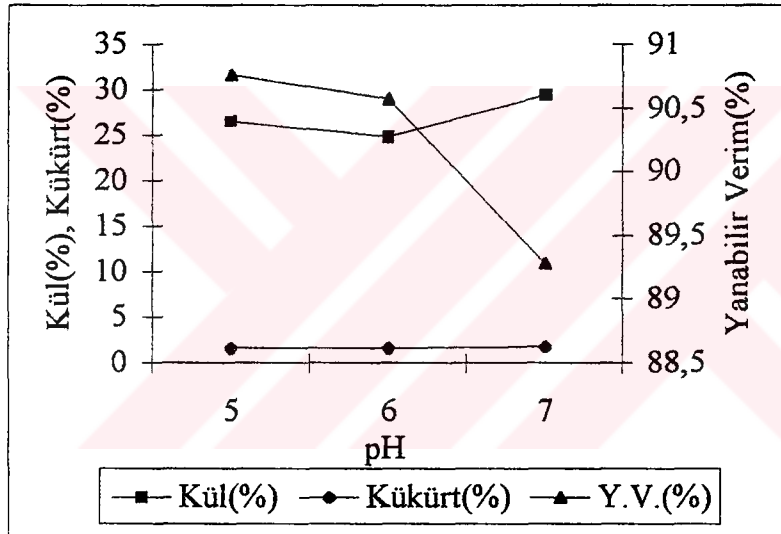
ŞEKİL 10.10. Hazro Linyitin pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Hazro kömürün pH'sı 5 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.45, kül oranı %9.55, yanabilir verimi %75.02; pH'sı 6 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.08, kül oranı %7.59, yanabilir verim %69.59; pH'sı 7 olduğu zaman piridik kükürt oranı %2.93, kül oranı %10.42, yanabilir verimi %71.74'tür. Hazro linyitin flotasyonu için en uygun pH=6'dır.

Avgamasya asfaltitinin pH ile yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.22, Şekil 10.11) verilmiştir.

TABLO 10.22. Avgamasya Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi

pH Değeri	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
5	Konsantre	84.44	26.43	1.64	90.76
	Artık	15.56	59.36	2.60	9.24
6	Konsantre	84.54	24.85	1.60	90.57
	Artık	15.46	57.16	2.58	9.43
7	Konsantre	82.36	29.42	1.80	89.28
	Artık	17.64	60.40	2.32	10.72



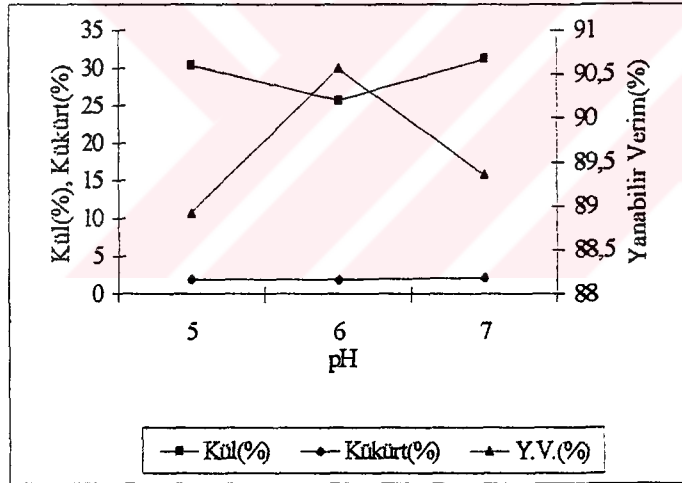
ŞEKİL 10.11. Avgamasya Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Avgamasya asfaltitin pH'sı 5 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.64, kül oranı %26.43, yanabilir verimi %90.76; pH'sı 6 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.60, kül oranı %24.85, yanabilir verim %90.57; pH'sı 7 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.80, kül oranı %29.42, yanabilir verimi %89.28'dir. Avgamasya asfaltitinin flotasyonu için en uygun pH=6'dır.

Segürük asfaltitinin pH ile yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.23, Şekil 10.12) verilmiştir.

TABLO 10.23. Segürük Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi

pH Değeri	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
5	Konsantre	78.03	30.43	1.93	88.92
	Artık	21.97	69.21	2.80	11.08
6	Konsantre	79.12	25.73	1.82	90.57
	Artık	20.88	70.69	2.53	9.43
7	Konsantre	78.82	31.26	2.18	89.36
	Artık	21.19	69.51	2.39	10.64



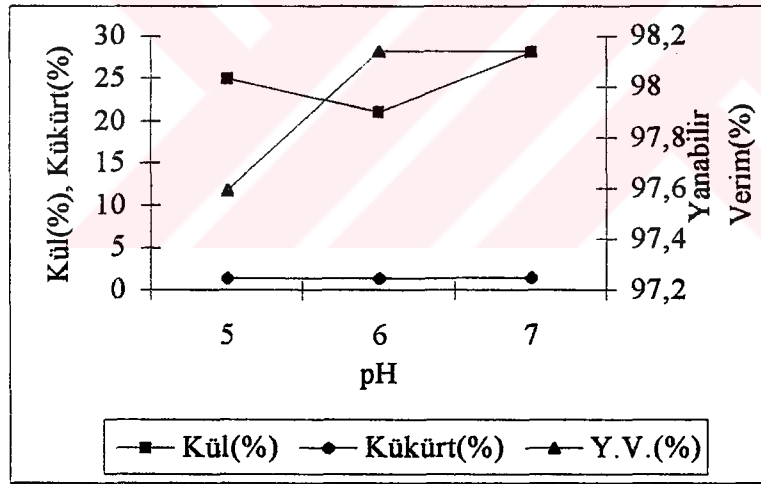
ŞEKİL 10.12. Segürük Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Segürük asfaltitin pH'sı 5 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.93, kül oranı %30.43, yanabilir verimi %88.92; pH'sı 6 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.82, kül oranı %25.73, yanabilir verim %90.57; pH'sı 7 olduğu zaman piridik kükürt oranı %2.18, kül oranı %31.26, yanabilir verimi %89.36'dır. Segürük asfaltitinin flotasyonu için en uygun pH=6'dır.

