

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MÜZRET (ARTVIN-YUSUFELİ) KÖMÜRÜNÜN YAĞ AGLOMERASYONU İLE
TEMİZLENMESİ**

Maden Müh. Ercan ŞAHİNOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Maden Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.06.2006
Tezin Savunma Tarihi : 13.07.2006**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tuncay USLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mithat VICIL**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

Bu tez K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezimin hazırlanmasında büyük emeği geçen değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tuncay USLU'ya, değerli yardımları için Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP'e, Yrd. Doç. Dr. Hacı DEVECİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Mithat VICİL'a, Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'e Öğr. Gör. Barbaros DİNÇER'e, Arş. Gör. Ali GÜNDOĞDU'ya teşekkür ederim. Çalışma boyunca desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Arş. Gör. Ersin Y. YAZICI'ya, Uzman Erdoğan TİMURKAYNAK'a, Öğr. Gör. Bayram ERÇIKDI'ya, Arş. Gör. Ferdi CİHANGİR'e, Oktay DURMUŞ'a, İbrahim ÇAVUŞOĞLU'na, Arş.Gör. Oktay CELEP'e, Arş. Gör. Tuğba YILMAZ'a, Arş. Gör. İzzet KARAKURT'a, ve Arş. Gör. İlker Erkan'a teşekkür ederim. Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme en derin şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 2005.112.008.3 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. Ayrıca 2000.111.002.7 nolu K.T.Ü. araştırma projesinden de destek sağlanmıştır. Destekleri için K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na ve 2000.111.002.7 nolu proje yöneticisi Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP'e teşekkür ederim.

Ercan ŞAHİNOĞLU
Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kömürün Oluşumu	3
1.3. Kömür türleri	5
1.3.1. Turba.....	6
1.3.2. Linyit	6
1.3.3. Taş kömürü	7
1.3.4. Antrasit	8
1.3.5. Grafit.....	8
1.4. Kömürün Kimyasal Özellikleri	9
1.4.1. Organik bileşenler.....	9
1.4.1.1. Kömürlerin Makropetrografik Yapıcıları	10
1.4.1.2. Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcıları.....	11
1.4.1.2.1. Maserall Grupları ve Maseraller	12
1.4.1.2.2. Mikrolitotipler	15
1.4.2. Mineraller ve İz Öğeler.....	16
1.4.2.1. Mineraller	17
1.4.2.1.1. Kil Mineralleri	18
1.4.2.1.2. Karbonatlar	19
1.4.2.1.3. Silikatlar ve Diğer Mineraller.....	19
1.4.2.1.4. Tuzlar.....	19
1.4.2.2. İz Öğeler	19
1.4.3. Kömürde Kükürt Türleri ve Dağılımı.....	20

1.4.3.1.	Sülfat Kükürtü	20
1.4.3.2.	Piritik Kükürt.....	21
1.4.3.3.	Organik Kükürt.....	22
1.4.3.4.	Elementer Kükürt	22
1.4.3.5.	Kükürtün Kömür Damarları İçindeki Dağılımı	22
1.5.	Yağ Aglomerasyonu Dışındaki Kömür Temizleme Yöntemleri.....	23
1.5.1.	Yaş Temizleme Yöntemleri.....	24
1.5.1.1.	İri Kömürün Temizlenmesi	24
1.5.1.1.1.	Ağır Ortam Ayırması.....	25
1.5.1.1.2.	Jigler	25
1.5.1.2.	İnce Kömürün Temizlenmesi	26
1.5.1.2.1.	Feldspatlı Jigler.....	27
1.5.1.2.2.	Ağır Ortam Siklonları.....	27
1.5.1.2.3.	Oluklar	27
1.5.1.2.4.	Sallantılı Masa	28
1.5.1.3.	Toz Kömür Temizleme Yöntemleri	28
1.5.1.3.1.	Flotasyon	28
1.5.1.3.2.	Seçici Flokülasyon.....	32
1.5.2.	Kuru Yöntemler	33
1.6.	Kömürün Yağ Aglomerasyonu.....	33
1.6.1.	Yağ Aglomerasyonunun Teorisi.....	33
1.6.2.	Yağ Aglomerasyonu Gelişimi	39
1.6.3.	Türkiye Kömürleri Üzerine Yapılmış Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları.....	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1.	Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Özelliklerinin Belirlenmesi	46
2.2.	Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı	51
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
3.1.	Kömür Oranının Aglomerasyona Etkisi	55
3.2.	Gazyağı Oranının Aglomerasyona Etkisi	56
3.3.	Aglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi.....	57
3.4.	Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi	59
3.5.	Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi	60
3.6.	Pülp pH' ının Aglomerasyona Etkisi.....	62

3.7. Yağ Tipinin Aglomerasyona Etkisi	63
3.8. Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi	65
3.9. Aglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi.....	67
4. SONUÇLAR.....	71
5. KAYNAKLAR.....	73
6. EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ÖZET

Bu çalışmada, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliği incelenmiştir. Müzret kömürü, gazyağı ile aglomerasyon işlemine tabi tutulmuştur ve kömür oranı, gazyağı oranı, aglomerasyon süresi, yıkama suyu miktarı, karıştırma hızı, pülp pH'ı, yağ tipi, kömür tane boyutu ve aglomerat kazanım eleği boyutu gibi parametrelerin aglomerasyon işlemine ve aglomerasyon işlemi sonucu elde edilen kömürün kalitesine etkileri belirlenmiştir.

Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu yöntemi ile önemli ölçüde temizlendiği, bir başka ifadeyle kül ve piritik kükürt içeriği düşük olan temiz kömür elde edildiği görülmüştür. Şöyleki, kuru bazda kül içeriği %21,49 ve piritik kükürt içeriği %5,26 olan Müzret kömüründen kül içeriği %8,92 ve piritik kükürt içeriği %0,78 olan temiz kömür, %58,66 organik madde verimiyle elde edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen parametrelerin, başta kömür oranı, gazyağı oranı ve yıkama suyu miktarı olmak üzere, aglomerasyon işleminin verimini ve elde edilen kömürün kalitesini etkilediği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Yağ Aglomerasyonu, Kömür Kükürtsüzleştirme, Kömür Temizleme

SUMMARY**Cleaning of Müzret (Yusufeli-Artvin) Coal by Oil Agglomeration**

In this study, cleaning of Müzret (Artvin-Yusufeli) coal by oil agglomeration was investigated. Müzret coal was subjected to agglomeration by kerosene. The effects of some parameters, such as, coal content, kerosene content, agglomeration time, washing water amount, agitation rate, pH of the pulp, oil type, coal particle size, and agglomerate recovery screen, on agglomeration process and quality of the coal.

It was observed that, Müzret coal was cleaned considerably by oil agglomeration process. In other words, a clean coal with low ash and pyritic sulphur contents was produced. A clean coal with an ash content of 8.92% and pyritic sulphur content of 0.78%, was produced with a organic matter recovery of 58.66% from Müzret coal with an ash content of 21.49% and pyritic sulphur content of 5.26%, on dry basis.

It was also observed that, all parameters mentioned above, especially, coal content, kerosene content and amount of washing water, affected the recovery of agglomeration process and coal quality.

Keywords: Coal, Oil Agglomeration, Coal Desulphurization, Coal Cleaning

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Doğada karbon çevrimi	3
Şekil 1.2. Flotasyonun temel prensipleri	30
Şekil 1.3. Kolon flotasyonunun şematik görünüşü.....	31
Şekil 1.4. a) Jet flotasyonu b) Jameson Cell şematik görünüşü.	32
Şekil 1.5. Yağ aglomerasyonu için genelleştirilmiş bir akım şeması.....	34
Şekil 1.6. Yağ – kömür tanesi yapışma mekanizması	37
Şekil 2.1. Yerbulduru haritası.....	46
Şekil 2.2. Yusufeli-Müzret mevki jeolojik haritası	47
Şekil 2.3. Müzret kömürlerinin yansıtımlı ışıktaki ve yağ immersiyonunda petrografik bileşenlerinin görünüşleri	49
Şekil 2.4. Müzret kömüründen ayıklanmış mineral maddelerin mikroskopta görünüşü.....	50
Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan mekanik karıştırıcı	52
Şekil 2.6. Deneylerde kullanılan vakum filtre düzeneği	52
Şekil 2.7. Yağ aglomerasyonu sonucu elde edilen temiz kömür örnekleri	52
Şekil 2.8. Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu akım şeması.....	53
Şekil 3.1. Kömür oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)	56
Şekil 3.2. Gazyağı oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: % 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)	57
Şekil 3.3. Aglomerasyon süresinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %5, Gazyağı oranı: %20, Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	59

Şekil 3.4. Yıkama suyu miktarının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı %30, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	60
Şekil 3.5. Karıştırma hızının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	61
Şekil 3.6. Pülp pH'ının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	63
Şekil 3.7. Yağ tipinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: 10 %, Gazyağı oranı :10 %, Aglomerasyon süresi: 10 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	64
Şekil 3.8. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: %10, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm).....	66
Şekil 3.9. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: % 20, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm).....	66
Şekil 3.10. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: % 30, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm).....	67
Şekil 3.11. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür tane boyutu: - 0,106 mm, Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak.)	68
Şekil 3.12. Aglomerasyon beslemesinden yapılan parlak kesit.....	69
Şekil 3.13. Aglomerasyon atığından yapılan parlak kesit	70
Şekil 3.14. Aglomerasyon sonucu elde edilen konsantrenin parlak kesiti	70

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bitki ana maddeleri ve oranları	4
Tablo 1.2. Bazı doğal yakıtların elementer bileşimi (saf kömür bazında) .	5
Tablo 1.3. Linyitle turbayı ayırtlayan ölçütler.....	6
Tablo 1.4. Taşkömürlerinin petrografik bileşenleri.....	11
Tablo 1.5. Kahverengi kömürlerin ve linyitlerin maseralleri	13
Tablo 1.6. Kahverengi kömürlerin yapıcıları ile bitümlü kömürlerin vitrinit yapıcılarının karşılaştırılması.....	16
Tablo 1.7. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri.....	17
Tablo 2.1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları	48
Tablo 2.2. Müzret kömürünün petrografik analizi	48
Tablo 3.1. Kömür oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm)	55
Tablo.3.2. Gazyağı oranının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: % 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	57
Tablo 3.3. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %5, Gazyağı oranı: %20, Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	58
Tablo 3.4. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı %30, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)	60
Tablo 3.5. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı %10, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)	61
Tablo 3.6. Pülp pH'ının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	62
Tablo 3.7. Yağ tipinin aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10 , Gazyağı oranı: %10 , Aglomerasyon süresi: 10 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm).....	64
Tablo 3.8. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak.)	65

Tablo 3.9. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi (Kömür tane boyutu: -0,106 mm, Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak.)	68
Tablo 3.10. -0,106mm kömür tane boyutunda 0,5mm'lik aglomerat kazanım eleğinde yağ miktarının etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak.)	69

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya enerji kaynakları; fosil kaynaklar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Konvansiyonel kaynaklar olarak adlandırdığımız organik (fosil) kaynakların büyük bir bölümünü (organik rezervin % 72'si) kömür oluşturmaktadır. Ancak kömürün gerek enerjide gerekse diğer alanlarda kullanımında çevre ve hava kirliliği açısından büyük problemler yaşanmaktadır. Özellikle çevre kirliliğine karşı duyarlılığın arttığı günümüzde, kömür kullanımı büyük engellerle karşılaşmaktadır (Boylu ve Ateşok, 1999). Gelişen yeni enerji teknolojileri ve çevre ile ilgili kaygılar, kömürün daha temiz bir yakıt olarak üretimini zorlarken, klasik metotlarla zenginleştirilemeyen düşük ranklı 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 (Engin, 2002). Ayrıca kömür yandığında oluşan külün de çevreye zarar vermeyecek düzeylere indirilmesi gerekmektedir (Güney vd., 1998).

Türkiye, büyük kömür rezervlerine sahip olmasına karşın bu rezervlerin çoğunluğu, düşük kaliteli, yüksek kül, nem ve kükürt içeriğine sahiptir (Boylu ve Ateşok, 1999). %20'den az kül içeren linyitlerin toplam rezerv içindeki payı %3,73'tür. Toplam linyit rezervinin sadece %3,70'i %1'den az kükürt içerir. %20 den az nem içeren linyit oranı %15,14'tür. Isıl değeri 4000kcal/kg'den fazla olan linyitlerin rezervdeki payı sadece %1,83'tür (ODTÜ, 1994). Bunun yanı sıra Türk linyitlerinin yumuşak karakterde olması nedeniyle, üretimleri, hazırlanmaları, taşınmaları ve depolanmaları sırasında çok miktarda ince kömür açığa çıkmakta ve bu ince kömür de değerlendirilememektedir (Boylu ve Ateşok, 1999).

Kömürün uzun vadeli enerji kullanımında lider enerji kaynağı olmayı sürdüreceği olması ve gelişen teknolojiye paralel olarak üretimde artan toz kömür oranı, toz kömürün temizlenmesine ilginin artmasına sebep olmuştur. Bunun yanında, enerji kullanım maliyetlerinin düşürülme isteği, temiz kömüre olan talebi arttırmakta ve daha düşük küllü ve düşük kükürlü kömür üretimini teşvik etmektedir.

Bilindiği gibi toz kömürlerin temizlenmesi, iri boyutlu kömürlerin temizlenmesine göre 3-4 misli daha pahalı olmasına karşın, satış fiyatı da oldukça düşüktür. Bu nedenle de kömürün daha değerli olması ancak çok daha temiz bir yakıt haline gelmesi ile mümkün olmaktadır.

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 (Kemal ve Arslan, 1999).

Günümüzde, -0.5mm 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 (Mehrotra vd., 1983).

