

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ANABİLİM DALI

**KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE TEMİZLENMESİNDE
ATIK MOTOR YAĞLARININ KULLANILABİLİRLİĞİ**

Mehmet YAVUZ

**Karadeniz teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
‘Maden Yüksek Mühendisi’
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.10.2010
Tezin Savunma Tarihi : 11.11.2010**

**Tezin Danışmanı : Doç. Dr. Tuncay USLU
Jüri Üyesi : Doç. Dr. İbrahim ALP
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Fatma HOŞ ÇEBİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu tez K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada, kömürün yağ aglomerasyonu yöntemiyle temizlenmesinde atık motor yağlarının kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezin hazırlanmasında büyük emeği geçen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Tuncay USLU'ya, değerli yardımları için Doç. Dr. İbrahim ALP'e, Doç. Dr. Hacı DEVECİ'ye, Öğr. Gör. Ercan Şahinoğlu'na ve Arş. Gör. Ersin Y. YAZICI'ya teşekkür ederim. Çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen arkadaşlarım, Rıdvan YAZICI'ya, Alp TURAN'a ve İlker KILINÇ'a teşekkür ederim. Deneylerim süresi boyunca eksikliğimi hissettirmeyen Artış Madencilik A.Ş. sahibi Hasan ÖZDERYA'ya, çavuşlar İsmail Rüştü EĞRİOĞLU'na ve Halit ÖZYURT'a ve muhasebeciler Zekeriya CİVELEK'e ve Ümit ÇEBİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme en derin şükranlarımı sunarım.

Mehmet YAVUZ
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Kömür Oluşumu.....	4
2.1.1. Turbalaşma ve Kömürleşme.....	6
2.1.2. Kömürleşmede Rol Oynayan Etmenler.....	7
2.1.2.1. Coğrafik Etmenler.....	7
2.1.2.2. Jeolojik Etmenler.....	8
2.1.2.3. Biyokimyasal ve Fiziksel Etmenler.....	8
2.2. Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması.....	9
2.3. Kömür Türleri.....	11
2.3.1. Turba.....	11
2.3.2. Linyit.....	12
2.3.3. Taşkömürü.....	14
2.3.4. Antrasit.....	15
2.3.5. Grafit.....	16
2.4. Kömürün İstenmeyen İçerikleri.....	16
2.4.1. Nem.....	16
2.4.2. Kül.....	17
2.4.3. Kükürt.....	18
2.5. Kömürün Petrografisi.....	20
2.5.1. Organik Bileşenler.....	20
2.5.1.1. Kömürlerin Makropetrografik Yapıcıları (Litotipler).....	20
2.5.1.1.1. Vitren.....	20

2.5.1.1.2.	Klaren.....	21
2.5.1.1.3.	Düren.....	21
2.5.1.1.4.	Füzen.....	21
2.5.1.2.	Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcıları (Maseraller).....	21
2.5.1.2.1.	Vitrinit (Linyitlerde Hüminit) Grubu Maseraller.....	22
2.5.1.2.2.	Eksinit (Linyitlerde Liptinit) Grubu Maseraller.....	23
2.5.1.2.3.	İnertit Grubu Maseraller.....	24
2.5.2.	Mineraller ve İz Öğeler.....	25
2.5.2.1.	Mineraller.....	26
2.5.2.2.	Kil Mineralleri.....	27
2.5.2.3.	Karbonatlar.....	27
2.5.2.4.	Silikatlar ve Diğer Mineraller.....	28
2.5.2.5.	Tuzlar.....	28
2.5.2.6.	İz Öğeler.....	28
2.6.	Kömür Temizleme Yöntemleri.....	29
2.6.1.	Fiziksel Yöntemler.....	31
2.6.1.1.	Yaş Temizleme Yöntemleri.....	32
2.6.1.1.1.	İri Kömürün Temizlenmesi.....	32
2.6.1.1.1.1.	Ağır Ortam Ayırması.....	33
2.6.1.1.1.2.	Jigler.....	34
2.6.1.1.2.	İnce Kömürün Temizlenmesi.....	36
2.6.1.1.2.1.	Ağır Ortam Siklonları.....	36
2.6.1.1.2.2.	Sallantılı Masalar.....	37
2.6.1.1.2.3.	Oluklar.....	38
2.6.1.1.2.4.	Spiraller.....	38
2.6.1.1.3.	Toz Kömürün Temizlenmesi.....	39
2.6.1.1.3.1.	Flotasyon.....	39
2.6.1.1.3.2.	Flokülasyon.....	44
2.6.1.1.3.3.	Geliştirilmiş Gravite Ayırıcıları.....	45
2.6.1.2.	Kuru Temizleme Yöntemleri.....	51
2.6.2.	Biyolojik Yöntemler.....	52
2.6.3.	Kimyasal Yöntemler.....	53
2.6.3.1.	Çeşitli Gaz Ortamlarında Isıtma.....	53

2.6.3.2.	Yaş Kimyasal Yöntemler.....	55
2.6.3.2.1.	Mayers Yöntemi.....	56
2.6.3.2.2.	Kostik Ekstraksiyonu.....	56
2.6.3.2.3.	Petc Yöntemi.....	57
2.6.3.2.4.	Ledgemont Yöntemi.....	58
2.7.	Kömürün Yağ Aglomerasyonu.....	58
2.7.1.	Yağ Aglomerasyonunun Teorisi ve Gelişimi.....	58
2.7.2.	Yağ Aglomerasyonu ile ilgili Yapılan Çalışmalar.....	66
2.8.	Türkiye’de Atık Motor Yağı Potansiyeli.....	70
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	72
3.1.	Müzret Kömürlerinin Özellikleri	72
3.1.1.	Müzret Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	72
3.1.2.	Müzret Kömürünün Kimyasal ve Petrografik Özelliği.....	75
3.2.	Atık Motor Yağının Özellikleri.....	77
3.3.	Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı.....	77
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	81
4.1.	Kömür Oranının Aglomerasyona Etkisi.....	81
4.2.	Yağ Oranının Aglomerasyona Etkisi.....	82
4.3.	Aglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi.....	83
4.4.	Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi.....	84
4.5.	Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi.....	86
4.6.	Pülp pH’sının Aglomerasyona Etkisi.....	87
4.7.	Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi.....	88
4.8.	Aglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi.....	89
4.9.	Orijinal Motor Yağının Aglomerasyondaki Etkinliğinin Atık Motor Yağının Etkinliği ile Karşılaştırılması.....	90
5.	SONUÇLAR.....	94
6.	KAYNAKLAR.....	95
7.	EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Kömürün yağ aglomerasyonu yöntemiyle temizlenmesinde atık motor yağlarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Müzret (Yusufeli-Artvin) kömürü, atık motor yağı ile aglomera edilmiştir. Kömür oranı, atık motor yağı oranı, aglomerasyon süresi, kömür tane boyutu, karıştırma hızı, pülp pH'ı, yıkama suyu miktarı ve aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyonun performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, atık motor yağı ile orijinal motor yağının aglomerasyon işlemindeki etkisi karşılaştırılmıştır.

Maksimum kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla % 41.35 ve % 36.27 olarak gerçekleşmesine rağmen, kül ayırma etkinliği dikkate alındığında en başarılı sonuç % 99.65 organik madde verimiyle külün % 27.62'sinin ve piritik kükürtün % 16.40'ının uzaklaştırıldığı deneyde elde edilmiştir. Aglomerasyon performansını en fazla etkileyen parametrelerin kömür oranı ve yağ oranı olmuştur. Atık motor yağıyla orjinal motor yağına göre daha fazla verimlerin fakat daha az kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Yağ Aglomerasyonu, Kömür Kükürtsüzleştirme, Kömür Temizleme, Atık Motor Yağı

SUMMARY

Usability of Waste Motor Oils in the Cleaning of Coal by Oil Agglomeration Method

Usability of waste motor oils in the cleaning of coal by oil agglomeration method was investigated. Müzret (Yusufeli-Artvin) coal was agglomerated by waste motor oil. The effects of some parameters including coal content, waste motor oil content, agglomeration time, coal particle size, agitation rate, pH of the pulp, washing water amount, and size of agglomerate recovery screen, on agglomeration performance were investigated. In addition, the effect of waste motor oil and original motor oil on agglomeration process was compared.

Although, maximum ash and pyritic sulphur removals realized as 41.35 % and 36.27 % respectively, when ash separation efficiency was taken into account, most successful result was obtained in the test in which 27.62 % of ash and 16.40 % of pyritic sulphur were removed from the coal by 99.65 % organic matter recovery. It was found that most effective parameters were coal content and oil content. Waste motor oil produced higher recoveries and lower ash and pyritic sulphur removals when compared to original motor oil.

Key Words: Coal, Oil Agglomeration, Coal Desulphurization, Coal Cleaning, Waste Motor Oil

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Doğada karbon çevrimi.....	4
Şekil 2.2. Bataklıklarda gözlenen bitki kesimleri.....	5
Şekil 2.3. Dış görünüşlerine göre linyitler ayrımı.....	13
Şekil 2.4. Kömürleşme derecesine göre maseral gruplarının uçucu madde oranları.....	22
Şekil 2.5. Kömür yıkama yöntemleri ve kullanılabilirlikleri tane irilikleri.....	32
Şekil 2.6. (a) Jiglerde tabakalaşma ve akım hızları, (b) Jiglerde dikey hareket ve (c) Jiglerde yatay hareket.....	35
Şekil 2.7. Flotasyonun temel prensipleri.....	40
Şekil 2.8. Laboratuvar ölçekli knelson konsantratörü	47
Şekil 2.9. Knelson konsantratörünün iç koniğinden görünüşleri.....	48
Şekil 2.10. Kelsey santrifüj jiginin şematik görünümü.....	48
Şekil 2.11. Multi gravite separatorunun şematik görünümü.....	50
Şekil 2.12. Pnömatik masa (havalı masa).....	52
Şekil 2.13. Pnömatik jig (havalı jig).....	52
Şekil 2.14. Yağ aglomerasyonu için geliştirilmiş bir akım şeması.....	59
Şekil 2.15. Yağ – kömür tanesi yapışma mekanizması.....	62
Şekil 2.16. Türkiye'de tüketilen ve toplanan atık motor yağı miktarları.....	71
Şekil 3.1. Yerbulduru haritası.....	72
Şekil 3.2. Yusufeli bölgesinin geliştirilmiş jeolojik kesitteki kömür damarlarının konumu.....	73
Şekil 3.3. Yusufeli- Müzret mevki jeolojik haritası.....	74
Şekil 3.4. Müzret kömürlerinin yansıtılmalı ışıkta ve yağ immersiyonunda petrografik bileşenlerinin görünüşleri.....	76
Şekil 3.5. Deneyde kullanılan mekanik karıştırıcı.....	78
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan vakum filtre düzeneği.....	78
Şekil 3.7. Yağ aglomerasyonu sonucu elde edilen temiz kömür örnekleri.....	79
Şekil 3.8. Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu akım şeması.....	80
Şekil 4.1. Kömür oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	82

Şekil 4.2.	Atık motor yağı oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	83
Şekil 4.3.	Aglomerasyon süresinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	84
Şekil 4.4.	Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	85
Şekil 4.5.	Karıştırma hızının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	86
Şekil 4.6.	Pülp pH'ının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	87
Şekil 4.7.	Yıkama suyu miktarının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	89
Şekil 4.8.	Aglomerat kazanım eleği boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi	90
Şekil 4.9.	Orijinal motor yağının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: % 10, Kömür tane boyutu: -0,5 mm, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak, pH: 5,68, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).....	91
Şekil 4.10.	Yağ tipinin farklı yağ oranlarında organik madde verimine etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68 , Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).....	92
Şekil 4.11.	Yağ tipinin farklı yağ oranlarında piritik kükürt azalmasına etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68 , Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat Kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).....	92
Şekil 4.12.	Yağ tipinin farklı yağ oranlarında kül azalmasına etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68, Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).....	93

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bitki ana maddeleri ve oranları.....	5
Tablo 2.2. Kömürleşmede karbon, hidrojen, oksijen oranlarının değişimi.....	7
Tablo 2.3. Uluslararası genel kömür sınıflaması.....	9
Tablo 2.4. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri.....	10
Tablo 2.5. Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri	10
Tablo 2.6. Linyitle turbayı ayıran ölçütler.....	12
Tablo 2.7. Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri.....	14
Tablo 2.8. Antrasitin ortalama analiz sonuçları.....	15
Tablo 2.9. Kömürde bulunan bazı mineral maddeler, yanma sonucu geride bıraktıkları oksitler ve bunların katı oksitlerine göre ağırlık oranları.....	18
Tablo 2.10. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri.....	26
Tablo 2.11. Piriti kömürden fiziksel olarak uzaklaştırma yöntemleri.....	31
Tablo 2.12. Santrifüj ayırıcıların karşılaştırılması.....	45
Tablo 2.13. Kelsey jiginin avantaj ve dezavantajları.....	49
Tablo 3.1. Yusufeli-Müzret kömürlerinin petrografik bileşimi, hacimce %.....	75
Tablo 3.2. Yusufeli-Müzret kömürlerinin kimyasal analiz sonuçları.....	76
Tablo 3.3. Kömür tane boyu analizi.....	76
Tablo 3.4. Deneylerde kullanılan yağların özellikleri.....	77
Tablo 3.5. Aglomerasyon deney koşulları.....	79
Tablo 4.1. Kömür oranının aglomerasyona etkisi	81
Tablo 4.2. Atık motor yağı oranının aglomerasyona etkisi	82
Tablo 4.3. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi	83
Tablo 4.4. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi	85
Tablo 4.5. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi	86
Tablo 4.6. Pülp pH’ının aglomerasyona etkisi.....	87
Tablo 4.7. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi	88
Tablo 4.8. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi.....	89

Tablo 4.9. Orijinal motor yağının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: % 10, Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak, pH: 5,68, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).....	91
--	----

1. GİRİŞ

Dünya enerji kaynakları, fosil kaynaklar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Konvansiyonel kaynaklar olarak adlandırdığımız fosil kaynakların büyük bir bölümünü kömür oluşturmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Diğer kaynakların rezervleriyle karşılaştırıldığında çok büyük rezerve sahip olması, ekonomikliği, teminindeki güvenilirlik, fiyat istikrarı, kömürün çok önemli enerji kaynağı olduğunun göstergesidir.

Günümüzde hala önemini koruyan kömür, sanayi devriminin gerçekleşmesinde ana faktör olmuştur (Topçu, 2007). Gelişen yeni enerji teknolojileri ve çevre ile ilgili kaygılar, kömürün daha temiz bir yakıt olarak üretimini zorlarken, klasik metotlarla zenginleştirilemeyen düşük kaliteli kömürlerin de daha yüksek verimlerle ve ekonomik olarak kazanımı için araştırmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, kömürün çevreye en az zarar verecek yöntemlerle üretilmesi ve tüketimi esnasında çevreye en az zararlı gaz çıkışı verecek şekilde hazırlanması şart olmuştur. Ayrıca kömür yandığında oluşan külün de çevreye zarar vermeyecek düzeylere indirilmesi gerekmektedir (Güney vd., 1997).

Kömürün üretimi, hazırlanması ve depolanması ve taşınması esnasında kömürün parçalanabilme özelliğinden dolayı açığa çıkan çok miktarda ince kömür tozları değerlendirilememektedir (Tosun, 1997; Şahinoğlu, 2006). Toz kömürün temizlenmesinde klasik metotlarla istenen verim ve kül oranlarına ulaşılmasında yaşanan sıkıntılar birçok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Kemal ve Arslan, 1999).

Günümüzde, 0,5 mm tane boyutunun altı olarak nitelendirilen ve değerlendirilemeyen toz kömürler, stoklanmakta ve ekonomiye kazandırılmayan atıl bir yatırım olarak kalmaktadır (Kılınç, 2000). Toz kömürlerin yakıt olarak kullanılmadan atılacak olmasının yanı sıra, son yıllarda artan çevre duyarlılığının getirdiği zorlamalar, toz kömürlerin atık olarak atılması konusunda engel teşkil etmektedir (Şahinoğlu, 2006).

Flotasyon, flokülasyon ve yağ aglomerasyonu, toz kömürün temizlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Yağ aglomerasyonu bunların içinde, en yüksek verimle temiz kömür eldesi sebebiyle en iyisi kabul edilmektedir (Şahinoğlu ve Uslu, 2008). Yağ aglomerasyonu organik ve mineral parçacıkların yüzey özelliklerindeki farka dayandırılarak yapılan ayırma tekniğidir. Bu teknik su içinde ince kömür taneciklerinin bir yağ ile yüksek hızda etkileştirilmesine dayanır. Böylece hidrofobik kömür taneciklerinin

kül yapıcı maddelerden ayrılması sağlanır (Ünal vd., 2000). Yağ aglomerasyonu yöntemiyle, düşük kül oranlarında yüksek kazanma verimleri elde edilebilmektedir. Ayrıca, elde edilen temiz kömürün nem oranı düşük, ısı değeri yüksek olmaktadır (Kılınç, 2000).

Yağ aglomerasyonu, alternatif yöntemlere göre çok belirgin üstünlüklere sahip olmasına rağmen, yağ maliyeti sorunu sebebiyle ekonomik olarak uygulanmamaktadır. Atık yağlar, yağ aglomerasyonu yönteminde bağlayıcı yağ olarak kullanılır ise, atık olarak israf edilen kömür temizleme tesisi atıklarındaki toz boyutlu kömürlerin ve düşük kalitesi sebebiyle ekonomik değeri olmayan kömürlerin yağ aglomerasyonu yöntemiyle temizlenerek değerlendirilmelerinin yolu açılabilir. Bu durum ülkemiz açısından da önem arz etmektedir. Şöyle ki, Türkiye'nin linyit rezervlerinin kalitesi genelde düşüktür ve lavvar atıkları önemli miktarda toz boyutlu kömürü barındırmaktadır. Bu şekilde kaydedilen toplam kömür miktarının yılda 1 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu atıklar, atık göletlerine boşaltılmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu atıklar, mevcut haliyle hem ekonomik önemi olan bir değer, hem de çevresel açıdan sorun kaynağıdır. Sadece Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna ait Tunçbilek kömür sahasındaki atık havuzlarında 6,5 milyon ton civarında, yaklaşık % 50 kül içerikli toz boyutlu kömür vardır. Ülkemizde yüksek kül/kükürt içeriğine sahip olduğu halde temizlenmeden kullanıldığı için değer kaybına uğrayan ve çevresel kirliliğe yol açan kömürler de en az lavvar atıklarındaki kayıplar kadar önemlidir. Temizlenerek çevre dostu enerji yakıtı haline getirilmeleri ve ekonomik değerlerinin artırılması, ülkemiz açısından gerekli olan bu kömürlerinin bazılarının çok fazla ince boyutlu malzeme içermesi ve oksitli olması gibi sebeplerle klasik yöntemlerle temizlenmeleri zordur.

Ülkemizdeki gerek lavvar atıklarından toz kömür kazanımı gerekse toz boyutlu ve oksitli yapıdaki kömürlerin temizlenmesi konusundaki çalışmalar yetersizdir. Mevcut uygulamaların ise teknik ve ekonomik açıdan başarı oranı düşüktür. Bu sebeplerle ‘‘atık yağların kullanıldığı yağ ile aglomerasyon yöntemiyle ülkemiz kömürlerinin temizlenmesi ve atıklardaki kömürlerin kazanılması’’ üzerinde ısrarla durulması ve çalışılması gereken bir konudur (Uslu ve Şahinoğlu, 2010).

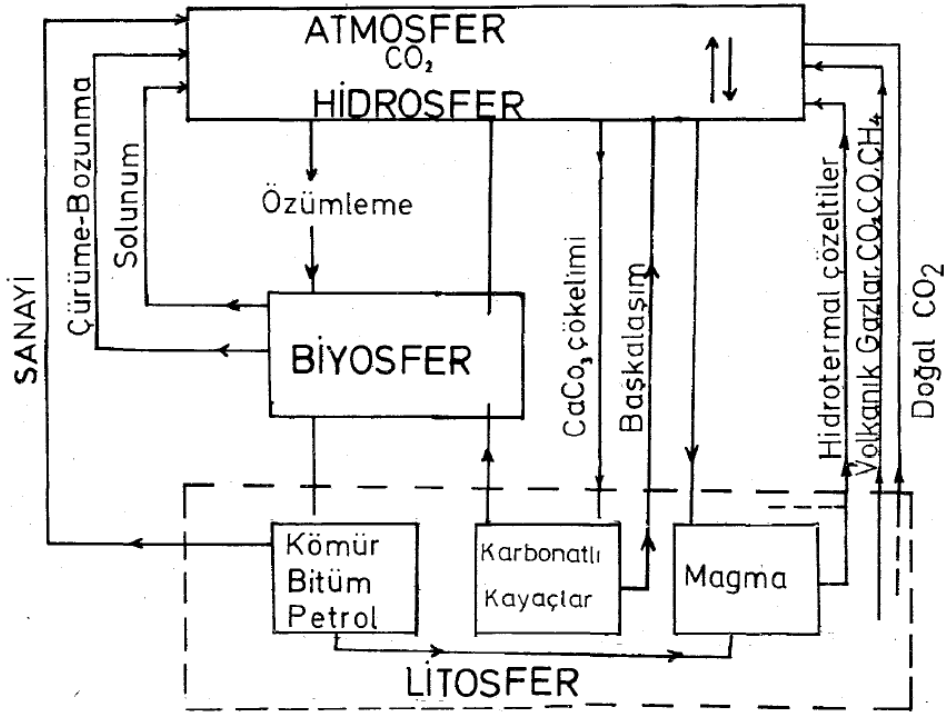
Bu çalışmada, toz boyut fraksiyonu çok fazla olan, piritik kükürt içeriği yüksek ve oksitli yapıya sahip Müzret kömürünün, atık motor yağının kullanıldığı yağ aglomerasyonu ile temizlenme olasılığı araştırılmıştır. Bu kapsamda, kömür oranı, yağ oranı, aglomerasyon süresi, karıştırma hızı, kömür tane boyutu, pülp pH'sı, yıkama suyu miktarı

ve aglomerat kazanım eleği boyutu gibi değişkenlerin aglomerasyon işleminin performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kömür Oluşumu

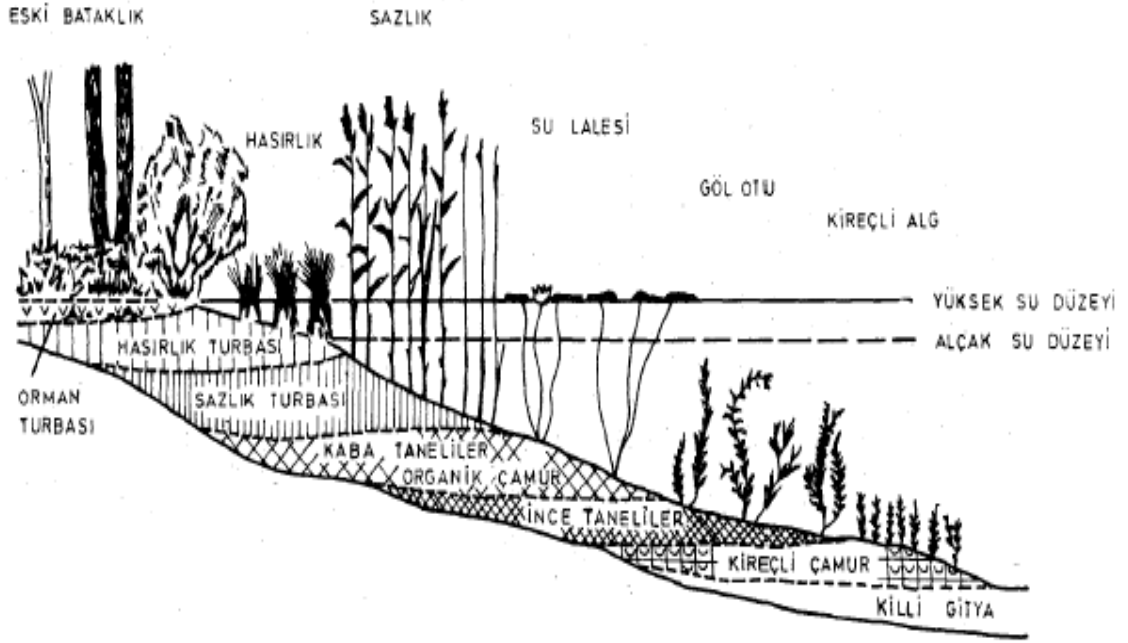
Kömür; uygun ortamlarda, bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitki ve bitki artıklarının zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu oluşur (Kural 1991; Kemal ve Arslan, 1999). Kömürü oluşturan ana eleman karbondur. Bu nedenle, oluşumu karbon çevrimine çok bağlıdır (Şekil 2.1.) (Gülsuna, 2007).



Şekil 2.1. Doğada karbon çevrimi (Kural, 1991).

Kömür, iklimsel ve jeolojik elverişli zamanlarda oluşmuştur (Kemal ve Arslan, 1999). Bitki üremesine elverişli yağmurlu bir iklim ve buna paralel olarak çevrede yavaş yavaş çöken bir bataklık bulunması gerekmektedir. Bu iki koşulun bulunduğu ve hüküm sürdüğü jeolojik devirlerde kömür oluşmuştur (Şekil 2.2.) (Kemal ve Arslan, 1999). Kömür, gerçekte, değişik oranlarda organik ve inorganik yapıcı ve bileşimler içeren tortul

bir kayadır. Doğada, yapı, doku, bileşenler ve köken açısından, birbirleriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluşuğuna rastlamak hemen hemen olanaksızdır (Kural, 1991).



Şekil 2.2. Bataklıklarda gözlenen bitki kesimleri (Kural, 1991).

Bitkiler, selüloz, hemiselüloz, lignin, yumurta akı maddesi, vakslar ve reçineler gibi bir takım temel maddelerden oluşmaktadır (Tablo 2.1). Bunlardan selülozlar ($C_6H_{10}O_5$) ve ligninler ($C_{30}H_{34}O_{11}$) kömür oluşumunda ana rolü oynamaktadır. Vaks ve reçineler, kömürleşme esnasında varlıklarını ve özelliklerini büyük ölçüde korumakta ve probitüminatları oluşturmaktadır. Yumurta akı maddesi ise, kömürleşme esnasında tamamıyla parçalanmakta ve kömür için azot, kükürt, fosfor kaynağı yaratmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Tablo 2.1. Bitki ana maddeleri ve oranları (Kemal ve Arslan, 1999).

Ana Madde	%	Ana Madde	%
Selüloz	40-58	Yağ ve Vakslar	3-14
Hemiselüloz	9-27	Reçineler	1-3
Şekerler	12-18	Yumurta Akı	1-2
Lignin	18-26		

Kömürün, bitki bileşiminin büyük bir kısmını oluşturan lignin ve selülozdan oluştuğu ve kömürün, ligninin kömürleşmesi (lignin teorisi) ve selülozun kömürleşmesi (selüloz teorisi) sonucu meydana geldiğini iddia eden teoriler ileri sürülmüştür (Kemal ve Arslan, 1999).

Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler ile havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO₂' tir. Magma az da olsa CO₂, CO, CH₄ içerir ve hidrotermal-pnömatolitik ve volkanik etkinlik süreçlerinde, gaz, buhar ve çözeltilerle karbon çevrimine katılırlar. Hava ve sudaki CO₂' in önemli bölümünü bitkiler özümlemeler, yaşamları için gerekli olanı yapılarında tutarlar; artığı solunum yoluyla geriye döner; doğal denge korunur. Ancak, sanayi gazlarının bu dengeyi bozucu payını unutmamak gerekir. CO₂' in suda çözünen bölümü, karbonatlı kayalarda ve organik tortularda birikir. Bunların başkalaşması sonucu tekrar çevrime katılırlar.

Kömürleşmede genelde iki evre benimsenir. Biyokimyasal evre, turbalaşma; dinomokimyasal veya başkalaşma evresi ise kömürleşmedir (Kural, 1991). Turbalar, biyokimyasal evrede, linyitler, bitümlü kömürler ve antrasitler jeokimyasal evrede oluşurlar (Şahinoğlu, 2006).

2.1.1. Turbalaşma ve Kömürleşme

Organik bitkisel malzemenin kömüre dönüşümünde ilk evre turbalaşmadır. Bu evrede biyokimyasal reaksiyonlar hakimdir. Yani bozunma bakterilerin etkisiyle olur. Bitkinin hava ile hiç veya az temas etmesi gerekir. Hava ortamında bitkiler çürüyerek CO₂, H₂O, CH₄ v.b.'ne ayrışırlar. Hava temasının çok az veya hiç olmadığı ortamda bitki belirli bir ayrışmaya uğrasa bile geride karbonca zengin "turba" denilen katı bir atık kalmaktadır ve bu da diğer kömür cinslerinin oluşumunu sağlayan ilk basamağı oluşturmaktadır (Kural, 1991). Bu ilk kömürleşme basamağında, kömür petrografik yapısı da ortaya çıkmakta ve bu yapı daha sonraki kömürleşme aşamalarında değişmemektedir. Jeokimyasal kömürleşmede tesirli olan ısı ve basınç, genel olarak, kömür üzerinde bulunan tabakalar tarafından oluşturulmaktadır.

Turbanın, jeokimyasal etkenler sebebiyle linyit, bitümlü kömür ve antrasite dönüşmesine kömürleşme denir. Yer kabuğunda meydana gelen çökelme ve yükselmeler sonucu, turba yatakları alt seviyelere inerek üzerlerinde biriken kil, kum, marn gibi tabakalarının basıncı altında sıkışırlar. Yer kabuğundaki hareketlerden, basınç artmasından,

kimyasal reaksiyonlardan ve yeraltı kaynaklarından kaynaklanan ısılar da kömürleşmede önemli rol oynar. Basıncın ve ısının derecesine göre linyit kömüründen antrasitlere kadar çeşitli özellikte kömürler bu kömürleşme sürecinde oluşur. Düşük sıcaklık ve düşük basınçta linyit, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta antrasit oluşur. Diğer kömür türleri de bu arada yer alır. Kömürleşme de, sıcaklık ve basıncın artmasıyla karbon, hidrojen ve oksijen oranları değişim gösterir (Tablo 2.2). Nem içeriği de giderek düşer. N içeriği bitümlü kömürlere doğru biraz artarken antrasitte azalır. S içeriği ise değişken olup kömürleşme derecesiyle ilgisi yoktur ve kömürleşme esnasındaki değişim minimum düzeydedir (Kural, 1991).

Tablo 2.2. Kömürleşmede karbon, hidrojen, oksijen oranlarının değişimi (Kural, 1991).

	TURBA	LİNYİT	BITÜMLÜ KÖMÜR	ANTRASİT
% C	55	70	80-90	92
% H	10	8-5	6-4	3
% O	35	25	10-5	2

Kömür üzerinde bulunan tabakalar tarafından oluşturulan ısı ve basınçtan dolayı aynı kömür yatağında, derinlere inildikçe kömürleşmenin daha ileri seviyelere gittiğini görmek mümkündür. Zaman unsuru da kömürleşmede rol oynayan diğer bir faktördür. Kömürleşme süreci uzadıkça kömürleşmenin daha ileri gittiğini söylemek mümkündür (Kemal ve Arslan, 1999).

2.1.2. Kömürleşmede Rol Oynayan Etmenler

2.1.2.1. Coğrafik Etmenler

Bataklık oluşumuna uygun coğrafyalar kömürün olduğu yerlerdir. Bataklık oluşumuna uygun yerler şunlardır:

1. Yer altı suyu ve/veya yüzeysel su geliri sınırlı, deniz veya göl kıyılarını çevreleyen engebesiz geniş düzlükler
2. Yer altı su düzeyine yakın eğimi çok düşük kabarık geniş düzlükler
3. Geniş akarsu deltaları

4. Topografik olarak çukurda bulunan yer altı su düzeyinin yüksek olduğu yerler

5. Yağışın buharlaşmadan yüksek olduğu kabarık düzlükler, sıcak, ılık ve nemli coğrafyalar

Coğrafyanın sahip olduğu bitki türleri ve bu bitkilerin kömürleşen türleri kömürleşme ve kömür tipini belirleyen diğer faktördür (Kural 1991).

2.1.2.2. Jeolojik Etmenler

Kalın kömürleşmenin oluşabilmesi için yeraltı su düzeyinin uyumlu ve düzenli yükselmesi ve tabanın uygun hızda çökmesi gerekir. Hızlı bir taban çökmesi sonucu yer altı su düzeyi çok yükselirse bataklık suya boğulur, turbalaşma yerine kireçtaşı, kil v.b. tortuların çökelişi, tersi söz konusu ise turbalaşan malzemenin aşınması beklenir.

Kömür yataklanmaları biçimi turbalaşan bitki topluluklarının türüyle de ilgilidir. Bitki topluluklarının türüne göre 4 tip bataklık vardır:

1. Su bitkileri bataklığı
2. Sazlık bataklıkları
3. Orman bataklıkları
4. Yosun bataklıkları

Bitümlü kömürlerin ve linyitlerin büyük bölümü orman bataklığı kökenlidir (Şekil 2.2.) (Kural, 1991).