Halbur asfaltinin pH ile yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.24, Şekil 10.13) verilmiştir.

TABLO 10.24. Halbur Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi

pH Değeri	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
5	Konsantre	94.87	24.91	1.40	97.59
	Artık	5.13	65.80	1.56	2.41
6	Konsantre	95.27	21.03	1.37	98.14
	Artık	4.73	69.93	1.57	1.86
7	Konsantre	96.07	28.10	1.49	98.14
	Artık	3.93	66.80	1.52	1.86



ŞEKİL 10.13. Halbur Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Halbur asfaltitin pH'sı 5 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.40, kül oranı %24.91, yanabilir verimi %97.59; pH'sı 6 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.37, kül oranı %21.03, yanabilir verim %98.14; pH'sı 7 olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.49, kül oranı %28.10, yanabilir verimi %98.14'tür. Halbur asfaltitinin flotasyonu için en uygun pH=6'dır.

10.4.5. Flotasyonda Karıştırma Hızın Etkisi

Karıştırma hızı 900,1200 ve 1500 devir.dakika⁻¹ aralığında değiştirilmiş ve en iyi karıştırma hızı tesbit edilmeye çalışılmıştır. Karıştırma hızı değişken diğer parametreler ise sabittir. Deney koşulları ve deney akım şeması aşağıda verilmiştir.

Deney Koşulları:

Tane boyutu	: -0.074+0.053 mm
Katı oranı	: %5
pH	: 6 (HCl ile)
Toplayıcı +Köpürtücü	: 600 g.ton ⁻¹ (%90 gazyağı+%10 İzooktanol)
Karıştırma hızı	: Değişken
Flotasyon süresi	: 5 dakika

Deney Akım Şeması

Kömür

Su → ↓ ← Kimyasal Reaktif

Flotasyon

Lave Kömür

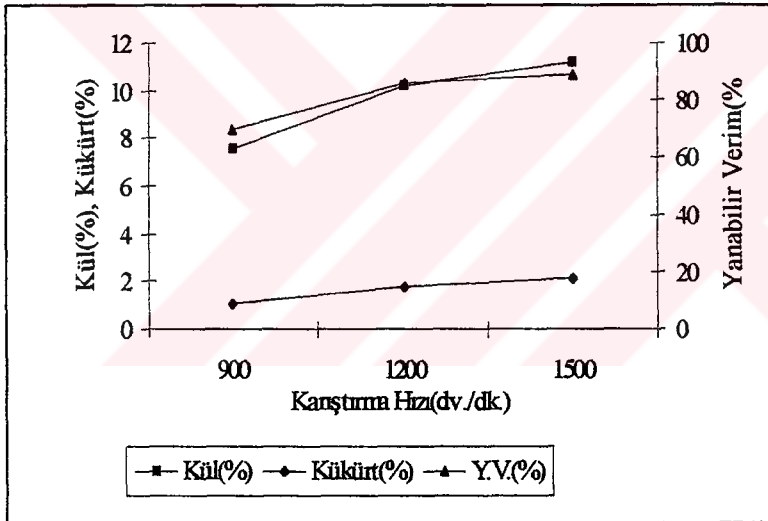
Artık

Kurutulmuş kömürlerden 50 g (katı oranı %5) örnek alınıp 1 L'lik flotasyon hücreğine konarak musluk suyu ile ıslatıldı. Karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak ayarlandı. Ortamın pH'sı 6 olarak ayarlandı. Köpürtücü ve toplayıcı ilave edildi. 5 dakika karıştırıldıktan sonra hava musluğu açılarak 5 dakika boyunca köpük alındı. Alınan konsantre ve artık süzülüp yıkandıktan sonra etüvde kurutuldu ve kül analizlerine bakıldı. Aynı işlemler 1200 ve 1500 devir.dakika⁻¹ içinde yapıldı.

Hazro linyitinin karıştırma hızına göre yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.25, Şekil 10.14) verilmiştir.