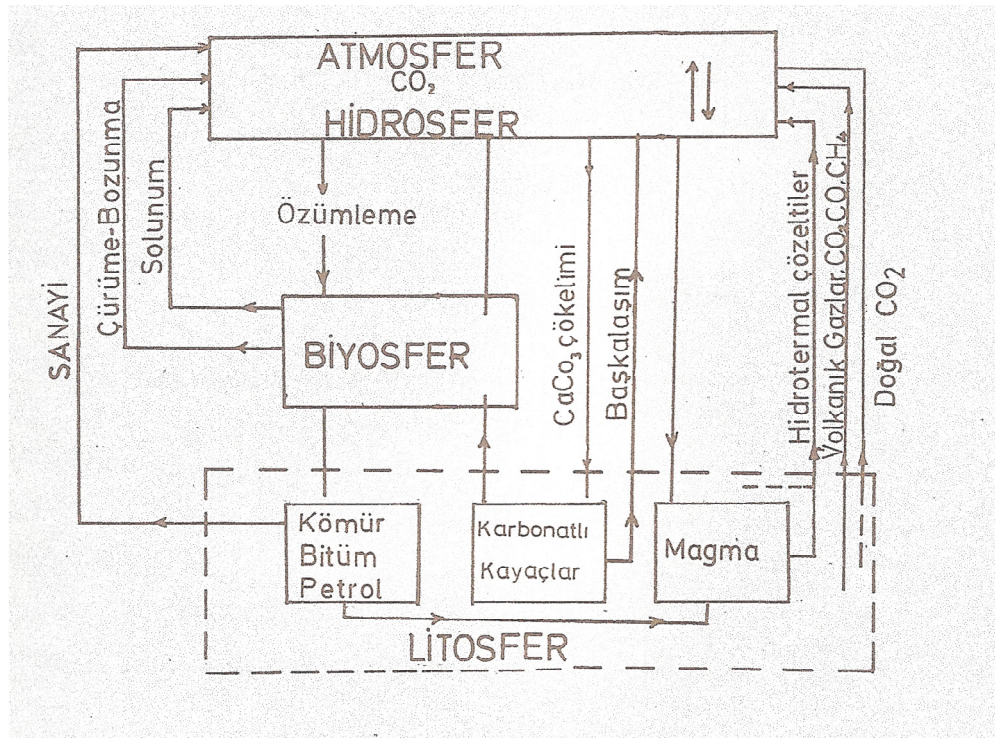
Flotasyon, seçici flokülasyon ve yağ aglomerasyonu, toz kömürün temizlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Yağ aglomerasyonu bunların içinde, en yüksek verimle temiz kömür eldesi sebebiyle en iyisi kabul edilmektedir (Cebeci ve Eroğlu, 1998). Yağ aglomerasyonu yöntemi, yağ tarafından kömür tanelerinin ıslatılması ve yüksek karıştırma hızlarında birbirlerine bağlanarak daha iri taneler haline getirilmesi yöntemidir. 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).

Türkiye kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi konusunda çeşitli çalışmalar mevcut olmasına rağmen Artvin-Yusufeli kömürleri daha önce çalışılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliğini belirlemektir.

1.2. Kömürün Oluşumu

Kömür, uygun ortamlarda, bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitkisel kalıntı birikimlerinin, zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu oluşan bir enerji ham maddesidir (Özpeker, 1991).

Kömürde yaygın olarak bulunan elementler; karbon, hidrojen, oksijen ve daha az oranda kükürt ve azottur (Doymuş, 1997). Bu elementlerden kömürü oluşturan ana eleman karbondur. Bu nedenle oluşumu karbon çevrimine çok bağımlıdır. Karbon çevrimi bataklıklarda başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO_2 'dir. Magma az da olsa CO_2 , CO , CH_4 vb. içerir ve hidrotermal-pnömatolitik ve volkanik etkinlik süreçlerinde, gaz, buhar ve çözeltilerle karbon çevrimine (döngüsüne) katılırlar. Hava ve sudaki CO_2 'in önemli bir bölümünü bitkiler özümleyip, yaşamları için gerekli olanı yapılarında tutarlar, artığı solunum yoluyla geriye döner, doğal denge korunur. Ancak sanayi gazlarının bu dengede bozucu payını unutmamak gerekir. CO_2 'in suda çözünen bölümü, karbonatlı kayalarda ve organik tortularda birikir. Bunların başkalaşması sonucu tekrar çevrime katılır (Şekil 1.1) (Özpeker, 1991).



Şekil 1.1. Doğada karbon çevrimi (Özpeker, 1991)

Bitkiler, selüloz, hemiselüloz, linyin, yumurta akı maddesi, vakslar ve reçineler gibi bir takım temel maddelerden oluşmaktadır (Tablo 1.1). Bunlardan selülozlar ($C_6H_{10}O_5$) ve linyinler ($C_{30}H_{34}O_{11}$) kömür oluşumunda ana rolü oynamaktadır. Vaks ve reçineler, kömürleşme esnasında varlıklarını ve özelliklerini büyük ölçüde korumakta ve probitüminaları oluşturmaktadır. Yumurta akı maddesi ise, kömürleşme esnasında tamamıyla parçalanmakta ve kömür için azot, kükürt, fosfor kaynağı yaratmaktadır.

Kömürleşmede iki evreden bahsedilir. Bunlar; biyokimyasal olayların daha yoğun olarak görüldüğü turbalaşma, jeolojik ve kimyasal olayların etkisindeki jeokimyasal kömürleşme evreleridir. Turbalar, biyokimyasal evrede linyitler, bitümlü kömürler ve antrasitler jeokimyasal evrede oluşurlar (Yenidinc, 1998).

Tablo 1.1. Bitki ana maddeleri ve oranları

Ana Maddeler	%
Selüloz	40-58
Hemiselüloz	9-27
Şekerler	12-18
Linyin	18-26
Yağ ve vakslar	3-14
Reçineler	1-3
Yumurta akı	1-2

Biyokimyasal kömürleşmede, bakteriyel bir kömürleşme hüküm sürmektedir. Burada, kömür oluşabilmesi için, bitkinin hava ile hiç temas etmemesi veya çok az temas etmesi gerekmektedir. Aksi takdirde fazla hava (O_2) bulunan ortamda, bitki tamamıyla parçalanarak CO_2 ve H_2O 'ya ayrışmaktadır. Çok fazla hava ortamında, bitkiler tamamen çürüyerek, CO_2 ve H_2O 'ya ayrışmaktadır. Yetersiz hava ortamında, bitkiler kısmi olarak çürümekte; geride karbonca zengin katı artık (moder) kalmaktadır. CO_2 , H_2O ve CH_4 gazları ayrışmaktadır. Hava temasının çok az veya hiç olmadığı ortamlarda, bitki belirli bir ayrışmaya uğrasa bile, geride karbonca zengin "Turba" denilen katı bir artık kalmaktadır. Bu da diğer kömür cinslerinin oluşumunu sağlayan ilk basamağı oluşturmaktadır.

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. Bu bakımdan, aynı kömür yatağında, derinlere indikçe 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).

1.3. Kömür Türleri

Kömürleşme ortamındaki basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak bünyedeki su, uçucu maddeler (CO_2 , CO , O_2 , CH_4 , NO_x , SO_2 , H_2S , H_2 vs.) azalmakta, karbon oranı, kalori değeri (antrasit seviyesine kadar) artmaktadır. Burada ideal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit, grafit kömür türleri oluşmaktadır.

Turbadan grafitte doğru gidildikçe metamorfizma şiddeti (basınç + sıcaklık etkisi) artmakta, karbon yüzdesi ve kalori miktarı artmakta, buna bağlı olarak su ve uçucu maddeler azalmaktadır (URL-1, 2006). Ayrıca kömürün sertliği artmakta ve tozlanma azalmaktadır. (Kemal, 1991). Kömürleşme derecesine bağlı olarak C, H, O, N, S oranlarındaki ve üst ısıl değerlerdeki değişim Tablo 1.2’de gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Bazı doğal yakıtların elementer bileşimi (saf kömür bazında) (Kemal ve Arslan, 1999).

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

1.3.1. Turba

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

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

- Sulandırılmış alkalide muamele edildiğinde, lif, dal parçaları kalır.
- Elle sıkıldığında su kaybeder.
- Serbest selüloz içerir.
- % 75'in üzerinde orijinal nem içerir.
- Turbalarda çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitkisel artıklar görülebilir.

Turbalar, havada kurutulduktan sonra yakıt olarak kullanıldığı gibi, düşük küllü olanları, yarıkok ve aktif kömür yapımında da kullanılmaktadır. Ülkemizde, Kayseri bölgesinde ve Hakkâri-Yüksekova'da turba yatağı bulunmaktadır. Ancak, bu yataklardaki turbaların kül oranları yüksek ve ısı değerleri düşüktür (Kemal ve Aslan, 1999).

Turba ile linyit arasındaki sınır kesin değilse de ikisini ayırt edebilmek için bazı ölçütler kullanılabilir. Bu ölçütler aşağıdaki tabloda ki gibidir.

Tablo 1.3. Linyitle turbayı ayırtlayan ölçütler (Özpeker, 1991).

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

1.3.2. Linyit

Linyit kömürleri, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranlarda orijinal nem içerirler. Az nem içeren linyit türleri biyokimyasal kömürleşme yanında, etkin bir jeokimyasal kömürleşmeye de

uğramışlardır. Orijinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir.

Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılır. Yumuşak linyitler, %35-75 arasında orijinal neme sahip linyitlerdir. 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.

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/cm² ye kadar). Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolanma esnasında fazla tozlanmaz. Orijinal nem oranı arttıkça hem parça sağlamlılığı azalır, hem de tozlanma özelliği artar.

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 Aslan, 1999).

1.3.3. Taş Kömürü

Bu kömürlerin orijinal nem oranları oldukça azdır (% 1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip

olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine nispeten daha yüksek ısı değerine sahip olan taşkömürleri, birçok kullanım alanına sahiptir.

Taşkömürleri, kömürleşme derecelerine göre değişik özelliklere sahiptir. Az kömürleşmeye uğramış, genç taşkömürüyle (uçucu madde oranı % 36'nın üzerinde) ileri kömürleşmeye uğramış taş kömürleri (uçucu madde oranı % 18'in altında) koklaşma özelliğine sahip değildir. Genel olarak uçucu madde oranı % 18-36 (saf kömürde) arasında olan taş kömürleri belirli oranda koklaşma özelliğine sahiptir. Bu aradaki kömürler yeterli koklaşma özelliğine sahip olduklarında, kok üretiminde kullanılmaktadır (Kemal ve Aslan, 1999).

1.3.4. Antrasit

Bu kömür, Amerika'da sert kömür ve Galler'de kaya kömürü şeklinde anılır. Demir siyahı rengi, yarı metalik parlaklığı ile tanınır. Bitümlü kömürler gibi eli boyamaz, kısa ve sönük mavi alevle yanar, az bir koku çıkarır ve koklaşmaz.

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

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 (Kural, 1991).

1.3.5. Grafit

Grafit, oldukça yumuşak, dokunumu yağsı ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahiptir. Sertliği 1, yoğunluğu 2gr/cm³'dir. Rengi siyah ve gri, çizgi rengi kül rengindedir. Doğada; kristal, pul ve "amorf" diye tanımlanan şekilleri mevcut olup, en iyi formu kristal grafitir ve tenörü en yüksek olanıdır. Doğada daha ziyade metamorfik zonlarda şistler ve mermerlerle birlikte ve magmatik kayaların yakınlarında bulunmakta ve daha ziyade rejional metamorfizma alanlarında daha geniş rezervlere ve yüksek tenörlere sahip olabilmektedirler. Grafitin doğadaki yatak şekilleri; fillon, damar, adese,

bazen de dissemine şekildedir. Sadece Rusya'da cevherleşme, dayk şeklinde magmatik olarak teşekkül etmiştir. Üretim yapılan cevherlerin grafitleşme durumları daha ziyade X ışınları, reflektans ölçen fotomultiplierli mikroskoplar ve H/C oranlarının tespitiyle saptanabilmekte, tenörleri de, bunlardan olumlu rapor alınması durumunda, "sabit karbon" yüzdelerinin tesbit edilmesi ile ortaya konabilmektedir. Numunenin grafit olup olmadığını saptamadan, sabit karbon yüzdesinin tesbiti ve böylece yorumlara gitmek hatalıdır. Bu gün işletilmekte olan gerçek grafitin yüzde reflektans değerleri % 6,5 'tan büyük olup, H/C oranları da 0,15 'ten küçüktür ve bu özellikte olan grafit yataklarının sabit karbon oranları da % 1,5 ile % 30 arasında değişmektedir. Tabii ki bunlardan daha yüksek tenöre sahip yataklar da mevcuttur.

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 sanayiinde, pota ve laboratuvar malzemeleri imalinde 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 ta kullanılmaktadır. Türkiye'de grafiti ham olarak tüketen sanayi dalları kurşun kalem ve döküm sanayiidir. Boya yapımcıları ve demir çelik fabrikaları ithal grafit ve ürünlerini kullanmaktadırlar. Döküm sanayiinde kullanılan grafitte % 60 – 70 oranında sabit karbon istenilmektedir. Kurşun kalem sanayiinde ise bu oran % 95 in üzerindedir. Grafit, sentetik olarak ta yapılabilmektedir. Petrol kok'u veya antrasit aglomeraları 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).

1.4. Kömürün Kimyasal Özellikleri

1.4.1. Organik Bileşenler

Kömür organik ve inorganik bileşenlerden oluşur. Kömürün makropetrografik organik bileşenlerine "Litolip" mikropetrografik organik bileşenlerine ise "Maserel"denir.

Maserallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri çok değişkendir (Özpeker, 1991). Maseralleri çıplak gözle görmek imkansızdır, ancak mikroskop yardımıyla ayrıntılı olarak incelenebilirler (URL-2, 2006).

1.4.1.1. Kömürlerin Makropetrografik Yapıcıları

Kömürler, makroskobik olarak, yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Bu karakteristik bantlar onların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi gösterir. Çıplak gözle görülebilen bu bantlı bileşenlere litotip denilir.

Uluslar arası Kömür Petrolojisi Komitesi tarafından kabul edilen Stopes Heerlen sistemine göre taşkömürleri vitren, klaren, düren ve füzen olmak üzere dört ayrı litotip içerir (Tablo 1.4). Kahverengi kömürler veya linyitler ise hüminit, liptinit ve inertinitten meydana gelir (Tablo 1.5).

Vitren (Vitrain)

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

Klaren (Klarain)

Vitren'e göre daha az parlak, kompakt ve parlaklığı vitren/düren oranına göre değişen kömür tipidir. Bantlaşma yüzeylerine dik, çok sayıda çatlakları olan bir kömür bantıdır. Hümik kömürlerin en yaygın yapıcısıdır.

Düren (Durain)

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.

Füzen (Fusain)

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

Tablo 1.4. Taşkömürlerinin petrografik bileşenleri (Özpeker, 1991).

Litotipler Bandlı Bileşenler	Mikroskobik Bileşenler		
	Maseral	Maseraller Maseral Gurup	Mikrolitotip Gurup
Vitrain (parlak kömür)	Kollinit Telinit Vitrodetrinit	Vitrinit	Vitrit
Fusain (taşıl odun kömür)	Makrinit Mikrinit Semifusinit Fusinit Eklerotinit İnertodetrinit	İnertinit	Vitrinit İnertit
	Kütinit Resinit Sporinit Alginit Liptodetrinit	Eksinit (Liptinit)	liptit
Klarain (yarı par.) Durain (mat kömür)	Tüm Maseralleri Kapsar		Klarit Durit Duraklarit Klarodurit vitrinertoliptit

1.4.1.2. Kömürlerin Mikropetrografik Yapıcıları

Mikroskopta kömürün bitki kökenli üç bileşeni görülebilmektedir. Kömürde biçim ve yapısı mikroskobik olarak tanınabilen en küçük organik birimlere, inorganik kayalardaki minerallere benzediklerinden dolayı organik yapıcı, maseral adı verilmektedir. 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. Değişik maseral kümelerinin bir araya gelmesinden de mikrolitotipler oluşmaktadır. Maseraller, maseral kümeleri ve mikrolitotipler, kömürlerin mikroskobik yapıcılarıdır.