2.1.2.3. Biyokimyasal ve Fiziksel Etmenler

Bataklıklar yeraltı suyu veya yağış ya da her ikisiyle beslenirler. Düzenli hidrojeolojik koşullarda yeraltı suyu ile beslenen düzlüklerdeki bataklıklarda, bitki çeşitliliği zengindir. Sadece yağışla beslenen bataklıklarda, bitkilerde çeşitlilik azdır. Bu durum bataklıklar için de geçerlidir. Bu tür bataklık turbalarında pH düşük olduğundan mineral madde içeriği azdır. Karbon/azot oranları yüksektir. Ortamın pH'sı bakteri etkinliğini, dolayısıyla bitki kalıntılarının kimyasal ayrışmasını ve yapısal bozunmasını önemli ölçüde etkiler. Tabanın türü ve oksijen girdisi, bitki topluluklarının türü ve oluşmuş olan humik asit derişikliği, ortamın pH'sını değiştirir (Kural,1991).

2.2. Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması

Kömür daha önce bahsedilen organik içerikler dışında kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddeler de içerir. Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler. Bu durum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır (Gülsuna, 2007).

Kömür üretimi, kullanım ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'nca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır (Tablo 2.3 ve Tablo 2.4). Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır:

a) Sert kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5.700 kcal/kg'ın üzerinde kalorifik değerlerdir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

b) Kahverengi kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5.700 kcal/kg'ın altında kalorifik değerlerdedir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değerlere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Tablo 2.3. Uluslararası genel kömür sınıflaması (DPT, 2001; Gülsuna, 2007).

A. SERT KÖMÜRLER	B. KAHVERENGİ KÖMÜRLER
1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4165-5700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a) Bitümlü Kömür b) Antrasit	2. LİNYİT (4165 kcal/kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Tablo 2.4. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT, 2001).

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

Tablo 2.5. Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri (DPT, 2001)

RANK (Kömürleşme Derecesi)	UÇUCU MADDE İÇERİĞİ (% Ağırlık, Islak-Külsüz)	KARBON İÇERİĞİ (% Ağırlık, Islak-Külsüz)	KALORİFİK DEĞER (Btu/Lb, Mineral Maddesiz)	NEM İÇERİĞİ (% Ağırlık)
1. LİNYİT	69-44	76-62	8300-6300	52-30
2. ALT BİTÜMLÜ	52-40	80-71	11500-8300	30-12
3. BİTÜMLÜ				
a) Yüksek Uçuculu-B	50-29	86-76	13000-10500	15-2
b) Yüksek Uçuculu-C				
c) Yüksek Uçuculu-A	49-31	88-78	14000	5-1
d) Orta Uçuculu	31-22	91-86	14000	5-1
e) Düşük Uçuculu	22-14	91-86	14000	5-1
4. ANTRASİT	14-2	99-91	14000	5-1

Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama işlemi ise, kömür rank sınıflamasıdır. Bu sınıflandırmada karbon içeriği temel değişkendir. Tablo 2.5’de çeşitli ranklarda kömür özellikleri verilmiştir. Yüksek ranklı kömürlerde uçucu madde içeriği, düşük ranklı kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırılma yapılmıştır (DPT, 2001).

2.3. Kömür Türleri

2.3.1. Turba

Turba oluşumu bir dizi olayın birlikte yürümesi ile gerçekleşir. Bataklıklarda bulunan ağaçlar ve diğer bitkiler devrildikten sonra atmosferdeki oksijenin etkisinde kalırlarsa hızla çürüyüp bozunurlar. Ancak bu olay sulu ortamda gerçekleşirse turbalaşma hızlanır. Su yüzeyinden yaklaşık 0,5 m derinliğe kadar olan bölgede aerobik bakteriler ve mantarlar önemli rol oynarlar. Yavaş yavaş gömülme, daha genç turba tabakalarının oluşması veya turba yüzeyinin inorganik maddeler ile örtülmesi indirgeyici koşulları yaratır. Turba derinliğinin artması ile organizmaların yerini anaerobik bakteriler alır. Bakteriler ve mantarlar turba oluşumunu başlangıcında, bitkilerin şeker, nişasta, selüloz ve protein gibi bileşenlerini kolaylıkla bozundurlar. Sonuçta, gaz (karbondioksit, metan), sıvı (amonyak, su) ve katı ürünler oluşur. Katı ürünler turba oluşumu için birikirken gaz ve sıvı ürünler ortamdaki uzaklaşırlar. Bu nedenle, turba daha dayanıklı olan ligninler ve bitümlü maddelerce zenginleşir (Kural, 1991). Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbalarda odunumsu yapıyı görmek mümkündür (Kemal ve Arslan, 1999). Kimyasal bileşimleri, turbayı oluşturan malzemenin ayrışma derecesine bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, % 56-57 C, % 5-6 H, % 34-36 O ve % 0,5-2 N değerler ortalama olarak verilebilir (Kural, 1991). Turbaların taşıdıkları özellikler, başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak değişiklikler gösterir (Ateşok, 1986). Turbaların bazı önemli özelliklerini şöyle sıralamak mümkündür:

- Sulandırılmış alkali ile muamele edildiğinde, lif ve dal parçaları kalır.
- Elle sıkıldığında su kaybeder.
- % 75’in üzerinde orjinal nem içerir.

- Turbalarda çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitkisel artıklar görülebilir.

Yukarıda sayılan özellikler turbalarla linyitleri birbirinden ayıran özelliklerdir (Kemal ve Arslan, 1999). Turba ile linyit arasındaki sınır kesin değilse de ikisini ayırt edebilmek için bazı ölçütler kullanılabilir. Bu ölçütler Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Linyitle turbayı ayıran ölçütler (Gülsuna, 2007).

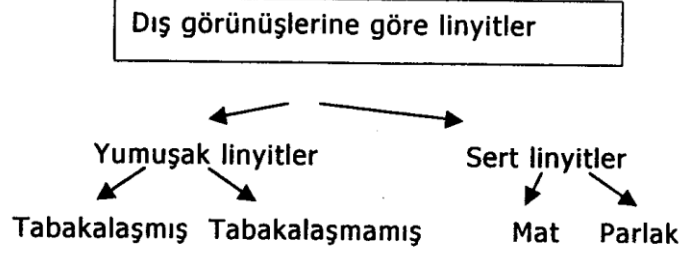
	Turba	Linyit
Rutubet %	>75	<75
Karbon %	<60	>60
Serbest selüloz	Var	Yok
Kesilebilirlik	Evet	Hayır

2.3.2. Linyit

Linyit kömürleri, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranlarda orjinal nem içerirler (Şahinoğlu, 2006; Gülsuna, 2007). Az nem içeren linyit türleri, biyokimyasal kömürleşme yanında, etkin bir jeokimyasal kömürleşmeye de uğramışlardır. Orjinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir. Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılır. Yumuşak linyitler, % 35-75 arasında orjinal neme sahip linyitlerdir. Bunlarda, kendi aralarında tabakalanmış ve tabakalaşmamış (topraksı) olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 2.3.).

Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Değişik türlerin parça sağlamlılığı 2,4 ile 9,4 kg/cm² arasında ölçülmüştür. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları takdirde, zamanla tamamıyla toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde, ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Bazı tür yumuşak linyitler, bağlayıcısız olarak yeterli sağlamlıkta briket vermektedir. Bu tür yumuşak linyitlerden elde edilen briketler, ev yakıtı olarak kullanılmaktadır. Briketlenmeye elverişli olmayan

yumuşak linyitler ise, elektrik üretiminde ve sanayi yakıtı olarak kullanılmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999) .



Şekil 2.3. Dış görünümlerine göre linyitler ayrımı (Kemal ve Arslan, 1999)

Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Verilen isimden de anlaşıldığı gibi, bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir (75 kg/cm^2 'ye kadar). Orjinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolanma esnasında fazla tozlanmaz. Orjinal nem oranı arttıkça hem parça sağlamlılığı azalır, hem de tozlanma özelliği artar (Şahinoğlu, 2006; Gülsuna, 2007).

Linyitleri taşkömürlerinden ayıran özellikleri de şöyle sıralamak mümkündür:

- Linyitin porselendeki çizgisi genellikle kahve renkli, taşkömürününki siyahtır.
- Seyreltilmiş alkalide kaynatıldığında linyit, humik asit çıkışı dolayısıyla koyu renk verir, taşkömürü renk vermez.
- Kaynayan benzolde ekstraksiyona tabi tutulduğunda, linyit koyu sarı ekstrakt verir ve ekstrakt fluoresans vermez, taşkömürü, fluoresans veren ekstrakt verir (aromatik çözeltiler dolayısıyla).
- Higroskopik nem, linyitlerde % 7 nin üzerinde, taşkömürlerinde % 7'nin altındadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup ısı değerleri $1.000 - 5.000 \text{ kcal/kg}$ arasında değişmektedir. Toplam linyit rezervimizin yaklaşık % 6,9'u 3.000 kcal/kg 'ın üzerinde, % 13,2'si $2.500-3.000 \text{ kcal/kg}$ arasında, % 79,9'u ise 2.500 kcal/kg 'ın altında ısı değerine sahiptir (DPT, 2001). Türkiye'de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri (DPT, 2001).

BÖLGELER	REZERV (10 ⁹ ton)	NEM (%)	KÜKÜRT (%)	KÜL (%)	ALT ISIL DEĞER (%)
KUZEY-BATI ANADOLU BÖLGESİ (Kütahya-Balıkesir-Bursa-Manisa- Çanakkale)	1,80	20,0	1,7	20	3500
GÜNEY-ORTA ANADOLU BÖLGESİ (Adana-K.Maraş)	3,50	50,0	2,0	20	1200
İÇ ANADOLU BÖLGESİ (Ankara-Konya-Çankırı-Çorum-Yozgat- Sivas)	1,45	30,0	3,2	25	3000
GÜNEY BATI ANADOLU BÖLGESİ (Aydın-Muğla-Denizli-Isparta-Burdur- Adana)	0,90	30,0	2,0	20	2500
TRAKYA BÖLGESİ (Tekirdağ-Edirne-Kırklareli-İstanbul)	0,40	30,0	3,0	20	2500
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ (Bingöl-Erzincan-Erzurum-Van)	0,20	20,0	1,2	20	3000
TOPLAM	8,25	36,5	2,1	21	2240

Türkiye’de linyit yatakları Alp Orojenezi’nin etkisiyle oluşmuş dağ silsilelerinin arasında sıkışan çöküntü havzalarında gelişmiştir. Linyitlerimizin çökelim yaşları genellikle Miosen ve Pliosen’dir. Ancak Eosen ve Oligosen’de de çökelmiş linyit yatakları bulunmaktadır (DPT, 2001).

2.3.3. Taşkömürü

Taşkömürleri, kömürleşme derecelerine göre değişik özelliklere sahiptir. Az kömürleşmeye uğramış, genç taşkömürüyle (uçucu madde oranı % 36’nın üzerinde) ileri kömürleşmeye uğramış taşkömürleri (uçucu madde oranı % 18’in altında) koklaşma özelliğine sahip değildir. Genel olarak uçucu madde oranı % 18-36 (saf kömürde) arasında olan taşkömürleri belirli oranda koklaşma özelliğine sahiptir. Bu aradaki kömürler yeterli koklaşma özelliğine sahip olduklarında, kok üretiminde kullanılmaktadır (Kemal ve Aslan,

1999). Bu kömürlerin orjinal nem oranları oldukça azdır (% 1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine göre daha yüksek ısı değerine sahip olan taşkömürleri, birçok kullanım alanına sahiptir (Kemal, 1991).

Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak havzasında bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda 1,1 milyar ton rezerv saptanmıştır. Kömürün ortalama kimyasal özellikleri % 55 sabit karbon, % 11 kül, % 8 nem, ısı değeri ise, 6.000 kcal/kg düzeyindedir (DPT, 2001).

2.3.4. Antrasit

Antrasitin ısı değeri taşkömürü kadar fazla değildir. Çünkü yüksek sıcaklıklara hızla çıkamaz. Buna karşın, toz ve is oluşturmadığı ve uzun süre yandığı için ev yakıtı olarak çok aranır (Özpeker, 1991). Antrasit kömür çeşitleri arasında en sert olanıdır. Özgül ağırlığı da 1,27 ile 1,7 gr/cm³ arasında değişir. Çıkarıldığı ocağa göre özellikleri önemli farklılıklar gösterir. Ortalama analiz sonuçları şu şekilde özetlenebilir (Tablo 2.8) (Kural, 1991).

Tablo 2.8. Antrasitin ortalama analiz sonuçları (Kural, 1991).

Rutubet (%)	3,5 - 6,5
Uçucu Madde (%)	1,72 - 10,75
Sabit Karbon (%)	73,71 - 90,90
Kül (%)	3,21 - 30,09
Kükürt (%)	0,17 - 2,5
Hidrojen (%)	1,89 - 5,61
Karbon (%)	78,41 - 83,89
Azot (%)	3,80 - 11,54
Isıl Değeri (kcal/kg)	2326 - 3351

2.3.5. Grafit

Hekzagonal yapıda saf karbon olan grafit doğada yüksek sıcaklıklarda indirgenme sonucu oluşur. Yağlı, kağıt ile parmakları boyar ve demir siyahı, çelik grisi bir rengi olup sertliği 1'dir. Grafit, yaygın bir mineraldir. Bazen büyük miktarlarda bulunabilir. Bazı magmatik ve metamorfik kayalarda pullar veya kümeler halinde görülür. % 10 – 20 kadar SiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, CaO... ve bazen su, bitüm ve gaz içerir.

Özellikleri nedeni ile grafitin kullanım alanları çok geniştir. Yumuşaklığı nedeniyle, kurşun kalem yapımı ve hareketli metal aksamalarının yağlanması işlemlerinde, ateşe ve asitlere karşı dayanıklılığı nedeniyle de döküm ve refrakter sanayinde, pota ve laboratuvar malzemeleri yapımında kullanılır. Siyah renkli ateşe dayanıklı boyalar da genellikle grafitten yapılır. İyi elektrik iletkenliği dolayısı ile elektrot, motor fırçaları, pil çubukları ve elektronik aletlerin imalinde kullanılmaktadır. Grafit ayrıca lastik, araba balataları, kibrit ve motor yağlarında katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Türkiye'de grafiti ham olarak tüketen sanayi dalları kurşun kalem ve döküm sanayidir. Boya yapımcıları ve demir çelik fabrikaları ithal grafit ve ürünlerini kullanmaktadırlar. Döküm sanayinde kullanılan grafitte % 60 – 70 oranında sabit karbon istenilmektedir. Kurşun kalem sanayinde ise bu oran % 95 in üzerindedir. Grafit, sentetik olarak da yapılabilmektedir. Petrol kok'u veya antrasit aglomeratları elektrik fırınlarında 4000 °C'de ısıtılarak yapay grafit elde edilir. Kalsine petrol kokunun karbon içeriğinin çok yüksek olması yüzünden döküm fabrikalarında kullanımı çok sık olmakta bu da ucuz olduğu için yerli grafit üretimini etkilemektedir (DPT, 2001).

2.4. Kömürün İstenmeyen İçerikleri

Kömürün içerdiği ve gerek kullanım gerekse kömür yıkamada önem taşıyan safsızlıklar üç grupta toplanmaktadır: Nem, kül, kükürt (DPT, 2001).

2.4.1. Nem

Ocak çıkışı kömür nem oranı, kömürleşme derecesi ilerledikçe düşmektedir (Kemal ve Arslan, 1999). Kömürün içerdiği nem miktarı oldukça önemlidir ve kömürün tüm

mekanik ve fiziksel özellikleri içerdiği nem miktarı ile, özellikle de kömüre ne şekilde bağlı olduğu ile ilgilidir. Nem kömürde iki şekilde bulunmaktadır:

- Bünye Nemi: Adsorpsiyon ve kapiler kuvvetlerle, yani fiziksel olarak ve de molekül suyu şeklinde kimyasal 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 (Kural, 1991).

2.4.2. Kül

Kömürün içinde bulunan inorganik maddeler, yanma esnasında, oksitlenme, kalsinasyon ve kavrulma reaksiyonlarına uğrayarak, geride oksitlerden oluşan bir artık bırakmaktadır. Bu artığa ‘‘kömürün külü’’ denir (Kemal ve Arslan, 1999).

Kömür yandığında kalan külün kaynağı içerdiği mineral maddeleridir. Kömürün mineral maddesi ile külü, ne içerik ne de miktar bakımından aynı değildir (Tablo 2.9). Kömürün kül içerdiğini söylemek yanlıştır. Kömür kül içermez; kömür yandığı zaman, içerdiği mineral maddelerin şu temel değişikliklere uğraması sonucu kül oluşur:

- Hidrat suyu kaybı,
- Karbonatların parçalanması,
- Sülfürlerin parçalanması,
- Alkali metal klorürlerin uçucu hale gelmesi,
- Kömürün yanması sonucu oluşan metal oksitlerin, organik ve piritik kükürdün bir kısmını kükürt trioksit halinde tutması ve
- Eğer sıcaklık yeterince yüksek ise, oksitler, silikatlar ve serbest silikanın tepkimeye girerek yeni bileşikler oluşturması.

Külün kökeni kömürün içerdiği mineral maddeler olduğundan, özellikleri mineral maddenin bileşimine ve oksidasyonun gerçekleştirildiği şartlara bağlıdır (Kural, 1991).

Tablo 2.9. Kömürde bulunan bazı mineral maddeler, yanma sonucu geride bıraktıkları oksitler ve bunların katı oksitlerine göre ağırlık oranları (Kemal ve Arslan, 1999).

MİNERAL MADDELER	YANMA SONUCU OLUŞAN OKSİTLER	
(1)	(2)	(1)/(2)
CaCO ₃	CaO + CO ₂	1,785
MgCO ₃	MgO + CO ₂	2,090
CaSO ₄ .2H ₂ O	CaSO ₄ + 2H ₂ O	1,270
FeS ₂	Fe ₂ O ₃ + SO ₂	1,500
Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O (KAOLİNİT)	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ + 2H ₂ O	1,160
CaMg(CO ₃) ₂	CaO + MgO + 2CO ₂	1,417
Fe ₂ O ₃ .1,5H ₂ O	Fe ₂ O ₃ + 1,5H ₂ O	1,169
SiO ₂	SiO ₂	1,000

Kömürün külü, kömürün istenmeyen içeriğidir. Kül oranının yükselmesi, değişik kömür kullanım alanlarında, aşağıda verilen olumsuzluklara neden olmaktadır:

- Kül oranı yükseldikçe, kömür yanıcı madde oranı azalmakta ve buna bağlı olarak, kömür ısı değeri düşmektedir.
- Kül oranı yükseldikçe, kömürün yanması zorlaşmakta ve belirli bir kül oranından sonra tamamen durmaktadır. Çok küllü kömür, termik santrallerde stabil olarak yakılamamakta ve çok küllü iri kömür parçaları yakıldığında, ortada yanmamış kısımlar kalmaktadır.
- Fazla kül, kömür veya kok kullanan reaktörlerin kapasitelerinin düşmesine neden olmaktadır.
- Fazla kül, yüksek fırında spesifik kok tüketimini arttırmaktadır.
- Kömür uzun mesafelere taşındığında, kül de beraber taşınmakta ve nakliye masrafı artmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

2.4.3. Kükürt

Kömürler değişik oranlarda kükürt içerir. Kükürt oranı, taşkömüründe düşük olmasına rağmen, linyitlerde, yükselme gösterir (Tefek, 1989). Kömürde kükürt, inorganik ve organik olmak üzere iki şekilde bulunur. İnorganik kükürt, kömürde sülfat ve piritik kükürt şekillerinde olabilmektedir (Şahinoğlu, 2006). Bunlara ek olarak elementer

kükürttten bahsetmek gerekir. Elementer kükürt, diğerlerine göre az oranda bulunduğundan önemsiz kabul edilir (Atak vd, 1991). İkincil değişimler sonucu oluştuğu sanılmaktadır (Özbayoğlu, 1982). Piritin oluşumu esnasında, onun çok yakınında, birkaç moleküler mesafede meydana çıkmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını oluşturur. Jips (CaSO_4) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu FeSO_4 olarak da bulunabilir. Bir kömürdeki sülfat kükürt içeriği yüzeysel bozunmayla artmaktadır, örneğin demir sülfürlerin oksitlenmesi Fe(II) ve Fe(III) sülfatların oluşmasına neden olur. Kömürde çok sayıda demir sülfat minerali bulunmaktaysa da bunlardan en önemlisi melanterit ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ve jarosit (Na, K) $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ dir. Demir sülfatlar yalnızca bozunmuş kömürlerde önem taşımaktadırlar (Şahinoğlu, 2006).

Kömürdeki sülfat kükürtü suda eridiğinden, kömürün temizlenmesi açısından herhangi bir sorun yaratmamaktadır (Özbayoğlu, 1982). Kömür yakıldığında, sülfat kükürdünün külde kaldığı kabul edilir (Ateşok, 1986). FeS_2 kömürde pirit ve markazit olarak iki mineral halinde bulunur. Piritin kristal şekli kübik, markazitinki ise ortorombiktir. Kömürde markazit az, pirit ise daha çok bulunduğundan genellikle piritik kükürt ismi kömürün toplam pirit ve markazit içeriğini ifade etmek için kullanılır (Kural, 1991). Kükürt içeren organik maddelerin bozunmasında ortaya çıkan H_2S , kömür formasyonlarındaki sularda bulunan demir karbonatlarla reaksiyona girerek demir sülfürün oluşumuna neden olur. Reaksiyon sonucu çöken demir sülfür sonuçta piritte dönüşür. Piritler aynı zamanda, sulardaki demir sülfatların, organik maddelerin faaliyetiyle indirgenmesinden meydana gelirler. Kükürt ve demir bakterilerinin de özellikle ince piritlerin oluşumundaki katkıları büyüktür. Makroskopik piritler kömürde dört şekilde bulunurlar; damarlar, mercekler, yumrular ve küreler ve piritleşmiş bitki dokusu. Mikroskopik pirit bitkisel maddeyle yer değiştirmiş ve hücre dolgusu şeklinde, kömür içine dağılmış kürecikler, damarcıklar ve toz halindeki kristaller olarak görülürler (Özbayoğlu, 1982). Kömür yakıldığında piritik kükürt, kükürt oksitlere ve demir oksitlere dönüşmektedir (Tablo 2.9) (Ateşok, 1986).

Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Kömürü oluşturan bitkinin artıklarında bulunan proteinler, organik kükürt bileşiklerinin meydana gelmesine neden olurlar. Kömürlerde bulunan başlıca organik kükürt bileşikleri şunlardır;

1. Merkaptan veya Tiol, RSH

2. Sülfür veya Tio-Eter, RSR
3. Di-Sülfür, RSSR
4. Tiofen halkası içeren aromatik bileşikler

Organik kükürt, kömürün molekül yapısına bağlı olarak bulunduğundan, molekülleri bir arada tutan kimyasal bağlar kırılmadıkça, kömürden uzaklaştırmak mümkün değildir (Özbayoğlu, 1982). Kömürün yakılması sırasında, organik kükürdün büyük bir kısmı, kükürtdioksit (SO₂)'e dönüşmektedir (Ateşok, 1986).

2.5. Kömürün Petrografisi

Kömürün petrografik içeriği, koklaştırma, sıvılaştırma ve gazlaştırma alanlarında büyük önem kazanır (Gülsuna, 2007).

2.5.1. Organik Bileşenler

Kömür organik ve inorganik bileşenlerden oluşur. Kömürün makropetrografik organik bileşenlerine “Litolip”, mikropetrografik organik bileşenlerine ise “Maseral” denir. Maserallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri çok değişkendir (Özpeker, 1991). Maseralleri çıplak gözle görmek imkansızdır, ancak mikroskop yardımıyla ayrıntılı olarak incelenebilirler (Şahinoğlu, 2006).

2.5.1.1. Kömürlerin Makropetrografik Yapıcıları (Litotipler)

Kömürler, makroskobik olarak, yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Bu karakteristik bantlar onların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi gösterir.

2.5.1.1.1. Vitrain (Vitren)

Damarda, birkaç milimetreden başlayan bir kalınlığa sahip olarak bantlar veya mercerler halinde bulunurlar. Parlak ve cilalı bir görünüşte olup, homojen yapıdadırlar (Kural, 1991).

2.5.1.1.2. Klarain (Klaren)

Oldukça parlak ve ince şerit halindedirler. Vitren gibi üniform bir parlaklığa ve homojenliğe sahip değildir. Ayrıca, konkoidal kırılma da söz konusu olmamaktadır (Kural, 1991).

2.5.1.1.3. Durain (Duren)

Mat siyah veya kahverengimsi siyah renkte, masif bir kömür tipidir. Çok serttir, kırıldığında düzgün yüzeyler içermeyen taneler halinde ayrılır. Vitren ve klarenden daha ender olarak bulunurlar (Şahinoğlu, 2006).

2.5.1.1.4. Fusain (Fusen)

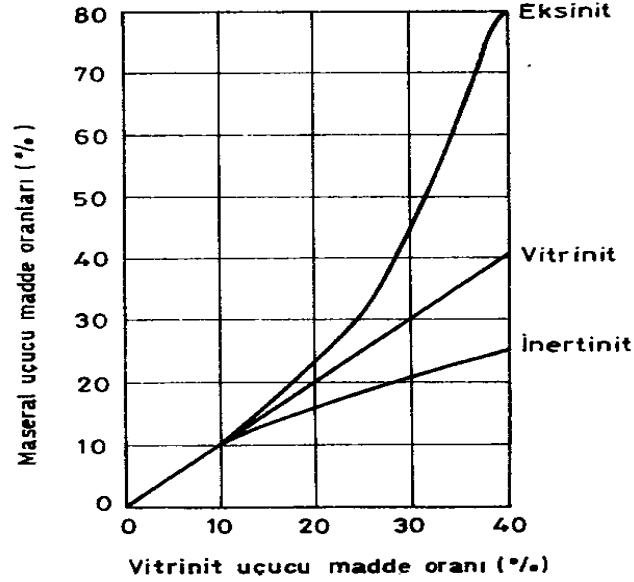
Tel tel, gevrek ve mat kömüre bu ad verilir. Rengi genellikle gri siyah olup, hemen toz haline gelebilmekte ve eli boyamaktadırlar (Kural, 1991).

2.5.1.2. Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcılar (Maseraller)

Maseraller biçim ve yapıları ile kömürleşme süresinde korunmuş olan kömürleşmiş bitki kalıntılarıdır. Organik yapıcılar kendilerini oluşturan bitki kalıntılarının fiziksel ve kimyasal yapılarına göre vitrinit, eksinit (liptinit) ve inertinit olmak üzere üç ana maseral kümesinde toplanmaktadırlar. Üç maseral kümesi, farklı biçimde olduklarından ışığı yansıtma özellikleri ile ayrılmakta olup, biçimlerine göre bölümlenmiş basit maseralleri içerirler. (Kural, 1991). Kömürün petrografik yapısı, ilk kömürleşme aşamasında, yani biyokimyasal kömürleşme aşamasında oluşmakta ve daha sonraki kömürleşme aşamalarında, aynı petrografik yapı sabit kalmaktadır. Elbette, artan kömürleşme derecesi ile petrografik yapıyı oluşturan maserallerin ve dolayısıyla maseral gruplarının karbon oranları ile ısı değerleri (saf kömürde) artmakta ve uçucu madde, nem, oksijen ve hidrojen oranları azalmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Yapılan araştırmalar, aynı kömür damarına ait maseral gruplarının, farklı uçucu madde içeriğine sahip olduklarını göstermiştir. Örneğin gazlı taşkömürü damarından alınan

bir numunede, eksinitin uçucu madde oranı % 78, vitrinitinki % 39 ve inertinitinki ise % 25 olarak tespit edilmiştir. Kömürleşme derecesi ilerledikçe, üç maseral grubunun uçucu madde oranları birbirlerine yaklaşmakta ve antrasitlerde eşit hale gelmektedir (Şekil 2.4.) (Kemal ve Arslan, 1999).



Şekil 2.4. Kömürleşme derecesine göre maseral gruplarının uçucu madde oranları (Kemal ve Arslan, 1999).

2.5.1.2.1. Vitrinit (Linyitlerde Hüminit) Grubu Maseraller

Koklaşma özelliği ve metalurjik kok üretimi açılarından çok önemli bir maseral grubudur. Uçucu madde oranı % 19 – 33 (saf kömür bazında) arasında olan vitrinit, 350 – 500 °C'lar arasında plastikleşerek kömüre koklaşma özelliği kazandırmaktadır. Bu değerlerden daha yüksek ve daha az uçucu madde içeren vitrinitler ise plastikleşme, yani koklaşma özelliğini kaybetmektedir. Kömür maseral bileşiminin yarısından fazlasını, bu gruba ait maseraller oluşturduğundan, fiziksel ve kimyasal kömür özelliği, büyük oranda bu maseral grubu tarafından tayin edilir (Kemal ve Arslan, 1999).

Vitrinitler % 77-96 karbon, % 1-6 hidrojen, % 1-16 oksijen içerir. Uçucu madde oranları % 2-45'tir. Yoğunlukları 1,3-1,8 gr/cm³'dür. Grup içinde kollinit, telinit, vitrodetrinit ve pseudovitrinit maseralleri bulunmaktadır. Kollinit, vitrinitin biçimsiz bir bileşeni olup, bazen telinit gözenek boşluklarını doldurmaktadır. Masif yuvarlak ve oval

şekilde yalnız veya hücre dolgusu şeklindeki kollinitlere korpokollinit denir. Jel halinde mikrospor boşluklarında da bulunabilir (Jelokollinit). Genellikle hücre dokusu şeklinde yapısı olan telinit boşlukları, kollinit, resinit, mikrinit veya kil ile doludur. Detritik vitrinitlere vitrodetrinit adı verilmektedir. Pseudovitrinit kollinit'ten daha yüksek yansıtma gösteren, köşeli kırılğan, çatlaklı ve koklaşmada tamamen asal davranan bir maseraldir (Şahinoğlu, 2006).

2.5.1.2.2. Eksinit (Linyitlerde Liptinit) Grubu Maseraller

Protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozulması sonucu oluşan, yansıtma derecesi en düşük olan gruptur. Hidrojen içerikleri vitrinitten daha yüksektir. Isı artışı ile kimyasal yapılarındaki parçalanmalar çok hızlı olmakta ve özellikle bitümlü kömürlerde ani bir değişiklik göstermektedir. Kömürleşme derecelerinde uçucu madde oranı % 28'e (vitrinit'te) kadar düzenli bir artış görülürken, bu değerde ani bir yükselme olmaktadır.

Yansıyan ışıpta, kömürleşme derecesi artışına göre sarı-kahverengi-siyah renkler göstermektedirler. Hidrojence zengin ve diğer maseral gruplarına göre daha yüksek uçucu madde içerirler. Kömürlerde, genellikle % 5 – 10 arasında bulunurlar. Isıtıldıklarında (350 – 500 °C'ler arası) vitrinitlere göre daha akışkan bir kütle oluştururlar. Yüksek uçucu madde içerikleri dolayısıyla, kok verimleri vitrinitlerden azdır. Eksinit grubuna giren maseraller de, koklaştırmada aktif rol oynarlar. Ancak kömür maseral bileşiminin az bir kısmını oluşturmaları ve kok verimlerinin düşük olması dolayısıyla, kok üretmek için kömür seçiminde, vitrinitin gölgesinde kalmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Kütinit, resinit, eksudatinit, sporinit, alginit, suberinit ve liptodetrinit maseralleri bu gruba dahildir. Kütinit; dik olarak yerleşmiş yaprak kütikülleri tarafından meydana getirilir, koyu gri veya siyah renkte, ince ve kalın duvarlı olabilen maseraldir.

Resinit; bitki metabolizması ürünü olan, küçük yuvarlak yapılar şeklinde, genellikle hücre dolgularında görülen parlak yüzeylerde kütinit ve sporinit'ten daha koyu ve en fazla hidrojen içeren maseraldir. Yansıyan ışıpta siyah veya gri, ince kesit yoluyla yapılan incelemelerde (özellikle uçucu maddesi % 20'nin üzerinde olan kömürlerde) portakal sarısı renktedir. Yuvarlak, oval ve çubuklar halinde olabildiği gibi, oldukça uzun tabakçıklar halinde de oluşurlar.

Eksudatinit; bir liptinit maserali olup, damar şeklinde dolgular halinde liptinit ve hüminitlerin lipid bileşenlerinde gelişen, tüm maseraller içinde organik olgunlaşmanın maksimum olduğu masereldir.

Sporinit; genellikle tabakalanmaya paralel olarak yassılaştırmış spor ve polenlerden meydana gelmiştir. Klaren (klarain) litotipinin ana maserali olup, koyu renktedir. Antrasitte hiç görülmez. Uçucu maddesi fazla olan kömürlerde ise kırmızı renk alır.

Alginit; bazı kömürlerde bulunan, alg kökenli hücre grupları şeklindeki masereldir.

Suberinit; kütinite benzeyen, hücre dokusu şeklinde masereldir.

Liptodetrinit; spor, kütin, reçine ve alg kırıntıları içeren, sulu ortamlarda oluşan kömürlerde karakteristik masereldir (Özpeker, 1991).