TABLO 10.25. Hazro Linyitin Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları

Karıştırma Hızı (dv.dak. ⁻¹)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
900	Konsantre	61.98	7.59	1.08	69.59
	Artık	38.02	34.19	8.48	30.41
1200	Konsantre	80.95	10.21	1.80	86.22
	Artık	19.05	30.03	6.72	13.78
1500	Konsantre	85.04	11.21	2.10	88.79
	Artık	14.96	36.30	6.82	11.21



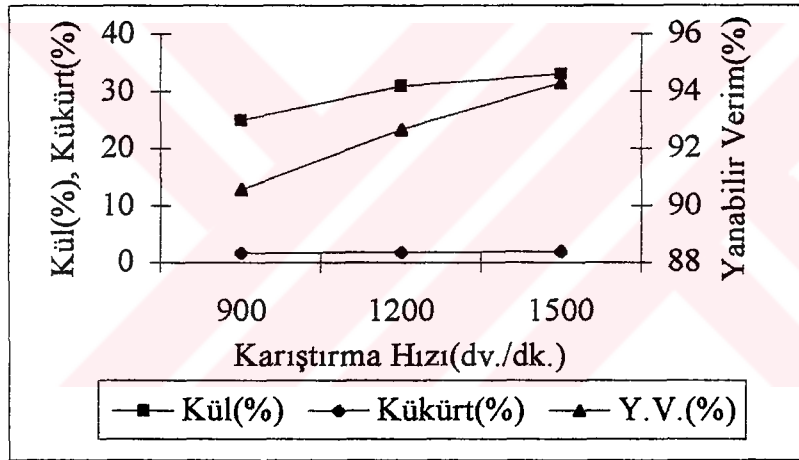
ŞEKİL 10.14. Hazro Linyitine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Hazro kömürün karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.08, kül oranı %7.59, yanabilir verim %69.59; karıştırma hızı 1200 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.80, kül oranı %10.21, yanabilir verimi %86.22; karıştırma hızı 1500 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı 52.10, kül oranı %11.21, yanabilir verimi %88.79'dür. Piridik kükürt oranı ve külü oranı 900 devir.dakika⁻¹ da en düşüktür. Hazro linyitinin flotasyonu için en iyi karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak tespit edildi.

Avgamasya asfaltitinin karıştırma hızına göre yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.26, Şekil 10.15) verilmiştir.

TABLO 10.26. Avgamasya Asfaltitine Karıştırma Hızına Göre
Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları

Karıştırma Hızı (dv.dak. ⁻¹)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
900	Konsantre	84.54	24.85	1.60	90.57
	Artık	15.46	57.16	2.58	9.43
1200	Konsantre	87.93	30.94	1.78	92.65
	Artık	12.07	60.07	2.40	7.35
1500	Konsantre	91.54	32.94	1.90	94.28
	Artık	8.46	56.04	2.06	5.72



ŞEKİL 10.15. Avgamasya Asfaltitine Karıştırma Hızı Değişiminin

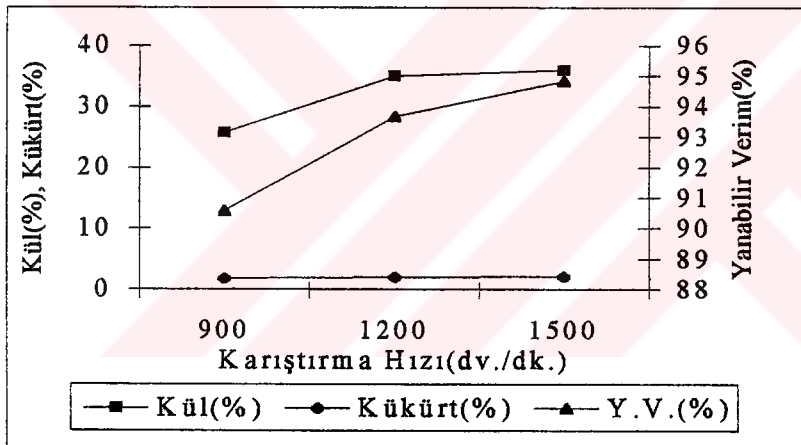
Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Avgamasya asfaltitine karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.60, kül oranı %24.85, yanabilir verim %90.57; karıştırma hızı 1200 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.78, kül oranı %30.94, yanabilir verimi %92.65; karıştırma hızı 1500 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.90, kül oranı %32.94, yanabilir verimi %94.28'dir. Piridik kükürt oranı ve külü oranı 900 devir.dakika⁻¹ da en düşüktür. Avgamasya asfaltiti flotasyonu için en iyi karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak tespit edildi.

Segürük asfaltinin karıştırma hızına göre yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.27, Şekil 10.16) verilmiştir.

TABLO 10.27. Segürük Asfaltine Karıştırma Hızına Göre Yapılan Deney Sonuçları

Karıştırma Hızı (dv.dak. ⁻¹)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
900	Konsantre	79.12	25.73	1.82	90.57
	Artık	20.88	70.69	2.53	9.43
1200	Konsantre	89.60	35.01	2.01	93.69
	Artık	10.40	62.28	2.40	6.31
1500	Konsantre	91.93	36.01	2.13	94.83
	Artık	8.07	60.32	2.39	5.17