1.4.1.2.1. Maseral Grupları ve Maseraller

Maseral grupları; vitrinit, , inertinit ve eksinit (liptinit)'dir.

Vitrinit Grubu Maseraller

Linyitlerde hüminit olarak adlandırılan bu maseraller, taşkömürlerinin en önemli maseral grubu olup hümik maddelerin kömürleşme ürünleridir. Vitrinit'in özellikleri kömürleşme derecesi ile değişmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça, yansıyan ışıktaki rengi siyahımsı griden beyaza kadar değişir. Bitki hücre duvarlarının lignin, tanin ve selülozlarından, hümik asit etkisi ile çekirdekteki OH, COOH, OCH₃ gibi grupların ayrılması ile oluşurlar.

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 (Tablo 2.1). 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 kırılmalı, çatlaklı ve koklaşmada tamamen asal davranan bir maseraldır (Özpeker, 1991).

İnertinit Grubu Maseraller

Bu grubun maseralleri hidrojen zengin, karbonca zengin olduklarından koklaşma sürecinde tepkime göstermezler. Yansıyan ışıktaki beyaz renkte olup üç maseral grubu

arasında en yüksek yansıtma 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 inertit grubunu oluşturmaktadır (Tablo 1.4 ve Tablo 1.5).

Tablo 1.5. Kahverengi kömürlerin ve linyitlerin maseralleri (Özpeker, 1991).

Maseral grubu	Maseral Alt Grubu	Maseral	Maseral türü
Hüminit	Humotelinit	Teksinit Ulminit	Teksoulminit O-ulminit
	Humodetrinit	Atrinit Densinit	
	humokolinit	Jelinit Korpohümunit	Polijelinit Levijelinit Filobafinit Psödofilobafinit
Liptinit	Sporinit Kutinit Resinit Suberinit Alginit Liptodetrinit Klorofilinit Bitümunit		
İnertinit	Fusinit Semifusinit Makrinit Sklerotinit İnertodetrinit		

Makrinit; 10 mikrondan büyük, masif şekilsiz olup, hücresel yapı göstermeyen jel tipindedir. Mikrinit; hücresel yapıya sahip olmayan, yuvarlak ve çok küçük taneler (yaklaşık 1 mikron) 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.

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

Sklerotinit; mantar kalıntılarından oluşan, yaşına göre yassı, hücreli veya hücreli olmayan, değişik şekilli yapıda, beyaz renkli, yansıtması yüksek maserallerdir.

İnertodetrinit; yansıtması oldukça yüksek, küçük taneli (30 mikrondan küçük), genelde füzinit, semifüzinit ve kırıklarından oluşan vitrinit'ten yüksek yansıtma sahip maserallerdir (Özpeker, 1991).

Eksinit (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 ışıktaki kömürleşme derecesi artışına göre sarı-kahverengi-siyah renkler göstermektedirler. Kütinit, resinit, eksudatinit, sporinit, alginit, suberinit ve liptodetrinit maseralleri bu gruba dâhildir.

Kütinit; dik olarak yerleşmiş yaprak kütikülleri tarafından meydana getirilir, koyu gri veya siyah renkte, ince ve kalın duvarlı olabilen maserallerdir.

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 maserallerdir. Yansıyan ışıktaki siyah veya gri, incekesit 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 maserallerdir.

Sporinit; genellikle tabakalanmaya paralel olarak yassılaşımiş 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 maseraldir.

Suberinit; kütinite benzeyen, hücre dokusu şeklinde maseraldir.

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

1.4.1.2.2. Mikrolitotipler

Maserallerin mikroskopik ölçekteki karışımlarından oluşan, mikrolitotipler, tek maseralli, iki maseralli ve üç maseralli olarak, üç gruba ayrılır (Tablo 1.4, 1.5, 1.6). Maserall grupları 50 mikrondan birkaç yüz mikrona kadar olan, mikrobantlar şeklinde tanımlanır. Mikrolitotiplerin sınıflamasında minimum band genişliği 50 mikron olup mineral birliklerinin %5'den az olanları sayılmaz. Vitrit, inertit ve liptit bir maseralli; vitrinertit, klarit ve dürüt iki maseralli; duroklarit ve klarovitrit üç maseralli mikrolitotiplerdir. Mikrolitotiplerin sertlikleri maseral bileşimi, mineral içeriği ve tektonik etkiye bağlıdır.

Maserallerin mikroskopik ölçüdeki karışımlarından meydana gelen mikrolitotipler ve petrografik bileşenler aşağıda belirtilmiştir;

Vitrit; kollinit ve telinit karışımından ortaya çıkar.

Vitrinertit; vitrinit ve inertitin birleşmesinden meydana gelir. Burada eksinit %5'ten az oranlarda bulunur.

Klarit; vitrinit ve eksinitin beraberce bulunmasından oluşur ve %50'den az miktarlarda inertit ihtiva edebilir.

Duro-klarit; vitrinit, eksinit ve inertit karışımıdır. Vitrinit miktarının, inertit miktarından daima daha fazla olması gerekir.

Klora-dürüt; inertit, vitrinit ve eksinit maserallerinden oluşur. Vitrinit inertitten çoktur.

Dürüt; inertit ve eksinitin karışımından ibaret olup % 5'ten az vitrinit ihtiva eder.

Füzit; bu mikrolitotip, mikrinit maserali hariç, inertit grubunun diğer maserallerinden meydana gelir (Özpeker, 1991).

Tablo 1.6. Kahverengi kömürlerin yapıcıları ile bitümlü kömürlerin vitrinit yapıcılarının karşılaştırılması (Özpeker, 1991).

Kahverengi Kömür-Linyit				Bitümlü Kömür			
Yapıcı Grubu	Yapıcı Alt Grubu	Yapıcı	Yapıcı Türü	Yapıcı Çeşidi	Yapıcı Türü	Yapıcı	Yapıcı Grubu
Hüminit	Humotelinit	Teksinit Ulminit	Teksoulminit Ö-ulminit	A koyu B açık A koyu B açık A koyu B açık	Telinit1 Telinit2	telinit	vitrinit
	Humodetrinit	Attrinit Densinit					
	Humokollinit	Jelinit Korpohuminit	Levijelinit Polijelinit Fiobafinit Psödo-filobofinit	Detrojelinit Telojelinit ojenit	desmokolinit telokollinit jelokollinit korpokollinit	kollinit	

1.4.2. 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 rüzgârlarla 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 değişe gelen 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.

Kömür katmanlarında izlenen ilksel ve birincil kökenli öğelerin, hangi kökenden, ne oranda beslendikleri konusunda mikroskopik, X-ışınları IR yöntemleriyle (Kızılötesi ışınları) belirli ölçüde yaklaşım yapmak olasıysa da, kesin sonuçlara ulaşmak genelde güçtür. İkincil kökenliler, genellikle çatlak ve kırıkları doldururlar. Birincil kökenlilerden kolaylıkla ayırt edilebilirler. Birincil ve ilksel kökenli mineraller belirli stragrafik katmanlar meydana getirebilirler ve katmanların karşılaştırılmasında kullanılabilirler. (Özpeker, 1991).

Tablo 1.7. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri (Özpeker, 1991).

Mineral kümesi	Eş oluşumlu birincil		Ard oluşumlu ikincil	
	Taşınma	Eş oluşum	Çatlaklarda	Dönüşüm
Killer	İllit, serizit Kaolen, kiltası 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	

1.4.2.1. 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. Kül ise, kömürün içerdiği mineral maddelerin, tam yanma sonucu bazı temel değişikliklere uğraması ile oluşan artıktır. Külün kökeni, genellikle, kömürün mineral madde içeriğine bağlı olduğundan, özellikleri minerallerin türü ve dağılımı ile oksidasyonun gerçekleştiği koşullara bağlıdır (Ural, 2002).

Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemlileri, killer, karbonatlar ve demir mineralleridir (Tablo 1.7). Diğerlerinin büyük çoğunluğu %1'in altında gözlenir (Özpeker, 1991).

1.4.2.1.1. 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 kilaşı (ilit-montmorillonit),
- Kaolen kömürlü kilaşı,
- İllit kömürlü kilaşı (leverrierit)

Killerlin kökenleriyle ilişkin çeşitli görüşler vardır. Son zamanlarda en çok benimseneni 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 (Tablo 1.7).

Killerin içinde bulunan zirkon, sanidin ve plajyoklas kristallerine dayanarak yaş saptanabilmektedir. Böylece kömür katmanlarının karşılaştırılması ve stratigrafik konumlarının belirlenmesi mümkündür (Özpeker, 1991). Killer, yıkanmış kömürlerde çok küçük boyutlarda bulunmaktadır (Ural, 2002).

1.4.2.1.2. Karbonatlar

Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği önemli bileşenlerdendir (Ural, 2002). Birincil ve ikincil kökenli olabilirler. Birincil kökenli olanlardan en yaygını siderittir. Siderit ışınal veya yuvar yapısındadır. Dolomit çoğunlukla deniz ilerleme süreçlerinde gelişir. Kömür topları veya biçimli kristaller halindedir. Kalsit ve ankerit daha çok ikincil kömürleşme evresinde kırık ve çatlaklarda gelişir. %20-60 oranında karbonat içeren kömürlere karbankerit denir. Yoğunlukları $1,5-2 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir (Özpeker, 1991).

1.4.2.1.3. Silikatlar ve Diğer Mineraller

Büyük miktarda kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin % 15-20'sini oluşturmaktadır (Ural, 2002). Silikatlar içinde killerden sonra en önemlisi kuvarstır. Kuvars genelde taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller; bataklık suyunda çözülmüş 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 izlenirler (Tablo 1.7) (Özpeker, 1991).

1.4.2.1.4. Tuzlar

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

1.4.2.2. İz Öğeler

Kayaç ve kömürlerin %0,1'in altında 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.

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 metalojik kok üretiminde önemlidir. İz öğeler kömür katmanlarının tespitinde de kullanılabilir (Özpeker, 1991).

1.4.3. Kömürde Kükürt Türleri ve Dağılımı

Kömürler değişik oranlarda kükürt içerir. Kükürt oranı, taş kömüründe düşük olmasına rağmen, genç kömürlerde (linyitlerde), yükselme gösterir (Tefek, 1989). Kömürde kükürt, inorganik ve organik olmak üzere iki şekilde bulunur. İnorganik kükürt, kömürde sülfat ve piritik kükürt şekillerinde olabilmektedir. Hemen hemen bütün kömürlerde bulunan bu kükürt türlerine ilave olarak, elementer kükürttten de bahsetmek mümkündür (Oruç, 1996). Sülfat kükürdü ve elementer kükürt diğerlerine göre az oranda bulunduğundan önemsiz kabul edilebilir (Atak, 1991)

1.4.3.1. Sülfat Kükürtü

Kalsiyum ve demire bağlı olan sülfat kükürtlerinden hidratlı kalsiyum sülfat (jips) genellikle kömürün çatlaklarında rastlanan ikincil bir mineral oluşumdur. Bir kömürdeki sülfat kükürt içeriği yüzeysel bozunmayla artmaktadır, örneğin demir sülfürlerin oksitlenmesi Fe(II) ve Fe(III) sülfatların oluşmasına neden olur. Kömürde yarım düzineye yakın demir sülfat minerali bulunmaktaysa da bunlardan en önemlisi melanterit

($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ve jarosit ($\text{Na,K Fe}_3(\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$) dir. Demir sülfatlar yalnızca bozunmuş kömürlerde önem taşımaktadırlar. Nadiren yüksek miktarlarda bulunurlar.

Kömürdeki sülfat kükürtü suda eridiğinden, kömürün arıtılması açısından herhangi bir sorun yaratmamaktadır (Özbayoğlu, 1982). Kömür yakıldığında, sülfat kükürdünün külde kaldığı kabul edilir (Ateşok, 1986).

1.4.3.2. Piritik Kükürt

Piritik kükürt terimi, kömürün pirit ve markasit içeriğini ifade etmek için kullanılır. Bu iki mineralin kimyasal kompozisyonları aynı olduğu halde kristal yapıları farklıdır. Pirit kübik, markasit ise ortorombiktir. Pirit hemen hemen her kömürde bulunduğu halde, markasit seyrek olarak görülmektedir. Bu nedenle piritik kükürt terimi yaygın olarak kullanılmaktadır. 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;

1. Damarlar: Kömür yatağı içindeki dikey eklemler boyunca bazen ince ve film gibi, bazen da birkaç cm'yi bulan uzantılar şeklindedir. İçlerinde iri kristaller de bulunabilir.
2. Mercekler: Şekil ve büyüklük itibarı ile çok değişken olup, genellikle yassı ve kesiti uzamış şekilde bulunurlar. Kalınlıkları ve enleri birkaç cm'ye kadar çıkabilen bu merceklerin uzunluğu bazen metrelerce olabilmektedir.
3. Yumrular ve Küreler: Küresel şekilli olup çapları birkaç cm'den bir m'ye kadar değişebilir. Bu kükürt küreleri, çoğunlukla saf pirit olmayıp, kalsit, siderit, kil mineralleri ve organik maddelerden bir veya birkaçını içerirler.
4. Piritleşmiş bitki dokusu: Bitkisel maddenin kömürleşmeye uğrayıp, inorganik maddeyle yer değiştirmesi sonucunda meydana gelir.

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 (Ateşok, 1986).

1.4.3.3. Organik Kükürt

Kömürün bünyesine bağlı olarak buluna kükürt, organik kükürt olarak adlandırılır. 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).

1.4.3.4. Elementer Kükürt

Elementer kükürt, kömürlerde çok seyrek olarak görülür. İkincil değişimler sonucu oluştuğu sanılmaktadır (Özbayoğlu, 1982). Piritin oluşumu esnasında, onun çok yakınında, birkaç moleküler mesafede meydana çıkmaktadır (Renda, 2000).

Bazı kömürlerde % 0,15'a kadar elementer kükürt içeriği tespit edilmiştir. Diğer kükürt türlerine göre önemsiz sayıldığından kükürttten arındırmada göz önüne alınmamaktadır (Özbayoğlu, 1982).

1.4.3.5. Kükürdün Kömür Damarları İçindeki Dağılımı

Çeşitli kükürt türlerinin bir damardaki veya bir hafzadaki dağılımlarının düzgün olmadığı bulunmuştur. Örneğin, piritin bir damarının dikey ve yatay doğrultusundaki dağılımını aynı olmadığı, buna karşın damarın en üst ve en alt zonlarında zenginleştiği

saptanmıştır. İnce taneli piritler iri taneli piritlere nazaran daha düzgün bir dağılım göstermektedirler.

Organik kükürtün dağılımı, kömür damarının tavanından tabanına doğru çok az bir farklılık göstermekte ve bu farklılık piritinkinin yanında önemsiz kalmaktadır. Diğer taraftan, kömür damarının yatay uzantısındaki organik kükürt dağılımında farklılıklar göze çarpmaktadır (Özbayoğlu,1982).