2.5.1.2.3. İneritinit Grubu Maseraller

Bu gruptaki maseraller, ısıtıldıklarında herhangi bir yumuşama ve plastikleşme göstermezler. Yansıyan ışıkta beyaz renkte olup üç maseral grubu arasında en yüksek yansıtmaya sahip olanıdır. Büyük bir kısmı belirgin hücre yapısı gösterir. Vitrinit gibi bitki hücre duvarlarının linyin ve selülozlarından, mantarlardan türerler, fakat oluşum süreçleri değişiktir. Çökelmeden önce oksitlenme ve parçalanma olmaktadır. Daha önce kömürleştiklerinden, esas kömürleşme sürecinde oksijen ve hidrojen kaybederek karbonca zenginleşirler ve yansıtma dereceleri yükselir; Mikrinit, makrinit, semifüzinit, füzinit, sklerotinit ve inertodetrinit maseralleri ineritinit grubunu oluşturmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Sadece termik parçalanmaya uğrayarak gaz ve sıvı ürünler verirler. Geride kalan kok ise, toz halindedir. Bir kömürün sağlam parçalar halinde kok verebilmesi için ineritinit grubu maserallerinde, vitrinit ve eksinit grubu maseraller tarafında bağlanmaları, yani birbirlerine yapıştırmaları gerekmektedir.

Makrinit; 10 μm 'den büyük, masif şekilsiz olup, hücresel yapı göstermeyen jel tipindedir. Mikrinit; hücresel yapıya sahip olmayan, yuvarlak ve çok küçük taneler (yaklaşık 1 μm) halinde olması ile karakteristik olup, vitrinitin hücre dolgusu şeklinde oluşabilmektedir.

Semifüzinit; vitrinit ve füzinit arasında geçiş oluşturur, rengi açık griden beyaza kadar değişir, hücre yapısı biraz korunmuştur, yansıtması diğer maserallere göre düşüktür (Şahinoğlu, 2006).

Füzinit; en fazla karbon içeren, odun kömürlerinden oluşan, özellikle taşkömürlerinde bulunan, iyi korunmuş hücre yapıları (elek ve kırıklı yapı) ve sarımsı rengi ile karakteristik olan, yansıtması en yüksek masereldir.

Sklerotinit; mantar kalıntılarında oluşan, yaşına göre yassı, hücresel veya hücresel olmayan, değişik şekilli yapıda, beyaz renkli, yansıtması yüksek masereldir.

İnertodetrinit; yansıtması oldukça yüksek, küçük taneli (30 µm'dan küçük), genelde füzinit, semifüzinit ve kırıklarından oluşan vitrinit'ten yüksek yansıtma sahip masereldir (Kural, 1991).

2.5.2. Mineraller ve İz Öğeler

Kömürün inorganik bileşenleri mineraller ve iz öğeleridir. Kömürün mineral bileşenleri ve iz öğelerin üç kaynağı vardır.

- İlksel öğeler ve mineraller
- Birincil mineraller
- İkincil mineraller

İlksel öğeler ve mineraller, kömürleşecek bitkilerin yapısında bileşen olarak bulunan minerallerdir. Bitkilerin kök, gövde, sap, yaprak, spor gibi organlarında çeşitli öğeler birikmektedir. Bu öğeler turbalaşma ve kömürleşme evrelerinde, biyokimyasal ve kimyasal tepkimelerin etkisiyle bileşiklere çevrilir ve zenginleşir. Turbalaşma evresinde bitki kalıntıları bataklıklarda birikirken, yağmurlu evrelerde sular ve rüzgarlarla taşınan mineral ve öğeler kömür içinde birincil mineral birliklerini oluştururlar. Bunlar kömürleşme sürecinde değişen koşullarda duraylı olabilen minerallerdir.

İlksel ve birincil evre mineral ve öğelerinden değişen koşullarda duraylı kalamayanlarla, yüzeysel veya hidrotermal kökenli akışkanlara bağlı gelen öğeler, kömür katmanlarının kırık, çatlak ve gözenekleri içinde yeni mineral bileşenleri oluşturabilirler. Bunlar ikincil mineralleşmelerdir. İkincil kökenliler, genellikle çatlak ve kırıkları doldururlar. Birincil kökenlilerden kolaylıkla ayırt edilebilirler (Kural, 1991; Şahinoğlu, 2006).

2.5.2.1. Mineraller

Mineral madde, kömürdeki inorganik maddelerin ve elementlerin toplamı olarak değerlendirilmektedir. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır. Bu beş elementten karbon, hidrojen, oksijen ve kükürt 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. Organik yapıyla bağ yapmış inorganik maddeler de mineral madde olarak nitelendirilmektedir. Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemlileri, killer, karbonatlar ve demir mineralleridir (Tablo 2.10). Diğerlerinin büyük çoğunluğu % 1'in altında gözlenir (Kural, 1991).

Tablo 2.10. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri (Kural, 1991).

Mineral Kümesi	Eş Oluşumlu Birincil		Ard Oluşumlu İkincil	
	Taşınma	Eş Oluşum	Çatlaklarda	Dönüşüm
Killer	İllit, serizit Kaolen, Kıltaşı Montmorillonit			İllit, Klorit
Karbonatlar		Siderit, Ankerit Topları, dolomit, Kalsit	Ankerit, Kalsit, Dolomit	Siderit-Pirit Dönüşümü
Sülfürler		Pirit topları, Melnikovit, Pirit- k.pirit, Sfalerit topları	Pirit, Markasit, Sfalerit, Kalkopirit	
Diğerleri	Kuvars taneleri Apatit, rutil Turmalin, ortoz Biyotit	Kalsedon, Kuvars, hematit, fosforit, apatit	Götit, Lepidokrosit, Kuvars, klorür, sülfat, nitrat	

2.5.2.2. Kil Mineralleri

En sık gözlenen mineral grubudur. Genelde minerallerin % 60-80'nini oluşturur. Kömürle ara katmanlıdır. Katmanların kalınlığı 1-2 mm'den birkaç cm'ye, bazen de 10 cm'ye varabilir. Uygulamada killi kömürler, hacimsel kil - kömür oranlarına göre sınıflandırılır. % 20'ye kadar kil içeren mikrolitotiplere killi kömürler, % 20-60 oranında kil içerenlere karbarjilit denir. Birincilerin yoğunluğu 1,5 gr/cm³'ten, ikincilerin 2 gr/cm³'ten, küçüktür. Yoğunluğu 2 gr/cm³'ten büyük olanlara kömürlü kil denir. Killer, karbarjilitler ve kömürlü killer suyun etkisiyle şişebilirler. Kömürle katışık bulunan killer üç türe ayrılabilir.

- Karmaşık yaygılı kömürlü kiltası (illit-montmorillonit),
- Kaolen kömürlü kiltası,
- İllit kömürlü kiltası (leverrierit)

Killerin kökenleriyle ilişkin çeşitli görüşler vardır. Son zamanlarda en çok kabul edileni killerin, volkanik küllerden türediğini savunan görüştür. Killerin sellenme veya deniz ilerlemesi süreçlerinde gelen taşınmış malzemeler veya bataklık taban toprağı olabileceğine ilişkin teoriler de ileri sürülmektedir. Killerin içinde bulunan zirkon, sanidin ve plajyoklas kristallerine dayanarak yaş saptanabilmektedir. Böylece kömür katmanlarının karşılaştırılması ve stratigrafik konumlarının belirlenmesi mümkündür (Gülsuna, 2007).

2.5.2.3. Karbonatlar

Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği önemli bileşenlerdendir (Gülsuna, 2007). Birincil ve ikincil kökenli olabilirler. Birincil kökenli olanlardan en yaygını siderittir. Siderit ışımsal yapıdadır. Dolomit çoğunlukla deniz ilerleme süreçlerinde gelişir. Kömür topları veya biçimli kristaller halindedir. Kalsit ve ankerit daha çok ikincil kömürleşme evresinde kırık ve çatlaklarda gelişir. Yoğunlukları 1,5-2 gr/cm³ arasında değişir (Kural, 1991).

2.5.2.4. Silikatlar ve Diğer Mineraller

Büyük miktarda kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin % 15 - 20'sini oluşturmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Silikatlar içinde killerden sonra en önemlisi kuvarstır. Kuvars genelde taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller; bataklık suyunda çözünmüş silisin uygun koşullarda çökelişi ile oluşmuşsa, mini kristalli veya kalsedon biçiminde gözlenir. Bitkisel kökenli de olabilir. Kuvars zengin ara katmanlı kömürlerde kuvars katmanları, kömür katmanlarının karşılaştırılmasında yerel ölçüt olabilir. Silikoz hastalığını önlemede kuvarsın saptanması önemlidir. Diğer silikat ve mineraller önemsiz oranlarda bulunurlar (Kural, 1991).

2.5.2.5. Tuzlar

Birçok kömürde klorür, sülfat ve nitrat tuzlarının izlerine rastlanır; bunlardan en sık gözlenen jipstir. Genelde ikincil kökenlidirler, çatlak ve kırık dolgusu görünümündedirler (Kural, 1991).

2.5.2.6. İz Öğeler

Kayaç ve kömürlerin eser miktarda içerdikleri öğelere, iz öğeler denir. İz öğeler de minerallere benzer kökenlidir. Bitkilerin kendilerinden türeyebilecekleri gibi, kömürleşme sürecindeki besleyici malzemeden de kaynaklanabilir veya çatlak, kırık ve gözeneklerde dolaşan yüzey veya derin kökenli akışkanlara bağlı gelişebilirler (Gülsuna, 2007). İz öğeler üzerinde yapılan çalışmalar oldukça sınırlı olduğundan bunların birikimini genelde hangi etmenlerin denetlediği konusu yeterince açık değildir. pH, Eh, beslenmenin sürekliliği, kömürleşen bitkilerin türü, turbalaşma ve kömürleşme süreçlerindeki biyokimyasal olaylar, basınç, sıcaklık, soğurma özellikleri, gözeneklilik ve geçirgenlik değişimi gibi ortama ilişkin etmenler, çeşitli ölçülerde etkin olabilir. Kömür yapıcılarında vitren, diğerlerine göre daha çok iz öğe içerir. İz öğeler organik yapıcılara veya minerallere bağlıdır. Sn, Pb, Mn, Zr, Y, Sc, La ve lantanitler daha çok inorganik, Ga, In, Sr, B organik kökenli; diğerleri ise her iki kökenden de gelebilmektedir. İz öğelerin kömür içindeki dağılımlarının ve oranlarının bilinmesi, ekonomik değerlendirilebilme ve kömür teknolojisi açısından

önemlidir. U, Ga, Ge gibi bazı iz öğeler, kömürlerde veya kömür küllerinde ekonomik birikimlere ulaşabilirler veya yan ürün olarak değerlendirilebilirler. Bir bölüm iz öğenin varlığı kömür teknolojisinde sorunlar çıkarabilir ve ek yatırım yapmayı gerektirir. Örneğin, fosfor içeriği metalürjik kok üretiminde önemlidir. İz öğeler kömür katmanlarının tespitinde de kullanılabilir (Kural, 1991).

2.6. Kömür Temizleme Yöntemleri

Kömür piyasaya verilmeden önce, üretim sırasında karışan yabancı maddelerle, kömür damarından gelen mineral maddelerden serbest halde bulunanların ve yüksek oranda mineral madde içeren kömür tanelerinin atılması gerekmektedir. Diğer taraftan kullanım amacına göre kömürün belirli tane boyutunda olması istenir, yani kömürün belirli tane iriliğine indirilmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir (Kemal ve Arslan, 1999).

Kömür üretimi arttıkça ve kömür tüketim alanları çoğaldıkça, kömürde aranan özellikler genişlemiş ve ocaktan çıkarılan kömürün bir ön işleminden geçmesi zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde, çeşitli kullanım alanlarında farklılık göstermekle beraber, genel olarak kömürde aşağıdaki özellikler istenmektedir (Kemal ve Arslan, 1999):

- Düşük kül oranı (az mineral madde içeriği),
- Düşük kükürt, fosfor ve alkali içeriği,
- Düşük nem içeriği,
- Belirli tane iriliği,
- Homojenlik v.s.

Kömürde bulunan zararlı maddeler, kül yapıcı mineraller, kükürt kaynağını oluşturan organik ve inorganik bileşikler ve nem'dir. Kömürün ısı değerini yükseltmek, taşıma masraflarını azaltmak, çevre kirliliğini önlemek amacı ile ve ayrıca tüketim alanındaki zararlı etkilerden ötürü, bu zararlı maddeler kömür temizleme tesislerinde kömürden uzaklaştırılırlar (Atak, 1991). Kömürün oluşumu sırasındaki biyokimyasal ve jeokimyasal şartlar kömürün temizlenebilme özelliğini tayin etmektedir. Kömür oluşumu sırasında mineral maddeler, kömür içerisine çok küçük parçalar halinde dağıldıkları takdirde bu kömürlerin diğer maddelerden ayrılması için çok ince öğütülmeleri gerekir. Ayrıca kömürleşme derecesine bağlı olarak kömürün yüzey özellikleri değişmekte ve bu da kömürün temizlenmesini etkilemektedir (Şahinoğlu, 2006).

Temiz kömür teknolojileri, kömürün çıkartılma, hazırlanma ve yanma verimini arttırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için tasarlanmış teknolojiler olarak tanımlanır. Düşük kömürleşme dereceli kömürler yıllardır temizlemeye tabi tutuldukları halde, düşük küllü linyitlere ve yarı-taşkömürlerine kısmen kömür hazırlama işlemleri uygulanmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Kömür temizleme işlemi toz kömürün (< 0,5 mm) dışında, yoğunluğa göre ayırım esasına göre uygulanmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999). Kül ve kükürt kaynağı mineraller, kömürde toplu halde bulunuyor ve kırma esnasında yanabilir kısımdan ayrılıyorsa o kömürün temizlenebilme özelliği iyidir, çok ince boyutlarda kömür içerisinde oldukça zor ayrılıyorsa bu tür kömürlerin temizlenebilme özelliği kötüdür (Şahinoğlu, 2006; Gülsuna, 2007). Kömür genellikle ızgaralı yakma sistemlerinde yakıldığından, kömür temizlemede, cevher zenginleştirmeden farklı olarak, kömürün iri boyutta temizlenmesi söz konusu olmaktadır. Bu durumda ocaktan gelen kömür genellikle 150 mm'nin altına indirildikten sonra, tane sınıflarında ayrılmakta ve bu tane sınıflarında ayrı ayrı işlemlere tabi tutulmaktadır. Kömür temizleme yöntemleri, kömür özelliği ve yıkanacak kömür tane iriliğine göre değişmektedir (Kemal ve Arslan, 1999).

Kömür, üretim yöntemine göre ve kömürün fiziksel özelliklerine bağlı olarak, farklı boyut gruplarında olabilir. Genelde üretimden gelen kömür, maksimum boyutu 150-200 mm civarında olan ve birkaç μm 'ye kadar uzanan farklı boyut grupları içerir. 6 mm'den büyük kömürler iri kömür, 6-0,5 mm'lik kömürler ince kömür, 0,5 mm altı toz kömür sınıfına girmektedir (Güney vd., 1996). Türkiye'de kömür rezervi fazla, ancak kaliteli rezerv azdır. Kömür kalitesinin artırılması için en geçerli yöntem kömürün temizlenmesidir (Şahinoğlu, 2006).

Kömür temizlemenin avantajları şunlardır:

- Kül oranı düşürüldüğü için enerji değeri olmayan atık maddelerin taşınmasında tasarruf sağlanır.
- Tüketim noktalarında kül atımı azalır.
- Desülfürizasyon ünitelerinin kapasiteleri küçültülebilir.
- Yanma veriminin yüksekliği nedeniyle kazan hacimleri küçülür.
- İthal kömür kullanımı azaltılabilir.
- Yıkama tesisleri kurularak yerli linyitler değerlendirilerek, ülke ekonomisine katkı sağlanır (Şahinoğlu, 2006).

2.6.1. Fiziksel Yöntemler

Fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılmasına çalışılan kükürt, piritik kükürttür. Yöntemin esası, piritle kömürün farklı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklere sahip olmalarına dayanmaktadır. Fiziksel yöntemlerle kömürlerin kükürt içeriklerinin azaltılması aşağıdaki koşullar geçerli ise mümkündür:

- Kömürdeki piritik kükürt / organik kükürt oranının yüksek olması (diğer bir deyişle toplam kükürt içeriğinin piritten gelen kısmının yüksek olması)
- Piritin tane boyutunun çok büyük olmaması ve
- Piritin serbest halde veya kömürle çok az birleşik halde olması.

Çok küçük taneli, büyük bir olasılıkla bakteri kökenli piritler, kömürün asıl yapısı içinde kalmakta ve mekanik yöntemlerle kömürden uzaklaştırılamamaktadır.

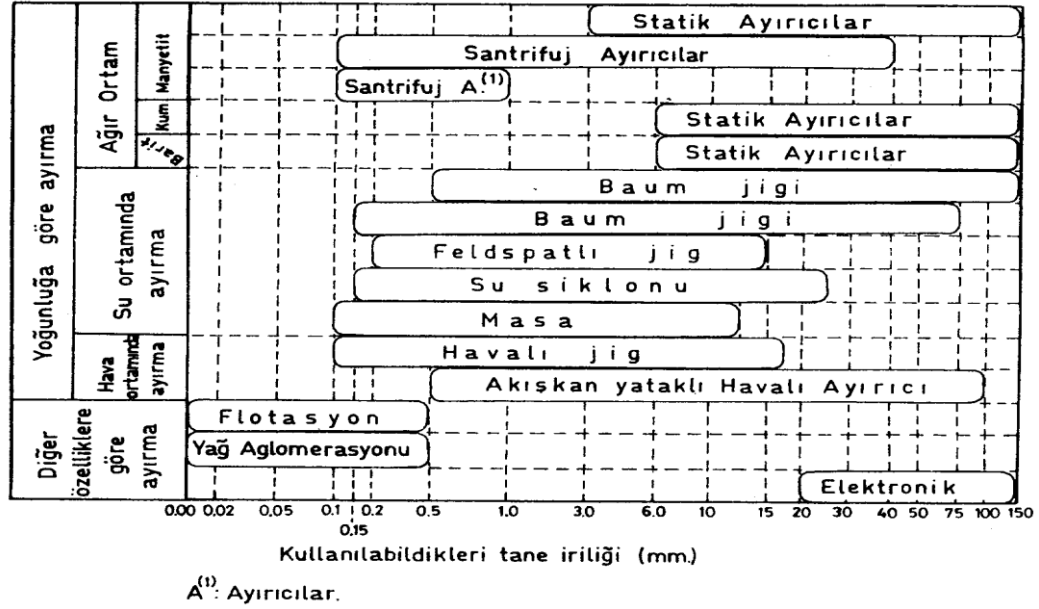
Fiziksel yöntemlerle kömürden kükürdün uzaklaştırılmasında, suda eriyebilen sülfat kükürdü, yıkama işlemleri sırasında giderilmekte ve herhangi bir sorun yaratmamaktadır. Organik kükürt ise kömürün bünyesine bağlı olduğundan, fiziksel yöntemlerden etkilenmemekte ve kömürün organik kükürt içeriği kuramsal olarak, fiziksel yöntemlerle temiz kömürde ulaşılabilecek en düşük kükürt oranını belirlemektedir. Fiziksel yöntemlerle pirit dışında kül yapıcı diğer mineraller de kömürden uzaklaştırılmış olur. Kömürden pirit uzaklaştırmada kullanılan fiziksel yöntemler Tablo 2.11’de gösterilmektedir.

Tablo 2.11. Piriti kömürden fiziksel olarak uzaklaştırma yöntemleri (Kural, 1991)

Yöntem	Makine	Tane Boyutu (mm)
YAŞ	Jigler	10-0,5 10-1,5 1,5-0,1
	Sarsıntılı Masa	6,0-0,06
	Flotasyon	<0,75
	Hidrosiklon	6,0-0,06
	Ağır-Ortam Siklonu	25-0,5
	Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma	<1,0
	KURU	Yoğunluk Bazına Dayanan Toz Atımı
Elektrostatik Ayırım		<1,5
Yüksek Alan Şiddetli Kuru Manyetik Tambur Ayırıcısı		<1,5
Kuru akım Ayırımı		3,0-0,06

2.6.1.1. Yaş Temizleme Yöntemleri

Kömürlerin yaş yöntemle yıkanmasında, hidrolik ve ağır ortam esaslı olmak üzere iki temel yöntem vardır. Hidrolik yöntemlerde, kullanılan aygıtın meydana getirdiği ayırıcı kuvvetler su tarafından kömüre iletilmektedir. Ağır ortam yöntemlerinde ise, ağırlaştırıcıların su içerisindeki süspansiyonunun yarattığı yüksek yoğunluklu ortam, ayırma işlemini gerçekleştirmektedir. Ağır ortam prosesinde, temiz kömürün ayrılması düşünülen yoğunluktaki süspansiyonda kömür yüzdürülürken, taşlarda batırılarak ayrılır (Kemal ve Arslan, 1999).



Şekil 2.5. Kömür yıkama yöntemleri ve kullanılabilir tane irilikleri (Kemal ve Arslan, 1999)

2.6.1.1.1. İri Kömürün Temizlenmesi

Kömürün temizlenmesinde tane boyutuna göre farklı yöntemler kullanılır (Şekil 2.5). İri boyutlu kömür temizlenmesinde, üst boyut brüt eleğin açıklığına göre 150 veya 100 mm olarak seçilmekte ve genel olarak ağır ortam sistemi ve jiglerle temizlenmektedir. Genellikle temizlenmesi güç olan kömürlerin temizlenmesinde ağır ortamla temizlenmesi tercih edilir (Şahinoğlu, 2006).

2.6.1.1.1. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırması yöntemi, gravite yöntemleri arasında en basiti olup bu yöntemle temizlenen kömürlerden en ekonomik temiz kömür üretilmektedir. Ağır ortam olarak kullanılan tipik bir öğütülmüş manyetitin iri taneli ayırmada % 30'u, ince taneli ayırmada ise % 85'i 45 µm altında tane dağılımı gösterir. Bu tip ayırıcılarda, yıkama sırasında kömürün ağır ortam içerisinde rahat hareket etmesini sağlamak amacıyla süspansiyonu oluşturan katının hacmi % 25-45 arasında tutulur. Yüksek katı hacimlerinde (genellikle % 30'dan yüksek) tanelerin hareketini başlatmak amacıyla süspansiyon karıştırılır ve ortamın görünür akışkanlığı düşürülür, ya da tanelerin kayma hareketini arttırmak amacıyla santrifüj kuvveti kullanılır (Güney v.d., 1996).

Ağır ortam metodları genel olarak, diğer yıkama yöntemlerine göre aşağıdaki avantajları ortaya koymaktadır:

- Herhangi bir yıkama yoğunluğunda, yıkama yoğunluğuna yakın yoğunlukta dahi oldukça hassas ayırım yapılabilir.
- Ayırma yoğunluğunu $\pm 0,005 \text{ gr/cm}^3$ hassasiyetle kontrol etmek mümkün olmaktadır.
- Geniş tane iriliği aralığında çalışmayı mümkün kılmaktır.
- Piyasanın taleplerine göre ayırma yoğunluğu kolaylıkla ayarlanabilmektedir.
- Beslemedeki kalite ve miktarsal dalgalanmalar, fazla sorun yaratmamaktadır.

Buna karşın ağır ortam prosesleri aşağıdaki olumsuz yönleri de sahiptir;

- Ağır ortam rejenerasyon ve hazırlama devresi nedeniyle, daha yüksek ilk yatırım maliyetleri söz konusudur.
- Ağır ortam devresi ve ortam kayıpları nedeniyle, göreceli olarak daha yüksek işletme giderleri vardır.
- Ortamı oluşturan süspansiyonun abrazif olması durumunda daha yüksek bakım giderleri söz konusudur.
- Ortam malzemesinin boru, pompa ve tanklarda çökmesi nedeniyle, uzun süreli durma sonrası devreye alınmasında problem yaşanmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Ağır ortam ayırıcıları, kömür temizlemede kullanılmaya başlandıktan itibaren birçok aşama geçirmiş ve geliştirilmiştir. Yalnızca yerçekimi kuvvetinin etkin olduğu ayırıcılarda, çeşitli mekanik tasarımlar geliştirilmiş ve farklı ayırma tankları kullanılmaya başlanmıştır. Endüstriyel çapta kullanılan bu ayırıcılar genellikle tekne, koni ve tambur tiplidir. Tekne

tipli ayırıcıları kapasiteleri 100-800 ton/saat arasında değişmektedir. Wemco, Teska ve Drewbboy gibi yıkayıcılar endüstriyel çapta kullanılan tambur tipli ayırıcılardır. Besleme kapasiteleri 900 ton/saat'e kadar ulaşmaktadır. 1981'de geliştirilen ve geniş bir boyut aralığında zenginleştirme yapılan diğer bir teknik ise İngiliz patentli Larcodems ayırıcısıdır. Ağır ortam olarak manyetitin kullanıldığı ve santrifüj kuvvet etkisiyle ayırma yapan bu aygıt, jiglere alternatif olarak geliştirilmiştir. Geniş boyut aralıklarında kömürün zenginleştirilmesinde uygun olduğu gibi, jiglerle karşılaştırıldığında kontrol olanakları çok daha kolay ve performansı da daha iyidir. Larcodems, saatte 250 ton, kömürü temizleyebilmektedir (Güney vd., 1996).

Ağır ortam ayırıcılarındaki ayırma hassasiyeti, büyük ölçüde, süspansiyon özelliğine bağlıdır. Bu bakımda, kömür hazırlamada kullanılan ağır süspansiyonların özellikleri kısaca ele alınmaktadır.

Ağır ortam oluşturmak için kullanılan malzemelerde şu özellikler aranır:

- Yüksek yoğunluk,
- Ucuzluk,
- Sert ve en az kırılğan yapı
- Kömürle kimyasal reaksiyona girmeme,
- Kolay geri kazanma
- Düşük akışkanlık ve
- Yüzeiden kolayca yıkanarak ayrılma.

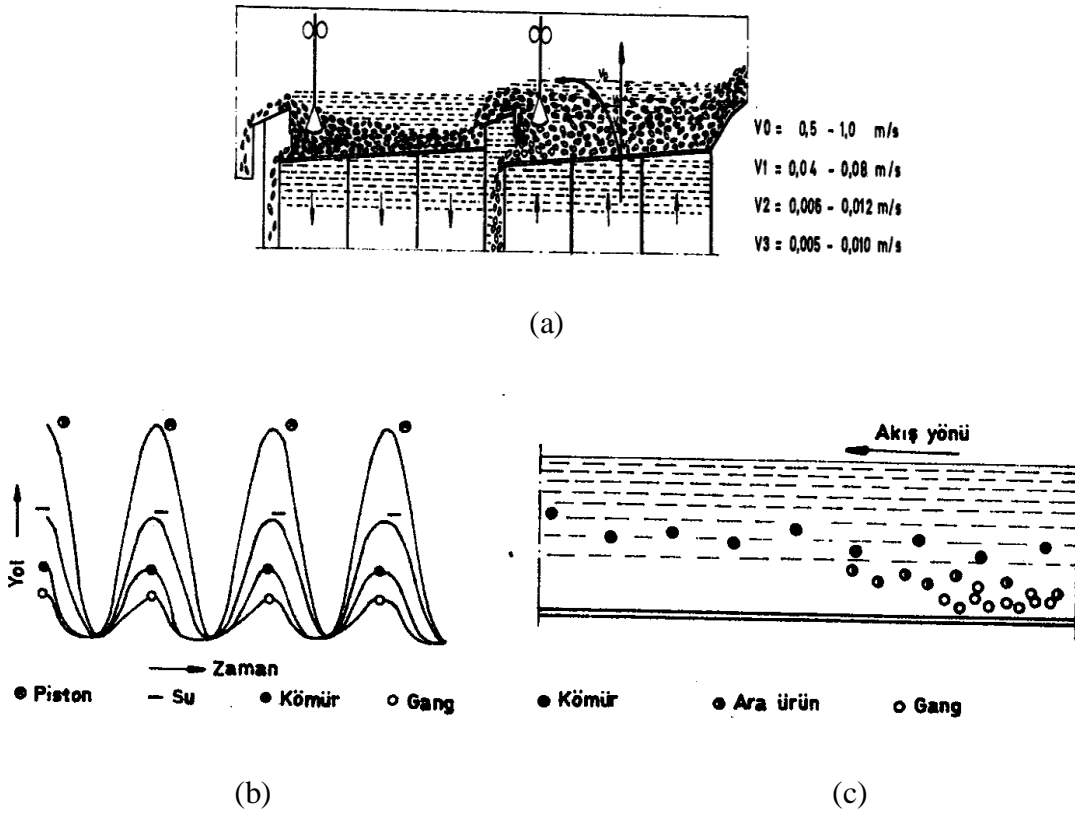
Ağır ortam süspansiyonlarının, ayırma derecesini etkileyen özelliklerini de şöyle sıralayabiliriz:

- Yoğunluğu
- Viskozitesi
- Stabilitesi (Kemal ve Arslan, 1999).

2.6.1.1.1.2. Jigler

Jiglerde ağır ve hafif tanelerin ayrılması, jigin periyodik olarak, yukarı ve aşağıya yönelik hareketleriyle olmaktadır. Bu hareketler esnasında, ağır taneler yatağın alt kısmında ve hafif taneler de ağır taneler üzerinde sıralanmaktadır. Jiglerde taneler aşağı yukarı hareketleri esnasında birbirleriyle sürtünmekte, birbirlerine çarpmakta ve dolayısıyla, birbirlerinin hareketlerini engellemektedir. Bu bakımdan, jiglerdeki ayrılmanın

esasını potansiyel enerji ile izah etmek yolu seçilmiştir. Potansiyel enerji prensibine göre, hafif taneler üzerinde bulunan ağır taneler, jig yüzeyine doğru bir potansiyel enerjiye sahiptir. Jig hareket edip, taneler birbirinden ayrılınca bu potansiyel enerji, ağır tanelerin aşağı inmesini ve aşağıda sıralanmasını sağlamaktadır. Jig hareketleri, tanelerin sahip olduğu potansiyel enerjiyi harekete geçirmek için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Taneleri aşağı yukarı hareket ettirerek ağırlığa göre sıralamayı sağlamak ve taneleri çıkışa doğru götürmek olmak üzere iki görevi vardır. Jiglerdeki ayırma mekanizması Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.6. (a) Jiglerde tabakalaşma ve akım hızları, (Kemal ve Arslan, 1999).

(b) Jiglerde dikey hareket ve

(c) Jiglerde yatay hareket

Jiglerde, ayırma derecesi esas itibarı ile alt su miktarı, impuls (gen) yüksekliği ve sayısına bağlı olarak değişir. Bu bakımdan, çalışma esnasında beslenen kömürde meydana gelebilecek değişiklikler mineral madde oranında, tane iriliğinde ve besleme miktarındaki değişiklikler, impuls sayı ve yüksekliği ile alt su miktarının değiştirilmesi sonucu ayarlanmaktadır. Diğer taraftan, jige gelen malzemenin değişmesi veya beslenen

malzemenin azalıp çoğalmasıyla jig üzerinde oluşan, mineral madde kalınlığı (artık), değişmektedir. Bu işlem, özel bir sistemle yapılmaktadır. Bu sistemin esası, mineral madde üzerinde yüzen bir şamandıranın hareketine bağlı olarak, mekanik veya elektronik düzeneklerle malzeme çıkış açıklıklarının ayarlanmasından ibarettir (Kemal ve Arslan, 1999).

Jiglerde, ayırmanın can damarı olan impuls, değişik şekillerde verilmektedir. İmpuls verilmiş metotlarına göre, jigleri şu gruplara ayırmak mümkündür:

- Pistonlu jigler
- Membranlı jigler
- Eleği hareketli jigler
- Hava impulsu jigler (Kemal ve Arslan, 1999).

2.6.1.1.2. İnce Kömürün Temizlenmesi

Kömür ve yantaşlarının özgül ağırlıklarının farklı olması, kömür temizlemede göz önüne alınması gereken en önemli özelliktir. Bu nedenle özgül ağırlığa dayalı yıkama yöntemleri kömür hazırlamada çok gelişmiştir. İnce kömürler feldspatlı jig, ağır ortam siklonları, sallantılı masa, spiraller ve oluklar ile temizlenir (Şahinoğlu, 2006).

2.6.1.1.2.1. Ağır Ortam Siklonları

Santrifuj kuvvetinin uygulandığı bu ayırıcılarda, ortam akışkanlığı düşürülebildiği için statik ayırıcılara nazaran daha küçük boyuttaki malzeme yıkanabilmektedir. Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi hidrosiklonların benzeridir. Kömür, ince öğütülmüş manyetitle hazırlanmış ağır ortamla karıştırılarak basınç altında siklona beslenir (Güney vd., 1996).

Ağır ortam siklonlarıyla ince kömürlerin temizlenmesi dünyada en çok uygulanan yöntemdir. Bu yöntemin tek dezavantajı, ince tanelerde ortamın akışkanlığının ayırım verimini olumsuz yönde etkilemesidir. Ağır ortam siklonlarının uygulama alanları 12 veya 6 mm'nin altındaki taneler olup, en küçük tane boyutu 4 mm'dir (Kural, 1991). Son zamanlarda geniş çaplı siklonların geliştirilmesiyle, tane boyunun üst sınırı 50 mm'e yükselmiştir. Birçok ağır ortam siklonları geliştirilmiş olmasına rağmen bugüne kadar

beklenen verim sağlanamamıştır. Bu nedenle, pek çok kömür hazırlama tesisinde bu birimin kullanılmasından vazgeçilmiştir (Güney vd., 1996).