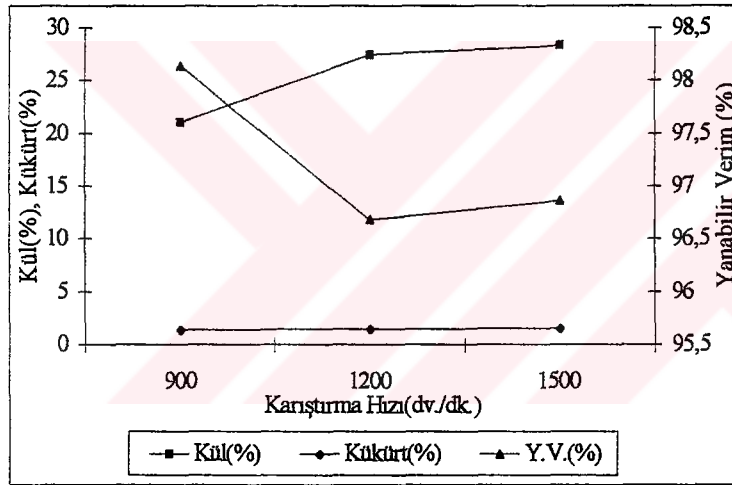
ŞEKİL 10.16. Segürük Asfaltine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Segürük asfaltine karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı%1.87, kül oranı %25.73, yanabilir verim %90.57; karıştırma hızı 1200 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %2.01, kül oranı %35.01, yanabilir verimi %93.69; karıştırma hızı 1500 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %2.13,kül oranı %36.01, yanabilir verimi %94.83'tür. Piridik kükürt oranı ve külü oranı 900 devir.dakika⁻¹ da en düşüktür. Segürük asfalti flotasyonu için en iyi karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak tespit edildi.

Halbur asfaltinin karıştırma hızına göre yapılan deney sonuçları aşağıda (Tablo 10.28, Şekil 10.17) verilmiştir.

TABLO 10.28. Halbur Asfaltine Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları

Karıştırma Hızı (dv.dak. ⁻¹)	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Yanabilir Verim (%)
900	Konsantre	95.27	21.03	1.37	98.14
	Artık	4.73	69.93	1.57	1.86
1200	Konsantre	93.95	27.44	1.45	96.68
	Artık	6.05	61.25	1.55	3.32
1500	Konsantre	94.71	28.34	1.49	96.86
	Artık	5.29	58.42	1.52	3.14



ŞEKİL 10.17. Halbur Asfaltine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi

Halbur asfaltine karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.37, kül oranı %21.03, yanabilir verim %98.14; karıştırma hızı 1200 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.45, kül oranı %27.44, yanabilir verimi %96.68; karıştırma hızı 1500 devir.dakika⁻¹ olduğu zaman piridik kükürt oranı %1.49, kül oranı %28.34, yanabilir verimi %96.86'dır. Piridik kükürt oranı ve külü oranı 900 devir.dakika⁻¹ da en düşüktür. Halbur asfaltiti flotasyonu için en iyi karıştırma hızı 900 devir.dakika⁻¹ olarak tespit edildi.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Şırnak (Avgamasya, Segürük), Silopi (Halbur) asfaltitleri ve Hazro linyitlerinin kömür ocaklarından numune alma usulüne göre örnekler alınarak öğütme işlemleri yapıldı. $-3.36 + 0.60$ mm, $-0.60 + 0.25$ mm, $-0.25 + 0.125$ mm, $-0.125 + 0.071$ mm ve $-0.071 + 0.053$ mm tane boyutlarında elek analizleri yapıldı. Elek altına ve elek üstüne geçen kömür miktarlarından yararlanarak tane boyutuna göre kümülatif elek altı ve kümülatif elek üstü değerlendirme tablosu ve eğrileri çizildi (Tablo 10.1, Şekil 10.1). Bu eğrilerden yararlanılarak elek altına ve elek üstüne geçen tanecik boyutunun miktarları yaklaşık olarak hesaplandı.

Şırnak, Silopi ve Hazro bitümlü kömür örneklerinden, -0.053 mm boyutundaki örneklerin (C, H, N, S) elementlerin analizleri “Carlo Erba Model EA 1108” cihazı ile yapıldı. Piridik kükürt, sülfat kükürdü, organik kükürt, kül, uçucu madde ve nem içerikleri ASTM standartlarına göre analizleri yapıldı. Sabit karbon ve ısı değeri ise teorik olarak hesaplandı (Tablo 10.2). Kükürt, kül ve uçucu madde içeriği oldukça yüksek olan bu kömürlerin temizlenmeden kullanılması halinde büyük bir çevre kirliliğine sebep olur. Bu nedenle bu kömürlerin kükürt, kül ve uçucu maddeyi azaltmak amacıyla fiziksel yöntemler uygulanmıştır.

Yüzdürme-batırma deneylerinde $1.30-1.40-1.50-1.60-1.70$ ve 1.80 g.cm^{-3} yoğunluklu ZnCl_2 çözeltileri kullanıldı. $-12.70+4.76$, $-4.76+3.36$, $-3.36+2.38$, $-2.38+1.19$, ve $-1.19+0.76$ mm tane boyutundaki kömürlerle yüzdürme-batırma deneyleri yapıldı.

Hazro linyiti $-2.38+1.19$ mm tane boyutunda -1.70 g.cm^{-3} te ± 0.10 yoğunluğundaki madde miktarı %0-7 arasında olması ayırmayı kolaylaştırmaktadır. -1.70 g.cm^{-3} ZnCl_2 çözeltisi ile yapılan deneylerde besleme ürününe göre %88.40 oranında temiz kömür yüzmüş ve kül oranı %12.95 olarak bulunmuştur. %11.60 oranında ise şist batmıştır ve kül oranı %50.15 olarak bulunmuştur. Hazro linyitinin içindeki mineraller bu tane boyutunda serbestleştiğinden, bir zenginleştirme yapılabilmektedir (Tablo 10.4).