1.5. Yağ Aglomerasyonu Dışındaki Kömür Temizleme Yöntemleri

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 kömürlere diğer maddelerden ayrılması için çok ince öğütülmeleri gerekir. Ayrıca kömürleşme derecesine bağlı olarak kömürün yüzey özellikleri değişmekte ve buda kömürün temizlenmesini etkilemektedir (Yeniding, 1998).

Temiz kömür teknolojileri, kömürün çıkartılma, hazırlanma ve yanma verimini arttırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için tasarlanmış teknolojiler olarak tanımlanır (Selçuk, 1999). Yüksek kömürleşme dereceli kömürler yıllardır temizlemeye tabi tutuldukları halde, düşük küllü linyitlere ve yarı-taşkömürlerine kısmen kömür hazırlama işlemleri uygulanmaktadır (Özbayoğlu, 1999).

Üretim esnasında kömüre karışan yan kayaçlarla, kömür damarı içerisinde bulunan ara kesmelerden gelen mineral maddelerin ve kömür içindeki çok küllü parçacıkların atılarak, kömürün ısı değerini yükseltmek, kömür kullanımını daha ekonomik hale getirmek ve kömür kullanımından kaynaklanan çevre ve hava kirliliğini minimuma indirmek için kömür temizleme işlemi uygulanmaktadır. 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 içerisinden oldukça zor ayrılıyorsa bu tür kömürlerin temizlenebilme özelliği kötüdür (Yenidinç, 1998).

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 sifıra kadar değişen farklı boyut grupları içerir. İri kömür (6, 10, 18 mm ve üstü), ince kömür (-6, -10, -18 ve +0,5 mm arası), 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 (Çilingir ve Buğdaycı, 1989). 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 kullanımını azaltılabilir.

Yıkama tesisleri kurarak yerli linyitler değerlendirilerek, ülke ekonomisine katkı sağlanır (Bayazıt, 2000).

1.5.1. Yaş Temizleme Yöntemleri

1.5.1.1. İri Kömürün Temizlenmesi

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.

1.5.1.1.1. 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 manyetit $\%30$ 'u, ince taneli ayırmada ise $\%85$ 'i 45 mikronun 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 da süspansiyon karıştırılır ve ortamın görünür akışkanlığı düşürülür, ya da tanelerin kayma hareketini arttırmak amacıyla santrifüj kuvveti kullanılır.

Ağır ortam yöntemiyle yıkanacak kömürlerin 6,8 mm'den daha iri olanları iri boyutlu yerçekimi etkin, 0,5 mm ile 38 mikron arasında olanlara ise santrifüj kuvveti etkin ayırıcılara beslenir. Genellikle bu ayırıcılarda ağır ortam kaybı beslenen 1 ton kömüre karşı 100 gr ile 1000 gr arasında değişir.

Ağır ortam ayırıcıları, kömür temizlemede kullanılmaya başlandıktan itibaren bir çok 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 (oluk), 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 manyetit 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 performansıda daha iyidir. Larcodems; saatte 250 ton, 100-05 mm boyut grubundaki kömürü temizleyebilmektedir (Güney vd., 1996).

1.5.1.1.2. Jigler

1848'lerden beri kömürlerin yıkanmasında uygulanmakta olan jigler günümüzde de uygulanmaktadır. Bugün için tek bir jig kapasitesi 900 ton/saat'e çıkabilmektedir (Güney

vd., 1996). 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. Jiglerde 1 ton kömür için 3 m³ su gerekmektedir. Bunun 1 ton kömür için 2 m³'ü alt su ve 1 m³'ü üst sudur. Jiglerde suyun 2 görevi vardır. Taneleri aşağı yukarı hareket ettirerek, ağırlığa göre sıralamayı sağlamak, taneleri çıkışa doğru götürmek. Jiglerde, ayırma derecesi esas itibarı ile, alt su miktarı, impuls (gen) yüksekliği ve sayısına bağlı olarak değişir. Bu bakımdan, çalışma esnasında beslenen malzemedeki (kömürde) meydana gelebilecek değişiklikler:

- Mineral madde oranında,
- Tane iriliğinde,
- 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).

1.5.1.2. 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 ve oluklar ile temizlenir (Yenidingç, 1998).

1.5.1.2.1. Feldspatlı Jigler

Günümüzde feldspatlı jigler 12,5 mm'den daha ince kömürlerin yıkamakta halen yaygın bir şekilde eski lavvarlarda kullanılmaktadır. Kapasiteleri saatte 100 ton'a kadar çıkabilmektedir (Güney vd., 1996).

1.5.1.2.2. 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.

Eğik olarak çalışan ağır ortam siklonlarının değişik çapları mevcuttur. Besleme kapasiteleri ortalama 60 ton/saat'dir. Bu siklonlarda 40-50 mm arası kömür yıkanır. Son zamanlarda geniş çaplı siklonların geliştirilmesiyle, tane boyunun üst sınırı 50 mm'e yükselmiştir. Birçok ağır ortam siklonları geliştirilmiş olmasına rağmen bugüne kadar beklenen randıman sağlanamamıştır. Bu nedenle, pek çok kömür hazırlama tesisinde bu birimin kullanılmasından vazgeçilmiştir (Güney vd., 1996).

1.5.1.2.3. Oluklar

Kömür hazırlama tesislerinde kullanılan oluklar düz (Rheolaveur) veya dairesel (Reichert-Wickers) olabilir. Reichert-Wickers spiraller son yıllarda ince kömürün zenginleştirilmesinde en fazla kullanılan birimlerden biridir.

Kömür için özel profilli olarak çalıştırılarak polüretandan imal edilen 10-12 dönümlü spiraller 8-16 adetlik bataryalar halinde çalıştırılarak, dar bir alanda yüksek kapasitelerle kullanılabilirler. Reichert spiralleri için en uygun besleme boyutu 0.1mm ile 3mm arasındır. Bu boyut aralığında oldukça etkili olarak ayırım yapabilmektedir (Güney vd., 1996).

1.5.1.2.4. Sallantılı Masa

Sallantılı masada kömür yıkama, bazı Batı Avrupa ülkelerinde, bilhassa ABD’de önemli ölçüde uygulanmaktadır. Önceleri, şlam halindeki kömür sallantılı masada yıkanırken, bugün ince kömür (0-10mm) sallantılı masada yıkamaya tabi tutulmaktadır. Hatta daha iri kömürlerinde sallantılı masada yıkandığı tesisler mevcuttur. Kömür yıkamada en çok kullanılan sallantılı masa tipi, Deister-sallantılı masalarıdır. Bunların, uzunlukları 4-5m ve genişlikleri de 1.6-1.8m arasındadır. Bu masalarda;

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

Sallantı boyu, tane iriliği büyüdükçe ve kapasitesi arttıkça, büyümektedir. Masa üzerindeki çıkıntılar ağaç, linoleum ve kauçuktan yapılmaktadır. Bu çıkıntılarının (çıtaların) yüksekliği, yıkanacak kömür tane iriliğine göre seçilmekteyse de, 20-25’mm den daha küçük olmamaktadır. İri kömürde, çıta yüksekliği 70mm ve daha yüksek olabilmektedir. Çıtaların 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 t/saat
0-12 mm kömür için	10-11 t/saat
0-25 mm kömür için	15 t/saat (Kemal ve Aslan, 1999).

1.5.1.3. Toz Kömür Temizleme Yöntemleri

Toz kömürler flotasyon, yağ aglomerasyonu ve seçici flokülasyon ile yıkanır. (Cebeci ve Eroğlu, 1998).

1.5.1.3.1. Flotasyon

Flotasyon, çok ince tane büyüklüğünde ayrılması mümkün olan minerallere tatbik edilen bir temizleme yöntemidir. Flotasyon yöntemi, gravite yöntemleri ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için kıymetsiz kabul edilen, pek çok düşük dereceli veya kompleks yapılı cevher yatağının işletilmesini mümkün kılarak, madencilik

endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır. 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. Yüzeye 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. (Şekil1.2) bir flotasyon makinesinde, flotasyonun temel prensiplerini göstermektedir (Oruç, 1996).

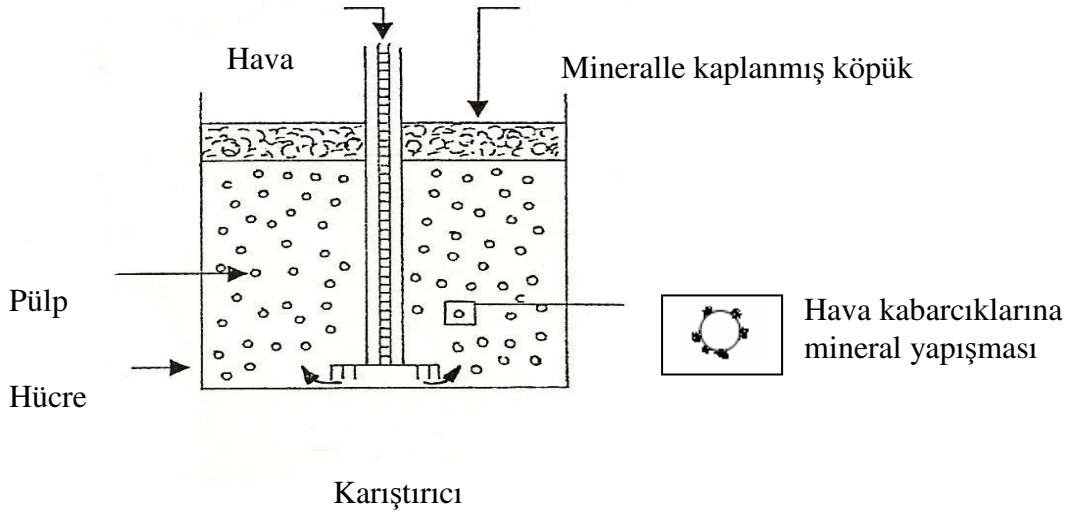
Flotasyon çok kompleks bir işlemdir. Mineral endüstrisinde geniş çapta kullanılmasına rağmen flotasyon performansını etkileyen birçok değişkenin rolleri hala iyice anlaşılamamaktadır (Hui and Ahmet, 1999).

Toz kömürlere genellikle flotasyon yöntemi uygulanır. Kömür ocaklarındaki üretim teknolojilerin gelişmesi ile birlikte toz kömür miktarı artmakta olup flotasyon yöntemi daha da önen kazanmaktadır.

Kömürlerin flotasyon özellikleri, kömürleşme derecesi, petrografik yapısı, kül miktarı, kül yapıcı minerallerin cinsi ve yüzey oksidasyonuna bağlı olarak değişmektedir. % 86 – 90 arasında karbon içeren bütümlü kömürler kolay yüzmektedirler. Kömürdeki vitrinit oranı arttıkça flotasyon yeteneği artar. Kömürün kül oranı ve yüzey oksidasyonu arttıkça doğal yüzebilirliği azalır (Özbayoğlu, 1979).

Kömürler doğal olarak, yani kimyasal reaktifler kullanılmadan yüzebilseler de doğal flotasyon kabiliyeti kömür cinslerine göre çok değişmektedir. Bu flotasyon kabiliyeti linyitlerde en zayıftır. Yarı bitümlü ve bitümlü kömürlerde flotasyon kabiliyeti artmakta, antrasitte ise biraz düşmektedir.

Kömür flotasyonuna etki eden faktörler; tane boyutu, pülp katı oranı (pülp yoğunluğu), hava kabarcık boyutu, hava miktarı, karıştırma hızı, besleme hızı, kullanılan reaktifler, nemin etkisi, külün etkisi, kömür rankının etkisi, suyun pH derecesi ve flotasyon makinesidir (Oruç, 1996).

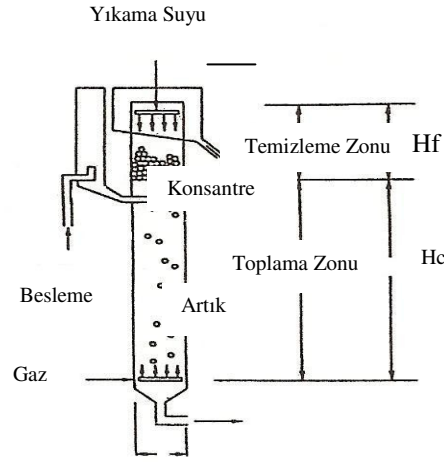


Şekil 1.2. Flotasyonun temel prensipleri (Oruç, 1996).

Bütümlü kömürlerin bazıları sadece köpürtücü reaktif ile yüzdürülebilir. Bu kömürlerin flotasyonunda alkol tipi (MIBC, izooktonal) veya fenol tipi (kresilik asit, çamyacı) bir reaktif yeterli olmaktadır. Flotasyon yeteneği zayıf kömürlerde hidrokarbon yağları (mazot, gazyağı) kullanılmaktadır. Kömür flotasyonu için özel reaktifler (C 91, C 132, Montanol vb.)'de üretilmektedir. Kömürdeki safsızlıklardan kil minerallerinin bastırılması için sodyum silikat ve sodyum karbonat, piritin bastırılması içinde sodyum siyanür ve kireç kullanılmaktadır (Kemal, 1987). Kömür flotasyonunda klasik, kendi kendine havalandırmalı mekanik makinelerden başka pnömomatik makineler de kullanılmaktadır. Günümüzde daha basit, ucuz, daha az tamir – bakım masrafı gerektiren makinelere doğru bir gelişme olmaktadır. Flotasyon makinelerinde türbülansın minimum olması istenir. Bu yönde klasik flotasyon makineleri yerine, modern ve yüksek verimli rotor–stator sistemleri geliştirilmiştir (Yeniding, 1998). Günümüzde en çok kullanım alanı bulan yeni flotasyon sistemleri; Kolon ve Jet (Jameson) flotasyon sistemleridir (Güney vd., 1996).