2.6.1.1.2.2. Sallantılı Masalar

Sallantılı masada kömür yıkama, bazı Batı Avrupa ülkelerinde, bilhassa ABD’de önemli ölçüde uygulanmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Masalar -10’mm’lik ince taneli kömürlerden piritik kükürdün uzaklaştırılmasında en etkin yöntemlerden birisi olarak gözükmektedir. ABD’de kömürden piritik kükürdün uzaklaştırılmasında Concenco 77 denilen çift katlı masalar kullanılarak toplam kükürdün % 40’ı ve piritik kükürdün ise % 57’si kömürden uzaklaştırılabilmektedir. AB.D.’nin batısındaki kömürlerin piritten temizlenmesinde havalı sarsıntılı masalar kullanılmaktadır. Havalı masaların en büyük dezavantajı ince kömürlerde ayırım yapmamasıdır (Kural, 1991).

Önceleri, şlam halindeki kömür sallantılı masada yıkanırken, bugün ince kömür (0-10 mm) sallantılı masada yıkamaya tabi tutulmaktadır. Hatta daha iri kömürlerin de sallantılı masada yıkandığı tesisler mevcuttur. Kömür yıkamada en çok kullanılan sallantılı masa tipi, Deister-sallantılı masalarıdır. Bunların, uzunlukları 4-5 m ve genişlikleri de 1,6-1,8 m arasındadır. Bu masalarda;

- Eğim, uzunluk ve genişlik yönünde,
- Titreşim sayısı (250-300 dev/dak)
- Titreşim boyu (18-30 mm ayarlanabilmektedir (Kemal ve Arslan, 1999).

Genliği, tane iriliği büyüdükçe ve kapasitesi arttıkça, büyümektedir. Masa üzerindeki çıkıntılar ağaç, linoleum ve kauçuktan yapılmaktadır. Bu çıkıntılarının yüksekliği, yıkanacak kömür tane iriliğine göre seçilmekteyse de, 20-25 mm den daha küçük olmamaktadır. İri kömürde, çita yüksekliği 70 mm ve daha yüksek olabilmektedir. Çitaların yüksekliği, besleme tarafından, artık çıkış tarafına doğru azalmaktadır. Sallantılı masaların kapasiteleri, yıkanan kömür tane iriliğine göre, şu şekilde verilmektedir:

- 0-6 mm kömür için 7,5 ton/saat
- 0-12 mm kömür için 10-11 ton/saat
- 0-25 mm kömür için 15 ton/saat (Kemal ve Aslan, 1999).

Çin’de ince kömürlerden piritik kükürdün atılmasında SLY -1,8 santrifüj masaları kullanılmaktadır. Silindirik yüzeye sahip olan santrifüj masaları ile çok ince boyutlarda

bile (-40 μ m) piritik kükürt uzaklaştırabilmektedir. Piritik kükürt içeriğindeki azalma % 55-77 arasındadır (Kural, 1991).

2.6.1.1.2.3. Oluklar

Oluğa verilen malzeme, yoğunluğuna ve tane boyutu ile tane şekline göre, oluk içindeki akıntıya kapılmakta ve oluk içinde sıralanmaktadır. Ağır malzemeler dibe çökerken, hafif malzemeler akıntı tarafından daha uzağa sürüklenmektedir. Rheo ve Cascadyn kullanılmış olan oluk tipleridir. Cascadyn oluklarının Rheo oluklarına göre ayırma hassasiyeti daha iyidir. Cascadyn olukları, iri ve ince kömür yıkamada kullanılabilir. İnce kömür (0-10 mm) yıkamada kullanılan 250 mm genişliğindeki Cascadyn oluklarının kapasiteleri 8-9 ton/saat'dir (Kemal ve Arslan, 1999).

2.6.1.1.2.4. Spiraller

Spiral, çok dönümlü helezon şeklinde bir oluk olup, dünya'da pek çok tesiste 3 mm altı kömürlerinin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İşletilmesi oldukça basit ve işletme maliyeti düşüktür. Spiral kömür yıkama ünitelerinin hafif oluşu ve yerleşim alanı olarak geniş yere ihtiyaç göstermemeleri nedeniyle büyük avantaja sahiptirler (URL-3, 2010).

Spiraldeki ayırma mekanizması serbest çökme şartlarında tabaka halinde akan su ve çapraz dönme ile santrifüj kuvvetinin birlikte etkileri ile gerçekleşmektedir. Pülp en üstte besleme kutusundan verilir ve aşağıya doğru tabaka halinde akar. Akan tabaka merkezde ince olup, yanlara doğru kalınlaşır. Bu durumda ağır mineraller merkezde toplanırken hafif mineraller yanlara doğru birikir. Ağır minerallere karışan hafif mineralleri uzaklaştırmak için merkezden yana doğru yıkama suyu verilir. Ağır mineraller spiral merkezine yakın bulunan konsantr deliklerinden, hafif mineraller ise, akışın sonunda alt kısımdan alınır (Doğan, 1994).

Çalıştırma şartlarına bağlı olarak spiral ayırma yoğunluğu 1,5 ile 2,0 gr/cm³ arasında değişmektedir. Besleme malzemesindeki ince kömürün miktarı arttıkça spirallerde ayırma yoğunluğu artmakta ve ince boyutta olan artık şist malzeme temiz kömür ürününe

karışmaktadır. Genel olarak spiraller, flotasyon, ince kömür jigi ve su siklonlarına alternatif olarak kullanılmaktadır.

Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Kanada ve ABD gibi ülkelerde kömürün temizlenmesinde başarıyla uygulanan spiraller ince kömürlerin kükürt içeriklerinin azaltılmasında da büyük bir potansiyel vaat etmektedirler (URL-3, 2010).

2.6.1.1.3. Toz Kömürün Temizlenmesi

Toz kömürün temizlenmesinde klasik metotlarla istenen verim ve kül oranlarına ulaşılmasında yaşanan sıkıntılar birçok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yeni teknolojilerin üzerinde durulmasının sebebi, kömür proseslerinde ortaya çıkan büyük miktarlardaki katı ve sıvı kirletici kaynakların ortaya çıkmasıdır. Hedef, daha az çevre kirletici atık ortaya çıkmasını sağlamak, daha yüksek enerji verimleri elde etmektir. Bunun yanında düşük kaliteli kömürlerin daha verimli olarak değerlendirilmesi düşüncesi de yeni teknolojilerin geliştirilmesinde önemli bir sebep olmuştur.

Günümüzde, 0,5 mm tane boyutunun altı olarak nitelendirilen ve değerlendirilemeyen toz kömürler, stoklanmakta ve ekonomiye kazandırılmayan atıl bir yatırım olarak kalmaktadır.

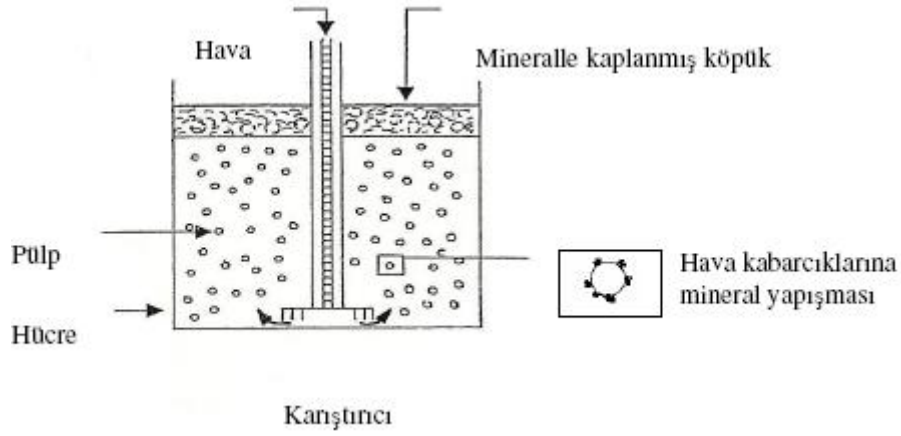
Toz kömürlerin yakıt olarak kullanılmadan atılacak olmasının yanı sıra, son yıllarda artan çevre duyarlılığının getirdiği zorlamalar, toz kömürlerin atık olarak atılması konusunda engel teşkil etmektedir. Flotasyon, flokülasyon ve yağ aglomerasyonu toz kömürün temizlenmesinde kullanılan yöntemlerdendir (Şahinoğlu, 2006). Ayrıca son yıllarda Falcon, Knelson, Multi Gravite Separatör (MGS) ve Kelsey Jigi gibi gravite ayırıcıları geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

2.6.1.1.3.1. Flotasyon

Flotasyon yöntemi; minerallerin yüzey özelliklerinin reaktiflerle değiştirilerek bazılarının ıslanmaz özellik kazanarak hava kabarcığı ile yüzmesi, bazılarının da ıslanarak batması prensibine dayanan bir ayırma yöntemidir (Atak, 1990).

Flotasyonun oluşması için, bir hava kabarcığı kendisini bir taneciğe bağlayabilmeli ve onu yüzeye taşıyabilmelidir. Hava kabarcıkları, mineral parçacıklarına eğer yüzeyindeki

su tabakası uzaklaştırılırsa yapışır. Bu da minerallerin hidrofobik özelliklerine bağlıdır. Yüzeğe varırken, hava kabarcıkları mineral tanelerini tutmaya devam etmelidir. Aksi takdirde köpük patlayacak ve mineral tanelerini tutamayıp taneler aşağıya düşecektir. Yapışma ve dengeli köpük teşekkülü için flotasyon reaktifleri olarak bilinen çeşitli kimyasal maddeler kullanmak gereklidir. Böylece parçacıkların hava kabarcığına yapışıp yükselmesi ile su yüzeyinde köpük oluşturulur. Pülpün üzerindeki köpük sıyrılarak uzaklaştırılıp, konsantre elde edilir. (Şekil 2.7) Bir flotasyon makinesinde, flotasyonun temel prensiplerini göstermektedir (Oruç, 1996).



Şekil 2.7. Flotasyonun temel prensipleri (Oruç, 1996).

Flotasyon yöntemi kompleks yapılı cevher yatağının işletilmesini mümkün kılarak, madencilik endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır. Zamanımızda bakır, çinko, kurşun, gümüş gibi metallerin dünya ihtiyacının büyük bir kısmı flotasyon ile elde edilmektedir. Bunların dışında volfram, molibden, vanadyum ve antimuan gibi metalik mineraller zenginleştirilmesinde geniş ölçüde yer almaktadır. Metalik olmayan madenler arasında ince kömür zenginleştirilmesi ön sırayı alır (Şahinoğlu, 2006).

Flotasyonla zenginleştirmede metalik mineraller için 0,3 mm'den daha küçük boyutlara öğütülmesi gerekir. Kömür flotasyonu için boyutun 0,5 mm'nin altında olması yeterlidir. Hatta pratikte 0,7-1,0 mm'ye kadar kömürlerin flote edilmesi mümkündür.

Flotasyonla zenginleştirme yöntemi 1914 1.genel savaştan önceleri bilinmektedir. Ancak bu sahada olumlu gelişmeler 1914'ten sonraları olmuştur. İlk uygulamalar, sudan

daha ağır olan mineral tozlarının yağlı bir ortamda yüzdürülmeleri esasına dayanırdı (Boylu ve Ateşok, 1999).

Kömür suya karşı hidrofob maddedir. Bu bakımdan, flotasyonla kömür yüzdürülmesi kolaydır. Buna rağmen, değişik kömür cinsleri ve türleri farklı flotasyon özelliği göstermektedir (Kemal,1991);

- Koklaşma özelliği olan orta uçuculu kömürler en iyi flotasyon özelliğine sahiptir.

- Yüksek uçucu madde içeren taş kömürleri, düşük uçucu madde içerenlere göre daha zor flote edilirler.

- Antrasitler ise, yüksek uçuculu taş kömürlerine göre daha da zor flote edilirler.

- En zor flote edilen kömürler linyitlerdir.

Diğer taraftan , kömür oksitlendikçe flotasyonu zorlaştırmaktadır. Kömür flotasyonunda , flotasyona etki eden faktörler şunlardır:

- Kömürün cinsi ve kömürleşme derecesi

- Kömür tane iriliği

- Pülp yoğunluğu

- pH ve su karakteristiği

- Reaktifler

- Flotasyon ekipmanları

Flotasyon, genelde lavvarda yıkama suyu içinde kalan toz boyutlu (-0,5 mm) kömürün kazanılmasında uygulanır. Fakat günümüzde çevre kirliliğine neden olmasından dolayı kömür içindeki kükürdün büyük ölçüde giderilmesi istenmektedir. Ayrıca ince kömür, pülverize yakıt olarak veya biriket halinde kullanılabilir. Bu nedenle, bazı sorunlu kömürlerde kömürün tümünü öğüterek flotasyonla zenginleştirme yoluna da gidilebilmektedir (Kural, 1991).

Flotasyon kömürlere aşağıda görülen dört amaçla uygulanır:

- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü (- 0,5 mm) kazanmak,

- Lavvardan atılan siyah su denilen proses suyunu temizleyerek, çevre kirliliğini önlemek,

- Kömürde bulunan kükürdü gidermek ve

- Kömür içinde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak koklaşabilir karışımlar

hazırlamak.

Kömürün flotasyon yeteneği, kömürleşme derecesi, petrografik elemanlar, kül yüzdesi ve kül yapıcı minerallerin cinsi, nem içeriği ve yüzey oksidasyonu gibi yapısal

özelliklere bağılı olarak değişir. Bu özellikler arasında flotasyon açısından en önemli özellikler nem içeriği, yüzey alanı ve yüzeydeki polar (-COOH, -OH) bileşikleridir. Polar bileşikler yüksek uçuculu taşkömürlerden itibaren artarak, linyitlerde en yüksek oranda bulunur.

Flotasyon yeteneğinin en önemli ölçütü olan temas açısının, karbon yüzdesine göre değişimi orta derecede uçucu içeren bitümlü kömürlerde, doğal yüzebilirliğe işaret eden, 60°'nin üstünde temas açısı ölçülmüştür. Temas açısı düşük karbonlu (linyitik) kömürlerde hızla, yüksek karbon içerikli (semi-antrasit, antrasit) kömürlerde yavaşça azalmaktadır (Kural, 1991).

Kömürlerde, petrografik elemanların doğal flotasyon yeteneği bakımından önemli rolleri vardır. Örneğin, bazı petrografik elemanları içeren maseral gruplarında belirli bir temas açısı ölçülememekte (fusen), bazılarında ise 60°'in üzerinde bir temas açısı (vitren) ölçülmektedir.

Kül yapıcı kısımlar kömürün ıslanma özelliğini etkileyebilir. Kömürün kül oranı arttıkça doğal yüzebilirliği azalır. Kömürün kül yapıcı malzeme içeriğinin tipi de önemlidir. Talk, kil gibi kolay yüzebilir malzeme bulunduğunda, seçimli ayırma güçleşebilir.

Oksitlenme, kömür flotasyonunu etkileyen diğer önemli faktördür. Yüzeyde oluşan polar (-COOH, -OH) bileşikler flotasyonu güçleştirir. Bu nedenle yeni üretilen kömürler, stoklanmış kömürlere oranla daha kolay yüzdürülebilir (Kural, 1991).

Kömür doğal olarak yüzebilen bir madde olmasına rağmen, köpürtücü yanında flotasyonu kolaylaştırıcı bir takım organik bileşiklerin kullanılması gerekebilir. Bu bileşikler genellikle nötr yağlardır. Taş kömürlerinin flotasyonunda 300-1500 gr/ton mertebesinde kullanılan bu yağların linyitlerde daha yüksek miktarda kullanılması gerekebilir. Köpürtücüler ise metil izobütil karbonil (MIBC) ve izooktanol gibi kısa zincirli alkollerdir. Yağın köpürtücü reaktif veya diğer bir yüzey aktif madde ile emülsifiye edilmesi sonucu gerekli yağ miktarı azaltılabilir. Kömür geniş bir pH aralığında negatif yüzey elektrik yükü taşıdığından, aminler gibi anyonik kolektörlerle de yüzdürülebilir. Genellikle havada kalmış ve okside olmuş kömürlere amin flotasyonu önerilmektedir.

Kömür flotasyonunda kömürün veya içerdii minerallerin bastırılması gerekebilir. Kömürü bastırmak için nişasta, dekstrin gibi doğal kolloidler ve yüzeyi oksitleyerek hidrofobluğu giderecek çeşitli inorganik oksitleyiciler kullanılır. Özellikle pirit ve markasit gibi kükürt kaynağı mineralleri uzaklaştırmak amacı ile kömür bastırıldıktan sonra ksantat

tipi bir kollektör bu mineralleri yüzdürebilir. Sülfür flotasyonunu takiben sabun veya sülfonatlarla diğer içerdiği minerallerin de yüzdürülmesi önerilmekteyse de bu yöntemin endüstriyel ölçekte uygulaması yoktur. Kömürün nötr yağlarda yüzdürülmesi durumunda, sülfürlü mineraller sodyum siyanür, demir sülfat veya kireç gibi reaktiflerle, diğer silikatlı mineraller ise sodyum silikat ile bastırılarak, düşük küllü ve kükürtlü konsantrenin kazanılmasına çalışılır.

Katı oranı dikkate alındığında, kömürün diğer cevherlere göre yarı yoğunlukta olduğu hesaba katılmalıdır. En uygun katı oranı % 12 olarak tespit edilmiştir. Bu orana kadar flotasyon hızı sabit kalmakta, daha yüksek katı oranlarında hız azalmaktadır. Kömür flotasyonunda hidrokarbon yağları kullanıldığında kondisyonlama çok önemlidir. Hem yağ damlacıklarının pülpde dağılması hem de kömür-yağ temasının sağlanması için genellikle uzun ve şiddetli bir kondisyonlama yararlı olmaktadır.

Flotasyon makinesi ve devreleri bakımından kömür flotasyonunda karıştırma hızının büyük bir etkisi olmamasına rağmen, hava hacminin büyük önemi vardır. Devre tertibi bakımından bazı tesislerde sadece kaba devre ile idare edilirken, bazılarında düşük küllü temiz kömür ve yüksek küllü artık elde edilmek için birkaç kademe halinde temizleme işlemlerine gidilmektedir (Kural, 1991).

Köpük flotasyonu, flotasyon işleminin gerçekleştirildiği ilk makineler olan mekanik flotasyon hücreleri, geliştirilen yeni teknoloji flotasyon hücrelerine rağmen halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, mekanik hücrelerdeki bazı olumsuz koşullar (yoğun türbülans, yıkama suyunun olmayışı, sığ köpük derinlikleri) özellikle çok ince boyutlu kömür tanelerinin flotasyonunda yeterli verim ve yüksek kül giderme oranlarını sağlayamamaktadır. Bu yüzden, 1960'lı yıllardan itibaren daha temiz kömürlerin elde edilebilmesi için türbülansın oluşmadığı, daha yüksek köpük kalınlıklarının elde edilebildiği ve köpüğün su ile yıkanabildiği flotasyon kolonları kullanılmaya başlanmıştır (Hacıfazlıoğlu, 2006; URL-1, 2010).

Kolonlar temel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Kabarcıklar üretilip kolonun altından beslenir. Malzeme ise, genelde kolonun yüksekliğinin 2/3'ünden kolona beslenir. Malzeme ile taneciklerin karşılaştığı bölge, toplama bölgesidir. Kolonun altından gelen kabarcıklar orta bir bölgede bu taneciklerle buluşurlar. Bu noktada yüzey kimyası uygun olan tanecikler, kabarcıklarla yüzeye taşınırken, kabarcıklara tutunamayan tanecikler, kolonun altına çöker. İkinci bölge ise; kolonun üstünde, köpüğün biriktiği köpük

bölgesidir. Köpük bölgesi sürekli olarak, ters akımlı olarak yıkanır. Bu şekilde, köpüklerle ile beraber yükselmiş gang mineralleri yıkanarak uzaklaştırılır (URL-2, 2010).

Flotasyon kolonlarını, klasik flotasyon hücrelerinden ayıran en önemli özellikler:

Köpük bölgesindeki yıkama suyu, mekanik karıştırmanın olmaması ve kabarcık üretici bir sistemin varlığıdır.

Avantajları ise şu şekildedir:

- Klasik flotasyon hücrelerine göre verimi daha yüksektir.
- Düşük yatırım maliyeti
- Düşük işletme maliyeti
- Basit tasarım sayesinde kararlı çalışma
- Tesiste az yer işgal etmesi

Dezavantajları:

- Yüksekliğinin tesislerde sorun çıkarması
- Kabarcık üreticinin bakımı
- Yıkama suyu maliyeti (URL-2, 2010)

Kolonların, Leeds kolonu, Dolgulu (packed) kolon, Flotaire kolonu, Hydrochem kolonu, MicrocelTM kolonu, siklonik flotasyon kolonu ve siklo-mikrokabarcık kolonu gibi alternatif tasarımları bulunmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2006).

2.6.1.1.3.2. Flokülasyon

Flokülosyon yöntemi çok küçük taneli (- 0,15 mm) malzemelerde kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, dikkatli bir şartlandırma ile polimerler kömür içindeki organik veya inorganik tanelerin yüzeyine seçimli olarak absorbe edilirler ve floklar oluşur. Daha sonra sınıflandırma ile ayırım gerçekleşir. (Şahinoğlu, 2006). Flokülant çeşitlerinden polimerik flokülantlar taneler arasında köprü kuran uzun zincirli moleküllerdir. Genellikle $2-10 \cdot 10^6$ molekül ağırlıklarıyla poliakrilamidler kullanılmaktadır (Kawatra ve Eisele, 2001). Noniyonik akrilamidler ve anyonik akrilamidler çok yüksek molekül ağırlıklarında üretilenlerinden büyük, hızlı çöken, oldukça kompakt flokların oluşumuna neden olmaktadır. Katyonik akrilamidlerin ise molekül ağırlıkları anyonik ve noniyonik akrilamidlere göre daha ($2-6 \cdot 10^6$) düşüktür (URL-10, 2010).

Kömür partiküllerini selektif floküle etmek için lateksler ve polietilen oksit gibi temel polimerler olan hidrofobik veya kısmen hidrofobik flokülantlar kullanılmaktadır.

Ayrıca, sentetik flokülantlar ve doğal bir şekilde meydana gelen nişasta, mika, jelatin ve diğer bileşenler gibi polimerler flokülasyon için kullanılabilir (Kawatra ve Eisele, 2001).

Yapılan bir çalışmada flokülant madde olarak bakteriler kullanılmış ve % 80'e varan pirit uzaklaştırma oranları elde edilmiştir. Seçici flokülasyon toz kömürlerin temizlenmesinde çok etkin bir yöntem olmasına rağmen, ticari yönden bakıldığında ekonomik gözükmemektedir. Fakat flotasyon veya aglomerasyonla birlikte, bu işlemlerin performansını destekleme adına kullanılması mümkün gözükmemektedir (Şahinoğlu, 2006).

2.6.1.1.3.3. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcıları

Cevher zenginleştirmede ince taneli minerallerin gravite ile kazanımında bazı güçlükler yaşanmakta ve genellikle verim düşük olmaktadır. Jigler, oluklar ve spirallerin <100 µm tane boyutundan alt boyutlarda zenginleştirme etkinlikleri azalmaktadır. Buna rağmen yeni geliştirilen santrifüjlü ayırıcılar (Tablo 2.12) ile ince taneli cevherler etkin bir şekilde zenginleştirilebilmektedir (Ren vd., 1994; Laplante vd., 1995). Geliştirilmiş gravite ayırıcıları cevherlerde olduğu gibi ince ve toz boyutlu kömürlerin temizlenmesinde son yıllarda uygulama alanı bulmaya başlamıştır.

Tablo 2.12. Santrifüj Ayırıcıların Karşılaştırılması (Majumder ve Barnwal, 2008).

Ekipman	Çalışma Prensibi	Santrifüj Kuvvet (G)	Özellik
Knelson	Akışkan yatak	60	Su kullanımı düşük
Falcon 'C'	Oluklama	300	Yüksek kapasite
Falcon 'SB'	Oluklama ve akışkan yatak	300	Daha iyi metallurjik performans
Kelsey Jig	Çalkalama ve santrifüj	60	Yüksek kapasite
Multi Gravite Separator	Sallantılı masa ve santrifüj	22	İnce tane kazanımı iyi

Santrifüjlü gravimetrik ayırıcıların avantajları;

- Metalurjik ve ekonomik kazanımda artış
- İlk yatırım ve işletme maliyetlerinde azalma

- Masalarda kazanılamayan kayıp değerlerin gravite kazanımını sağlar
- Flotasyona ya da liç devrelerine daha düşük tenörlü malzeme gider
- Daha az çözelti işlenir
- Toplam tesis kapasitesinde artış sağlanır
- Yüksek tenörlü konsantre eldesi
- Ucuz ve pratikte basit bir işlem olması
- Sağladığı yüksek merkezkaç kuvveti sayesinde ince tane kazanımına olanak verir.

Bu merkezkaç kuvveti zenginleştirilen tanelere <300 G' lik bir yerçekimi kuvveti uygular.

- Su tüketim oranı düşüktür.

- Falcon Santrifüj Gravite Konsantratörü

Falcon konsantratörü yüksek santrifüj kuvveti oluşturabilen geliştirilmiş gravite ayırıcısıdır. Malzeme beslemesi dönen iç konik içerisine yapılır ve iç konik içerisindeki pervane aracılığı ile ivmelendirilerek koniğin çeperi boyunca hareket eder. Hareket eden koniğin üst kısmı bir alıkonma zonu olarak işlem görürken dip kısmı hareket zonu sağlamak için belli bir açıda eğimlidir. Daha güçlü santrifüj kuvvetler hareket zonundaki tanenin tabakalaşmasını ve çökmesini engelleyecek şekilde etki yapar. Hafif taneler düşük özgül ağırlıkları ya da küçük boyutlarından dolayı koniğin dışına doğru hareket eder. Ağır taneler ise konsantrasyon zonunda kalarak yıkama suyuyla birlikte yıkanarak temiz konsantre üretilir.

Honaker vd. (1996), 1 mm boyut grubu altında yer alan kömürleri Falcon konsantratöründe zenginleştirmeye tabi tutmuş ve ince boyutlu kömürde iyi bir serbestleşmeye bağlı olarak etkin sonuçlar elde etmiştir. Honaker (1995) yaptığı bir diğer araştırmada gelişmiş gravite ayırıcıları olarak tanımlanan Falcon konsantratörü, Multi Gravite ayırıcısı, Kelsey Santrifüj jigi ve Knelson konsantratörünü ayırma hassasiyetleri açısından incelenmiş ve Falcon konsantratöründe daha hassas bir ayırma yapabileceğini belirlemiştir. 44-1000 µm boyut aralığındaki kömür konsantratöre, farklı tambur dönüş hızları (10-30 Hz) ve farklı pülp katı oranlarında (ağırlıkça % 5-15) beslenmiş, ayırma işlemi sonrasında tüvenan kömürün kül içeriği % 17,5'den % 5,7'ye düşürülmüş ve yaklaşık % 90 kazanma verimi ile temiz kömür elde edilmiştir. Ayrıca temiz kömürdeki toplam kükürt içeriği % 47,4 oranında azaltılmıştır.

- Knelson Santrifüj Gravite Konsantrörü

Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırma yapabilmesi büyük avantajlarını oluşturmaktadır. Knelsonun diğer avantajı, bazı diğer santrifüj makinelerinin yapamadığı, şlamsızlaştırma yapmaksızın malzemeyi zenginleştirmesidir.

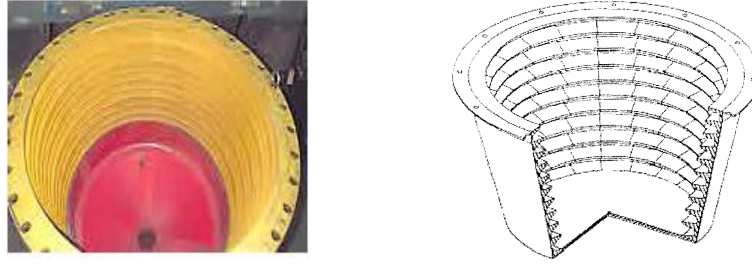


Şekil 2.8. Laboratuvar Ölçekli Knelson Konsantrörü

Knelson Konsantratörün etkinliği gangin yoğunluğu ve besleme hızının etkisiyle değişmektedir. Besleme boyutu dağılımının, (gang yoğunluğunun düşük olması şartıyla) Knelson konsantratörü üzerine çok az etkisi olduğu belirlenmiştir. Knelson konsantratörü, serbestleşmiş tanelerden gravimetri ile ağır mineralleri maksimum düzeyde kazanmak için tasarlanmıştır.

Serbest haldeki taneler konsantre konisine beslendiği zaman, mineraller merkezkaç kuvvetinin etkisi ile konsantre konisinin oluklarına doğru itilirler. Akıcı hale gelen taneler yatak içindeki olukları kapasitesi kadar doldurur, akış koninin simetri merkezine doğrudur. Sürtünme, oluklara kaçmış olan gang mineralin dışarı itilmesini sağlar (Xiao, 1998).

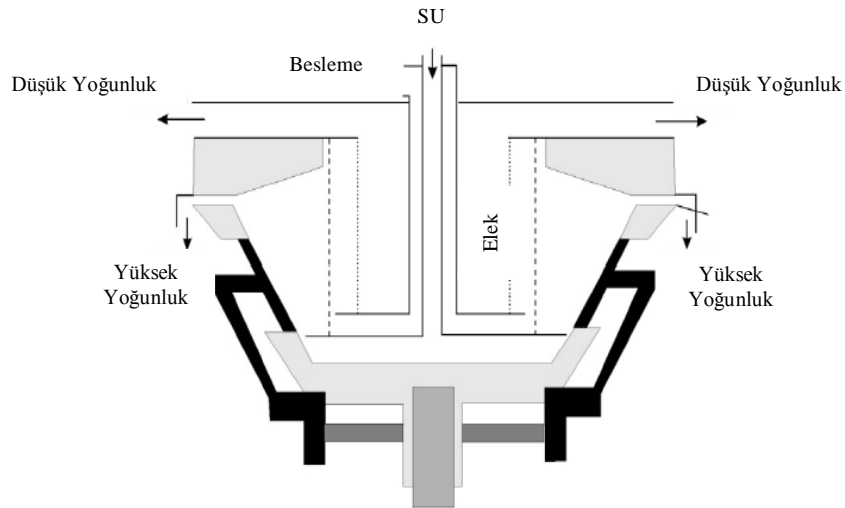
Uslu vd. (2010), 500 µm altındaki kömür numunesinden yüksek seviyede piritik ve orta seviyede kül uzaklaştırılmıştır. Maksimum kül ayırma verimi ve maksimum piritik kükürt ayırma verimi sırasıyla % 36,79 ve % 75,70 olarak belirlenmiştir. Sülfat kükürdü ise % 82,93 ile uzaklaştırılmıştır.



Şekil 2.9. Knelson Konsantretörün İç Koniğinden Görünüşleri

- Kelsey Santrifüj Jigi

Knelsey Santrifüj Jigi (KCJ) genel olarak bakıldığında iki ayırma yönteminin birleştirilmesi sonucu oluşan bir konsantratördür. Bu iki yöntemden biri santrifüj kuvveti ile ayırma diğeri ise jig ile ayırmadır. Besleme % 25–40 katı içerir. Santrifüj odası 30–45 dev/dak ile dönerken 80 g kuvvetinde gravitasyonel alanı oluşur. Su üst taraftan verilir. Santrifüj kuvvetinin de etkisiyle ağır mineraller alt akımla, hafif mineraller üst akımla alınır (Silva vd., 1999).



Şekil 2.10. Kelsey Santrifüj Jiginin Şematik Görünümü (Majumder vd., 2003).

Uyguladığı bu santrifüj kuvveti sayesinde ince minerallerin kazanımında diğeri ayırıcılara göre daha etkindir. Kelsey jigi ilk kez 1989 yılında, CRA Wimmera mineral kumları projesi kapsamında Avustralya’ da kullanılmıştır. Modifiye edilmiş Kelsey jigleri alüminyum ve altın endüstrisinde de kullanım alanına sahiptirler (Casteel, 2002).

KCJ, ince ve kazanılması zor cevher kütlelerini işlemede 40 kata kadar gravitede büyük üretim miktarlarıyla çalışır. Bu nedenle çevreye zarar veren kimyasallara ihtiyaç duymaz. Bu, dünyadaki tek santrifüj jigidir (URL-8, 2010). Kelsey Jigiyle taneciklerin ayrılmasında proses ve dizayn değişkenlerinin önemli rol oynadığı açıktır.

Tablo 2.13. Kelsey Jiginin Avantaj ve Dezavantajları (Kawatra ve Eisele, 2001).