Avgamasya asfaltiti $-1.19+0.76$ mm tane boyutunda -1.70 g.cm^{-3} te ± 0.10 yoğunluğundaki madde miktarı %7-10 arasında olması ayırmayı kolaylaştırmaktadır. -1.70 g.cm^{-3} ZnCl_2 çözeltisi ile yapılan deneylerde besleme ürününe göre %95.90 oranında temiz kömür yüzmüş ve kül oranı %37.24 olarak bulunmuştur. %4.10 oranında ise şist batmıştır ve kül oranı %53.11 olarak bulunmuştur. Kül oranı yüksek olduğundan ayırma yapılamadı (Tablo 10.6).

Segürük asfaltiti $-2.38+1.19$ mm tane boyutunda -1.70 g.cm^{-3} te ± 0.10 yoğunluğundaki madde miktarı %0-7 arasında olması ayırmayı kolaylaştırmaktadır. -1.70 g.cm^{-3} ZnCl_2 çözeltisi ile yapılan deneylerde besleme ürününe göre %96.30 oranında temiz kömür yüzmüş ve kül oranı %40.77 olarak bulunmuştur. %3.70 oranında ise şist batmıştır ve kül oranı %49.68 olarak bulunmuştur. Kül oranı yüksek olduğundan ayırma yapılamadı (Tablo 10.7).

Silopi (Halbur) asfaltiti ise yüzdürme-batırma deneyi ile hiçbir sonuç alınamadı.

Sonuç olarak piridik kükürt oranı ve ısı değeri oldukça yüksek olan Hazro linyitinin yüzdürme-batırma testleri tabi tutulduğunda temiz yakıt olarak kullanılabilir.

Deneylerde; tane boyutu, katı oranı, reaktif miktarı, pH ve karıştırma hızının flotasyon üzerine etkileri incelendi ve optimum deney koşulları tespit edildi. En iyi tane boyutu $-0.071+0.053$ mm olarak tespit edilmiştir. Tane boyutu incelidikçe piridik kükürt ve kül oranında önemli azalmalar görülmektedir. En iyi katı oranı %5 olarak tespit edildi. Bastırıcı miktarı (Na_2SiO_3) flotasyon sonucunu fazla etkilememiştir. Reaktif cinsinin (toplayıcı + köpürtücü) flotasyonu etkilediği, bunların karışım oranlarının değiştirilmesi flotasyon sonuçlarını etkilemediği bulunmuştur. Reaktif miktarının piridik kükürt giderilmesinde fazla etkisi olmadı ama külün giderilmesi üzerinde belirli bir etkisi vardır. pH ve karıştırma hızı da flotasyon sonuçlarını etkilemiştir. En iyi pH=6 olarak, karıştırma hızı ise $900 \text{ devir.dakika}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.

Hazro linyiti flotasyon deneylerinde piridik kükürt oranı %5.23'ten %1.08'e, kül oranı %18.31'den %7.59'a düşürülmüştür. Yanabilir verim ise %69.59 olarak bulunmuştur.

Avgamasya asfaltiti flotasyon deneylerinde piridik kükürt oranı %2.00'dan %1.60'a, kül oranı %39.07'den %24.85'e düşürülmüştür. Yanabilir verim ise %90.57 olarak bulunmuştur.

Segürük asfaltiti flotasyon deneylerinde piridik kükürt oranı %2.35'ten %1.82'ye, kül oranı %40.80'dan %25.73'e düşürülmüştür. Yanabilir verim ise %90.57 olarak bulunmuştur.

Halbur asfaltiti flotasyon deneylerinde piridik kükürt oranı %1.50'den %1.37'ye, kül oranı %32.60'dan %21.09'a düşürülmüştür. Yanabilir verim ise %98.14 olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak; Hazro linyiti fiziksel yöntemlerle zenginleştirilerek yakıt olarak kullanılabilir, asfaltitler ise; organik kükürt oranı yüksek olduğundan fiziksel yöntemlerle zenginleştirme yapılamamaktadır. Ancak fiziksel yöntemlerden sonra kimyasal yöntemler uygulanarak zenginleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- AKALIN, M., ÖZ, Z., 1988. "Hava Kirliliğini Azaltmak Anacıyla Isınmada Kullanılan Linyitlerinin Yıkanabilirliği", Türkiye 6. Kömür Kongresi.
- ALTAŞ, M., FİKRET, H., ÇELEBİ, E., 1994. "Türkiye 6. Enerji Kongresi, Enerji İstatistikleri", İZMİR.
- APLAN, F.F., ARNOLD, B.J., 1991. "Coal Preparation", Leonard J.W., Ed., V. Edition, Port City Press.
- APLAN, F.F., 1993. "Coal Properties Dictate Coal Flotation Strategie", Mining Engineering.
- ATAK, S., ÖNAL, G., 1989. "Kömür Hazırlama ve Tesisleri", Kömür Kimyası ve Teknolojisi, Kural, O., Ed.
- ATAK, S., 1974. "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması". İ.T.Ü. Müh. Mim. Fak., Sayı:10
- ATEŞOK, G., 1986. "Kömür Hazırlama" Kurtiş Matbası, İSTANBUL.
- ATEŞOK, G., YILDIRIM, İ., ÇELİK, M. S., 1993. "Applicability of Reichert Spiral for Cleanin Bituminuos and Lignic Coals", International Journal of Mineral Processing, Vol. 40.
- ATTAR, A., 1978. Fuel Vol. 57,4
- BARAN, S., 1991. Diyarbakır Hazro Kömür Sahası Jeoloji Raporu, ANKARA.
- BARBİR, F., VEZİROĞLU, T.N., 1992. "Assessment of Environmental Damage by Fossil Fuels", Clean Utilization of Coal, NATO Ası Series, Serise C; Matematical and Physical Sciences, Vol. 370 Kluwer Academic Publishers, HOLLANDA.
- BAYRAKÇEKEN, S., GÜRSES, A., GÜLABOĞLU, Ş., GAINES, A.F., 1989. "Erzurum-Aşkale Linyit Kömürünün Flotasyonunda Çeşitli Köpük Yapıcı ve Elektrolit Maddelerin Etkilerinin İncelenmesi", Doğa, Tu. Müh. Ve Çev. D.C. 13.
- BAYRAKÇEKEN, S., GÜRSES, A., 1990. "Köpük Yapıcı Maddelerin Aşkale ve Balkaya Linyitleri Üzerindeki Adrörpsiyonlarının İncelenmesi", Doğa Tr. of Chemistry 14.
- BREUER, H., JUNGSMANN, A., 1986. "New Potentials in Jigging Separation for Fine and Ultra-Fine Fractions", Aufbereitungs-Technik.
- BROOKES, G.I., MİLLES, N.J., 1987. "Coal Preparation-Some Thoughts For Future ", Mininig Magazine, Vol.157.
- BURGER, R.J., 1986. "It Takes Fewer Men to Make Cleaner Coal", Coal Age.