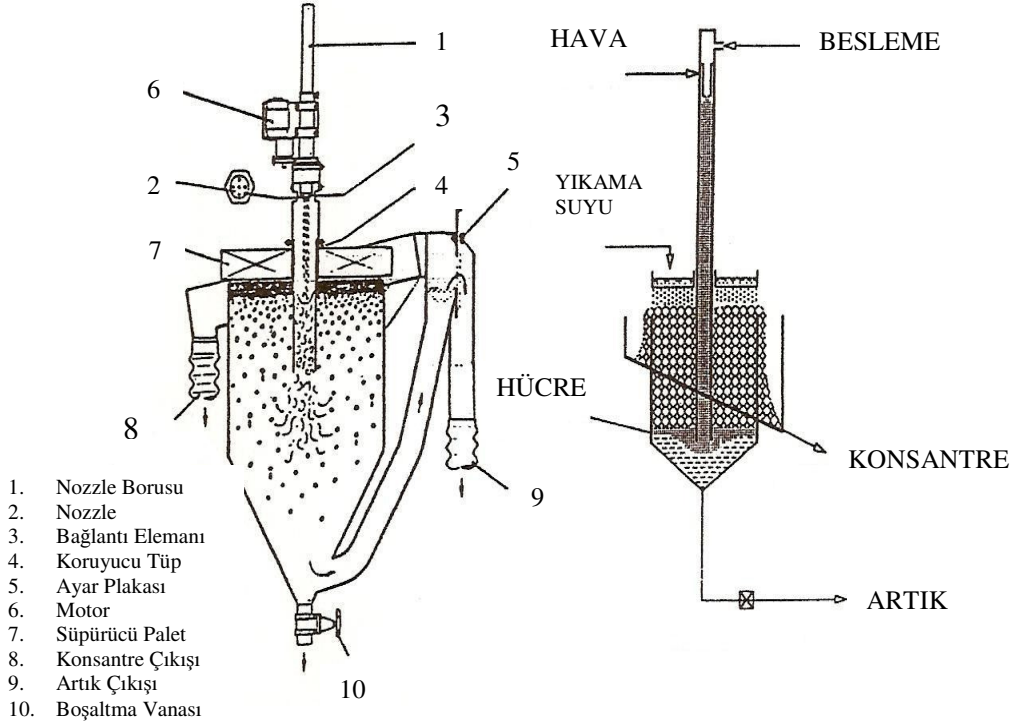
Kolon flotasyonu makinelerinin kömür temizlemede çok etkili olduğuna şüphe yoktur (Rubinstein, 1999). Şematik görünüşü (Şeki 1.3)'de verilen kolon flotasyonunun klasik (pervaneli) flotasyondan ayıran en önemli özelliği, hücre şeklinin yanı sıra mekanik karıştırmanın olmamasıdır. Flotasyon için gerekli kabarcık üretimi özel bir sistem ile sağlanmakta, ayrıca flotasyon köpüğü yıkama suyu ile yıkanmaktadır. Endüstride

kullanılan flotasyon kolonları 9-15m yüksekliğinde ve 0.5-0.3m çapındadır. Bazı tesislerde 3m'e kadar çıkabilmektedir. Pülp, tabandan itibaren hücre yüksekliğinin 2/3'ü kadar yukarıya doğru hareket ederken, yukarıya doğru hareket eden kabarcık ile karşılaşmaktadır. Taneciklerin kabarcığa yapıştığı bu bölgeye "Toplama Bölgesi" denmektedir. Köpük ürününün yıkandığı bölüm ise "Temizleme Bölgesi"dir (Güney vd., 1996).



Şekil 1.3. Kolon flotasyonunun şematik görünüşü (Güney vd., 1996).

Çok ince boyutlu tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılan jet flotasyonu 1985 yılında Berlin Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. 20 mikron altındaki boyutlarda bile etkili bir ayırma yapabilmektedir. 1990'lı yıllarda Avustralya'da sisteme yıkama suyu ilave edilerek "Jameson Cell" adı altında, kömür temizleme tesislerinde kullanıma başlanmıştır. Sistemin basitliği, kapasitesinin yüksek olması ve selektif bir konsantre üretimi bakımından özellikle tercih edilen Jet flotasyonunda pülp, herhangi bir mekanik karıştırma işlemine tabi tutulmaksızın yüksek basınçlı dar bir kesitten hava ile birlikte geçirilerek enerji ile yüklenmekte ve bu enerji pülpün karıştırılmasında kullanılmaktadır. Diğer sistemlere oranla kabarcık miktarı fazla küçük çaplıdır. Bu yüzden flotasyon süresi çok kısalmaktadır. 0.8 m³'lük bir jet flotasyon hücresi ile saatte 7 ton kömür zenginleştirilebilmektedir. (Şekil 1.4)'de Jet ve Jameson flotasyon sisteminin şematik görünüşü görülmektedir (Güney vd., 1996)



Şekil 1.4. a) Jet flotasyonu b) Jameson Cell şematik görünüşü (Güney vd., 1996).

1.5.1.3.2. Seçici Flokülasyon

Seçici flokülasyon yöntemi çok küçük taneli (-0.15mm) 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. Yapılan bir çalışmada flokülant madde olarak bakteriler kullanılmış ve %80'e varan pirit uzaklaştırma oranları elde edilmiştir. Seçici flokülasyon ultra-ince 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 (Uslu, 2002).

1.5.2. Kuru Yöntemler

Kömür yıkamada, kuru yıkama yöntemleri fazla kullanılmamaktadır. Zira, 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.

Sayılan 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 parçalanmış kömürlerde havalı masa ve jig kullanılması söz konusu olabilir.

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

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

1.6. Kömürün Yağ Aglomerasyonu

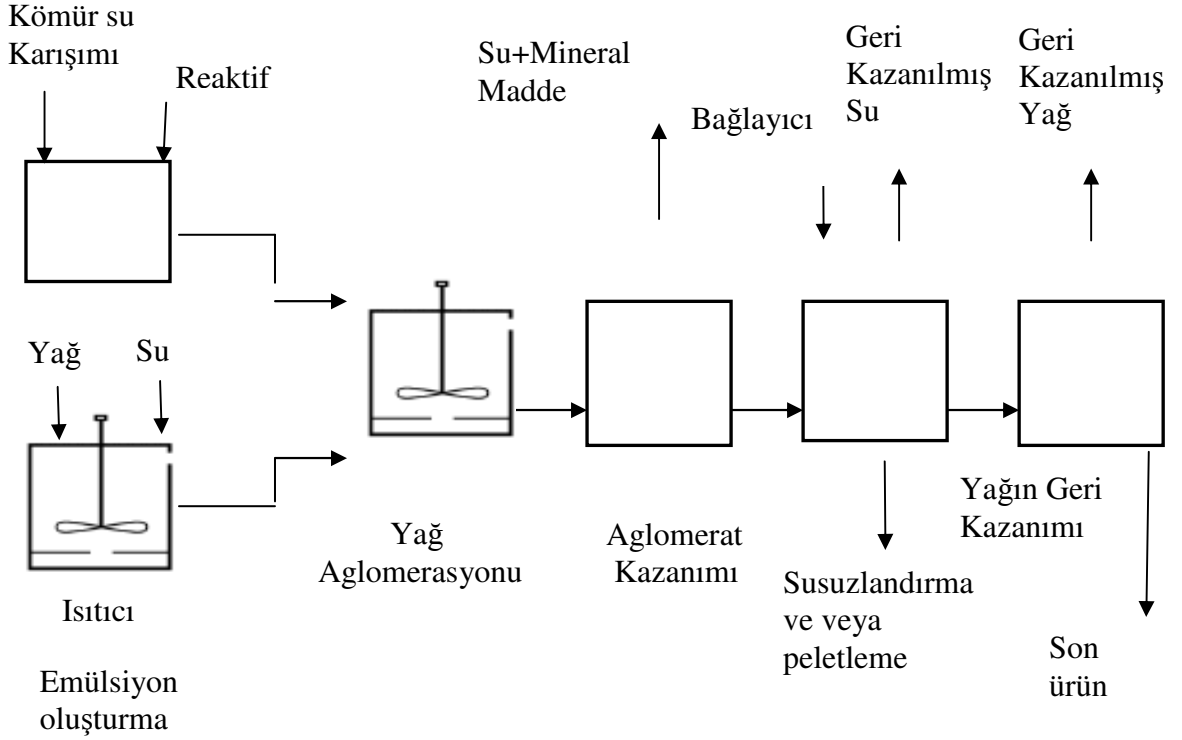
1.6.1. Yağ Aglomerasyonunun Teorisi

Yağ aglomerasyonu kömürün ve beraberindeki mineral maddelerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak seçimli ayırım yapabilen bir temizleme

yöntemidir (Hoşten ve Uçbaş, 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 (Capes, 1980)

Agglomeratların, sistem içerisinde büyümesi birbirleriyle çarpışma ile, yüzeylerinin çok ince kömür tanecikleri ile kaplanması ile ve karıştırma esnasında parçalanan zayıf aglomeratların sağlam aglomeratlara yapışması ile olmaktadır (Kılınç, 2000).

Yağ aglomerasyon metotlarının gelişme safhasında elde edilen birçok değişik akım şemaları vardır. (Şekil 1.5)'de yağ aglomerasyonu akım şemalarından biri verilmiştir.



Şekil 1.5. Yağ aglomerasyonu için geliştirilmiş bir akım şeması (Mehrotra vd., 1983).

Yağ aglomerasyon yöntemi için tipik bir akım şeması beş aşamadan oluşur: 1) Yağ ısıtılması ve pülp karışımının şartlandırılması, 2) Yağ-su emülsiyonunun hazırlanması, 3) Pülp ile yağın karıştırılması ve yağ aglomerasyonu, 4) Oluşan aglomeratların kazanımı, 5) Su giderimi ve peletleme

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 (Mehrotra vd., 1983).

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 aglomerasyonunda ki 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 doymuş 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).

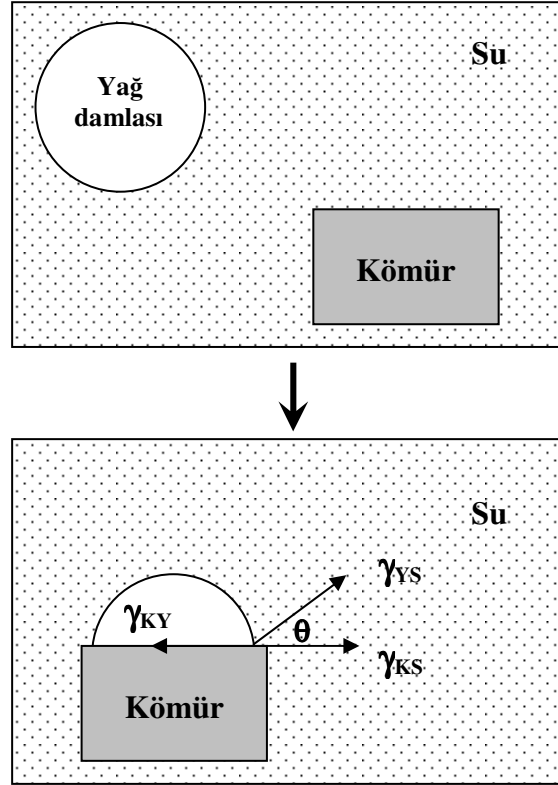
Aglomerasyon tekniğinin başarısı kullanılan yağın türüne ve miktarına son derece bağlıdır. Miktar ve tür seçiminde kömür rankının, tane boyutunun ve nem içeriğinin mutlaka dikkate alınması gerekir. Genellikle kül giderimi açısından hafif yağlar linyitlerde diğer kömür örneklerine göre daha iyi sonuç vermektedir. Düşük ranklı kömürler düşük hidrofobik özelliğe sahip olduklarından, böyle kömürlerin aglomerasyonunda, kullanılacak olan aglomerasyon yağının seçimi, özel ve sistematik bir çalışmayı gerektirir (Doymuş, 1997).

Aglomerasyonunda kullanılan yağların su içerisinde çözünmemelerinden 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 emülsiyonunun 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 dağılıbilir. 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 artırıldığında daha iyi aglomerat oluşumu sağlanırken, istenilen karıştırma süresi düşer (Şimşek, 1999).

Su içinde dağılmış olarak bulunan fazlar; çarpışma, yapışma ve tekrar kopma alt prosesleri nedeniyle ilişkiindedirler. 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, kontak 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°'dir. Kömür ise, kömürleşme derecesine bağlı olarak, 60° civarında bir değer alır (Kılınç, 2000). Ayrıca, bu değerler sadece aglomerasyonla kömür kazanımının değerlendirilmesinde değil aynı zamanda toz kömürlerin flotasyon verimlerinin değerlendirilmesinde de genişçe kullanılmaktadır. Temas açısının büyütülmesi yönündeki etkilerinden dolayı, aglomerasyon işleminde kullanılan yağların çoğu flotasyonda toplayıcı olarak kullanılmaktadır. Aglomerasyon tekniğinin etkinliği aglomerat büyüklüklerinin ölçülmesiyle de değerlendirilebilmektedir (Doymuş, 1997). Şekil 1.6'da 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 1.6. 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 açığa 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 (Şimşek, 1999).

Termodinamik açıdan, yağ ve yanabilen kömür taneciklerinin ıslatılması 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 (Doymuş, 1997).

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 adsorbsiyonun 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).

1.6.2. Yağ Aglomerasyonu Gelişimi

Yağ aglomerasyon tekniğinin geçmişi 1920'li yıllara kadar uzanmaktaysa da o 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. Tesiste 100 meşin altına öğütülmüş kömür tozlarından pülp yoğunluğu %40 olacak şekilde süspansiyonlar hazırlanarak, kömür ağırlığının %30'u kadar da fuel-oil kullanımı ve 150rpm hızla dönen bir karıştırıcı ile tank içerisinde karıştırılarak aglomerasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda elde edilen aglomeratların boyutu 25mm'ye kadar çıkmakta ve %4 kül içermekteydi.

Bu yöntemde işletme maliyeti çok yüksek olduğu için elde edilen temiz kömür, büyük kömür pazarlarında satılamadı, ancak briketlendikten sonra evlerin ısıtılmasında kullanılmak üzere süper yakıt olarak pazarlanabildi. Bu yüksek maliyetten dolayı Trent yöntemi birkaç yıl sonra uygulamadan kaldırıldı.

Trent tesislerinin kapanmasından sonra 1952 yılına kadar yağ aglomerasyonuna çok az ilgi gösterildi. Daha sonra, yüksek hızlı santrifuj filtre ile birlikte çalışan Convertol yöntemi geliştirildi. 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.

National Research Council of Canada (NRCC) yöntemi, küresel aglomerasyon yöntemi olarak da tanımlanan bu yöntem, 1960'lı yılların başlarında geliştirilmiştir. Kömür artıklarından 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. 6-12mm boyutunda elde edilen peletlerin, nem içeriğinin basit gravite drenajı ile 12 saatte %3-5 seviyesine indirilebileceği görülmüştür.

Shell prosesi (1970), 5 mikron tane boyutuna sahip kömür tozlarının ağır yağlar eşliğinde 3 dakika süreyle 500 ve 200 rpm de 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 meşlik tane boyutuna sahip kömür örnekleri kullanılarak önemli derecede iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu proses pilot tesis aşamasını geçememiştir. Söz konusu pilot tesislerin, çalışma kapasitesi 15 ton/saat olup, mekanik

herhangi bir problem doğurmamışlardır ancak maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle endüstriyel ölçekte uygulama imkânı 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 prosede, ince kömür pülpi (-100 mikron) önce kolloid değirmenlerde %2 mazot oranı ile 2 dakika kondisyonlanır. Daha sonra %8-12 ağır yağ ile karıştırılır. Yıkama devresi ara ürünü ve diğer yüksek küllü kömürleri temizlerken daha ince öğütülmüş beslemeye (%80'ni -100 mikron) ihtiyaç duyulabilir. Bu durumdan dolayı kondüsyonlama öğütme sürecinde yapılır. Süspansiyonun pH'ı istenilen değerlere kireç, Na₂CO₃ ve asit gibi reaktiflerin eklenmesiyle önceden belirlendiği seviyede sıkı bir şekilde kontrol edilir. Bu yöntem ile pH ve kondüsyonlamanın verim ve kül uzaklaştırma üzerinde etkisi incelenmiştir. Ayrıca en iyi pülp 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 edilir. BHP yönteminde, yağ aglomerasyonuna tabi tutulmuş pülp elek üzerine beslenir. Elek üzerinde, topaklanmış ürünün üzerinden kül mineralleri içeren tanelerin uzaklaştırılması için fiske su ile yıkama yapılır. Yaklaşık %30 nem içeren bu ürün stoklarda stoklanır ve kısa bir zaman sonra drenaj ile nem içeriği yaklaşık %10'a düşer. Bu yöntemde %7-10 kül içeriği ve %85-90 ağırlıkça kömür kazanımı için yağ tüketiminin %8-10 kadar olduğu belirtilmiştir (Mehrotra vd., 1983).