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> • İnce minerallerin verimli kazanımı • Düşük yoğunluğu olan minerallerin verimli kazanımı • Tek aşamalı işlem (ara ürünsüz) • Şlamdan arınma yoluyla içsel arındırma süreci • Sürekli operasyon • Zenginleştirme kabiliyeti • Düşük güç tüketimi • Çevre dostu (reaktif kullanılmaz), • Daha basit laminar akış sağlaması • Az yer kaplamasına rağmen yüksek kapasiteye sahip olması • Yüksek konsantre tenörü ve verimi sağlaması • <850μm tanelerin kazanımında yüksek ayırma etkinliği ve çok az kayıp olması • 10 μm'ye kadar ileri düzeyde ayırma verimliliği • Tesis atıklarındaki kazanımında ki ekonomiklik ve etkinlik • Proses basitliği ve düşük işletme maliyetinin olması • Geleneksel ayırma yöntemleriyle kazanılamayan tesis atıklarındaki değerli minerallerin kazanımında ki ekonomiklik ve etkinlik 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek kurulum maliyeti • 4000 ile 8000 saat arası kurulumun yenilenmesi • Düzenli olarak durdurulması • Sürekli bir operatör bulundurulması • Temiz proses suyu gerekmesi • Spesifik aşınan materyal gerekmesi • Konsantrenin üretildiği hızı belirleyen kapasitenin düşük olması

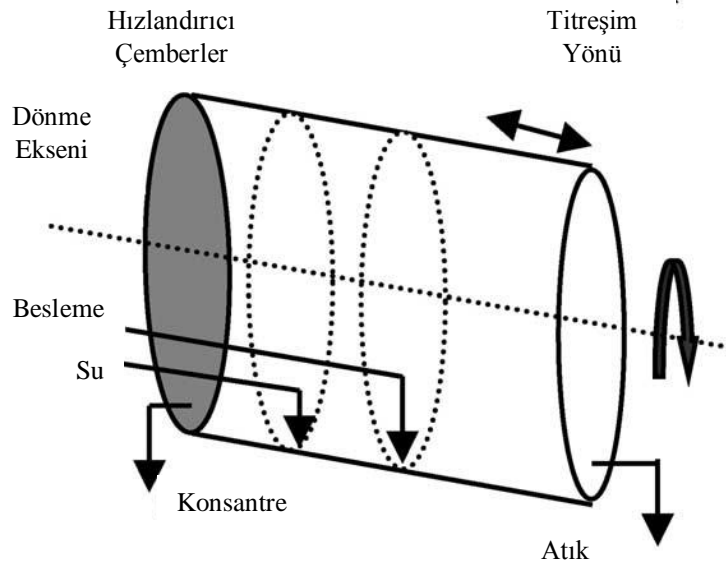
Majumder ve Barnwal (2008), bir çalışmasında 500 μ m altındaki 10 farklı kok, semi-kok ve non-kok kömürlerini Kelsey Jigi ile zenginleştirmeye tabi tutmuştur. Besleme kül değeri % 35,67 olan Moonidih kömüründen % 68,40 verimle % 19,45 küllü temiz kömür elde etmiştir.

- Multi Gravite Seperatörü

Multi gravite ayırıcı (Şekil 2.11), aralarında belirgin bir yoğunluk farkı bulunan ince boyutlu mineralleri zenginleştirmek amacıyla kullanılan yeni bir tekniktir (Gence, 2001). Sarsıntılı masa yüzeyinin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılabilmesi prensibi ile tanımlanabilir. Bir ucu açık olan bu tamburun belirli bir hızla döndürülmesiyle, mineral tanelerine karşı etkili olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturulması ve yardımcı üniteler aracılığı ile ayrılmasını gerçekleştirmektedir (Chan vd., 1994). MGS ünitesinde; tambur dönüş hızı, titreşim büyüklüğü, tambur eğim açısı, yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı önemli işletme parametreleri olmaktadır. Ayrıca besleme tane boyutu ve mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı da önemli parametrelerdir (Aslan ve Canbazoğlu, 1995).

Ayırma sırasında merkezkaç kuvvetten yararlanan MGS ünitesinin, sözü edilen klasik ayırıcılara göre bazı önemli farklılıkları şunlardır:

- Ayırma yüzeyinde ince bir akışkan tabakanın oluşması,
- Tane hareketini arttırıcı ek titreşim,
- Özel küreyici dizaynı ile tekrar tekrar ayırma yüzeyine taşıma ve yıkama,
- Nispeten düşük hızlı tambur hareketi,
- Ayarlanabilen tambur eğim açısı (Chan vd., 1994)



Şekil 2.11. Multi Gravite Separatorunun Şematik Görünümü (Göktepe, 2005).

Cebeci vd (1996), MGS cihazına bağılı parametreleri optimize ederek % 30 kül ve % 1,58 toplam kükürtlü Yozgat-Ayırđam linyitinden % 17,37 kül ve % 0,74 kükürt içeriğine sahip temiz kömür elde etmişlerdir. Yine MGS ile gerçekleştirilen bir başka araştırmada % 15,11 kül ve % 4,34 toplam kükürt içeriğine sahip İstanbul yöresi linyiti zenginleştirilerek, kül ve kükürt içeriğı sırasıyla % 11,64'e ve % 2,25'e düşürülmüştür (URL-11, 2010).

2.6.1.2. Kuru Temizleme Yöntemleri

Kömür yıkamada, kuru yıkama yöntemleri fazla kullanılmamaktadır. Jig ve masalarda havalı ayırmanın, avantajları yanında bir takım sorunları da vardır. Ayrıca kuru ayırmanın yapılabilmesi için, kömürün belirli özelliklere sahip olması gerekir. Havalı jig ve masalarda ayırmanın avantajları:

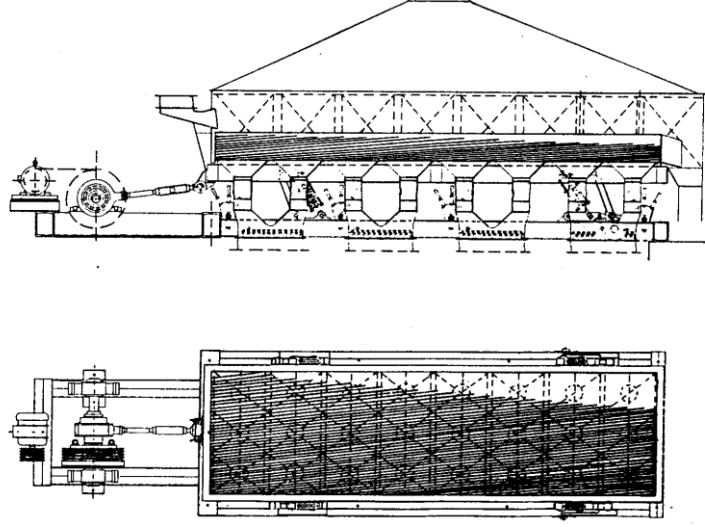
- Yaş jig ve masalarda su arıtma tesisleri vardır, havalılarda ise, bu tesisler yoktur.
- İlk yatırım azdır.
- İşletme masrafları, yaş ayırmadan daha fazla değildir.

Dezavantajları

- Yaş ayırmaya göre, ayırma derecesi kötüdür.
- Kömürün daha dar tane iriliğinde sınıflandırılması gerekir.
- Kömürün kuru olması gerekmektedir. Halbuki son senelerde üretilen kömür fazla nem içermektedir (% 6-7).
- Ara ürün sorun yaratmaktadır. Havalı ayırmada kömür, ara ürün içermemelidir.
- Besleme malı miktarı ve özellik değişimlerine çok hassastır.

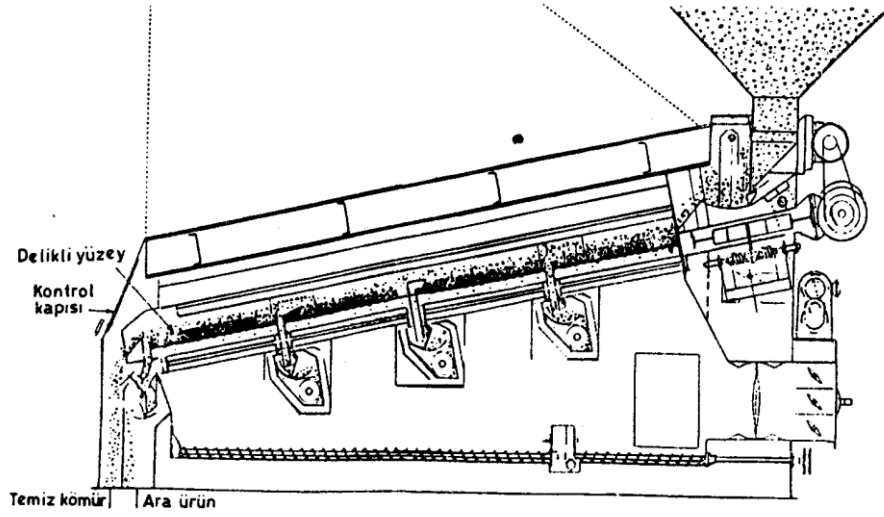
Yukarıda bahsedilen dezavantajlarına rağmen, havalı masa ve jigleri tamamen kullanışsız saymamak gerekir. Bilhassa az zenginleştirme istenen hallerde (termik santrale verilen kömür), su problemi olan yerlerde, suda dağılan ve parçalanan kömürlerde havalı masa ve jig kullanılması söz konusu olabilir.

Havalı masalar (Şekil 2.12), çıtalı ve düz olmak üzere ikiye ayrılır. Çıtalı masalar konstrüksiyon ve çalışma prensibi olarak yaş masalara benzemektedir. Masa hafif eğimli ve yüzeyi ince gözlü eleklerle kaplanmış yapıdadır. Masa yüzeyi, farklı ayırma kuvvetlerini sağlamak için bölmelere ayrılmıştır.



Şekil 2.12. Pnömatik masa (havalı masa) (Kemal ve Arslan, 1999).

Havalı jiglerin (Şekil 2.13) çalışma prensibi, Baum jigine benzemektedir. Sadece ayırma ortamı olarak, su yerine hava kullanılmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

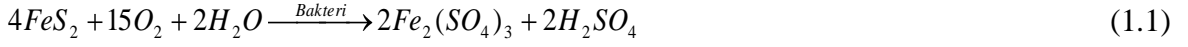


Şekil 2.13. Pnömatik jig (havalı jig) (Kemal ve Arslan, 1999).

2.6.2. Biyolojik Yöntemler

Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda Thiobacillus türü bakteriler kullanılarak kömürdeki piritik kükürdün % 70-80 oranında çözeltiye alınmasının mümkün olduğu

saptanmış ve bakterilerin piritin çözünmesine olan katkısı aşağıdaki tepkime ile ifade edilmiştir.



Suda çözünmeyen piritten, suda çözünebilen ferrik sülfat ve sülfirik asit oluşmaktadır. Bu tepkime, sulu ortamın pH'ını düşürmekte, yani asitliğini arttırmaktadır.

Piritin bakteriler ile ekstraksiyonu sonucu ortaya çıkan Fe^{+3} iyonu piriti oksitlemekte ve kükürt ile Fe^{+3} iyonu oluşturmaktadır.



Fe^{+2} iyonu ve kükürt bakterilerle oksitlenmekte Fe^{+3} ve H_2SO_4 meydana gelmektedir.



2.6.3. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemler kömürün içerdiği organik ve/veya inorganik kükürdü uzaklaştırmaya yönelik olarak geliştirilmiştir.

Kimyasal yöntemleri iki gruba ayrılmaktadır:

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

2.6.3.1. Çeşitli Gaz Ortamlarında Isıtma

Kömürün kükürdünün giderilmesi amacı ile yapılan ısıtma işlemlerinde inert olarak azot veya karbondioksit gazları, indirgen olarak hidrojen, su buharı veya amonyak, oksitleyici gaz olarak da hava veya oksijen kullanılmaktadır. Kömürün içerdiği kükürt türlerinin ısıtma sırasındaki davranışları ortamdaki gazın cinsine bağlı olarak değişmektedir.

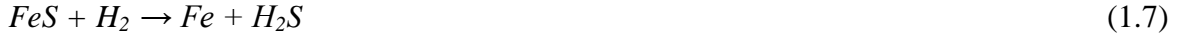
Organik kükürt, inert ve indirgeyici gaz ortamlarında gerçekleştirilen ısıtma işlemleri sırasında H₂S oluşturur.

Pirit, elementer kükürt veya hidrojen-sülfür organik moleküller ile tepkimeye girerek tiyofenleri oluşturabilirler; alüminyum ve silisyum-oksit ile kömürdeki diğer mineraller katalizör rolü oynarlar. Alifatik sülfürler ve disülfürler ile tiyoller kolayca bozularak H₂S ile doymamış bileşikler verirler.

Saf pirit 550-600°C arasında hızla parçalanarak FeS ve S_n oluşturur:



Bu tepkime ortamdaki gazdan etkilenmektedir. Pirit saf hidrojenle tepkimeye girer:



Kömürün içerdiği pirit 250-300°C gibi düşük sıcaklıklarda sülfürlere indirgenmeye başlar; bunun nedeni organik hidrokarbon bileşiklerin, saf hidrojenenden daha iyi indirgen olmalarıdır. Piritin parçalanması ile oluşan kükürt polimerleri hidrokarbonlar ile yavaş da olsa tepkimeye girerler.

Kömürün kükürdünün oksitleyici ortam olarak kullanılan hava veya oksijen ile giderilmesi karbonizasyondan çok daha karmaşıktır. Sadece pirit oksijen ile aynı anda 16 değişik tepkimeye girmekte ve FeO, FeS, Fe₃O₄, Fe₂O₃, Fe₂(SO₄)₃, S_n, SO₂, SO₃ vb. gibi ürünler oluşturmaktadır. Bu tepkimeler 350-400°C arasında gerçekleşir; oluşan demirsülfat da parçalanır:

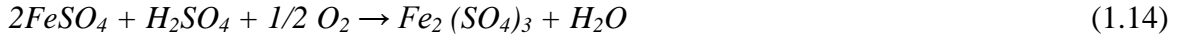


Hava fazlası kullanıldığı zaman piritin oksidasyonu şu denklemler doğrultusunda gerçekleşir:





Pirit, oksijen ve su varlığında şu tepkimelere girerek suda çözünebilen sülfatları oluşturur:



Merkaptanlar oksijen gibi oksitleyicilerle sulfonik asitlere oksitlenirler:



Tiyoller oksijen ile disülfürlere oksitlenir. Oksijen disülfürleri de sulfonlara sulfoksitlere veya hepsini sulfonik asitlere oksitler.

Kömürün çeşitli gaz ortamlarında ısıtılması sırasında bozunan her kükürtlü bileşikten, kükürdünü uzaklaştırmak mümkün değildir; çünkü bir yandan da yeni kükürt bileşikleri oluşmaktadır.

2.6.3.2. Yaş Kimyasal Yöntemler

Bir yaş kimyasal yöntemin başarılı olabilmesi için:

- Reaktifin kömürün içerdiği piritik ve/veya organik kükürde seçici olarak etkimesi,
- Reaktifin kömürün diğer kısımlarına önemli ölçüde etkimemesi,
- Reaktifin geri kazanılabilmesi
- Reaktifin kömürden ayrılabilmesi için tepkimeye girmeden ve girdikten sonra ya kolay çözünebilir veya kolay uçurulabilir olması,
- Reaktifin, geri kazanılabilirliği %100 olmadığından, ucuz olması ve

-Reaktifin kullanılmasının yeni bir çevre kirliliği kaynağı oluşturmaması gerekmektedir.

Kömürün kükürdünün giderilmesine yönelik olan yöntemlerde kullanılan kimyasal maddeleri; metallere, metal tuzları, asitler, bazlar, çözücüler, indirgeyici veya yükseltgeyiciler olmak üzere gruplandırmak mümkündür (Kural, 1991).

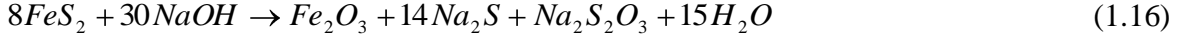
2.6.3.2.1. Mayers Yöntemi

Bu yöntemde, piritik kükürt, Fe^{+3} iyonlarını içeren çözeltiler yardımı ile kömürden uzaklaştırılır. İnce öğütülmüş kömür tozu, Fe^{+3} iyonlarını içeren bir çözelti ile tepkimeye sokulursa, Fe^{+3} iyonları Fe^{+2} iyonlarına indirgenir ve serbest kükürt oluşur. Çözelti süzülerek kömürden ayrılır; kömür yıkandıktan sonra vakum altında ısıtılarak kurutulur ve serbest kükürdünün büyük bir kısmı bu işlem sırasında buharlaşır; kalan kükürdün tekrar yıkama, ısıtılarak kurutma ve/veya çözücü (benzen, kerosen, paraleeresol) ile yapılan ekstraksiyon, sonucunda giderilmesi olasıdır. Bu amaçla demir-klorür, sülfat, asetat, nitrat, oksit ve amonyum sülfat tuzları kullanılabilir. Çözeltinin geri kazanılması olasıdır. Bu amaçla, çözelti önce suyun büyük bir kısmı buharlaştırılarak derişikleştirilir ve sonra soğutularak, demir-III tuzu, harcanmış olan demir-II-tuzundan çöktürme yolu ile ayrılır. Çöktürülmüş olan demir-II-tuzu hava ile oksidasyona uğratarak demir-III-tuzuna dönüştürülür. Çalışma sıcaklığı 50-110 °C, süresi, 1,5-2,0 saat, tane büyüklüğü ise -200 mesh'ten 12,5 mm'ye kadar değişmektedir. Atmosferik veya daha yüksek basınçlardan çalışılabilir. Çözeltinin derişimi ise kullanılan kömürün cinsine ve içerdiği piritik kükürt miktarına bağlı olarak değişir (Kural, 1991).

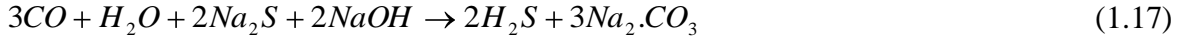
2.6.3.2.2. Kostik Ekstraksiyonu

Kimyasal kükürt giderme yöntemlerinden biri olan kostik ekstraksiyonu sürekli veya kesikli uygulanabilen 5 ana bölüme ayrılabilir. Bunlar sırasıyla: kömür hazırlama; kostik ile ekstraksiyon; kömürün kostikten kurtarılması; kömürün kurutulması ve kostiğin geri kazanılmasıdır. Kükürdünün uzaklaştırılması istenen kömür, madenden çıktığı gibi veya yıkandıktan sonra, gereken tane büyüklüğüne kadar öğütülür. Kömür, kostik ekstraksiyonundan önce kolay uzaklaştırılabilen kül ve kükürttten fiziksel yöntemler

yardımları ile kurtarılabilir veya bu işlem yapılmaksızın ekstraksiyona uğratılabilir. Gerekli sıcaklık ve basınç uygulanarak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilir. Otoklavdan çıkan kömür süzülerek sıvıdan ayrılır; su ile yıkanarak kostikten ve oluşmuş olan Na_2S 'den kurtarılır (Kural, 1991).



Ekstraksiyon işleminde kullanılan alkali çözeltisi CO ve kireç ile tepkimeye sokulur; ekstraksiyon sırasında oluşan Na, S, CO_2 ve H_2S 'ye dönüştürülür.



çıkan H_2S elementer kükürde dönüştürülebilir.

Kireç ise;



denklemine uygun olarak NaOH'in geri kazanılmasını sağlar. Oluşan $CaCO_3$ ısıtılarak CO_2 de geri kazanılabilir. Kostik ekstraksiyonu sırasında kömürün yapısı açılır ve süngerimsi bir ürün oluşur; poröz yapı alkaliyi ve alkali de kömür yanarken kükürdün bir kısmını tutar (Kural, 1991).

2.6.3.2.3. Petc Yöntemi

Kömürdeki kükürtlü bileşiklerin hava ile oksidasyonu ve oluşan sülfürik asidin kireç ile nötralizasyonuna dayanır. Piritik kükürdün tamamına yakını ile organik kükürdün bir kısmının bu yöntemle kömürden uzaklaştırılabildiği saptanmıştır. Pittsburgh Energy Technology Center'da (PETC) geliştirilmiştir.



Kömür-su karışımının konduğu otoklava oda sıcaklığında, gerekli oksijen kısmi basıncı sağlanana kadar havayla basınç uygulanır ve sonra işlem sıcaklığına kadar ısıtılır, gerekli süre sonunda kömür yıkanarak, sülfatlar uzaklaştırıldıktan sonra, kurutulur. Bu yıkama işlemi kömürün mineral madde içeriğinde de önemli ölçüde azalmaya neden olmaktadır. 150-200°C'da ve 5,5-7,0 Mpa'lık basınç altında bir saatlik işlem sonucu oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır (Kural, 1991).

2.6.3.2.4. Ledgemont Yöntemi

Bu yöntem iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan birincisinde kömür-su karışımının bulunduğu otoklavın basıncı oksijen basılarak artırılır ve ısıtılır. Bu uygulama şekli PETC yönteminden hava yerine oksijen kullanılmasıyla ayrılır.

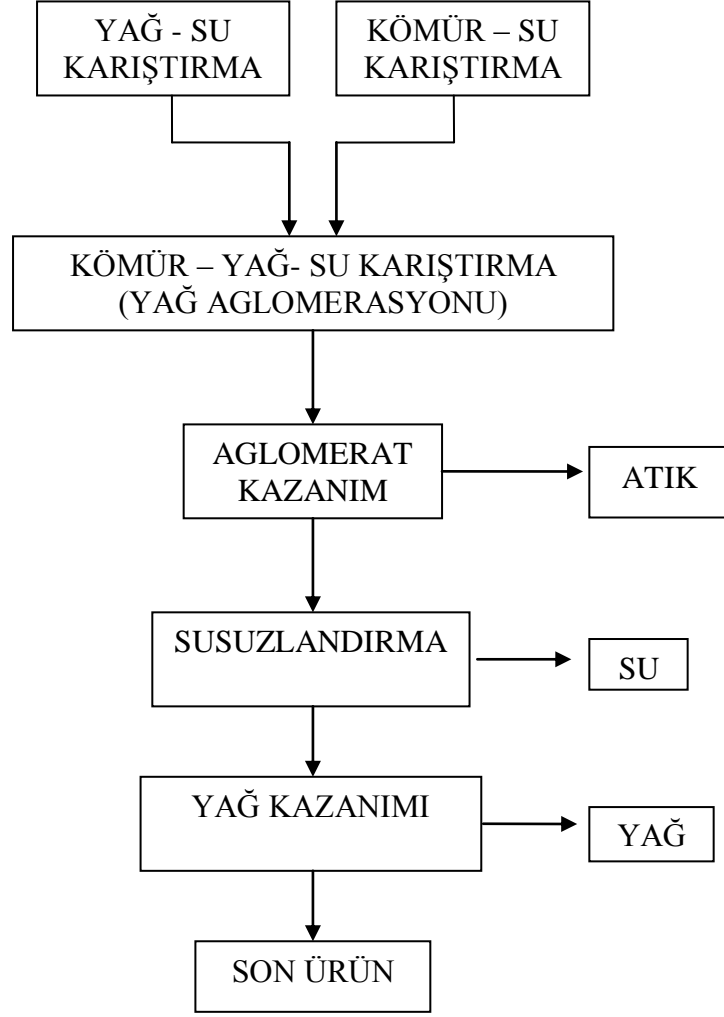
İkinci uygulama şeklinde ise kömür amonyaklı bir çözelti ile benzer şekilde ekstraksiyona uğratılır. 150 µm altına öğütülmüş kömürün 130 °C'da, 1-2 saat, 1,01-2,02 MPa'lık oksijen basıncı altında ekstraksiyonu sonucunda piritin suda çözünebilir sülfatlara ve sülfürik aside dönüştüğü saptanmıştır. Amonyak kullanıldığında organik kükürdün de bir kısmı suda çözünebilir sülfatlara dönüşmektedir.

Kömür süzülüp yıkanarak çözülden ayrıldıktan sonra jips ve demir bileşikleri kireç kullanılarak çöktürülür. Kullanılan amonyağın derişimi arttıkça giderilen organik kükürt miktarı da artmaktadır (Kural, 1991).

2.7. Kömürün Yağ Aglomerasyonu

2.7.1. Yağ Aglomerasyonunun Teorisi ve Gelişimi

Yağ aglomerasyonu kömürün ve beraberindeki mineral maddelerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak seçimli ayırım yapabilen bir temizleme yöntemidir (Uçbaş ve Hoşten, 1989). Bilindiği gibi kömür beraberinde bulunan diğer mineral maddelere göre daha hidrofobiktir. Toz kömürün sudaki süspansiyonuna yağ eklenip karıştırıldığında, hidrofobik kömür taneleri çarpışarak yüzeylerindeki yağın da bağlayıcılık etkisiyle birbirine tutunarak aglomeratları oluştururlar. Hidrofilik özellikteki malzemeler ise dağılmış halde sulu fazda kalırlar (Şahinoğlu, 2006).



Şekil 2.14. Yağ aglomerasyonu için geliştirilmiş bir akım seması (Şahinoğlu, 2006).

Aglomeratların, sistem içerisinde büyümesi birbirleriyle çarpışma ile yüzeylerinin çok ince kömür tanecikleri ile kaplanması ve karıştırma esnasında parçalanmış zayıf aglomeratların sağlam aglomeratlara yapışması ile olmaktadır (Kılınç, 2000). Yağ aglomerasyon metodlarının gelişme safhasında elde edilen birçok değişik akım şemaları vardır (Şekil 2.14.) (Şahinoğlu, 2006).

Aglomerasyonda karıştırma işlemi standart karıştırıcılar ile yapılır. Aglomerat kazanımı aglomeratların üstten sıyırılması şeklinde veya bir elek üzerine boşaltma yöntemiyle yapılır. Susuzlandırma işlemi ise aglomeratların bir yere boşaltılıp doğal drenaja bırakılması yöntemiyle veya titreşimli elek, santrifüj gibi ekipmanlar ile yapılır (Şahinoğlu, 2006). Yağ aglomerasyonu, birden fazla fazın ve alt prosesin dahil olduğu kompleks bir işlemdir. Sistemde, kömür taneleri ve yağ damlaları gibi dağılmış iki faz

bulunmaktadır. Su, bu fazlar arasında her türlü etkileşimlerin gerçekleştiği ortam olarak kabul edilebilir. Bu fazların fiziksel ve kimyasal özellikleri, yağ aglomerasyonu işlemini etkileyecektir. Sistem içerisinde dağılmış ortamda bulunan kömür tanelerinin yağ aglomerasyonundaki davranışı, kömürün kömürleşme derecesi, kimyasal yapısı ve petrografik düzeni ile değişmektedir. Kömürlerin doğal yüzebilirliği eskiden beri bilinmekte olup, karbon oranı arttıkça kömürün hidrofobik özelliği de artmaktadır. Bu özellik, kömürün oluşum sürecine ve şekline yani kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Aynı yaşlı kömürlerde ise doğal yüzebilirlik, kömürün kimyasal ve petrografik düzeni ile ilgilidir. Sistem içerisinde dağılmış ortamda bulunan yağ taneleri, su içinde çözünmeyen doygun hidrokarbonlar, yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi yönteminde de yaygın olarak kullanılır. Bu tür yağların kullanım amacı, kömür yüzeyinde hidrofobik bir tabaka yaratarak tanenin hidrofobik özelliğini arttırmaktır. Bu tür yağlar, genel olarak polar olmayan yapıdadır. Hexane, kerosen, deisel, fuel oil, parafin ve özellikle damıtılmış kömür – zift karışımı, yağ aglomerasyonu yönteminde kullanılacak yağ tipleridir (Kılınç, 2000).

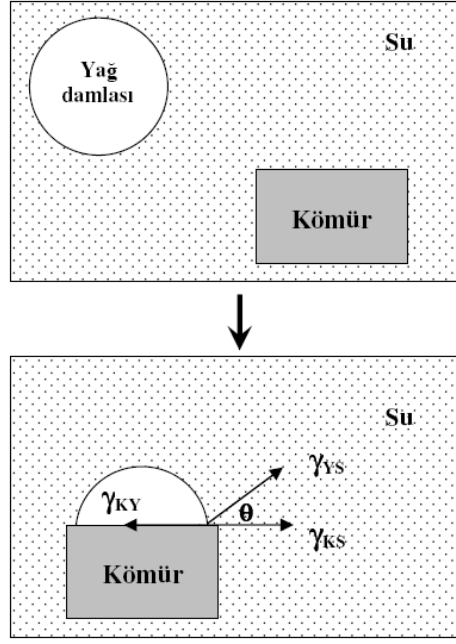
Aglomerasyon tekniğinin başarısı kullanılan yağın türüne ve miktarına son derece bağlıdır. Miktar ve tür seçiminde kömür rankının, tane boyutunun ve nem içeriğinin mutlaka dikkate alınması gerekir. Genellikle kül giderimi açısından hafif yağlar linyitlerde diğer kömür örneklerine göre daha iyi sonuç vermektedir. Düşük ranklı kömürler düşük hidrofobik özelliğe sahip olduklarından, böyle kömürlerin aglomerasyonunda, kullanılacak olan aglomerasyon yağının seçimi, özel ve sistematik bir çalışmayı gerektirir (Şahinoğlu, 2006).

Aglomerasyonda kullanılan yağların su içerisinde çözünememelerinden ve oldukça yüksek vizkozitelerinden dolayı kömür partikülleri ile temasa geçebilmeleri oldukça zordur. Bu nedenle, bu tür yağların çok küçük damlacıklar halinde dağıtılmaları gerekmektedir. Sistem içindeki damlacık sayısının artması, kömür partikülleri ile yağ damlaları arasındaki çarpışmayı arttıracaktır. Böylece, sistem içerisinde iki temel olay meydana gelecektir; dağılma ve yapışma. Bu iki olay, mekanik karıştırmanın şiddeti ile etkilenir. Mekanik karıştırma, yağın dağılmasını sağlar. Bununla beraber, yağ-su emilisinin yalnızca mekanik karıştırma ile elde edilmesi stabil değildir. Yüzey aktif reaktiflerin yağın dağıtılmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Ancak, flotasyon ve aglomerasyon gibi yöntemlerin performansı üzerine etkisi oldukça karışıktır. Yağ aglomerasyonunda, ince taneler halinde dağılmış kömür ve su karışımından oluşan

süspansiyona ilave edilen yağ, yağ sever özellik gösteren ve yağ ile ıslanabilen kömür taneleri için bağlayıcı bir sıvı ortamı oluştururken, su ile ıslanabilen mineral maddeler için de ayırıcı bir ortam oluşturmaktadır. Ancak, bu ortamların oluşması süspansiyonun karıştırılma süresine ve hızına bağlıdır (Kılınç, 2000).

Bağlayıcı sıvı ile tanecikler arasında oluşan bağlar zayıf olup taşınma sırasında hemen dağılılabılır. Bu nedenle sağlam aglomerat elde etmek için kuvvetli mekanik enerji uygulaması gereklidir. Aglomeratların pekişmesi ve küreselleşmesi aglomeratların birbirine ve bulunduğu kabın iç yüzeyine defalarca çarpması ile sağlanır. Yağ yoğunluğu ve viskozitesi arttıkça karıştırma süresinin de arttığı görülmüştür. Genellikle karıştırma şiddeti arttırıldığında daha iyi aglomerat oluşumu sağlanırken, istenilen karıştırma süresi düşer (Şahinoğlu, 2006).

Su içinde dağılmış olarak bulunan fazlar, çarpışma, yapışma ve tekrar kopma alt prosesleri nedeniyle ilişkidirler. Bu proseslerin sonucunu, dağılmış fazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında, sisteme ilave edilen kimyasal maddeler de büyük ölçüde etkiler. Aglomerasyonun başarısı çarpışma ve yapışma alt proseslerinin başarı olasılığına bağlıdır. Çarpışma alt prosesi, suda dağılmış fazların; boyutu, sayısı, yoğunluğu ve şekli gibi özelliklerden etkilenir. Başarılı bir çarpışma, sonunda yapışma olsun olmasın, iki kömür tanesinin ya da kömür tanesi ile yağ damlasının birbirine yeterince yakın mesafeye gelmesidir. Başarılı bir yapışma için, iki tane ya da bir tane ile bir damla arasındaki ince su tabakasının aradan çekilmesi gerekir. Çarpışma olasılığı, esas olarak tanelerin fiziksel özelliklerinden etkilenirken, yapışma olasılığı hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri tarafından etkilenir. Yüzeyin kimyasal özellikleri, iki tane arasında yapışmanın olup olmayacağını belirler. Yağ aglomerasyonu yönteminde, sistemi denetim altında tutan en önemli parametreler, katı yüzeyinin özellikleri, katı miktarına bağlı olarak kullanılan bağlayıcı sıvı (yağ) miktarı, karıştırma şekli ve hızıdır. Katı yüzeyinin özellikleri, temas açısının ölçülmesi ile tespit edilebilir. Açının (θ) sıfırdan farklı bir değer alması, yüzeyin hidrofobluk derecesi hakkında bilgi verir. Örneğin kuvars için $\theta = 0^\circ$, teflon için $\theta = 90^\circ$ 'dir. Kömür ise, kömürleşme derecesine bağlı olarak, 60° civarında bir değer alır (Kılınç, 2000). Aglomerasyon tekniğinin etkinliği aglomerat büyüklüklerinin ölçülmesiyle de değerlendirilebilmektedir (Şahinoğlu, 2006). Şekil 2.15'de görüldüğü gibi, kömür yüzeyinin etrafında bulunan ve ıslanmasını sağlayan suyun, yağ damlaları ile yer değiştirmesi hakkında, hesaplanan serbest enerjiye bakılarak bir fikir edinilebilir (Kılınç, 2000).