- CEBECİ, Y., AYDOĞAN, S., ÖZKAN, A., 1996. "Yozgat-Ayırdağ Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi", Türkiye 10. Kömür Kongresi.
- CHOU, C.L., 1990. "Geochemistry of sulfur in Coal", ACS Symposium Series 429.
- ÇELİK, M.S., SOMASUNDARAN, P., 1980. "Effect of Pretreatments on Flotation and Electrokinetic Properties of Coal", Colloids and Surfaces, vol. 1.
- DEMİREL, H., 1988. "Linyitlerde Piritik Kükürdün İki Aşamalı Flotasyonla Temizlenmesi", Türkiye 6. Kömür Kongresi.
- DENİZ, V., KİBİCİ, Y., YAMIK, A., ÇİLEK, E.C., 1996. "Çivril(Denizli) Linyitlerinden Flotasyon ile Kükürdün Uzaklaştırılması", Türkiye 10. Kömür Kongresi.
- DOĞAN, Z.M., ÖZBAYOĞLU, G., HİÇYILMAZ, C., SARIKAYA, M., ÖZCENGİZ, G., 1984. "Bakterilerle Şartlandırma ve Flotasyon Yöntemiyle Aşkale Linyitlerindeki Piritik Kükürdün Arıtılması", Türkiye 4. Kömür Kongresi.
- DOĞAN, M.Z., 1990. "Coal Desulphurization by Microbial Beneficiation", G.I. Karavaika, G., Rossi, Z.A., Avakyan, Eds., Proceedings of International Seminar on Biohydrometallurgy, MOSCOW.
- DÜZ, M.Z., 1995. "Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Asfaltitlerden Kükürdün Giderilmesi", Yüksek Lisans Tezi, D.Ü.Fen. Ed. Fak., DİYARBAKIR.
- ELİĞVE, C.A., 1988. "Microbial Desulphurization of Coal", Fuel, Vol. 67.
- ELLIOT, M.A., 1981. "Chemistry of Coal Utilization", Second Supplementary Vol., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- ERGİN, Z., CÖCEN, İ., SEMERKANT, O., 1989. "Cevher Zenginleştirme Lab. Ders Notları", Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fak., İZMİR.
- FAN, J., YUNG-SONG, Y., ZHANG-SHEN, L., 1982. "Study on Application of Centrifugal Table For Fine Coal Concentration", Proceedings of IX. International Coal Preparation Congress, New Delhi.
- FOWLER, J.M., 1984. "Energy and the Environment", Second Edition, Mc Graw-Hill, New York.
- GÜNDÜZ, T., 1994. "Çevre Sorunları", A.Ü. Fen. Fak. Kimya Böl., ANKARA
- HABA, A.R., 1981. "Pollution Control in Thermal Power Plant", Energy and Environmental Progress-I, Veziroğlu, N. , Ed. Vol. F, Nova Science Publishers, Inc., New York.