1.6.3. Türkiye Kömürleri Üzerine Yapılmış Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları

Kömürün seçimli yağ aglomerasyonu ile temizlenmesine yönelik çalışmalara günümüzde de yoğun bir şekilde devam edilmektedir. Türkiye kömürleri üzerine yapılmış yağ aglomerasyonu deneylerine örnekler;

Uçbaşı 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 0,147mm (100meş) ve 0,074mm (200meş) 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 -100meş'lik numune için % 12-14 düzeyinde iken, 200meş'lik numune için gerekli yağ konsantrasyonu % 22'dir. Deneylerde %30 katı oranının üzerinde bile aglomerasyonun mümkün olduğu görülmüştür.-100 meş 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 belirlediğini, aglomeratların kül miktarının katı oranındaki değişimlerden etkilenmediğini, tane boyutu küçüldükçe daha düşük küllü aglomeratların elde edilebildiğini, gazyağı ve solvent naftanın aynı düzeyde etkili olduğunu ve aglomerasyonun flotasyona göre daha küçük küllü kömür üretebildiğini göstermiştir.

Şahbudak (1998), taş kömürün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde bağlayıcı öncesi ön işlem maddesi ilavesiyle yağ tüketiminin azaltılmasını incelemiştir. Ön işlem maddesi olarak NaCl, FeCl₂, Fe₂(SO₄)₃, Al(SO₄)₃, CCl₄, Metanol, Etanol, Broform kullanılmıştır. Sadece gazyağı kullanılarak yapılan aglomerasyon deneyleri sonucunda % 25 bağlayıcı sıvı oranına kadar verimin arttığı bu değerden sonra düştüğü görülmektedir. Düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında verimdeki düşüşün, bağlayıcı sıvının kömür yüzeyini yeterince kaplamamasından, yüksek konsantrasyonlarda verimdeki düşüş ise elde edilen aglomeratların mekanik kuvvetlere karşı dayanımının az olmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Yalnızca gazyağıyla aglomerasyon süresinin verim üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde en iyi aglomera olma süresinin 5-10 dakika olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcı sıvı olmadan sadece ön işlem maddesi kullanımıyla kömürün aglomera olmadığı belirlenmiştir.% 15 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda ön işlem malzemelerinin kullanımıyla verimde % 1-7 lik bir artış gözlemlenmiştir. Verimdeki bu artışın kullanılan ön işlem maddelerinin kömürün zeta potansiyelini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Sadece gazyağıyla 10 dakikada elde edilen verime ön işlem maddeleri ve

gazyağının birlikte kullanılmasıyla 5 dakikada ulaşılmıştır. Ön işlem maddelerin konsantrasyonundaki değişim aglomerasyon süresini etkilememiştir. Karıştırma hızının verim üzerine etkisinin incelendiği deneylerde maksimum verime karıştırma hızı 500-1000 dev/dak olduğunda ulaşılmıştır.

Şimşek (1999), taşkömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde bazı işletme parametrelerinin etkisini incelemiştir. Deneyde sabit tutulan parametreler katı oranı % 3.6, karıştırma hızı 500 dev/dak, kondüsyon süresi (kömür+su karışımı) 5 dakikadır. Karıştırma tamamlandıktan sonra, karışım 0.710 mm 'lik elekten elenerek aglomeratlar elek üstü ürün olarak ayrılmıştır. Taşkömürünün aglomerasyonunda en uygun bağlayıcı sıvı konsantrasyonu % 20 olarak belirlenmiştir. Aglomerasyon süresinin verim üzerine etkisinin incelendiği deneylerde, maksimum verime aglomerasyon süresi 15 dakika olduğunda ulaşılmıştır. Değişik pH larda yapılan deneylerde en iyi bulgu normal musluk suyu pH'sında(7,50) elde edilmiştir. FeSO.7H₂O lı deneylerde verimde önemli düşüşler gözlenirken,diğer tuzlarla yapılan deneylerde aglomerasyon veriminde önemli bir değişme görülmemiştir. Optimum tuz konsantrasyonlarında aglomerasyon süresinin etkisinin incelendiği deneylerde süre arttıkça verim artmıştır. Bu artışlar özellikle 5 dakikada maksimuma ulaşmıştır. En fazla artış FeCl₃.6H₂O ile elde edilmiştir.

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 etkileri incelenmiştir. 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 sağlamıştır. 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 arttırıldığı da kalite değerleri artmış, parçacık boyutu küçüldükçe kalite değerleri küçülmüştür. Aglomerasyon sonucu elde edilen aglomeratlar

yıkanmıştır ve yıkama suyu miktarının (0-2000 gr arasında) artmasıyla kalitede artmıştır. Aglomerasyonda kül giderme etkinliğinin, bitümlü kömürlerde, düşük ranklı kömürlere nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Oluşan aglomeratlar farklı elek 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.

Çuhadaroğlu ve Özdağ (1996), Zonguldak lavvarından alınan -0,5 mm 'lik kömürün flotasyon ve yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliğini incelemiştir. 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 -0,074mm, 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 (20⁰C) olması gerektiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerde en iyi sonuçlar olarak, 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.

Cebeci (2000), bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun, pH değerinin, aglomerasyon zamanının, karıştırma hızının, katı içeriğinin ve Na₂SiO₃ miktarının seçimli aglomerasyona olan etkilerini araştırmıştır. Bağlayıcı sıvı olarak % 70 fuel oil + % 15 Acorga M5640 + % 15 Flotogol CS kullanılmıştır. Deneylerde -500, -75 ve -20 µm boyutlarında üç numune kullanılmıştır. -75 µm boyutunda olan numune ile % 18 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, pH 8 de, % 20 katı konsantrasyonunda, 5 dakika kıvamlandırma süresinde karıştırma hızı 1000 dev/dak. 'da ve 7500 gr-ton Na₂SiO₃ ile 30 dakikalık aglomerasyon sonunda edilen deneyde % 17,08 küle ve % 97,87 yanabilirlik verimine sahip bir ürün ortaya çıkmıştır.

Cebeci vd. (2002), Zonguldak bitümlü kömürün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde, bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun, aglomerasyon zamanının, pH'ın ve çeşitli tuzların etkilerini incelemiştir. Deneyde kullanılan numunenin boyutu -0.6mm dir. Bağlayıcı sıvı olarak kerosen kullanılmıştır. Katı oranı % 3,5 dir. Karıştırma hızı 500 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Kullanılan tuzlar ise metalik tuzlardan FeSO₄, NaCl, FeCl₃, Al₂(SO₄)₃ tür. NaCl konsantrasyonu arttıkça yanabilirlik verimi de artmıştır. FeCl₃ ve

$Al_2(SO_4)_3$ 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 (Cebeci vd., 2002).

Gürses vd. (2003), iki Türk linyitinin aglomerasyonunu incelemiştir. Deneylerinde katı konsantrasyonunun, yağ miktarının ve aglomerasyon süresinin, oluşan aglomeratların sülfür, kül içeriklerine ve aglomerat verimlerine olan etkilerini incelemiştir. Tane boyutu $-425 \mu m$ 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. Verim %75'e kadar çıkmıştır. Kül ve sülfür içeriklerindeki azalmanın ise aglomerasyon süresine pek bağlı olmadığı belirlenmiştir (Gürses vd, 2003).

Canpolat (2003), Zonguldak Taşkömürünün yağ aglomrasyonu ile temizlenebilirliğini incelemiştir. Deneylerde optimum koşullar; pH: 7.94, karıştırma hızı:1000dev/dak., bağlayıcı sıvı oranı: %25, katı oranı: %5 , kondisyonlama süresi:5dak., aglomerasyon süresi:15dak. olarak bulunmuştur. Optimum koşullarda yapılan deneyde %97,44 yanabilir verim ve %30,06 kül atımı değerine ulaşmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

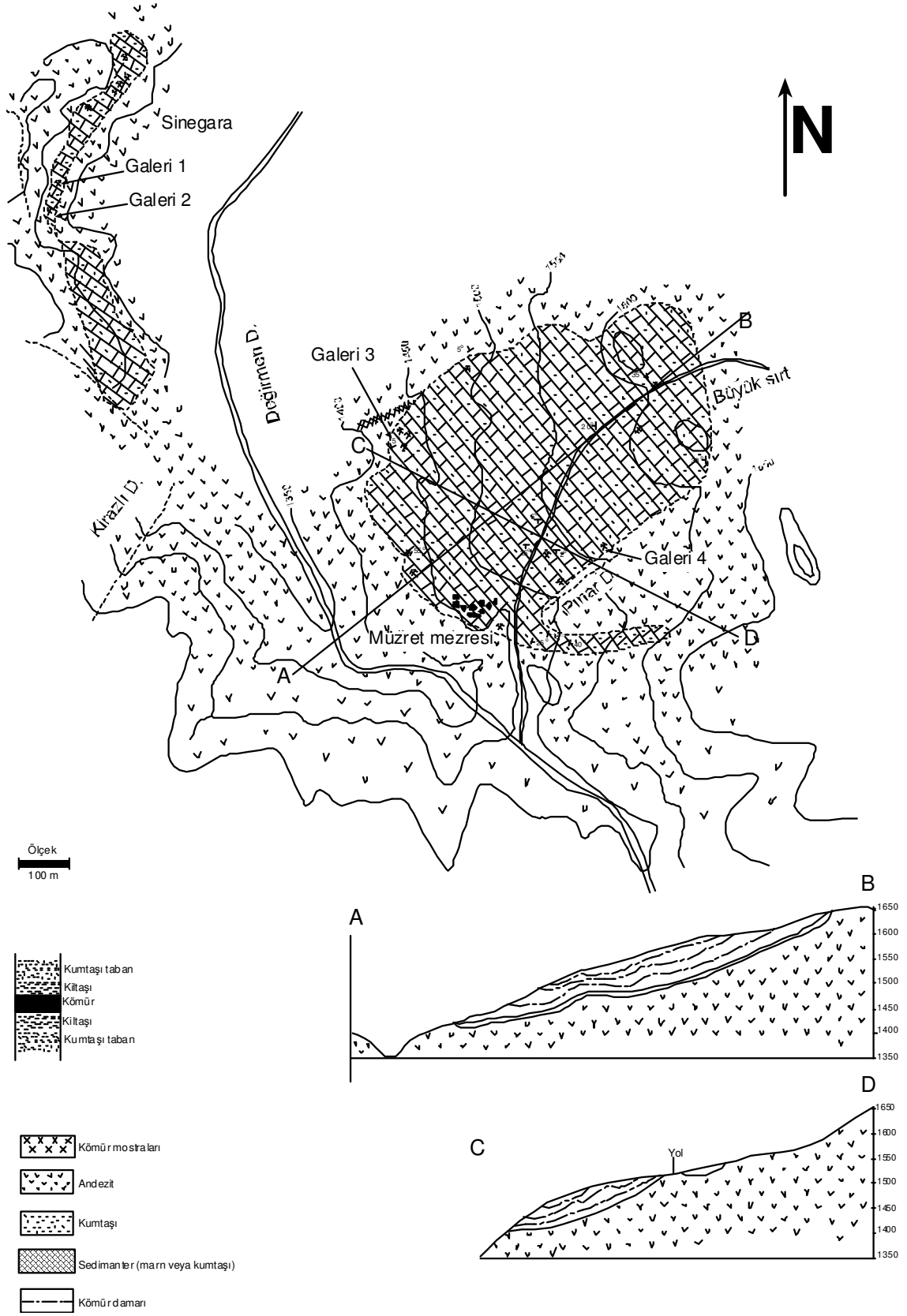
2.1. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Müzret (Yusufeli-Artvin) kömürü kullanılmıştır. Müzret kömür sahası, Artvin iline bağlı Yusufeli ilçesinin 10 km güney basında bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yerbulduru haritası (Alp vd., 2004).

Sahada, kömür kalınlıkları 0,5-3m arasında değişen ve aralarında kıltaşı seviyeleri bulunan 3 damar halinde bulunmaktadır. Tabanda kıltaşı tabakaları ve tavanda ise tüf-kumtaşı karakterli tabakalar bulunmaktadır (Şekil 2.2). Kömürlü zonun toplam kalınlığı 15 m kadardır (Alp vd., 2004). Bölgede yaklaşık 250.000 ton kömür rezervinin olduğu tahmin edilmektedir (Gökmen vd., 1993). Kömürlü seviyenin üzerinde 15-50 m arasında değişen örtü tabakası bulunmaktadır (Zengin, 1955).



Şekil 2.2. Yusufeli-Müzret mevkii jeolojik haritası (Zengin, 1955).