Şekil 2.15. Yağ – Kömür Tanesi Yapışma Mekanizması (Kılınç, 2000).

Sıvı-katı-yağ gibi üç ara yüzeyin dengede olduğu durumdaki termodinamik durum Young eşitliği ile izah edilir.

γ_{YS} : Yağ-su ara yüzey gerilimi

γ_{KS} : Katı- su ara yüzey gerilimi

γ_{KY} : Katı-yağ ara yüzey gerilimi

Üç faz dengede olduğu zaman yüzey gerilimleri toplamı sifıra eşit olmalıdır.

$$\gamma_{YS} + \gamma_{KS} + \gamma_{KY} = 0$$

Yüzey gerilimleri dengesi de şöyle yazılabilir.

$$\gamma_{YS} \cdot \cos\theta = \gamma_{KY} - \gamma_{KS}$$

Katı yüzeyi ile yağ-su ara yüzeyi arasındaki açıya temas açısı denir. Temas açısı, mineral-su ara yüzeyi ile yağ-su ara yüzeyi arasında ölçülebilen bir değerdir. θ Açısı, yüzey gerilimleri cinsinden hesaplanırsa:

$$\cos\theta = [\gamma_{KY} - \gamma_{KS}] / \gamma_{YS} \text{ (Atak, 1990).}$$

Yukarıda verilen şekilde θ açısına bağlı olarak üç koşul oluşabilir;

1- $\theta < 90^\circ$ ise tane sulu faza geçme eğilimindedir.

2- $\theta = 90^\circ$ ise tane yağ/su ara yüzeyinde konsantre olma eğilimindedir.

3- $\theta > 90^\circ$ ise tane yağ fazına geçme eğilimindedir.

Üçüncü koşul sağlandığında küresel aglomerasyon oluşur. Bu durumda yağ/su ara yüzeyinde biriken taneler yağ fazına geçerek katı tanelerin yağ tarafından adsorpsiyonunu artırır. Eğer, birinci ve ikinci koşullar olursa taneleri ayırma verimi, tanelerin tutunacağı yüzey alanına bağlı olacaktır. Öyleyse; yağ aglomerasyonu yönteminin başarısı, katı tanelerin ve yağın yüzey özelliklerine bağlıdır. Eğer;

- a- Katı-su ara yüzey enerjisi yüksek,
- b- Katı-yağ ara yüzey enerjisi düşük,
- c- Yağ-su ara yüzey enerjisi yüksek ise işlem verimli olur (Şahinoğlu, 2006).

Termodinamik açıdan, yağ ve yanabilen kömür taneciklerinin ısıtılması için gerekli itici güç; sistemin toplam yüzey enerjisindeki azalmadır. Ayrıca, ara yüzey serbest enerjisi sıvı-sıvı ve sıvı-katı ara yüzey enerjileri ile de ilişkilidir. Bu sebeple aglomerasyon prosesi ile ilgili toplam ara yüzey serbest enerjisi, katı yoğunluğu, yağ konsantrasyonu, katının porozitesi, dağılmış olan taneciklerin ve yağ damlacıklarının yüzey alanı ve taneciklerin çarpışma derecelerine bağlıdır.

Antrasit ve bitümlü kömürler, daha yüksek katı-su ara yüzey enerjisine ve daha düşük yağ-katı ara yüzey enerjisine sahip olmaları nedeniyle aglomerasyona linyitlerden daha iyi cevap verirler. Çoğunlukla kömürdeki kil, jips ve kireçtaşı gibi hidrofilik kül mineralleri sulu ortamda kalırken nispeten hidrofobik olan pirit tanecikleri, aglomerasyonda kömür tanecikleri ile birlikte kazanılmaktadır. Bir desülfürizasyon tekniği olarak, yağ aglomerasyonunun etkinliğini artırmak için, uygun şartlarda pirit taneciklerinin hidrofobitesinin azaltılması gerekir. Bu amaçla kömür, potasyum permanganat, kostik soda ve benzeri yükseltgen kimyasallarla muamele edilerek veya uygun bakterilerin kullanıldığı biyokimyasal ön işlemlere tabi tutularak yapısındaki piritin belli bir dereceye kadar oksitlenmesi sağlanmakta ve böylece piritte daha hidrofilik bir karakter kazandırılmaktadır. Bu şekilde yapılmış ön işlemlerle, aglomerasyonla kömürde pirit gideriminin % 80'in üzerindeki değerlere çıkarıldığı belirtilmektedir (Şahinoğlu, 2006).

Yağ aglomerasyonun da sistem içinde dağılmış halde bulunan ortamların yüzey özelliklerini değiştirmek amacıyla, çeşitli yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler, kömür-su ve yağ-su ara yüzeylerine absorbe olarak, aglomerasyon mekanizmasının sonucunu etkilerler. Aglomerasyonda yüzey aktif maddelerin rolü oldukça komplekstir. Ara yüzeylerde oluşan adsorpsiyonun miktarı ve mekanizması, yüzey aktif maddenin tipi, konsantrasyonu, sisteme verilmiş şekli, sistemin karıştırılma hızı, kömür ve

yağ tanelerinin boyutu, kömürleşme derecesi gibi birçok parametreye bağlıdır. (Kılınç, 2000).

Yağ aglomerasyon tekniğinin geçmişi 1920'li yıllara kadar uzanmakta olup zamandan günümüze kadar giderek gelişmiştir. Trent yöntemi ilk yağ aglomerasyon yöntemi olup kömür için uygulanmıştır. Ticari olarak bu yöntem, kendisini çok hızlı bir şekilde kabul ettirmiştir. İlk tesis 1922 yılında Virginia'nın Alexandria bölgesinde kurulmuştur. Daha sonra 1926 yılına kadar Benton, Newark, Spokene ve Toledo'da tesisler kurulmuştur. 100 meshin altına öğütülmüş kömür tozlarından pülp yoğunluğu % 40 olacak şekilde süspansiyonlar hazırlanmış, kömür ağırlığının % 30'u kadar da fuel-oil kullanılarak 150 dev/dak hızla dönen bir karıştırıcı ile süspansiyon tank içerisinde karıştırılarak aglomerasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda elde edilen aglomeratların boyutu 25 mm'ye kadar çıkmakta olup % 4 kül içermektedir. Bu yöntemde işletme maliyeti çok yüksek olduğu için elde edilen temiz kömür, büyük kömür pazarlarında satılamamış, ancak briketlendikten sonra evlerin ısıtılmasında kullanılmak üzere süper yakıt olarak pazarlanabilmiştir. Bu yüksek maliyetten dolayı Trent yöntemi birkaç yıl sonra uygulamadan kaldırılmıştır. Trent tesislerinin kapanmasından sonra 1952 yılına kadar yağ aglomerasyonuna çok az ilgi gösterilmiştir (Hower vd., 2003; Şahinoğlu, 2006).

Trend yönteminden sonra Convertol Prosesi ortaya çıkmıştır. Convertol yönteminde şist parçacıklarının kömür topraklarından ayrılmasında santrifüjden, yararlanılmıştır. Optimum yağ miktarı ağırlıkça % 12-15 arasındadır. Convertol yönteminin en çekici tarafı 50 µm'nin altındaki kömür tanelerinin bile temizlenebilmesi ve düşük nem içerikli bir ürünün eldesine olanak vermesidir (Kural, 1991). Bu yöntemde, koyulaştırılmış şlam (% 40-50 katı) yağ ile karıştırılarak faz değiştirme karıştırıcısına beslenmektedir. Kömür yüzeyindeki su ile yağ yer değiştirerek faz değişimi oluştuktan sonra aglomera içeren süspansiyon yüksek hızlı santrifuj filtreye aktarılıp suya atılmaktadır. Convertol prosesiyle 3-4 ton/saatlik üretim seviyelerine çıkılmış, % 90 civarında kazanımlar elde edilmiş ve kömürlerin kül içerikleri yaklaşık % 50 civarında düşürülmüştür.

Küresel aglomerasyon yöntemi olarak da tanımlanan National Research Council of Canada (NRCC) yöntemi, 1960'lı yılların başlarında geliştirilmiştir (Hower vd., 2003). Kömür atıklarından kömürün kazanımının en önemli potansiyel uygulamalarından bir tanesidir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre en önemli farklılığı, nihai ürünün daha sıkı ve küresel olmasıdır. Ayrıca susuzlandırma bu yöntemde basitleştirilmiştir. Bu yöntemde aglomerasyon iki safhada gerçekleştirilir. Birinci safha mikro aglomerasyon safhasıdır. Bu

safhada kömür pülpi, % 4 oranında hafif yağ ile yüksek makaslama karıştırıcılarında karıştırılır. İkinci safhada ise mikro aglomeratlar elek üzerinde susuzlandırılır. Daha sonra ağır yağlar kullanılarak tambur veya disk peletleyicilerde büyük peletler oluşturulur. İkinci safhada kullanılan yağın miktarını, elde edilen aglomeratların nihai nemini ve boyutunu belirlediği görülmüştür. 6-12 mm boyutunda elde edilen peletlerin, nem içeriğinin basit gravite drenajı ile 12 saatte % 3-5 seviyesine indirilebileceği görülmüştür.

Shell prosesi (1970), 5 µm tane boyutuna sahip kömür tozlarının ağır yağlar eşliğinde 3 dakika süreyle 500 ve 200 dev/dak'da karıştırılmaları esasına dayanır ve böylece iri aglomeratların oluşumunun sağlanması amaçlanmıştır. Bu prosesin uygulanmasıyla katı yoğunluğu % 20, yağ harcanması % 9-15 olmak üzere % 95'lik bir kömür kazanımı, % 85-95 civarında da kül giderimi elde edilmiştir.

Olifloc prosesinde (1970), aglomerasyon işlemi flotasyon ve filtrasyon işlemleriyle birlikte uygulanmış ve 400 meshlik tane boyutuna sahip kömür örnekleri kullanılarak önemli derecede iyi sonuçlar elde edilmiştir. Olifloc yönteminde eleklerden yararlanılmıştır. Ancak bu proses pilot tesis aşamasını geçememiştir. Söz konusu pilot tesislerin, çalışma kapasitesi 15 ton/saat olup, mekanik herhangi bir problem doğurmuşlardır ancak maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle endüstriyel ölçekte uygulama imkanı bulamamıştır.

Central Fuel Institute (CFRI) prosesi (1976), ile yıkanması güç ve kok yapılamayan kömürlerin temizlenmesi amaçlanmış, Hindistan'da Dhanbad'daki Merkezi Yakıt Araştırma Enstitüsü (CFRI) tarafından geliştirilmiştir. Bu prosesde, ince kömür pülpi (-100 µm) önce kolloid değirmenlerde % 2 mazot oranı ile 2 dakika kondisyonlanmış ve sonra % 8-12 ağır yağ ile karıştırılmıştır. Bu yöntemde yıkama devresi ara ürünü ve diğer yüksek küllü kömürleri temizlerken daha ince öğütülmüş beslemeye (% 80'ni -100 µm) ihtiyaç duyulmuştur. Bu durumdan dolayı kondüsyonlama öğütme sürecinde yapılmıştır. Süspansiyonun pH'ı istenilen değerlere kireç, Na₂CO₃ ve asit gibi reaktiflerin eklenmesiyle önceden belirlendiği seviyede sıkı bir şekilde kontrol edilmiştir. Bu yöntem ile pH ve kondüsyonlamanın verim ve kül uzaklaştırma üzerinde etkisi incelenmiştir. Ayrıca en iyi pülpi yoğunluğunun % 15-20 arasında olduğu belirtilmiştir.

Diğer yöntemlerde eleştirilen konulardan birisi yüksek enerji tüketiminin olmasıdır. Yapılan araştırmalarla enerji tüketimini azaltmak için, düşük vizkoziteli yağların kullanılması ve ağır yağların ısıtılmasının gerektiği bulunmuştur. Broken Hill Proprietary (BHP) Prosesinde (1976), enerji tüketim çalışmaları üzerinde durulmuştur. Yöntemde,

enerji tüketimini azaltmanın, yağın kömür pülpüne karıştırılmadan önce bir jet emülsiferi kullanarak yağ fazının verimli şekilde emülsifikasyonu ile olacağı iddia edilmiştir. BHP yönteminde, yağ aglomerasyonuna tabi tutulmuş pülp elek üzerine beslenir. Elek üzerinde, topaklanmış ürünün üzerinden kül mineralleri içeren tanelerin uzaklaştırılması için fiskiye su ile yıkama yapılmıştır. Yaklaşık % 30 nem içeren bu ürün stoklarda stoklanmış ve kısa bir zaman sonra drenaj ile nem içeriği yaklaşık % 10'a düşürülmüştür. Bu yöntemde % 7-10 kül içeriği ve % 85-90 ağırlıkça kömür kazanımı için yağ tüketiminin % 8-10 kadar olduğu belirtilmiştir (Şahinoğlu, 2006).

2.7.2. Yağ Aglomerasyonu ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Uçbaş ve Hoşten (1989), Zonguldak-Çatalağzı lavvarında alınan flotasyon girdisi brüt kömür ve jig çıkışı ara ürününün aglomerasyonunu çalışmışlardır. Her iki numune için bağlayıcı yağ miktarının ve türünün, süspansiyondaki katı oranının ve tane boyunun, aglomerasyonun performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin boyutu 0,147 mm (100 mesh) ve 0,074 mm (200 mesh) in altına indirilmiştir. Aglomerasyon deneylerinde bağlayıcı yağ olarak gazyağı ve kok fırını yan ürünü olan solvent nafta kullanılmıştır. Deneyler 1 litrelik silindir cam kap içerisinde yapılmıştır. Karıştırma hızı 500 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Gerekli dağılmayı sağlamak için 5 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra istenilen miktarda bağlayıcı yağ süspansiyona ilave edilmiştir. Karıştırmaya 30 dakika daha devam edilerek aglomeratların oluşması ve büyümesi sağlanmıştır. En uygun yağ miktarı -100 mesh'lik numune için % 12-14 düzeyinde iken, 200 mesh'lik numune için gerekli yağ konsantrasyonu % 22'dir. Deneylerde % 30 katı oranının üzerinde bile aglomerasyonun mümkün olduğu görülmüştür. - 100 mesh flotasyon brüt kömür numunesi için % 10 katı oranında yapılan deneyde gazyağı miktarı % 14 alındığında yanabilir madde randımanı % 79,7, aglomerat külü % 10,14 bulunmuştur. Sonuç olarak kullanılan yağ miktarının aglomeratların kül miktarını belirlediği, aglomeratların kül miktarının katı oranındaki değişimlerden etkilenmediği, tane boyutu küçüldükçe daha düşük küllü aglomeratların elde edilebildiği, gazyağı ve solvent naftanın aynı düzeyde etkili olduğu ve aglomerasyonun flotasyona göre daha küçük küllü kömür üretebildiği ortaya konulmuştur.

Çuhadaroğlu ve Özdağ (1996), Zonguldak lavvarından alınan - 0,5 mm 'lik kömürün flotasyon ve yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliğini incelemişlerdir. Deneylerde

şartlandırma süresi, yağ tipi ve miktarı, katı konsantrasyonu, karıştırma hızı, aglomerasyon zamanı pülp sıcaklığı gibi parametrelerin aglomerasyona olan etkileri araştırılmıştır. Optimum aglomerasyon şartları için, numune boyutu - 0,074 mm, bağlayıcı yağ olarak kerosen, dizel yağı, fuel oil, ve heptan, yağ miktarı % 20, katı konsantrasyonu % 10, kıvamlandırma süresi 15 dakika, karıştırma hızı 500 dev/dak, aglomerasyon süresi 15 dakika ve pülp sıcaklığının da oda sıcaklığında (20°C) olması gerektiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerde, kerosenle % 85,7 yanabilirlik verimi ve % 10,3 kül, dizel yağı ile % 89,2 yanabilirlik verimi ve % 10,0 kül, fuel oil ile % 91 yanabilirlik verimi ve % 13,8 kül, heptan ile % 84 yanabilirlik verimi ve % 9,4 kül değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak yağ aglomerasyonunun flotasyona göre daha iyi verim ve düşük küllü ürünler verdiği ama daha yüksek maliyete ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

Ünal (1999), kömürün yağ aglomerasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yağ tipinin, yağ miktarının, karıştırma süresinin, karıştırma hızının, katı içeriğinin parçacık boyutunun, yıkama suyunun ve kömür tipinin kalite ve geri kazanıma olan etkilerini incelemiştir. Bağlayıcı yağ olarak toluen, ham petrol, hegzan + toluen, gazyağı + toluen, hegzan, dizel yağı, gazyağı kullanılmıştır. % 15'lik yağ miktarında hegzan + toluen en uygun kalite ve geri kazanımı sağlanmıştır. Gazyağı ve ham petrol miktarı arttıkça geri kazanım ve kalite değeri de artmış, dizel yağında ise geri kazanım artarken kalitede bir değişim olmamıştır. Karıştırma hızı 3000 dev/dak, karıştırma süresi ise gerek geri kazanım, gerekse kalite değerlerindeki optimum dağılım nedeni ile 3 dakika olarak belirlenmiştir. Katı içeriği süspansiyonun % 5'inden % 30'una kadar artırılmıştır. Geri kazanım değerlerinde dikkate değer bir değişim elde edilmezken, kalite değerleri süspansiyondaki katı içeriği arttıkça azalmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin parçacık boyutu - 63 µm'dur. Parçacık boyutunun etkisinin incelenmesi için ise dört farklı elek altı ürün (- 38, - 45, - 53 ve - 63 µm) kullanılmıştır. Bağlayıcı yağ olarak gazyağı kullanılıp miktarı % 15'den % 30'a arttırıldığında kalite değerleri artmış, parçacık boyutu küçüldükçe kalite değerleri küçülmüştür. Aglomerasyon sonucu elde edilen aglomeratlar yıkanmıştır ve yıkama suyu miktarının artmasıyla kalitede artmıştır. Aglomerasyonda kül giderme etkinliğinin, bitümlü kömürlerde, düşük ranklı kömürlere nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Oluşan aglomeratlar farklı tane boyu aralıklarında (250, 180, 150, 106 ve 75 µm) sınıflandırılmıştır. 180-250 µm aralığındaki aglomeratların kül içeriğinin düşük olduğu ve aglomerat boyutu küçüldükçe kül içeriklerinin arttığı belirlenmiştir.

Cebeci vd. (2000), Zonguldak bitümlü kömürün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde, bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun, aglomerasyon zamanının, pH'ın ve çeşitli tuzların etkilerini incelemiştir. Deneyde kullanılan numunenin boyutu - 0,6 mm dir. Bağlayıcı sıvı olarak kerosen kullanılmıştır. Katı oranı % 3,5'dir. Karıştırma hızı 500 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Kullanılan tuzlar ise metalik tuzlardan FeSO_4 , NaCl , FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'tür. NaCl konsantrasyonu arttıkça yanabilirlik verimi de artmıştır. FeCl_3 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ konsantrasyonundaki artışla verimde önemsiz düşmeler meydana gelmiştir. FeSO_4 konsantrasyonu arttıkça aglomerasyon veriminde çok önemli derecede düşüş kaydedilmiştir. Optimum bağlayıcı sıvı konsantrasyonu % 20, pH 7,5 ve aglomerasyon süresi de 15 dakika olarak belirlenmiştir.

Ünal vd. (2000), yüksek kül içeriğine sahip (% 18,47) Zonguldak kömüründen yağ aglomerasyonu ile mineral maddelerin uzaklaştırılma olasılığını incelemiştir. Yağ aglomerasyonu yöntemi ile elde edilen sonuçlar, ağır ortam ayırmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bağlayıcı yağ olarak gazyağı, dizel yağı ve Kerkük ham petrolü kullanılmıştır. Yağ aglomerasyonuna yağ miktarı, katı içeriği, karıştırma hızı ve süresi, parçacık boyutu ve yıkama suyu miktarının etkisi araştırılmış, uygun koşulların belirlenmesinde bağlayıcı yağ olarak gazyağı kullanılmıştır. Gazyağı miktarı kullanılan toplam kömürün % 15'i olarak alındığında, aglomeratın geri kazanımı % 98,99 ve kül içeriği % 8,32 olmuştur. Gazyağı, dizel yağı ve Kerkük ham petrolünün Zonguldak kömürünün aglomerasyonu için iyi bağlayıcı yağ olduğu ve bağlayıcı yağ miktarının en önemli parametre olduğu saptanmıştır.

Cebeci ve Canpolat (2001), Ukrayna kömürünün yağ aglomerasyonu için karakteristik eğrisini belirlemiştir. Öncelikle aglomeratların boyut dağılımına, aglomerasyon süresinin, karıştırma hızının, bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun ve oksidasyonun etkileri incelenmiştir. Aglomeratların kümülatif elek altı eğrilerinden d_{50} değerleri tespit edilmiş ve yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak değişimi yorumlanmıştır. Deney bulgularının boyutsuz formda ifade edilmesinden, kümülatif elek altı eğrilerinin şeklinde değişme olmadığı belirlenmiştir. Bu durum aglomeratların boyut dağılımının kendini koruyan davranış gösterdiği ortaya konulmuştur. Aglomeratların bu özelliğinden yararlanılarak, genel karakteristik eğri belirlenmiş ve bu eğrinin eşitliği verilmiştir. Karakteristik eğri şeklinin, karıştırma hızı, bağlayıcı sıvı konsantrasyonu ve aglomerasyon süresine bağlı olarak değişmediği fakat oksidasyondan etkilendiği ortaya konmuştur.

Canpolat (2003), Zonguldak Taşkömürünün yağ aglomrasyonu ile temizlenebilirliğini incelemiştir. Deneylede optimum koşullar; pH: 7,94, karıştırma hızı: 1000 dev/dak., bağlayıcı sıvı oranı: % 25, katı oranı: % 5, kondisyonlama süresi: 5 dak, aglomerasyon süresi:15 dak. olarak bulunmuştur. Optimum koşullarda yapılan deneyde % 97,44 yanabilir verim ve % 30,06 kül atımı değerine ulaşmıştır.

Gürses vd. (2003), iki Türk linyitinin aglomerasyonunu incelemiştirlerdir. Deneylede katı konsantrasyonunun, yağ miktarının ve aglomerasyon süresinin, oluşan aglomeratların sülfür, kül içeriklerine ve aglomerat verimlerine olan etkileri incelemiştirlerdir. Tane boyutu - 425 µm'dir. 5 dakika kıvamlandırma yapılmış ve karıştırma hızı kıvamlandırmada 1100 dev/dak, aglomerasyon da ise 700 dev/dak seçilmiştir. Her iki linyitte katı konsantrasyonu % 1,5-7,5 arasında değiştirilmiştir. Her ikisinde de katı konsantrasyonu arttıkça verim artmış, kül ve sülfür içeriği azalmıştır. En iyi sonuçlar % 7-7,5 arasında elde edilmiştir. Her iki linyit için yağ miktarı % 2-14 arasında değiştirilmiştir. Yağ miktarı % 10-12 arasında her iki linyit için verim artmıştır. Yağ miktarı arttıkça kül ve sülfür içeriklerinde azalma meydana gelmiştir. Her iki linyit için aglomerasyon süresi 2-14 dakika arasında değiştirilmiştir. Aglomerasyon süresi arttıkça verimde gözle görülür bir artış gözlenmiştir.

Yağ aglomerasyonu yönteminin en büyük dezavantajı olan yağ maliyetini ortadan kaldırma amacıyla atık yağların aglomerasyon işleminde kullanılması yönünde dünya literatüründe oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Xu vd. (1991), lavvarın tikner alt akımı atıklarını, atık motor yağı ile aglomerasyona tabi tutmuş, kuru-külsüz kömür bazında % 2,3, % 4,7 ve % 9,2 atık motor yağı kullanarak, sırasıyla % 61,1, % 71,7 ve % 83,1 organik madde verimleri ile % 56,1, % 41,39 ve % 43,17 oranlarında kül azalması sağlamıştır.

Saripalli vd. (1995), atık motor yağlarının, içlerindeki kurşun, kadmiyum gibi metaller sebebiyle, aglomerasyonda kullanılmalarının, elde edilen kömürün kalitesi üzerinde problem oluşturma ihtimali üzerinde çalışma yapmışlardır. Lavvarın tikner alt akımı atıklarından, yaklaşık % 1 gibi düşük oranda atık motor yağı kullanarak, % 85,5 organik madde verimiyle, külün % 90,8'ini, kurşunun % 83'ünü ve kadmiyumun % 88'ini uzaklaştırarak, atık motor yağlarının, düşük oranlarda kullanıldıklarında elde edilen temiz kömür kalitesini olumsuz etkilemedikleri gibi, tam aksine, toksik metallerin uzaklaştırılmasında da çok başarılı olduklarını ortaya koymuşlardır.

Valdes ve Garcia (2006), defalarca kızartma amacıyla kullanılmış atık zeytinyağı ve atık ayçiçeği yağı ile atık zeytinyağı karışımını kullanarak, % 5 atık yağ oranıyla, kalorifik

değeri 1832 kcal/kg, kül içeriği % 71,84 olan lavvar atıklarının külünü yaklaşık % 60 oranında azaltarak 5600 kcal/kg'lık temiz kömür elde etmişlerdir.

Valdes vd. (2007), atık bitkisel yağların bazı yapısal ve fiziksel özelliklerinin aglomerasyondaki performans düzeylerini etkilediklerini ortaya koymuşlardır.

Kömürün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesine yönelik çalışmalara günümüzde de yoğun bir şekilde devam edilmektedir.

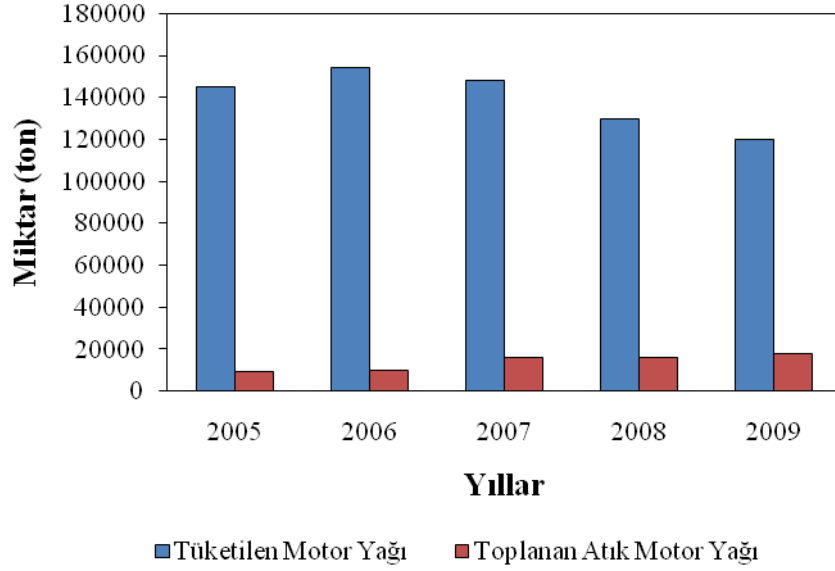
2.8. Türkiye’de Atık Motor Yağı Potansiyeli

Ülkemizde, atık bitkisel yağların ne şekilde işlem göreceği ve değerlendirilebileceği sırasıyla ‘‘Atık Bitkisel Yağların Kontrolü Yönetmeliği’’ ve ‘‘Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği’’ ne göre belirlenmiştir. Bu yönetmeliklerle atık yağlar ile atık yağların işlenmesi sonucu ortaya çıkacak atıkların çevreye zarar verecek şekilde depolanması, taşınması, yerüstü-yer altı sularına, denizlere, kanalizasyona ve toprağa verilmesi, mevcut düzenlemeler ile belirlenen sınır değerleri aşarak hava kirliliğine neden olacak şekilde yakılması yasaklanmış olup, bu atık yağların ürün geri kazanımı amaçlı işlenmesine ve lisanslı endüstriyel tesisler tarafından ilave yakıt olarak kullanılmasına izin verilmiştir (Uslu ve Şahinoğlu, 2010).

Türkiye’de 2009 yılında 120 bin ton civarında motor yağı kullanılmakta olup geri kazanım veya bertaraf amacıyla toplanan motor yağı miktarı sadece 18 bin tondur. 2009 yılında atık motor yağların sadece % 15’lik kısmı toplanabilmiştir. % 85’i ise yasal olmayan kullanıma, kanalizasyona ve toprağa gitmiştir. Toprağa, denizlere, nehirlerle ulaşan atık yağlar gerek insan sağlığı, gerekse diğer canlılar açısından tehdit oluşturmaktadır. 1 litre kullanılmış motor yağı, 800 bin litre içme suyunu kullanılmaz hale getirmektedir (URL-4, 2010).

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre atık motor yağları, içindeki bazı elementler ve bileşiklere göre I. Kategori, II. Kategori ve III. Kategori olarak sınıflandırılmıştır. Bu üç kategoriye giren yağlardan atıklık derecesi en düşük olan I. Kategori atık yağların rafine etme ve yeniden üretim yolu ile geri kazanılmasına, II. Kategori atık yağların mevcut yakıtı ilave yakıt olarak kullanılmasına izin verilmiştir. III. Kategori atık yağların ise tehlikeli atık olarak yakılması zorunludur. I. Kategori ve II. Kategori atık yağlar ile I. Kategori atık yağların geri kazanımı işlemleri sonucunda ortaya çıkan, standartlara uygun olmayan ürünler, çimento fabrikaları, alçı fabrikaları, kireç

fabrikaları, kil kurutma fırınları, demir-çelik yüksek fırınları, enerji santralleri ile atık yakma tesislerinde mevcut yakıtı ilave olarak kullanılabilir. Türkiye’de atık motor yağlarının toplanması, işlenmesi ve bertarafıyla ilgili olarak yönetmelik gereğince T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından motor yağı üreticileri adına Petrol Sanayi Derneği (PETDER) yetkilendirilmiştir. PETDER, 2004 yılından itibaren atık motor yağlarını toplamakta ve anlaşması bulunduğu lisanslı kuruluşlara vererek bu yağların bertarafını, ilave yakıt olarak kullanımını veya rafine etme ve yeniden üretim ile geri kazanımını sağlamaktadır (Uslu ve Şahinoğlu, 2010).



Şekil 2.16. Türkiye’de Tüketilen ve Toplanan Atık Motor Yağı Miktarları (URL-4, URL-5, URL-6 ve URL-7, 2010).

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada gerek piritik kükürt içeriğinin gerekse kırılğan yapısı sonucu toz boyut fraksiyonunun fazla olması sebebiyle Müzret (Yusufeli – Artvin) kömürü kullanılmıştır.

3. 1. Müzret Kömürünün Özellikleri

3.1.1. Müzret Bölgesinin Genel Jeolojisi




Müzret kömür sahası, Artvin iline bağlı Yusufeli ilçesinin 10 km güneybatısında bulunmakta ve Tortum G47 a2 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yerbulduru haritası

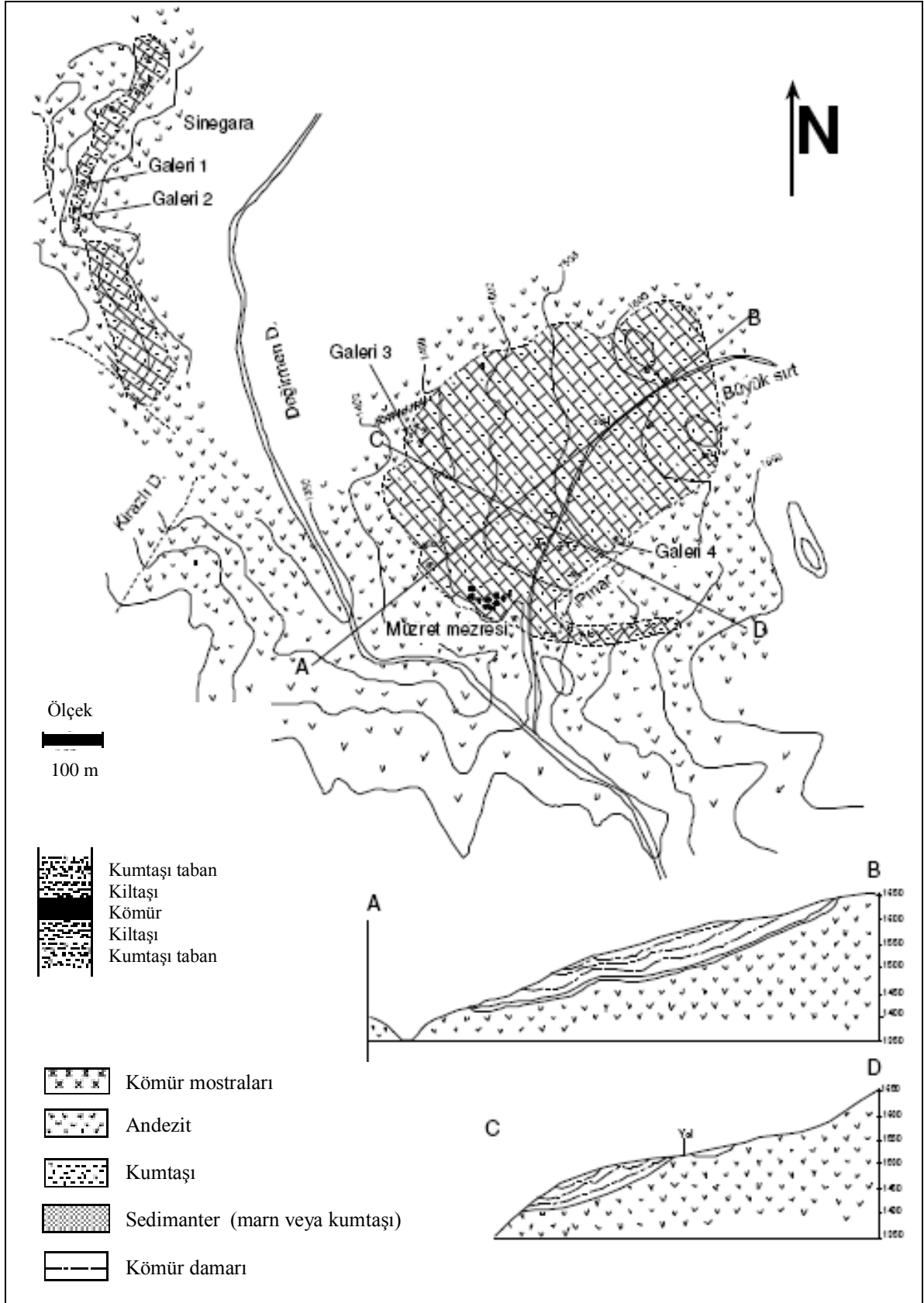
Bölgede temel kayalar, metamorfik kayalar ve bunlara sokulum yapmış granitoidler oluşturmaktadır. Bu temel üzerine uyumsuz olarak volkano-sedimanter kayalardan oluşan Liyas-Dogger ve Üst Jura-Alt Kreteze yaşlı birimler gelmektedir (Korkmaz ve Baki, 1984; Saraloğlu vd., 1992; Kandemir, 1998). Liyas-Dogger yaşlı Hamurkesen formasyonunun en üst kesiminde 10-30 m kalınlığında şeyl, kiltası, kumtaşı ve ara katmanlarda kömür içeren bir istif bulunmaktadır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).