- HAMAMCI, C., 1984. "Güneydoğu Anadolu Asfaltitlerinin Külünde Yararlanma Yollarının Araştırılması", Doktora Tezi, D.Ü. Fen. Ed. Fak., DİYARBAKIR.
- HAMAMCI, C., 1990. "Çevre Sorunları Açısından Asfaltitler", D.Ü. Çevre Sorunlarının Boyutları 90 Semp. DİYARBAKIR.
- HAMAMCI, C., KAHRAMAN, F., DÜZ, M.Z., 1997. "Desulfurization of Southeastern Anatolian Asphaltites by the Meyers method", Fuel Processing Technology, Vol. 50. (171-177)
- IŞIGANER, T., 1985. "Mardin-Silopi-Harbul(Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına Ait Jeoloji Raporu".
- JAIN, R.K., URBAN, L.V., STACEY, G.S., BALBACH, H.E., 1993. "Enviromental Assessment", Mc Grow-Hill.
- KAYTAZ, Y., 1988. "Amasra Havzası Taş Kömürlerinin ve Lavuar Artığı Şistlerin Yıkabilme Özellikleri", Türkiye 6. Kömür Kongresi.
- KAYTAZ, Y., TOROĞLU, İ., ALTAŞ, A., 1992. "Çayırhan Bölgesi Kömürlerinin Değerlendirilmesi", Türkiye 8. Kömür Kongresi.
- KURAL, O., PİŞKİN, S., 1988. "Asfaltitlerin Değerlendirilmesi ve Konya İlgin Kömürlerinden Katkı Maddesi Olarak Kullanılması", Türkiye 6. Kömür Kongresi.
- KURAL, O., 1991. "Kömür", İ.T.Ü. Maden Fak. Maden Müh. Böl., İSTANBUL.
- KURAL, O., 1998. "Kömür Özellikleri Teknolojisi ve Çevre İlişkileri", İ.T.Ü. Maden Fak. Maden Müh. Böl., İSTANBUL.
- KÜÇÜKBAYRAK, S., ERSOY MERİÇBOYU, A., KADIOĞLU, E., 1988. "Kireç Taşı ve Dolomitin Hava Kirliliğini Önlemek Amacıyla Kullanabilirliğinin Araştırılması", Çevre' 88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, cilt 2, İZMİR.
- KÜÇÜKBAYRAK, S., YAMAN, S., " Türk Linyitlerinin İyileştirilmesi", İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak. Kim. Müh. Böl. Termodinamik ve Enerji Teknolojisi Anabilimdalı, İSTANBUL.
- LONARD, J.W., 1991. "Coal Preparation", Publication of Society for Mining Metallurgy and Exploration.
- LUA, A.C., BOUCHER, R.F., 1990. "Sulphur and Ash Reduction in Coal By HGMS", Coal Preparation, Vol.8.
- MADEN TEKNİK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ, 1982-a. "Siirt-Mardin (Şırnak-Silopi) Asfaltit Yatakları".

MADEN TEKNİK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ, 1982-b “ Asfaltit Rezerlerimiz ve Değerlendirme İmkanları”.

MADEN TEKNİK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ, 1990. “Asfaltitler ve Türkiye’deki Asfaltit Yatakları”.

MILLER, K.J., 1978.” Desulfurization of Various Midwestern Coal by Flotation”, U.S. Bureau of Mines Report.

MORRISON, G.F., 1981. “Chemical Desulphurization of Coal”, Report Number ICTIS/TR 15, IEA Coal Research, LONDON.

NAKOMAN, E.,1977. “Güneydoğu Anadolu Asfaltik Madde Zuhurları”, Madencilik Dergisi.

ORHUN, F., 1969. “Güneydoğu Türkiye’deki Asfaltik Maddelerin, Özellikleri Metamorföz Dereceleri ve Klasifikasyon Problemleri”, M.T.A. Dergisi sayı: 72.

ÖNAL, G., ACARKAN, N., 1988. “Gediz Kömürlerinin Zenginleştirilmesi”, Türkiye 6. Kömür Kongresi.

ÖNAL, G., ATEŞOK, G., 1994. “Cevher Hazırlama El Kitabı”, İSTANBUL.

ÖZBAŞ, T., DURUSOY, T., TANYOLAÇ, A., YÜRÜM, Y., 1993. “The Factors Affecting the Growth Kinetics of Sulfolobus Solfataricus, a Sulphur Removing Bacteria”, Fuel Processing Technology, Vol. 33.

ÖZBAYOĞLU, G., 1982. “Türkiye’nin Yüksek Kükürt İçerikli Linyitlerinin Kömür Hazırlama Yöntemleriyle Kükürttten Arındırılması”, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumun Müh. Araştırma Grubu, Proje No: 531, ANKARA.

ÖZBAYOĞLU, G., YARAR, B., 1986. 10 th International Coal Preparation Congress.

ÖZBAYOĞLU, G., MAMUREKLİ, M., 1988. “Zonguldak Kömürlerinde Süper Temiz Kömür Üretimi”, Türkiye 6. Kömür Kongresi.

SARIKAYA, M., ÖZBAYOĞLU, G., 1984. “Desulphurization of Erzurum-Aşkale Lignite Flotatio”, 4 th. Balkan Mineral Processing Congress, İSTANBUL.

SEMERKANT, O., ARSLAN, V., KEMAL, M., ÇOĞUPLUGİL, N., 1992. “Tunçbilek Kömürü Kükürt İçeriğinin Mevcut Yıkama Sisteminde İncelenmesi”, Türkiye 8. Kömür Kongresi.

SHEN, T.T., 1980. “The Environmental Impact of Conventional Fossil Fuel Sources”, Energy and the Environment Interactions, Vol. 1, FLORİDA.

- TAYLOR, S.R., MILLER, K.J., HUCKO, R.E., DEURBROUCK, A.W., 1979. "New Methods for Coal Desulfurization ", 8.th. International Coal Preparation Congress, Donetsk, U.S.S.R.
- TSAI, S.C., 1982. "Coal Science and Technology 2, Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization ", Elsevier Science Publishers, AMSTERDAM.
- UZUN, N., 1990. "Zonguldak'ta Kömür Üretiminde Kaynaklanan Çevre Sorunları", Türkiye 7. Kömür Kongresi, ZONGULDAK.
- ÜNLÜ, M., DOĞAN, H., 1986. "Armutçuk Şlam Numunesi Üzerinde Flotasyon Çalışmaları", Türkiye 5. Kömür Kongresi.
- WILLS, B.A., 1985. "Coal Preparation", Mining Annual Review.