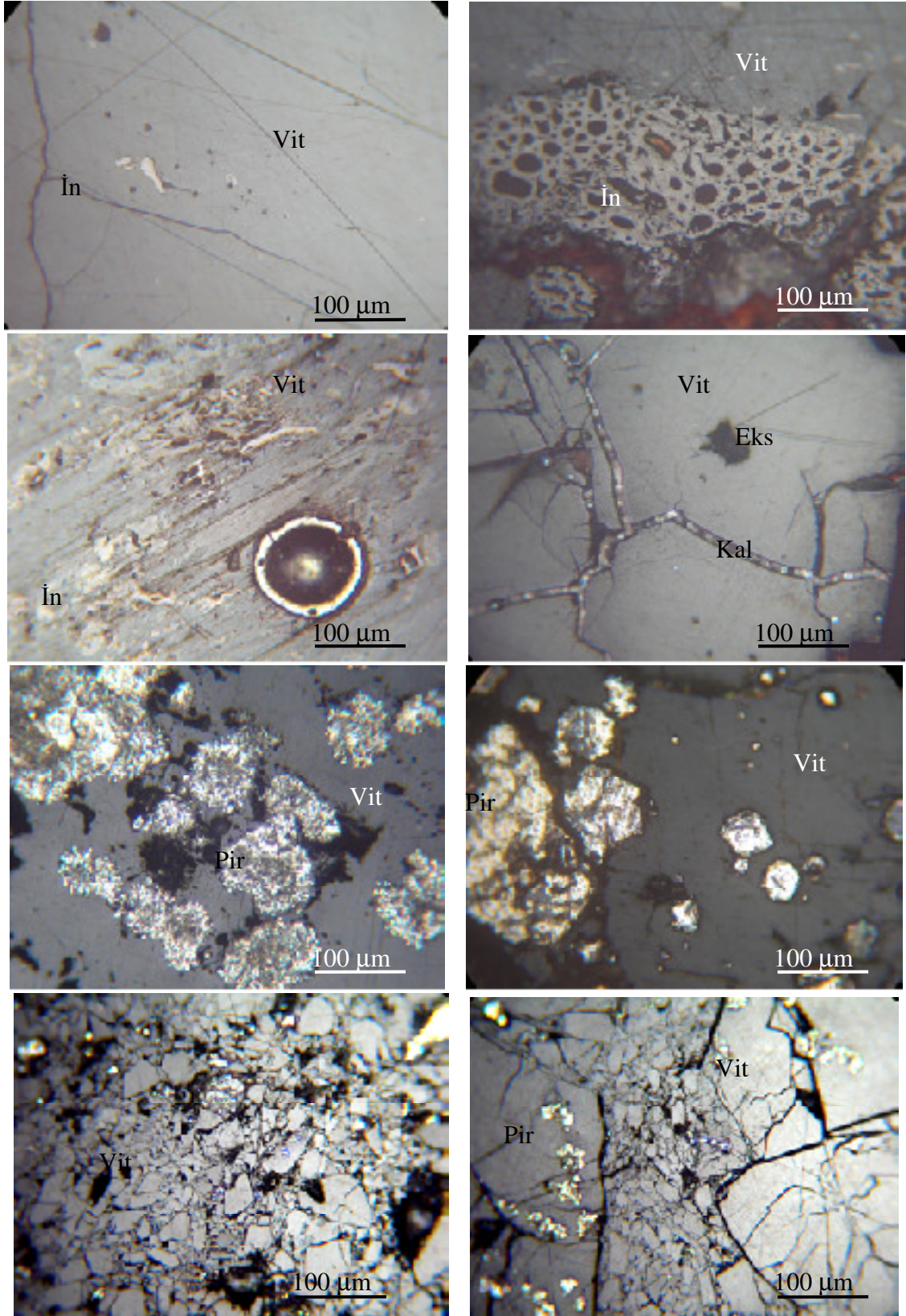
Yağ aglomerasyonu deneylerinin yapılması amacıyla, Müzret havzasından standart örnek alma yöntemlerine göre kömür numunesi alınmıştır. Alınan kömür numunesinin miktarı konileme dörtleme yöntemi ve numune bölücü kullanılarak azaltılmış, kimyasal, petrografik ve minerolojik analizler yapılmıştır. Kimyasal ve petrografik analiz sonuçları Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’ de gösterilmektedir. Petrografik ve minerolojik incelemeler, kömürdeki miktar olarak en önemli mineralin pirit olduğunu göstermiştir. Gözlenen diğer mineraller ise kil, kalsit, kuvars, jips ve siderit’tir (Şekil 2.3 ve 2.4).

Tablo 2.1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları

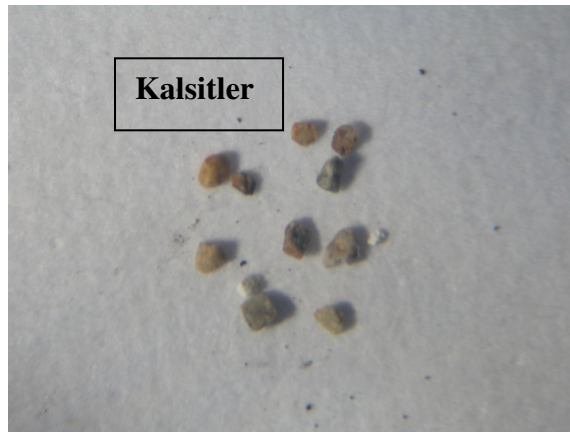
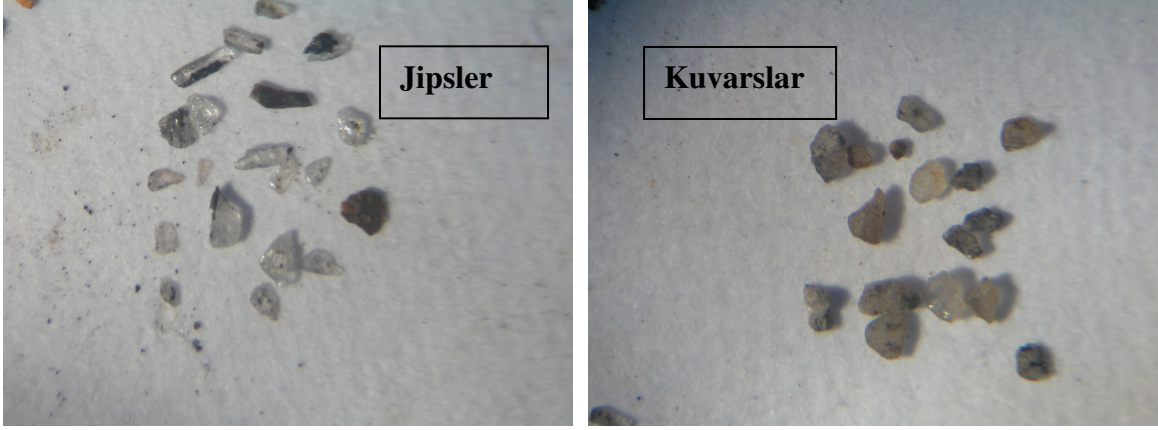
Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	1.71	-
Kül (%)	21.12	21.49
Uçucu Madde (%)	20.86	21.12
Sabit Karbon (%)	56.31	57.29
Sülfat Kükürt (%)	1.06	1.09
Piritik Kükürt (%)	5.17	5.26
Organik Kükürt (%)	2.22	2.26
Toplam Kükürt (%)	8.45	8.60
Kalorifik Değer (kcal/kg)	6143	6250

Tablo 2.2. Müzret kömürünün petrografik analizi (Alp vd., 2004).

Maseraller (%)			Mineraller(%)		
Vitrinit	Eksinit	İnertinit	Pirit	Kalsit-Kil	Diğerleri
55	8	8	15	12	2



Şekil 2.3. Müzret kömürlerinin yansıtımlı ışıktaki ve yağ immersiyonunda petrografik bileşenlerinin görünüşleri (Vit: Vitrinit, İn: İnertinit, Eks: Eksinit, Pir: Pirit, Kal: Kalsit) (Alp vd., 2004).



Şekil 2.4. Müzret kömüründen ayıklanmış mineral maddelerin mikroskopta görünüşü

2.2. Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı

Aglomerasyon deneyleri öncesi kömür boyutu 0,5 mm' in altına indirilmiş ve deneyler -0.5mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.3'de kömürün tane boyu analizi gösterilmiştir. Buna ilave olarak da, tane boyutunun aglomerasyona etkisinin belirlenmesi amacıyla -0.3 ve -0.106mm 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 2.5). Karıştırıcının pervane çapı 50mm olup karıştırma işlemi kap tabanından 8mm yükseklikte yapılmıştır. Ağırlıkça %5, %10, %20, %30 oranında kömür içeriğine sahip kömür-su karışımı, 1000 dev/ dak. hızda 5 dakika şartlandırılmıştır. Ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında gazyağı (yoğunluk 0.81 gr/cm³) ilave edilerek kömür-su-gazyağı karışımı, 1400 dev/dak.'da 5dak., 10dak., 20dak. sürelerle karıştırılmıştır. (Daha sonra ki bazı deneyler için gazyağı oranı %40'a kadar, aglomerasyon süresi 40 ve 60'dak.'ya kadar, karıştırma hızı 1800 dev/dak.'ya kadar artırılmıştır). Karıştırma işleminden sonra pülp 0.5mm boyutlu eleğe beslenerek aglomeratlar elek üstü olarak kazanılmıştır. Aglomeratlar, yüzeylerine yapışan mineral maddelerin uzaklaşması için eleklerle birlikte içinde su olan bir kaba su seviyesi elek yüksekliğinin yarısına gelecek şekilde daldırılıp çıkartılmış daha sonra elekten uzaklaştırılmıştır. Aglomeratlar, vakum filtreye konularak susuzlandırılmış (Şekil 2.6), 200 ml aseton ile yıkanarak da yağı arındırılmıştır. Daha sonra etüvde 105⁰C ± 5⁰C'de kurutulmuş ve tartılmıştır (Şekil 2.7). Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu akım şeması (Şekil 2.8)'de gösterilmektedir. Pülpün kömür içeriğinin, yağ miktarının, aglomerasyon süresinin aglomerasyona olan etkisi belirlendikten sonra bazı değişkenler sabit tutularak, karıştırma hızının, pülp pH'ının, kömür tane boyutunun, yağ tipinin, yıkama suyu miktarının ve aglomerat kazanım eleği boyutunun, aglomerasyon üzerine etkilerini belirlemek amacıyla aglomerasyon deneyleri yapılmıştır.

Tablo 2.3. Kömür tane boyutu analizi

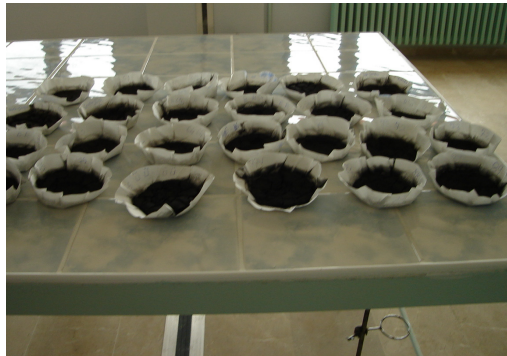
Kömür tane boyutu	-0,5+0,3	-0,3+0,106	-0,106	Toplam
Ağırlık (%)	25,30	40,76	33,94	100



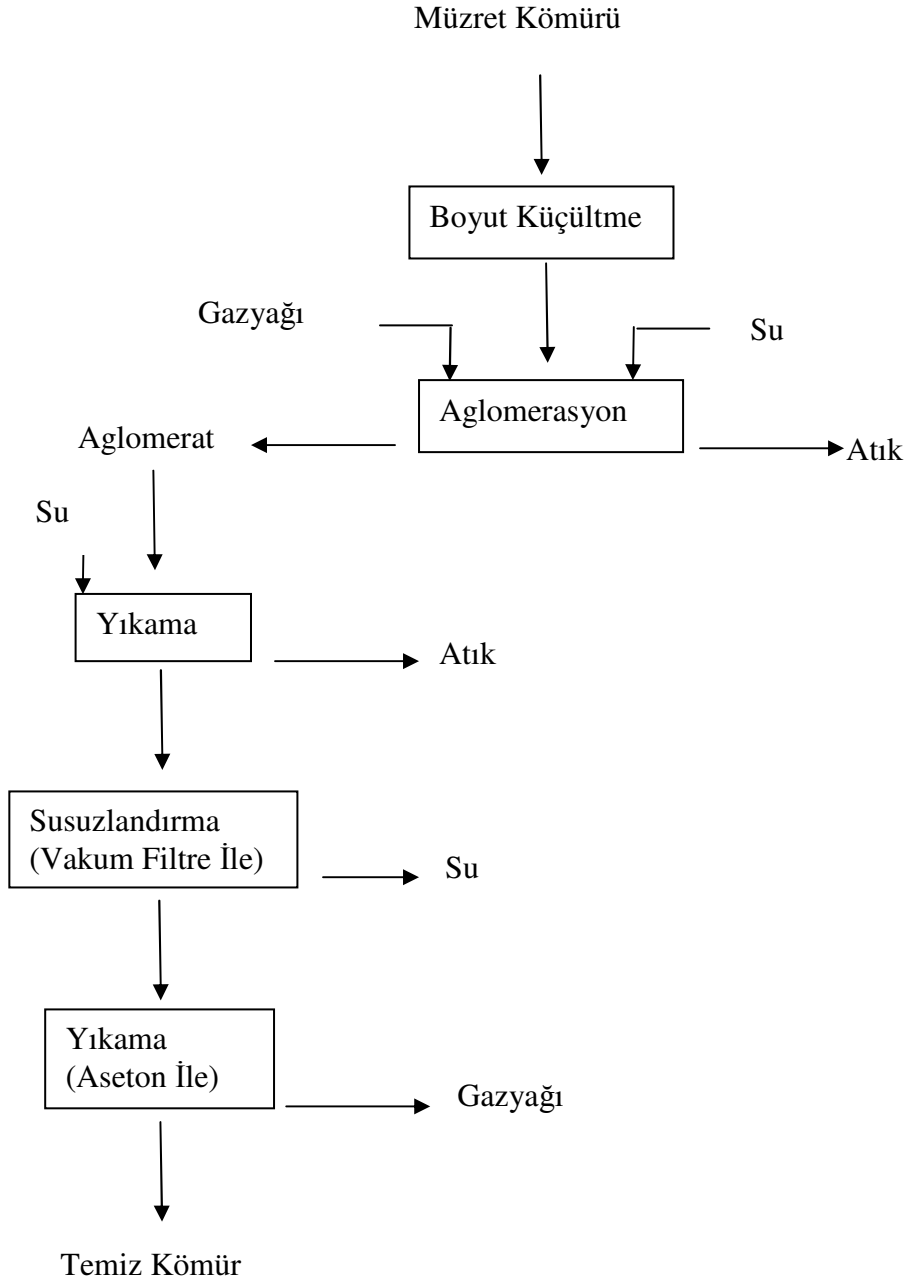
Şekil 2.5. Deneyleerde kullanılan mekanik karıştırıcı



Şekil 2.6. Deneyleerde kullanılan vakum filtre düzeneği



Şekil 2.7. Yağ aglomerasyonu sonucu elde edilen temiz kömür örnekleri



Şekil 2.8. Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu akım şeması

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aglomerasyon sonucu elde edilen temiz kömürün kül, piritik kükürt, sülfat kükürdü analizleri yapılmıştır. Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, geri kazanım (AGR %), organik madde verimi (OMR %), kül azalması (AR %) ve piritik kükürt azalması (PSR %) hesaplanmıştır.

$$AGR (\%) = (W_{AGL}/W_{FEED}) \times 100$$

$$OMR (\%) = (W_P/W_F) \times 100$$

$$AR (\%) = [(A_F - A_P)/A_F] \times 100$$

$$PSR (\%) = [(PS_F - PS_P)/PS_F] \times 100$$

Burada;

W_{AGL} : Aglomerasyon ürününün kuru-yağsız bazda ağırlığı (gr)

W_{FEED} : Aglomerasyon beslemesinin kuru bazda ağırlığı (gr)

W_P : Aglomerasyon ürününün, kuru-külsüz-yağsız bazda ağırlığı (gr)

W_F : Aglomerasyon beslemesinin, kuru-külsüz bazda ağırlığı (gr)

A_F : Kuru aglomerasyon beslemesinin kül oranı (%)

A_P : Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün kül oranı (%)

PS_F : Kuru aglomerasyon beslemesinin piritik kükürt oranı (%)

PS_P : Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün piritik kükürt oranı (%)

Çeşitli kömür miktarlarında, gazyağı miktarlarında, sürelerde ve yağ tiplerinde yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçları bölüm 6'da ek tablolarda detaylı olarak gösterilmiştir. Aşağıda, çeşitli parametrelerin aglomerasyona etkileri üzerine elde edilen sonuçlar sunulup tartışılmıştır.