Bölgede yaklaşık 250000 ton kömür rezervinin olduğu tahmin edilmektedir (Gökmen vd., 1993). Kömürlü seviyenin üzerinde 15-50 m arasında değişen örtü tabakası bulunmaktadır (Zengin, 1955).

Ü. SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
MUSOZOİK	JURA - KRETASE	Üst Jura - Alt Kretase	Berdigea		Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, resifal kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı
		Liyas - Dogger	Hamurkesen		Kömür mercikleri içeren şeyl, kiltası, kumtaşı ardalınması Volkano tortul seri (Andezit-bazalt lav ve kireçtaşı, kumtaşı, piroklastikleri ve kil)
PALEOZOYOİK	TEMEL				Uyumsuzluk Metamorfik Temel ve Granitoid

Ölçeksiz

Şekil 3.2. Yusufeli bölgesinin genelleştirilmiş jeolojik kesitteki kömür damarlarının konumu (Alp vd., 2004).



Şekil 3.3. Yusufeli- Müzret mevkii jeolojik haritası (Zengin, 1955).

Havza Doggerde dolmuş ve tekrar sığlaşmıştır. Bölge geç Doggerde tekrar deniz ortamına dönmüş ve Alt Kretase sonuna kadar karbonat çökelmiştir (Korkmaz, 1995). Bölgedeki kömür mostraları zaman zaman denizle irtibatlı küçük havzalarda gelişmiştir. Sübsidans karakterde gelişen havzada çökelimin süratli olması kömürleşmenin gelişimini engellemiş ve bunun sonucunda ince kalınlıkta, kısa mesafelerde son bulan kömür damarları oluşmuştur (Çebi, 1998). Müzret yaylasında yerleşim alanı yakınlarında ve Sinagara tepesinde görülen kömür mostralarında kömür kalınlıkları 0,5–3 m arasında değişen ve aralarında kıltaşı seviyeleri bulunan 3 damar halinde bulunmaktadır. Tabanda kıltaşı tabakaları ve tavanda ise tuf-kumtaşı karakterli tabakalar bulunmaktadır (Şekil 3.2). Kömürlü zonun toplam kalınlığı 15 m kadardır. Müzret mezrası sedimanter sahası 0,25 km² lik bir alan kaplamaktadır (Alp vd., 2004).

Müzret mezrası batısında ve 500 m mesafede bulunan Sinagara mevkisi bölgenin devamı olarak gözükmektedir. Arada bulunan bölgenin aşınma sonucu kaybolmuş olması kuvvetle muhtemeldir. Bölgenin şiddetli tektonik hareketler geçirmiş olması kömür damarlarının takip edilmesini zorlaştırmaktadır. Bölgede yaklaşık 250000 ton kömür rezervinin olduğu tahmin edilmektedir. Kömürlü seviyenin üzerinde 15-50 m arasında değişen örtü tabakası bulunmaktadır (Zengin, 1955).

3.1.2. Müzret Kömürünün Kimyasal ve Petrografik Özelliği

Yağ aglomerasyonu deneylerinin yapılması amacıyla, Müzret havzasından standart örnek alma yöntemlerine göre kömür örneği alınmıştır. Alınan kömür numunesinin miktarı konileme dörtleme yöntemi ve numune bölücü kullanılarak azaltılmış, kimyasal analizler yapılmıştır.

Tablo 3.1. Yusufeli-Müzret kömürlerinin petrografik bileşimi, hacimce % (Alp vd., 2004).

Maseraller (%)			Mineraller (%)		
71			29		
Vitrinit (%)	Eksinit (%)	İnertinit (%)	Pirit (%)	Kalsit-Kil (%)	Diğer min. (%)
55	8	8	15	12	2

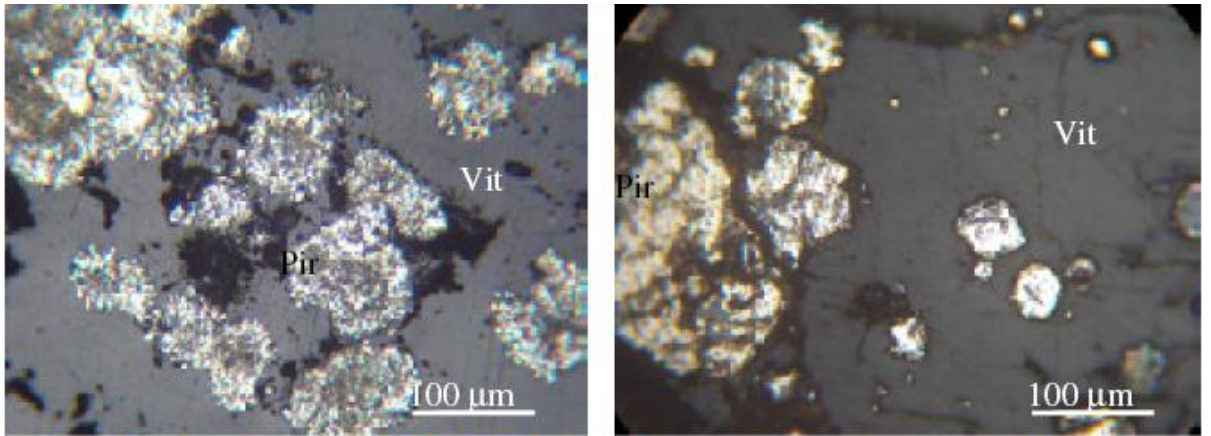
Deneysel olarak kullanılan örneğin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.2’de gösterilmektedir. Aynı kömür yatağı için daha önce yapılan petrografik ve mineralojik incelemeler, (Tablo 3.1 ve Şekil 3.4) kömürdeki miktar olarak en önemli mineralin pirit olduğunu göstermiştir. Gözlenen diğer mineraller ise kil, kalsit, kuvars, jips ve siderit’tir. Deneysel olarak kullanılan kömür tane boyutu analizi Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Yusufeli-Müzret kömürlerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru (105°C±5 °C)
Nem, (%)	4.30	-
Kül, (%)	17.06	17.83
Uçucu Madde, (%)	21.12	22.07
Sabit Karbon, (%)	57.52	60.10
Sülfat Kükürt, (%)	1.18	1.23
Piritik Kükürt, (%)	2.72	2.84
Organik Kükürt, (%)	3.09	3.23
Toplam Kükürt, (%)	6.99	7.30
Kalorifik Değer, (kcal/kg)	5647	5900

Tablo 3.3. Kömür tane boyu analizi

Tane Boyutu (mm)	-0,5+0,3	-0,3+0,106	-0,106	TOPLAM
Ağırlık (gr)	32,03	42,29	25,68	100,00



Şekil 3.4. Müzret kömürlerinin yansıtmalı ışıkta ve yağ immersiyonunda petrografik bileşenlerinin görünüşleri (Vit: Vitrinit, Pir: Pirit) (Alp vd., 2004).

3.2. Atık Motor Yağının Özellikleri

Aglomerasyon deneylerinde kullanılan atık motor yağı Renault servisinden alınmış olup Renault marka binek araçlarının dizel modellerinde kullanılan Elf Turbo Diesel 10W-40 motor yağının atığıdır. Atık motor yağının yoğunluğu Alla France tipi hidrometre ile belirlenmiştir. Viskozitesinin belirlenmesinde Tanaka AKV-202 viskometre kullanılmıştır.

Tablo 3.4. Deneylerde kullanılan yağların özellikleri

Türü	Rengi	Yoğunluğu, (kg/m ³)	Viskozite, (40°) (mm ² /sn)
Atık Motor Yağı	Siyah	(24°C) 882	96,57
Orijinal Motor Yağı	Koyu Sarı	(23,6°) 872	95,41

3.3. Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı

Aglomerasyon deneyleri öncesi kömür boyutu 0,5 mm' in altına indirilmiş ve deneyler -0,5 mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna ilave olarak da, tane boyutunun aglomerasyona etkisinin belirlenmesi amacıyla -0,3 ve -0,106 mm boyutunda kömür numuneleri de hazırlanmıştır. Aglomerasyon deneyleri için, iç çapı 11,7 cm olan silindirik cam bir kap kullanılmış olup, cam kap içerisine genişlikleri 1,1 cm olan 4 adet türbülans yaratıcı (baffle) koyulmuştur. Deneyler, IKA RW 20 tipi hızı ayarlanabilen bir mekanik karıştırıcı vasıtasıyla, saf su kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.5). Karıştırıcının pervane çapı 50 mm olup karıştırma işlemi kap tabanından 5 mm yükseklikte yapılmıştır.

İlk olarak kömür-su karışımları, 1000 dev/dak karıştırma hızında 5 dakika şartlandırılmıştır. Farklı oranlarda atık motor yağı ilave edilerek, kömür-su- atık motor yağı karışımları, önceden belirlenmiş sürelerde karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra pülp 0,5 mm boyutlu eleğe beslenerek aglomeratlar elek üstü olarak kazanılmıştır. Daha sonra yüzeylerine yapışan mineral maddelerin uzaklaşması için su ile yıkama yapılmıştır. Aglomeratlar, vakum filtreye konularak susuzlandırılmış (Şekil 3.6), 200 ml benzin ile yıkanarak da yağı arındırılmıştır. Son olarak etüvde 105°C ± 5°C'de kurutulmuş ve tartılmıştır (Şekil 3.7). Deneyler, kömür oranı, yağ oranı, aglomerasyon süresi, karıştırma

hızı, pülp pH'ı, kömür tane boyutu, yıkama suyu miktarı, aglomerat kazanım eleği boyutu değişkenlerin farklı değerleri için gerçekleştirilmiş olup aglomerasyon işleminin akım şeması ve deneylerin detayları sırasıyla Şekil 3.8 ve Tablo 3.5'de göstermektedir.

Kömür oranı ve yağ oranı sırasıyla, kömürün miktar olarak kömür – su karışımına oranı ve yağın miktar olarak kömüre oranı esasına dayanmaktadır.



Şekil 3.5. Deneyde kullanılan mekanik karıştırıcı



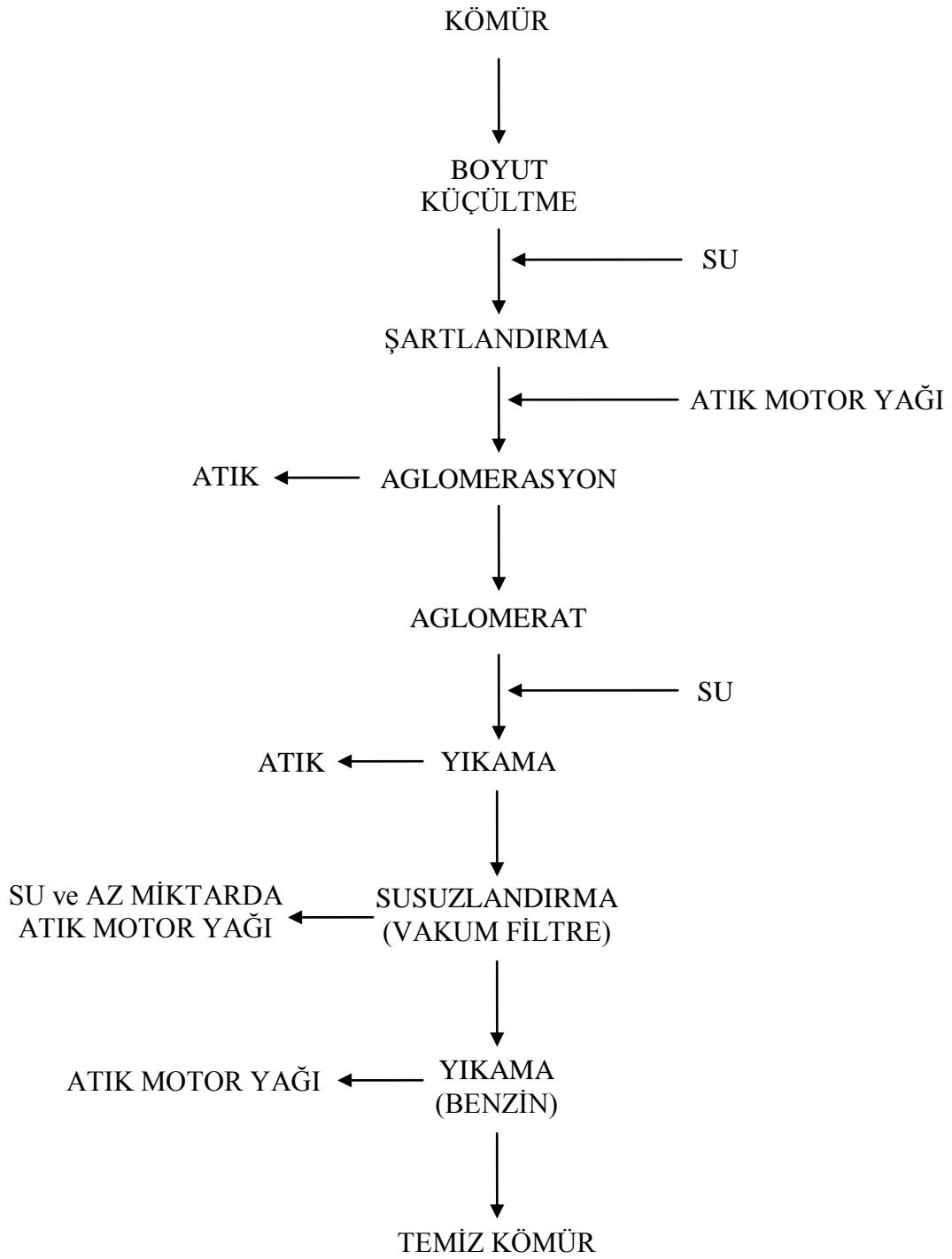
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan vakum filtre düzeneği



Şekil 3.7. Yağ aglomerasyonu sonucu elde edilen temiz kömür örnekleri

Tablo 3.5. Aglomerasyon Deney Koşulları

Değişkenler	Aglomerasyon Koşulları							
	Kömür Oranı, (%)	Yağ Oranı, (%)	Aglomerasyon Süresi, (dak)	Kömür Tane Boyutu, (mm)	Karıştırma Hızı, (dev/dak)	Pülp pH	Yıkama Suyu Miktarı, (lt)	Aglomerat Kazanım Eleği, (mm)
Kömür Oranı, (%)	5-30	10	10	0,5	1400	5,68	1,5	0,5
Yağ Oranı, (%)	10	5-25	10	0,5	1400	5,68	1,5	0,5
Aglomerasyon Süresi, (dak)	10	10	5-25	0,5	1400	5,68	1,5	0,5
Kömür Tane Boyutu, (mm)	10	10	10	0,106-0,5	1400	5,68	1,5	0,5
Karıştırma Hızı, (dev/dak)	10	10	10	0,5	1000-1600	5,68	1,5	0,5
Pülp pH	10	10	10	0,5	1400	4-10	1,5	0,5
Yıkama Suyu Miktarı, (lt)	10	10	10	0,5	1400	5,68	1,5-6	0,5
Aglomerat Kazanım Eleği, (mm)	10	10	10	0,5	1400	5,68	1,5	0,5-1



Şekil 3.8. Müzret kömürünün atık motor yağı aglomerasyonunun akım şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kömür Oranının Aglomerasyona Etkisi

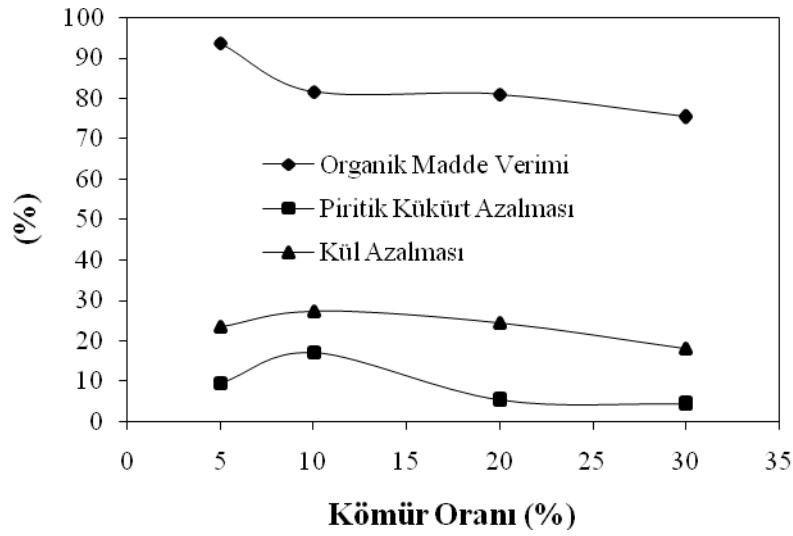
Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde, kömür oranı arttıkça organik madde verimi azalmaktadır. Kül azalması ve piritik kükürt azalması ise ilk başta artarken % 10 kömür oranlarından sonra düşmektedir. Ünal vd. (2000) ve Şahinoğlu ve Uslu (2008) da belirli kömür oranlarından sonra yabancı madde uzaklaştırma oranlarının düştüğünü bulmuşlardır.

Tablo 4.1. Kömür oranının aglomerasyona etkisi

Kömür Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
5	88,98	93,52	13,64	23,51	2,57	9,46	0,19	84,56
10	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
20	76,86	80,93	13,47	24,43	2,69	5,16	0,15	87,63
30	72,53	75,35	14,63	17,94	2,72	4,20	0,32	74,14

Kömürün atık motor yağı ile kaplanmasını sağlayan ‘‘kömür-yağ’’ temaslarını sayısı ve aglomeratların çoğalmasını sağlayan ‘‘yağla kaplı kömür-kömür temasları’’, kömür oranının artması ile birlikte artmıştır. Bununla birlikte birim hacimdeki kömür tanesi miktarındaki artış, seçimliliği azaltarak kül ve piritik kükürt azalmalarında düşüşe sebep olmuştur. Çünkü kömür taneleri üzerindeki veya arasındaki pirit ve diğer mineral maddeler fazla sayıdaki kömür taneleri arasında sıkışıp aglomeratlar arasında kalmışlardır.

Bu çalışmada daha önceki bir çok çalışmanın aksine, kömür oranının artması organik madde veriminde hiç artışa sebep olmamış üstelik organik madde verimi sürekli azalmıştır. Kömür oranının artmasıyla bağlayıcı sıvının kömür yüzeyini yeterince kaplamaması organik madde veriminin düşüşüne sebep olmuştur. Şahbudak (1998), çalışmasında benzer sonucu rapor etmiştir.



Şekil 4.1. Kömür oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

4.2. Yağ Oranının Aglomerasyona Etkisi

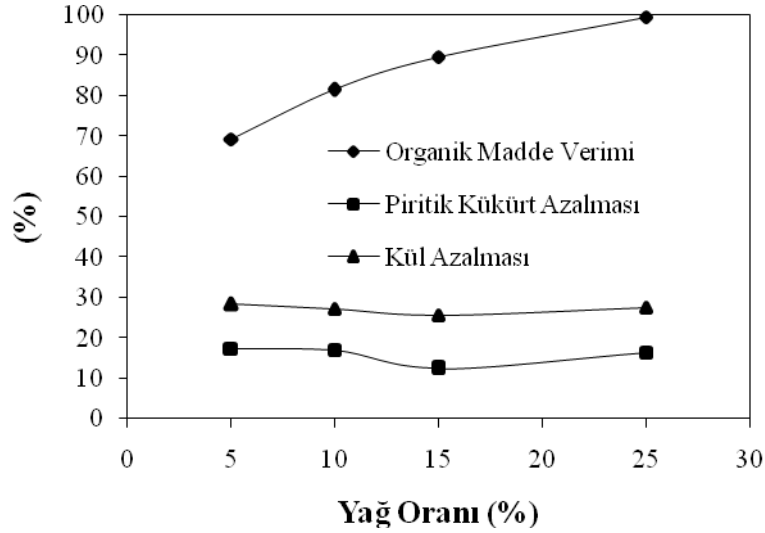
Tablo 4.2 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi yağ oranının artışıyla organik madde verimleri yüksek oranlarda artmıştır.

Bağlayıcı sıvı konsantrasyonu arttıkça organik madde verimindeki artış, kömür taneciklerinin bağlayıcı sıvı ile yeterince ıslatılması sonucu aglomera olan kömür miktarının artması ve tanecikler arasında sıvı köprüsü oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Bağlayıcı sıvı konsantrasyonu arttıkça, daha büyük boyutlu küresel ve sıkı aglomeratlar oluşmaktadır.

Tablo 4.2. Atık motor yağı oranının aglomerasyona etkisi

Yağ Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
5	65,27	69,29	12,77	28,38	2,34	17,44	0,2	84,05
10	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
15	84,88	89,60	13,26	25,62	2,49	12,40	0,13	89,10
25	94,03	99,65	12,91	27,62	2,37	16,40	0,17	86,48

Şahinoğlu ve Uslu (2008) benzer sonuçları rapor etmiştir. Kül ve piritik kükürt azalmalarının artan yağ oranıyla artışının sağlanamaması mineral maddelerin yüzeylerinin de yağ ile kaplanmaya başlaması ve seçiciliğin kaybolmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2. Atık motor yağı oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

4.3. Aglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi

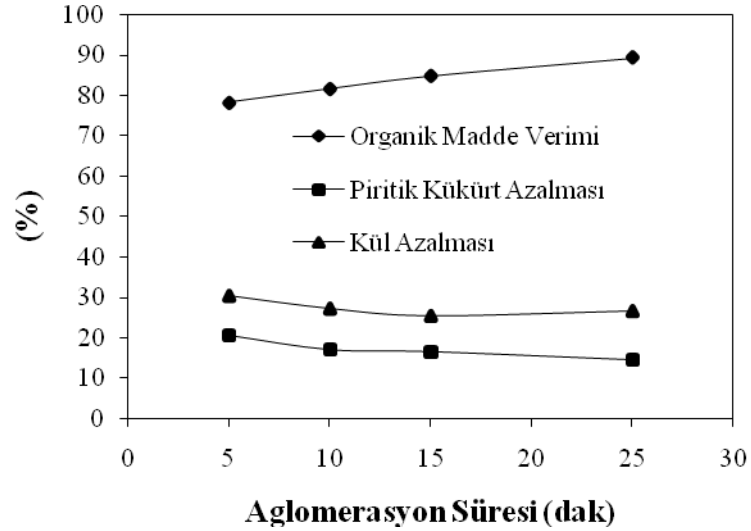
Tablo 4.3 ve Şekil 4.3’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde aglomerasyon süresi arttıkça organik madde verimi artarken kül azalması ve piritik kükürt azalması genel olarak düşmektedir.

Tablo 4.3. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi

Aglomerasyon Süresi (dak)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
5	73,34	78,16	12,42	30,32	2,26	20,55	0,13	89,27
10	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
15	80,30	84,73	13,29	25,44	2,37	16,46	0,16	87,28
25	84,36	89,23	13,08	26,62	2,43	14,41	0,27	78,07

Daha fazla karıştırma ile yağ pül içinde daha iyi dağılmış ve de kömür taneleri yağ ile temas etmek için daha fazla şans bulmuşlardır. Ayrıca, aglomerasyon süresi arttıkça aglomeratlar daha da kompaktlaşarak içlerindeki yağ damlacıklarının bir kısmını süspansiyona vermiş, bu yağ damlacıkları süspansiyondaki hidrofor kömür taneciklerini ve oluşan aglomeratları bir araya getirerek verimin artmasına neden olmuştur.

Yüksek karıştırma sürelerinde ise aglomeratlara pirit ve diğer mineral maddeler de dahil olmaktadır. Başka bir deyişle, zamanla pirit ve diğer mineral maddeleri de yağla kaplanmaya başlamaktadır. Bu da kül ve piritik kükürt azalmalarında düşüşler meydana getirmiştir. Uçbaş vd. (1997), Şahinoğlu ve Uslu (2008) ve Hacıfazlıoğlu (2008) çalışmalarında benzer sonuçları ifade etmişlerdir.



Şekil 4.3. Aglomerasyon süresinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

4.4. Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

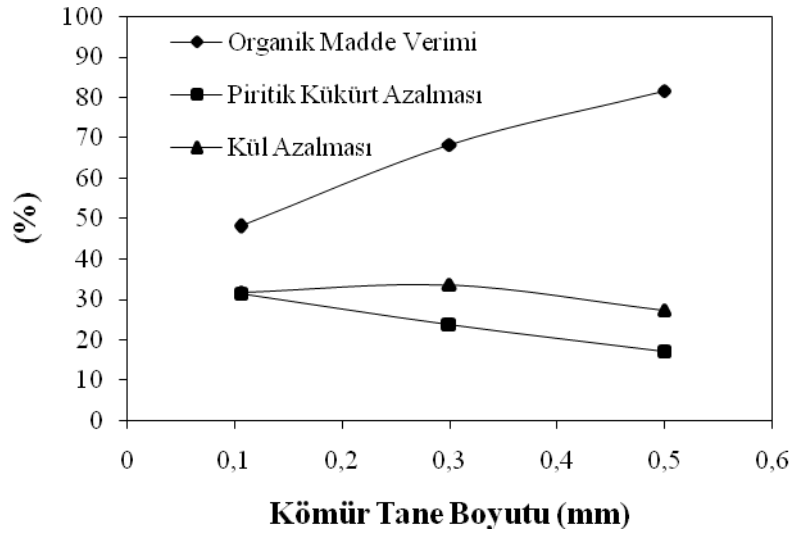
Tablo 4.4 ve Şekil 4.4’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde kömür tane boyutu büyüdükçe organik madde verimi artmaktadır. Bunun nedeni, küçük tane boyutlarındaki kömürler için, toplam yüzey alanı fazla olduğundan, atık motor yağı oranı yetersiz kalması, yeterince aglomerat oluşmaması ayrıca oluşan aglomeratların yeterince büyümemesidir.

Düşük tane boylarında kül ve piritik kükürt azalmalarının daha fazla olması kömür parçacıklarındaki pirit ve diğer mineral maddelerin daha fazla serbest hale gelmiş

olmasından kaynaklanmaktadır. Şahinoğlu (2006) kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi konusunda benzer sonuçlar rapor etmiştir.

Tablo 4.4. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi

Kömür Tane Boyutu (mm)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
-0,106	44,90	47,99	12,17	31,74	1,95	31,47	0,3	75,25
-0,3	63,66	68,29	11,85	33,55	2,17	23,73	0,25	79,63
-0,5	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76



Şekil 4.4. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

Ünal vd. (2000), düşük tane boylarında iri boyutlara göre daha iyi sonuçlar elde etmiş ve sebep olarak kömürün aglomerasyonunda parçacık boyutu küçüldükçe mineral maddelerin aglomerat içinde tutuklanma (hapsolma) olasılığı arttığını ve ayrıca çok küçük boyuttaki mineral maddelerin hidrofobik özellik gösterdiklerinden aglomere olabildiğini göstermiştir.

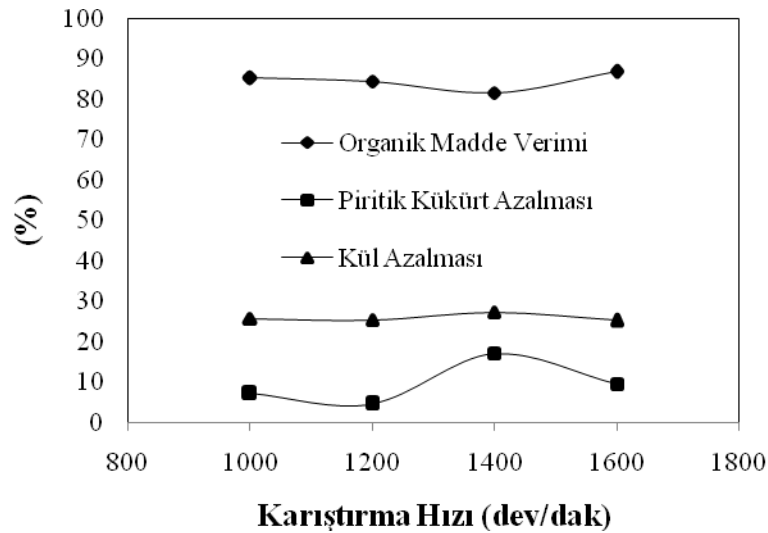
4.5. Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 4.5 ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi karıştırma hızının organik madde verimine etkisi diğer değişkenlerin etkilerine göre düşük olmuştur.

1400 dev/dak karıştırma hızında en düşük organik madde verimleri elde edilirken en yüksek kül ve piritik kükürt azalması oranları elde edilmiştir. Bu durum karıştırma hızının belirli düzeye çıkana kadar seçiciliğin arttığını ve artan hızlarda yağ damlacıklarına yapışan veya aglomeratlar arasına giren mineral maddelerin uzaklaştığını göstermektedir.

Tablo 4.5. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi

Karıştırma Hızı (dev/dak)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
1000	80,72	85,20	13,27	25,59	2,64	7,05	0,26	78,92
1200	79,88	84,26	13,32	25,31	2,71	4,55	0,21	83,09
1400	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
1600	82,25	86,74	13,34	25,17	2,57	9,34	0,17	86,40



Şekil 4.5. Karıştırma hızının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

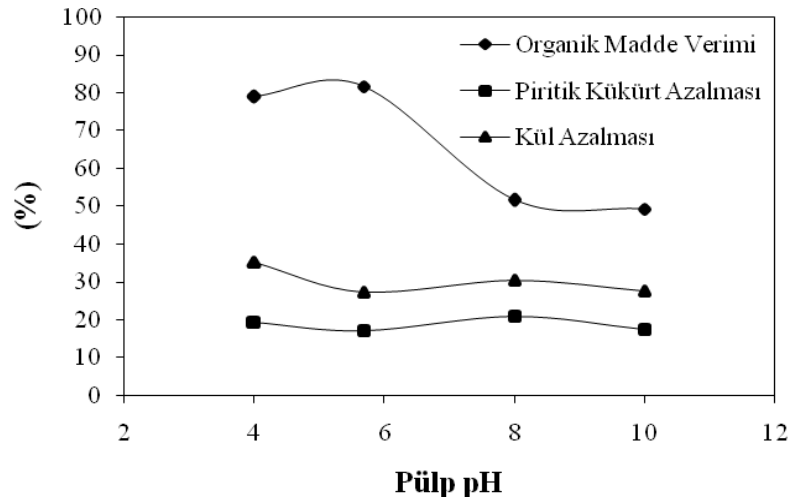
Mineral maddeler ile birlikte bir miktar kömüründe uzaklaşması organik madde verimini düşürmüştür. Hız daha da arttığında durum tersine dönmüş ve seçicilik kaybolmuştur.

4.6. Pülp pH'ının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 4.6 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde yüksek pH'larda organik madde verimi düşmektedir.

Tablo 4.6. Pülp pH'ının aglomerasyona etkisi

Pülp pH	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
4	73,25	78,81	11,58	35,05	2,3	19,18	0,31	75,17
5,68	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
8	48,31	51,50	12,4	30,44	2,25	20,89	0,16	86,91
10	46,34	49,11	12,91	27,6	2,35	17,28	0,15	87,98



Şekil 4.6. Pülp pH'ının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

Bu durum yüksek pH'larda kömür yüzeyinin negatifliğinin artmasıyla açıklanabilir. Atık motor yağı damlacıkları sulu ortamlarda negatif elektrik yüküne sahip olduğundan, atık motor yağı kömür yüzeyine yeterince yapışmamaktadır.