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Türkiye’deki Asfaltit Rezervleri	7
Tablo 4.1. Kömürün İçerdiği Mineraller	14
Tablo 10.1. Halbur, Avgamasya, Segürük ve Hazro Kömürünün Tane Sınıfına Göre Elek Analizlerinin Değerlendirilmesi	35
Tablo 10.2. Şırnak(Avgamasya, Segürük),Silopi(Harbul) Asfaltitleri ve Hazro Linyitinin Kimyasal Analiz Sonuçları	36
Tablo 10.3. -12.70+4.76 mm Tane Boyutu Aralığında Hazro Linyitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	37
Tablo 10.4. -2.38+1.19 mm Tane Boyutu Aralığında Hazro Linyitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	38
Tablo 10.5. -4.76+3.36 mm Tane Boyutu Aralığında Avgamasya Asfaltitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	39
Tablo 10.6. -1.19+0.77 mm Tane Boyutu Aralığında Avgamasya Asfaltitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	40
Tablo 10.7. -2.38+1.19 mm Tane Boyutu Aralığında Segürük Asfaltitine Uygulanan Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları	41
Tablo 10.8. Hazro Linyitin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları	43
Tablo 10.9. Avgamasya Asfaltitinin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları	44
Tablo 10.10. Segürük Asfaltitinin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları	45
Tablo 10.11. Halbur Asfaltitinin Tane Boyutuna Göre Flotasyon Deney Sonuçları	46
Tablo 10.12. Hazro Linyitin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları	49
Tablo 10.13. Avgamasya Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları	50
Tablo 10.14. Segürük Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları	51
Tablo 10.15. Halbur Asfaltitinin Katı Oranına Göre Flotasyon Deney Sonuçları	52
Tablo 10.16. Bastırıcının Flotasyona Etkisi	54
Tablo 10.17. Hazro Linyitin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları	55

Tablo 10.18. Avgamasya Asfaltitin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları	56
Tablo 10.19. Segürük Asfaltitin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları	57
Tablo 10.20. Halbur Asfaltitin Reaktif Cinslerine Göre Flotasyon Deney Sonuçları	57
Tablo 10.21. Hazro Linyitin Flotasyonuna pH'ın Etkisi	59
Tablo 10.22. Avgamasya Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi	60
Tablo 10.23. Segürük Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi	61
Tablo 10.24. Halbur Asfaltiti Flotasyonuna pH'ın Etkisi	62
Tablo 10.25. Hazro Linyiti Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları	64
Tablo 10.26. Avgamasya Asfaltiti Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları	65
Tablo 10.27. Segürük Asfaltiti Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları	66
Tablo 10.28. Halbur Asfaltiti Karıştırma Hızına Göre Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Asfaltit Filonlarının Coğrafi Durum Haritası	6
Şekil 7.1. Kömürdeki Kükürdü Yanma Öncesi Giderme Yöntemleri	19
Şekil 10.1. Halbur, Avgamasya, Segürük ve Hazro Kömürünün Tane Sınıfına Göre Elek Altı(E.A.) ve Elek Üstü(E.Ü.) Değerlendirme Grafiği	34
Şekil 10.2. Hazro Linyiti Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	44
Şekil 10.3. Avgamasya Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	45
Şekil 10.4. Segürük Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	46
Şekil 10.5. Halbur Asfaltitin Tane Boyutu Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	47
Şekil 10.6. Hazro Linyitin Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	49
Şekil 10.7. Avgamasya Asfaltiti Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	50
Şekil 10.8. Segürük Asfaltiti Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	51
Şekil 10.9. Halbur Asfaltiti Katı Oranı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	52
Şekil 10.10. Hazro Linyitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	59
Şekil 10.11. Avgamasya Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	60
Şekil 10.12. Segürük Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	61
Şekil 10.13. Halbur Asfaltitine pH Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir Verime Etkisi	62

Şekil 10.14. Hazro Linyitine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir

Verime Etkisi 64

Şekil 10.15. Avgamasya Asfaltitine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir

Verime Etkisi 65

Şekil 10.16. Segürük Asfaltitine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir

Verime Etkisi 66

Şekil 10.17. Halbur Asfaltitine Karıştırma Hızı Değişiminin Kükürt, Kül ve Yanabilir

Verime Etkisi 67



ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Mardin'in Elmahahçe köyünde doğdum. İlk ve orta öğrenimini Mardin Mazıdağı Y.İ.B.O.'da yaptım. Liseyi Diyarbakır'da Diyarbakır lisesinde okudum. 1992 yılında D.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne kayıt oldum. 1996 yılında aynı bölümden mezun oldum. Aynı yılda D.Ü.Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladım. 1996-1997 yılında Batman'ın Kozluk ilçesinde Y.İ.B.O.'da öğretmenlik yaptım. 1997-1998 yılında Diyarbakır'da İsmet Paşa İlköğretim Okulunda öğretmenlik yaptım. 1998 Eylül'de D.Ü. Müh. Mim. Fakülte'sinde Maden Müh. Böl.'de Uzman olarak göreve başladım.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN YÖNETİM MERKEZİ