4.7. Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi

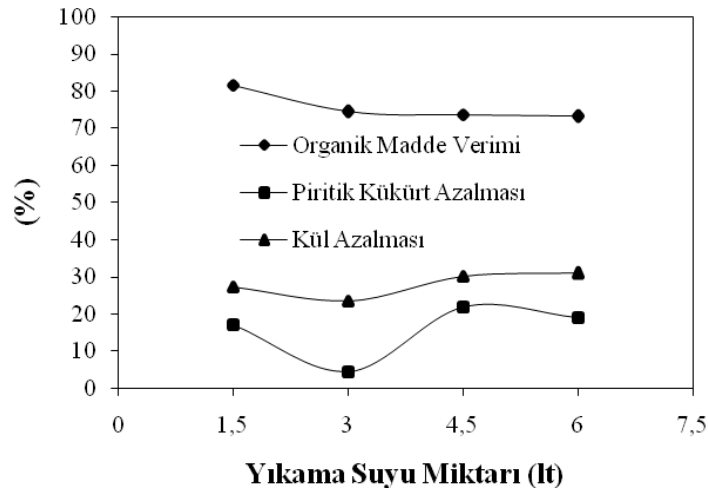
Tablo 4.7 ve Şekil 4.7'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde yıkama suyu miktarı arttıkça organik madde verimi giderek düşmektedir.

Bu durum aglomerat yüzeylerindeki ve aralarındaki pirit ve diğer mineral maddelerin yıkama suyu miktarının artışıyla daha fazla yıkanarak uzaklaştığını, fakat bu yıkama esnasında aglomeratların da artan suyun etkisiyle daha fazla parçalandığını göstermektedir (Şahinoğlu, 2006).

Tablo 4.7. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi

Yıkama Suyu Miktarı (lt)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
1,5	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
3	70,76	74,36	13,64	23,51	2,72	4,40	0,2	83,49
4,5	69,09	73,58	12,49	29,97	2,22	21,76	0,21	83,17
6	68,50	73,08	12,32	30,88	2,3	19,04	0,2	83,69

3 lt'lik yıkama suyu miktarlarından sonra kül ve piritik kükürt azalmaları da fazla olmaktadır. Yıkama ile ürünün kül içeriğinin düşmesi yani kalitenin yükselmesi, serbest haldeki minerallerin aglomeratlara fiziksel olarak yapışık haldeki minerallerin veya gözenekli aglomeratların büyük oyuklarında tutunmuş minerallerin su ile uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Ünal vd. (2000) yıkama suyu miktarının artışının aglomerasyona etkisi konusunda benzer sonuçları rapor etmiştir.



Şekil 4.7. Yıkama suyu miktarının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

4.8. Aglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

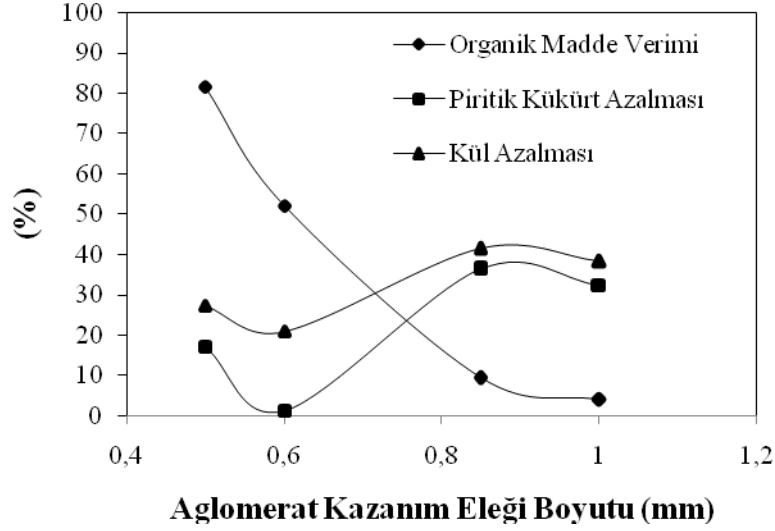
Tablo 4.8 ve Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, aglomerat kazanım eleği boyutu arttıkça organik madde verimi düşmektedir. Bu durum - 0,5 mm tane boyutundaki kömürlerden 0,85 mm ve 1 mm aglomerat kazanım eleklerinin üzerinde kalabilecek kadar büyük aglomeratların oluşmadığı şeklinde açıklanabilir.

Tablo 4.8. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi

Aglomerat Kazanım Eleği (mm)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
0,5	77,03	81,57	12,98	27,22	2,36	16,97	0,19	84,76
0,6	49,67	51,92	14,11	20,85	2,8	1,29	0,18	85,61
0,85	8,50	9,27	10,46	41,35	1,81	36,27	0,19	84,78
1	3,58	3,88	11,03	38,16	1,92	32,22	0,22	81,77

Büyük aglomerat kazanım eleği boyutlarında organik madde verimi az olmasına rağmen elde edilen aglomeratların kül ve pirit içerikleri de düşük olmaktadır. Bu durum pirit ve diğer mineral maddelerin yağ ile kömür arasına veya kömür taneleri arasına girerek büyük boyutlu aglomeratların oluşumuna engel olduğunun göstergesidir. Aktaş (2002),

Ünal ve Aktaş (2001), Gürses vd. (2003) ve Şahinoğlu (2006) bu konuda benzer sonuçları rapor etmişlerdir.



Şekil 4.8. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi

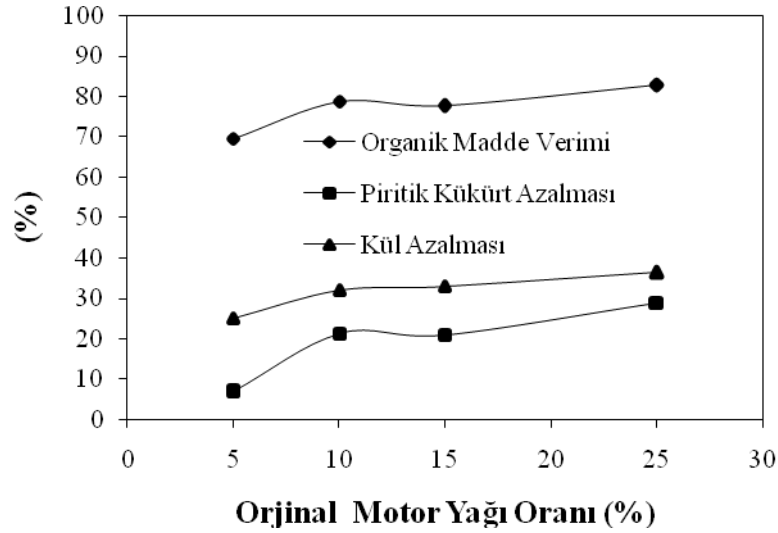
4.9. Orijinal Motor Yağının Aglomerasyondaki Etkinliğinin Atık Motor Yağının Etkinliği ile Karşılaştırılması

Tablo 4.9 ve Şekil 4.9’de görüldüğü gibi, organik madde verimi, kül azalması ve piritik kükürt azalması artan orijinal motor yağı oranlarıyla genel olarak artmıştır. Organik madde verimleri aynı koşullarda atık motor yağı ile elde edilen organik madde verimleri ile karşılaştırılırsa (Şekil 4.10) atık motor yağı ile genelde daha fazla verimin elde edildiği görülür. Sebebi atık motor yağının orijinal motor yağına göre yoğunluğunun ve viskozitesinin (Tablo 3.4) yüksek olmasıdır. Uçbaş ve Hoşten (1989) çalışmalarında benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

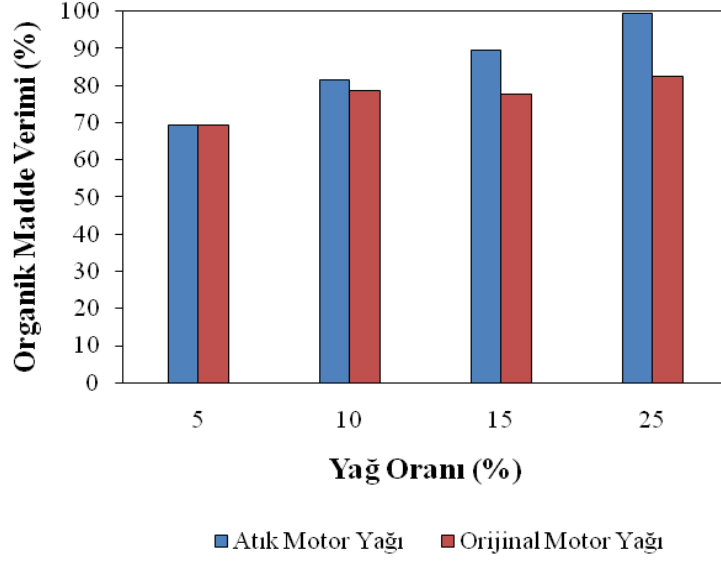
Atık motor yağı, yüksek viskozitesi sebebiyle orijinal motor yağına göre kömür taneleriyle daha sağlam aglomeratlar oluşturarak organik madde veriminin yüksek olmasını sağlamıştır.

Tablo 4.9. Orijinal motor yağının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: % 10, Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak, pH: 5,68, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm)

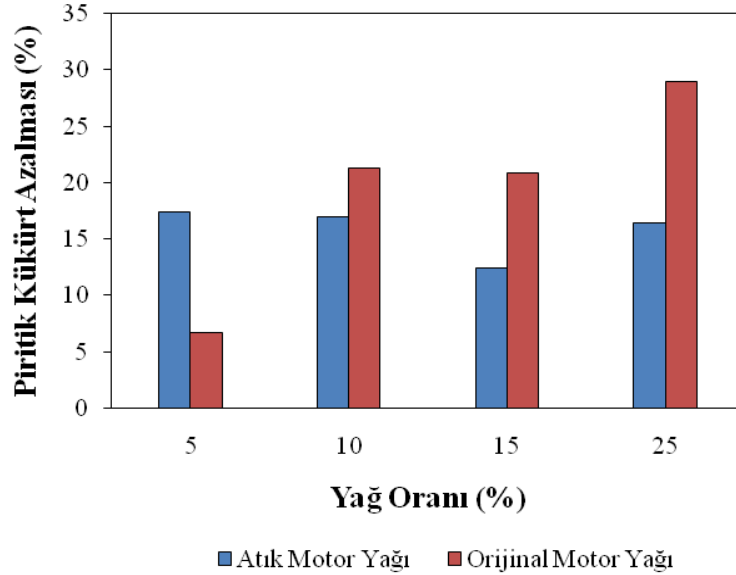
Yağ Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürdü Azalması (%)
5	65,93	69,51	13,37	25,04	2,65	6,74	0,37	69,82
10	73,60	78,69	12,14	31,9	2,24	21,25	0,28	77,30
15	72,42	77,58	11,97	32,84	2,25	20,85	0,3	75,55
25	76,61	82,63	11,37	36,24	2,02	28,93	0,21	83,03



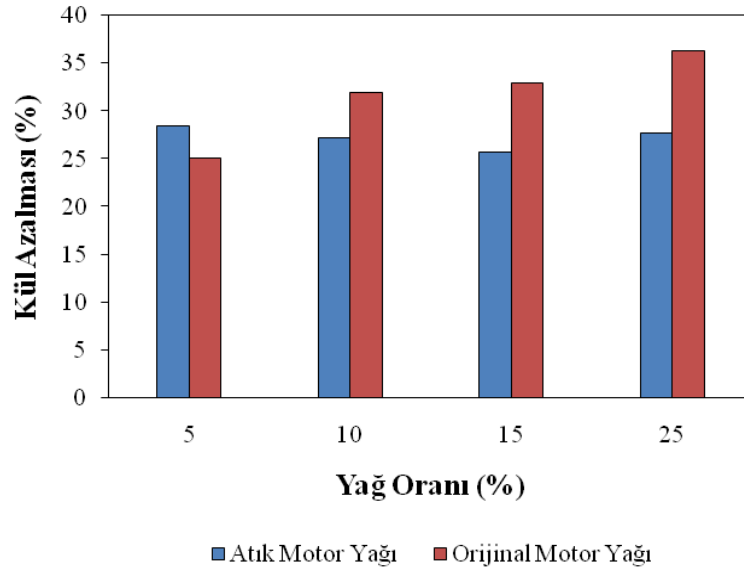
Şekil 4.9. Orijinal motor yağının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: % 10, Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak, pH: 5,68, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm)



Şekil 4.10. Yağ tipinin farklı yağ oranlarında organik madde verimine etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68, Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm)



Şekil 4.11. Yağ tipinin farklı yağ oranlarında piritik kükürt azalmasına etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68, Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm)



Şekil 4.12. Yağ tipinin farklı yağ oranlarında kül azalmasına etkisi (Yağ oranları: % 5, % 10, % 15, % 25, Kömür oranı: % 10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: - 0,5 mm, Karıştırma hızı: 1400 dev/dak., pH: 5,68, Yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm)

Atık motor yağı ile genel olarak orijinal motor yağına göre daha az piritik kükürt ve kül azalmaları sağlanmıştır (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Sebebi ise atık motor yağının orijinal motor yağına göre viskozitesinin (Tablo 3.4) fazla olmasıyla seçiciliğin düşmesi şeklinde açıklanabilir. Şahinoğlu (2006) ve Cebeci ve Eroğlu (1998) çalışmalarında yağ tipinin aglomerasyon işlemine olan etkisi üzerine benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

5. SONUÇLAR

Müzret(Artvin-Yusufeli) kömürü üzerinde yapılan atık motor yağı aglomerasyonu deneyleri aşağıdaki sonuçları ortaya koymaktadır:

1. Atık motor yağı kömürün aglomerasyonunda başarılı olarak kullanılabilmekte yüksek oranlarda organik madde verimleri ile orta düzeylerde kül ve piritik kükürt uzaklaştırılabilmektedir.

2. Maksimum organik madde verimi % 99,65 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: kömür oranı: % 10; yağ oranı: % 25; aglomerasyon süresi: 10 dak; kömür tane boyutu: - 0,5 mm; karıştırma hızı: 1400 dev/dak; pülp pH'ı: 5,68; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt ve aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm'dir. Aynı şartlarda kül azalması % 27,62 ve piritik kükürt azalması % 16,40 olarak belirlenmiştir.

3. Maksimum kül azalma oranı % 41,35 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: kömür oranı: % 10; yağ oranı: % 10; aglomerasyon süresi: 10 dak; kömür tane boyutu: - 0,5 mm; karıştırma hızı: 1400 dev/dak; pülp pH'ı: 5,68; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt ve aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,85 mm'dir. Aynı şartlarda organik madde verimi % 9,27 ve piritik kükürt uzaklaştırma oranı % 36,27 olarak belirlenmiştir.

4. Maksimum piritik kükürt azalma oranı % 36,27 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: kömür oranı: % 10; yağ oranı: % 10; aglomerasyon süresi: 10 dak; kömür tane boyutu: - 0,5 mm; karıştırma hızı: 1400 dev/dak; pülp pH'ı: 5,68; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt ve aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,85 mm'dir. Aynı şartlarda organik madde verimi % 9,27 ve kül uzaklaştırma oranı % 41,35 olarak belirlenmiştir.

5. Organik madde verimlerini en fazla etkileyen değişkenler kömür oranı, yağ oranı ve aglomerasyon süresi olurken, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarını yıkama suyu miktarı, kömür tane boyutu, kömür oranı ve yağ oranı değişkenleri daha fazla etkilemiştir.

6. Atık motor yağıyla orijinal motor yağına göre daha fazla organik madde verimi sağlanmış fakat daha az kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları elde edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Aktaş, Z., 2002. Some Factors Affecting Spherical Oil Agglomeration Performance of Coal Fines, *Int. J. Miner. Process.* 65, 177-190.
- Alp, İ., Uslu, T. Vıçıl, M., Yılmaz, A.O. ve Deveci, H., 2004. Müzret (Yusufeli – Artvin) Kömürlerinin Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye 14. Kömür Kongresi, 2-4 Haziran, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 109-120.
- Alpar, S. R., Hakdiyen, İ. ve Bigat, T., 1982. Kimyasal Analiz Metotları, Birsen Yayınevi.
- Aslan, N. ve Canbazoğlu, M., 1995. İnce Boyutlu Krom Cevherlerinin Multi-Gravity Separator ile Zenginleştirilmesi Araştırmaları, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, 6-9 Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, 437-442
- ASTM – D 3172 – 89. Kömür ve Kokun Proximate Standart Method, 1995.
- ASTM – D 3174 – 89. Kömürün ve Kömürden Elde Edilen Kokun Kül Analizi İçin Standart Metodu, 1989.
- ASTM – D 3175 – 89. Kömür ve Kokun Uçucu Madde Analizinde Standart Metod, 1989.
- ASTM – D 3177 – 89. Kömür ve Koktaki Toplam Kükürt Analizi İçin Standart Test Metodu, 1997.
- Atak, S., 1990. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayını, Kitap No: 34, İstanbul.
- Atak, S., Ateşok, G. ve Yıldırım, İ., 1991. Kömür Hazırlamada Yenilikler, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı, 16-18 Ekim, YMGV, 79 – 91.
- Ateşok, G., 1986. Kömür Hazırlama, 190s.
- Boylu, F. ve Ateşok, G., 1999. Çevre Dostu Yeni Bir Enerji Hammaddesi: Kömür – Su Karışımları, Türkiye’de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Sempozyumu, 21-22 Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı, 154 – 162.

- Canpolat, L., 2003. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyonu ve Yağ Aglomerasyonu-Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Casteel, K., 2002. Newton's law, World Mining Equipment
- Chan, B. S. K., Mozley, R.H. ve Childs, G.J.C., Yüce, A.E. (Çeviren), 1994. Multi-Gravite Ayırıcı, Madencilik Dergisi, 33, 1, Ankara.
- Cebeci, Y., Aydoğan, S. ve Özkan, A., 1996. ‘‘Yozgat-Ayırđam Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi’’, Türkiye 10. Kömür Kongresi, 20-24 Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 79-92.
- Cebeci, Y. ve Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77, 5, 419-424.
- Cebeci, Y., Ulusoy, U. ve Şimsek, S., 2000. Investigation of The Effect of Agglomeration Time, pH Various Salt on the Cleaning of Zonguldak Bituminous Coal by Oil Agglomeration, Fuel, 81, 1131-1137.
- Cebeci, Y. ve Canpolat, L., 2001. Ukrayna Kömürünün Yağ Aglomerasyonu İçin Karakteristik Eğrisinin Belirlenmesi, Madencilik Dergisi, Mart, 40, 1, 3-14.
- Çebi, F.H., 1998. Kelkik-Şiran (Gümüşhane) ve Yusufeli (Artvin) Yöreleri JuraYaşlı Kömürlerinin İz Element Jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 84s.
- Çuhadaroğlu, D. ve Özdag, H., 1996. Flotation and Agglomeration Studies for Beneficiation of -0,5 mm Coal of Zonguldak Washery, Changing Scopes in Mineral Processing, Ed: Kemal, M., Arslan, V., Akar, A. ve Canbazoglu, A., Rotterdam, B., 475-479.
- Doğan, Z., 1994. Özgöl Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Cevher Hazırlama El Kitabı, İstanbul, 166-167.
- DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu.
- Gence, N., 2001.Kalsine Manyezit Cevherinin Sallantılı Masa ve Multi Gravite Separator ile Zenginleştirilmesi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, İzmir, Bildiriler Kitabı, 267-270.

- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. ve Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri, MTA Yayınları, Ankara, 45 – 46.
- Göktepe, F., 2005. Treatment of Lead Mine Waste By A Mozley Multi-Gravity Separator (MGS), Elsevier, Journal of Environmental Management 76, 277-281, Balıkesir, Turkey
- Gülsuna, G., 2007. Linyit Kömürü Ara Ürününün Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Atlas, A., 1996. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı, 3, 13-14 Ekim, YMGV, 277s
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., ve Atak, S., 1997. Türkiye Linyitlerine Uygulanması Gereken İyileştirme Yöntemi, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı, 4, 14-15 Kasım, 85 – 106.
- Gürses, A., Doymus, K., Dogar, Ç. ve Yalçın, M., 2003. Investigation of Agglomeration Rates of Two Turkish Lignites, Energy Conversion and Management, 44, 1247-1257.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2006. Bitümlü Kömür Şlamının Mekanik, Kolon ve Jameson Hücrelerinde Flotasyonu, Madencilik Dergisi, 40, 4, Ankara, 3-9.
- Honaker, R. Q., 1995. "Enhanced Gravity Separators: New Alternatives for Fine Coal Cleaning", Proceedings 12th International Coal Preparation Conference, Intertec Inc., Lexington, Kentucky, 282-292
- Honaker, R. Q., Wang, D. and Ho, K., 1996. "Application of the Falcon Concentrator for Fine Coal cleaning", Minerals Engineering, 9, 11, 1143-1156
- Hower, J., Kuehn, K. ve Parekh, B.K., 2003. Petrographic Response to Oil Agglomeration of Coal, 55th Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology, August 11-15, Utrecht, The Netherlands.
- Kandemir, R., 1998. Tortum Gölü (Erzurum) Kuzeyinin Stratigrafik ve Sedimantolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kawatra, S.K. ve Eisele, T.C., 2001. Coal Desulfurization: High-Efficiency Preparation Methods, Library of Congress Cataloging – in Publication Data, Taylor & Francis Inc., Newyork

- Kemal, M., 1991 Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı, 16-18 Ekim, YMGV, 270 – 282.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 1999. Kömür Teknolojisi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, No:33, İzmir, 370s
- Kılınç, E., 2000. Toz Kömürlerin Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, D. E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Korkmaz, S., 1995. Jurassic Coal Occurrences and Their Depositional Environments in The Eastern Pontides, NE-Turkey, Geology of The Black Sea Region, Ed. Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S., Ankara, 275-279.
- Korkmaz, S. ve Baki, Z., 1984. Demirözü Güneyinin Jeolojisi ve Kömür Oluşumları, MTA Rap. No:7863, Ankara.
- Kural, O., 1991. Kömür, Kurtiş Matbaası, İzmir.
- Laplante, A.R., Woodcock, F. ve Noaparast, M., 1995. Predicting Gravity Separation Gold Recoveries, Minerals and Metallurgical Processing, 74-79
- Majumder, A.K. ve Barnwal, J.P., 2008. New Possibilities in Fine Coal Beneficiation Techniques , The Advanced Materials and Processes Research Institute, Journal-MN, August, 89, 3-8.
- Majumder, A.K., Yerriswamy, P., Barnwal, J.P., Govindarajan, B. and Rao, T.C., 2003. Study on Kelsey Jig Treating Indian Coal Fines, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Transactions on Inst. Min. Metal. C., December, 112, 206-210.
- Oruç, M., 1996. Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Önemli Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özbayoğlu, G., 1982. Determination of Washability Characteristics of Some Turkish Lignites with Ash and Sulfur Content, Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özpeker, I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması, Ed: Kural, O., Kömür, Kurtiş Matbaası, İzmir, 8 – 74.
- Ren, X., Li, Q., Zhang, Y. ve Liu, D., 1994. A New Centrifugal Separator for Recovering Minerals from Fine and Ultrafine Sizes, Innovations in Minerals Processing, Sudbury, 349-355.

- Saraloğlu, A., Erçin, A.İ., Özdoğan, K. ve Yılmaz, H., 1992. Bayburt-Pazaryolu-İpir-Yusufeli-Artvin Arasında Kalan Çoruh Vadisinin Jeolojisi ve Linyit Prospeksiyon Raporu, MTA Rap. No: 9452, Trabzon.
- Saripalli, G. R., Griffin, R.A. ve Arnold, D.W., 1995. Fate of Trace Metals During Agglomeration of Blue Creek Coals with Used Motor Oil, Hazardous Waste & Hazardous Materials, 12, 2, 133-148.
- Silva, E. C., Santos, N. A. ve Torres, V., 1999. Centrifugal Concentrators - A New Era In Gravity Concentration, The Experience Of CVRD Research Center.
- Şahbudak, K., 1998. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesinde Değişik Ön İşlemlerle Yağ Tüketiminin Azaltılmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Şahinoğlu, E., 2006. Müzret (Yusufeli – Artvin) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, Energy Conversion and Management, 49, 3684-3690.
- Tefek, M., 1989. Selektif Flokülasyon ile Linyitlerin Piritik Kükürtten Temizlenmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, 24-28 Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı, 367 – 368.
- Topçu, U., 2007. Kireç Fabrikası Baca Tozundan Yanmamış Karbonun Flotasyon ile Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Tosun, Y. İ., 1997. Kömür Briketleme Teknolojisinde Silikatlı Bağlama Yöntemi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 6-9 Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 389-393.
- Uçbaşı, Y. ve Hoşten, Ç., 1989. Zonguldak Taş Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 24-28 Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı, 355 – 366.
- Uçbaşı, Y., Ötekaya, B. ve Özdağ, H., 1997. Manyezit Cevherinin Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesinde Bazı Proses Değişkenlerinin Aglomerat Boyutu ve Proses Verimi Üzerine Etkisi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 6-9 Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 383-388.

Uslu, T. ve Şahinoğlu, E., 2010. Atık Yağların Kömürün Temizlenmesinde Kullanımı ve Türkiye'deki Potansiyeli, Madencilik Türkiye Dergisi, 5, 32-34.

Uslu, T., Şahinoğlu, E. ve Yavuz, M., 2010. Preliminary Investigation into Cleaning of Oxidized Fine Coal by Knelson Concentrator, XII. International Mineral Processing Symposium, 6-8 October, Nevşehir, Turkey

URL-1, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5b0df23fd2d449a_ek.pdf, 25.06.10

URL-2, http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=94963, 23.06.2010

URL-3, http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flotasyon&oldid=8043825#Kolon_Flotasyonu , 23.06.2010

URL-4, <http://web.inonu.edu.tr/~tasahin/flokulasyon.html> , 24.08.2010

URL-5, <http://www.warren.usyd.edu.au/bulletin/NO38/ed38art2.htm>, 17.08.2010

URL-6, http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=3&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&c=google&s_f=_5&detailed=1&keyword=99952, 29.09.2010

URL-7, http://www.petder.org.tr/admin/my_documents/my_files/PETDERSEktorRaporu2009.pdf, 14.08.2010

URL-8, http://www.petder.org.tr/admin/my_documents/my_files/PETDERSEktorRaporu2008.pdf, 14.08.2010

URL-9, http://www.petder.org.tr/admin/my_documents/my_files/PETDERSEktorRaporu2005.pdf, 14.08.2010

URL-10, http://www.petder.org.tr/default.asp?path=editor&id=99&sira_id=5&menu_id3=99&menu_id=5, 14.08.2010

Ünal, İ., 1999. Kömürün Yağ Aglomerasyonu ve Eksraksiyon Çarının İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 120s.

Ünal, İ., Aktaş, Z. ve Olcay, A., 2000. Bitümlü Kömür ve Linyitin Yağ Aglomerasyonu, Türkiye 12. Kömür Kongresi, 23-26 Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 251-260.

- Ünal, İ. ve Aktaş, Z., 2001. Effect of Various Bridging Liquids on Coal Fines Agglomeration Performance, Fuel Processing Technology, 69, 141-155.
- Valdes, A. F. ve Garcia, A. B., 2006. On the Utilization of Waste Vegetable Oils (WVO) as Agglomerants to Recovery Coal From Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), Fuel, 85, 607-614.
- Valdes, A. F., Gonzales- Azpiroz, M. D., Blanco, C. G. ve Garcia, A. B., 2007. Experimental Prediction of the Agglomeration Capability of Waste Vegetables Oils (WVO) in Relation to the Recovery of Coal From Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), Fuel, 86, 1345-1350.
- Xiao, J.,1998. Testing a New Gold Centrifugal Concentrator, Master of Engineering, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal, Kanada.
- Xu, W., Herz, W. J., Arnold, D. W. ve Alderman, J. K., 1991. Oil Agglomeration of Blue Creek Coal, Journal of Coal Quality, 10, 2, 61-66.
- Zengin, Y., 1955. Yusufeli (Çoruh) Kömürleri MTA Araştırma Raporu, No: 2342, Ankara, 15s

7. EKLER

- Yanar Kükürt Analizi

Kömür 0,25mm'nin altına öğütülür. Kalorimetre bombasında 30 atm. basınç altında oksijen ile yakılır. Bombadaki gaz yavaşça boşaltılır. Bomba açılır ve saf su ile iyice temizlenerek çözelti behere alınır ve kaynamaya bırakılır. Daha sonra süzgeç kağıdından süzülerek süzölmüş çözeltinin bulunduğu beher saf su ile 250 ml'ye tamamlanır. 2 ml HCl ilave edilir ve kaynamaya başladığında 10ml % 10'luk BaCl₂ ilave edilir ve cam baget ile sürekli karıştırılır. 15 dak. boyunca kaynamanın devamına izin verilir. Sıcaklık azaltılarak kaynama noktasının altında 2 saat bekletilir. Filtre kağıdından süzülür. Filtre kağıdı üzerinde kalan BaSO₄ tekrar tekrar yıkanarak klorürler kaldıysa iyice temizlenir. Filtre kağıdı üzerindeki BaSO₄ ile beraber önce düşük ısıda kurutulur, sonra 925°C'de sabit ağırlığa gelene kadar yakılır. BaSO₄ tartılır ve aşağıdaki formülden kükürt oranı hesaplanır. Kükürt % = (BaSO₄ Ağırlığı x 13,734)/ Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3177-89, 1997).

- Sülfat Kükürt Analizi

Kömür 0,25 mm'nin altına öğütülür. Tartıldıktan sonra behere konulur. 50 ml su ve 10 ml % 10'luk HCl ilave edilir ve kömür iyice ıslanana kadar karıştırılır. Beher ısıtıcının üzerine konularak 30 dak. boyunca dikkatli bir şekilde kaynatılır. Süzgeç kağıdında süzülür. Süzgeç kağıdı üzerinde kalan kömür piritik kükürt analizi için alınır (Alpar vd., 1982). Süzgeç kağıdı altına geçen çözeltiye saf su ilave edilip 250 ml'ye tamamlanır. HCl ve BaCl₂ kullanılarak aynen yanar kükürt analizindeki gibi kükürt oranı belirlenir. Kükürt % = (BaSO₄ Ağırlığı x 13,734)/ Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3177-89, 1997).

- Piritik Kükürt Analizi

Sülfat sülfür analizinin başındaki filtre kağıdı üzerinde kalan kömür behere alınır. Seyreltik nitrik asit ilave edilip oda sıcaklığında 4 gün bekletilir. Filtre kağıdında süzülür. Çözelti kuruyana kadar buharlaştırılır. Bir kez de HCl ilave edilip buharlaştırılır (Alpar vd.,

1982). Saf su ile 250ml'ye tamamlanır. HCl ve BaCl₂ kullanılarak aynen yanar kükürt analizindeki gibi kükürt oranı belirlenir.

Kükürt % = (BaSO₄ Ağırlığı x 13,734)/ Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3177-89, 1997).

- Kül Analizi

Kömür 0,25 mm'nin altına öğütülür. Tartılan kömür, tartısı alınmış krozeye konulur. Kroze fırına konularak fırının sıcaklığı 450-500 °C'ye 1 saatte 700-750 °C'ye 2 saatte çıkacak şekilde ayarlanır ve 700 – 750 °C'de 2 saat bekletilir. Fırından çıkartılan kroze desikatörde soğutulduktan sonra tartılır. Kül %'si su şeklinde bulunur.

$$\% \text{ Kül} = [(A-B) / C] \times 100$$

A = (Kroze + Kül) Ağırlığı

B = Boş Kroze Ağırlığı

C = Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3174-89, 1989).

- Nem Analizi

Kömür kroze içine konularak etüvde, 105-110°C'de 3 saat bekletilir. Desikatör içinde soğutulularak tartılır. Yüzde olarak ağırlık kaybı nemi ifade eder (Alpar vd., 1982).

- Uçucu Madde Analizi

Kömür 0,25 mm'nin altına öğütülür. Ağırlığı tartılmış numune platin krozeye konularak krozenin ağzı kapatılır. Kroze, 950°C'ye ayarlanmış fırına koyulur ve 7 dakika sonra çıkartılarak soğutulur. Yüzde olarak ağırlık kaybı bulunarak bu değerden nem yüzdesi çıkartılarak uçucu madde yüzdesi bulunur (ASTM-D 3175-89, 1989).

- Sabit Karbon Analizi

Sabit karbon nem, kül ve uçucu madde yüzdeleri toplamının 100'den çıkartılmasıyla bulunur.

Sabit Karbon (%) = 100-(%Nem+%Kül+%Uçucu Madde) (ASTM-D 3172-89, 1995).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet YAVUZ, 01.05.1984 tarihinde Bursa'nın Mustafakemalpaşa ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'nın Orhaneli ilçesinde tamamladıktan sonra 2002 – 2003 öğretim döneminde K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2004 yılı yaz döneminde TKİ Garp Linyitleri İşletmesi'nde 30 iş günü açık işletme ve lavvar stajı yaptı. 2005 yılı yaz dönemi TKİ Ege Linyitleri İşletmesi'nde 20 iş günü yer altı stajının ardından 2005 – 2006 ara döneminde Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletmesi'nde 20 iş günü cevher hazırlama stajı ile stajlarını tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2007 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında başladı. Yüksek lisans eğitimine devam eden Mehmet YAVUZ orta seviyede İngilizce bilmekte ve 2008 yılında başladığı Teknik Nezaretçilik görevine devam etmektedir.