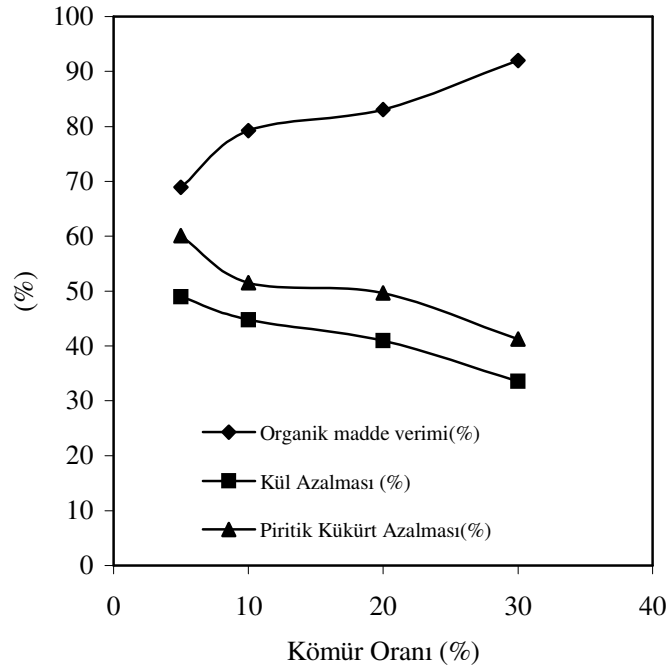
3.1. Kömür Oranının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm), kömür oranı arttıkça organik madde verimi artmakta, kül azalması ve piritik kükürt azalması düşmektedir. %5, %10, %20 ve %30 oranlarındaki kömür miktarları için, elde edilen organik madde verimleri sırasıyla %68.91, %79.22, %83.04, %92.02; kül azalmaları sırasıyla, % 48.95, %44.77, %40,94 ve %33.55; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %60.08, %54.18, %49.62 ve %41.25’tir.

Artan kömür oranı ile birlikte organik madde verimindeki artış yüksek kömür konsantrasyonlarında, taneler arasındaki mesafenin düşük kömür konsantrasyonlarındakine göre daha az olması ile açıklanabilir. Bir başka ifade ile, kömürün gazyağı ile kaplanmasını sağlayan “kömür-yağ” temaslarının 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. Aktaş (2002), Ünal ve Aktaş (2001), Gürses vd. (2003), bu konuda benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

Tablo 3.1. Kömür oranının aglomerasyona etkisi (Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Kömür Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik madde verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
5	60,76	68,91	10,97	48,95	2,10	60,08	0,20	81,65
10	70,47	79,22	11,87	44,77	2,55	54,18	0,15	86,24
20	74,66	83,04	12,69	40,94	2,65	49,62	0,23	78,90
30	84,27	92,02	14,28	33,55	3,09	41,25	0,30	72,48



Şekil 3.1. Kömür oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

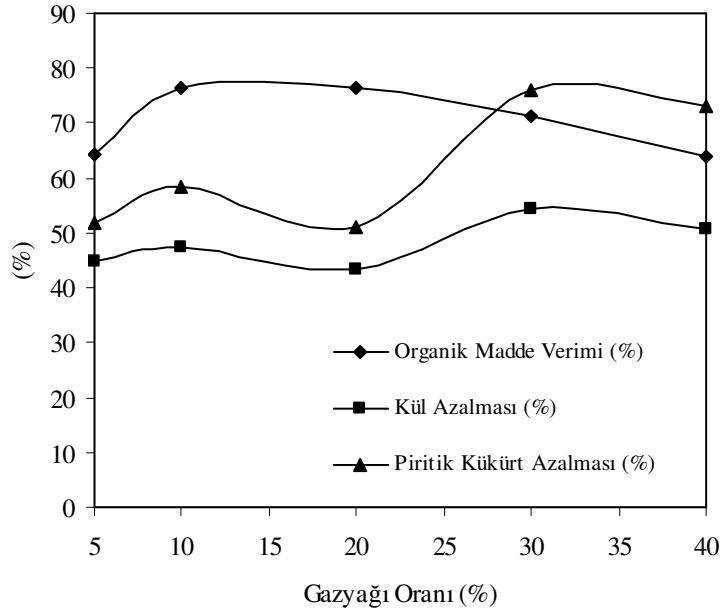
3.2. Gazyağı Oranının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.2 ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: % 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm), %20 oranındaki gazyağı oranına kadar organik madde verimi artmış daha fazla gazyağı miktarlarında düşmüştür. %5, %10, %20, %30, %40 gazyağı miktarları için elde edilen organik madde verimleri sırasıyla, 64.31, 76.39, 76.45, 71.38, 64.03’dir. En fazla kül azalması ve piritik kükürt azalması ise %30 oranındaki yağ miktarında elde edilmiştir ve sırasıyla %54.44 ve %75.86 olarak gerçekleşmiştir.

Gazyağı oranı %20’yi aşınca görülen organik madde verimindeki düşüş, aglomerasyondaki bağlanma mekanizmasının, kararlı aglomeratlar oluşturan “funikuler tipi bağlanma” türünden yağ çamuru şeklindeki daha gevşek aglomeratları oluşturan “kapiler” türü bağlanma türüne döndüğünü göstermektedir. Cebeci ve Eroğlu (1998) da verimin belirli bir yağ dozajından sonra düştüğünü rapor etmişlerdir.

Tablo.3.2. Gazyağı oranının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: % 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Gazyağı Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
5	57,29	64,31	11,88	44,72	2,53	51,90	0,13	88,07
10	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24
20	68,36	76,45	12,21	43,18	2,58	50,95	0,10	90,83
30	62,13	71,38	9,79	54,44	1,27	75,86	0,19	82,57
40	56,21	64,03	10,57	50,81	1,42	73,00	0,18	83,49



Şekil 3.2. Gazyağı oranının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: % 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

3.3. Aglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi

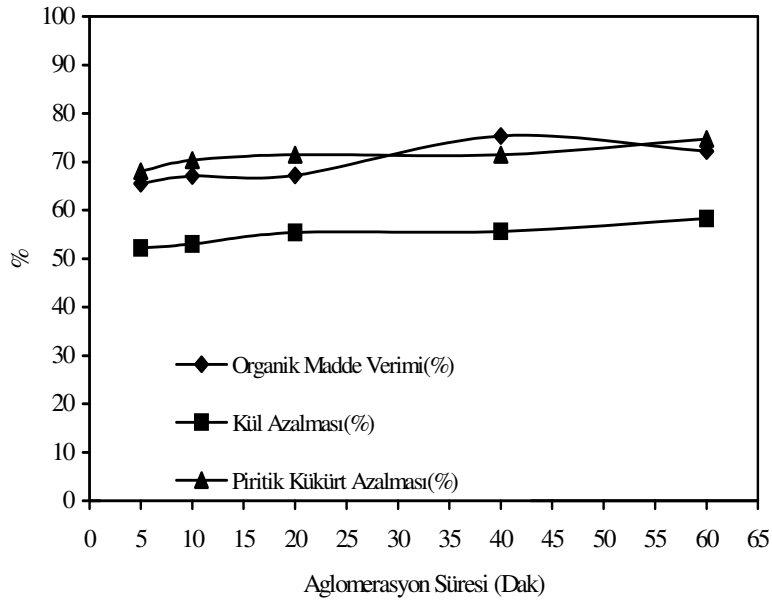
Tablo 3.3 ve Şekil 3.3’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %5, Gazyağı oranı: %20, Kömür tane boyutu: -0,5mm), 40 dak aglomerasyon süresine kadar, aglomerasyon süresi arttıkça, organik madde verimi, kül azalması ve piritik kükürt

azalması artmakta, 40 dak.'dan sonra organik madde verimi biraz azalmaktadır. Fakat kül ve piritik kükürt azalmaları bir miktar artmaya devam etmiştir. 5 dak., 10 dak., 20 dak., 40dak., ve 60 dak., aglomerasyon süreleri için elde edilen organik madde verimleri sırasıyla %65.48, %67.09, %67.18, %75.29, %72.17; kül azalmaları sırasıyla, %52.16, %53.00, %55.42, %55.65, %58.31; piritik kükürt azalmaları sırasıyla %68.06, %70.34, %71.48, %71.48, %74.71'dir. Aglomerasyon süresinin, organik madde verimi, kül ve piritik kükürt azalmasına etkisi, yukarıdaki rakamlarla ifade edilmesine rağmen bu etkinin yüksek düzeyde olup olmadığı tartışılabilir. Örneğin, aglomerasyon süresi 5 dak.'dan 40 dak.'ya çıktığında organik madde veriminde yaklaşık %10, kül ve piritik kükürt azalma oranlarında ise yaklaşık %3,5 bir değişim gözlenmiştir. Buna sebep olarak, Müzret kömürünün bütümlü karaktere sahip olması gösterilebilir. Bütümlü kömürler zaten kolay aglomera edilebildiği için aglomerasyon süresinin etkisi çok fazla belirleyici olmamıştır.

Yukarıdaki sonuçlardan 40 dak.'ya kadar aglomerasyon süresi artışının aglomerasyonda seçimliliği arttırdığı, hem verim hem de kül ve piritik kükürt azalmalarının arttığı görülmektedir. Bu durum, daha fazla karıştırma ile, yağın pülp içinde daha iyi dağıldığını ve de kömür tanelerinin yağ ile temas etmeleri için daha fazla şans bulunduğunu göstermektedir. Aglomerasyon süresi 60 dak.'ya yükseltildiğinde organik madde verimin biraz düşmesi, bunun yanında kül ve piritik kükürt azalma oranlarındaki artışın biraz devam etmesi, oluşan aglomeratların bir kısmının birbirine çarparak dağılmaya başlaması ve bu çarpışmanın etkisiyle, sağlam kalan aglomerat aralarındaki ve yüzeylerindeki pirit ve diğer mineral madde tanelerinin koparak dibe çökmesi olarak açıklanabilir.

Tablo 3.3. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %5, Gazyağı oranı: %20, Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Aglomerasyon Süresi (dak.)	Geri Kazanım (%)	Organik madde verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
5	57,29	65,48	10,28	52,16	1,68	68,06	0,19	82,57
10	58,58	67,09	10,10	53,00	1,56	70,34	0,14	87,16
20	58,32	67,18	9,58	55,42	1,50	71,48	0,14	87,16
40	65,34	75,29	9,53	55,65	1,5	71,48	0,10	90,83
60	62,24	72,17	8,96	58,31	1,33	74,71	0,10	90,83



Şekil 3.3. Aglomerasyon süresinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %5, Gazyağı oranı: %20, Kömür tane boyutu: -0,5mm)

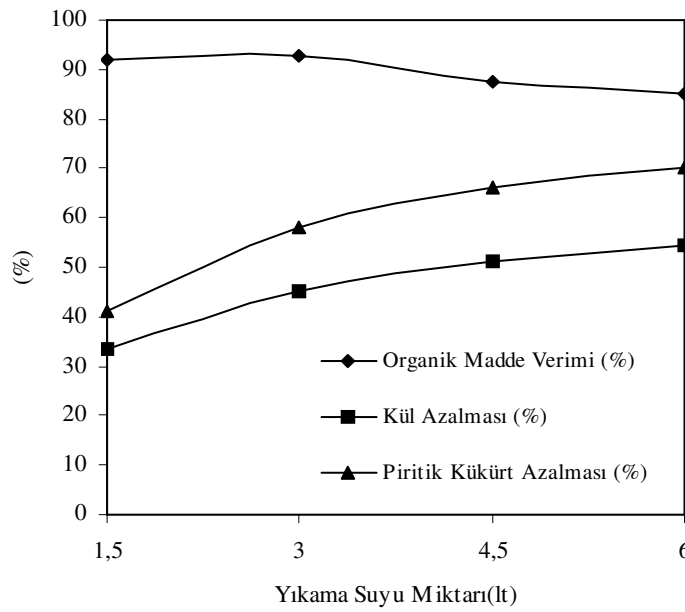
3.4. Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.4 ve Şekil 3.4'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %30, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 20dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm) yıkama suyu miktarı arttıkça organik madde verimi giderek düşmekte, bununla birlikte kül ve piritik kükürt azalmaları artmaktadır. 1.5 lt, 3lt, 4.5lt ve 6lt yıkama suyu miktarlarında organik madde verimleri sırasıyla, %92.02, %92.88, %87.62, %85,08; kül azalmaları sırasıyla, %33.55, %45.18, %51.09, 54.49; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %41.25, %58.17, %66.16, %69.96'dır.

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. Ünal (1999) ve Güleç (1999),'da yıkama suyu miktarı artışının aglomerasyona etkisi konusunda benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

Tablo 3.4. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı %30, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Yıkama Suyu Miktarı (lt)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
1,5	84,27	92,02	14,28	33,55	3,09	41,25	0,30	72,48
3	74,50	92,88	11,78	45,18	2,20	58,17	0,16	85,32
4,5	69,31	87,62	10,51	51,09	1,78	66,16	0,18	83,49
6	66,76	85,08	9,78	54,49	1,58	69,96	0,09	91,74



Şekil 3.4. Yıkama suyu miktarının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı %30, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 20 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

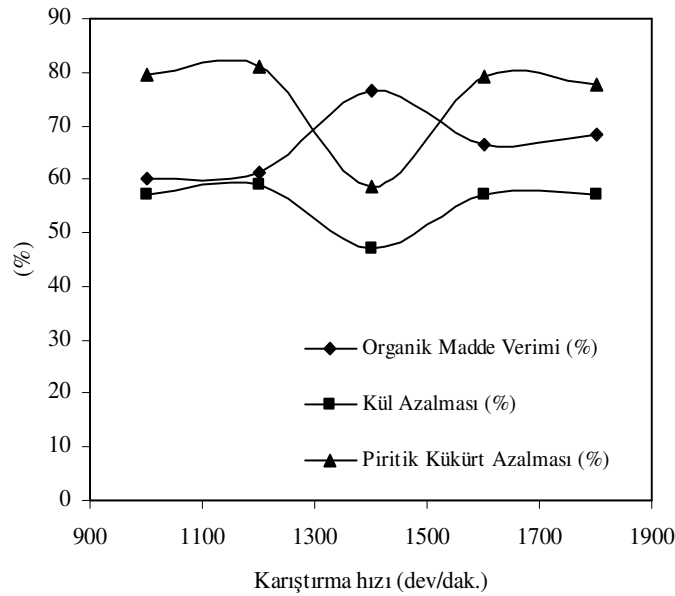
3.5. Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.5 ve Şekil 3.5’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm) 1000dev/dak., 1200 dev/dak., 1400dev/dak., 1600dev/dak., 1800dev/dak. karıştırma hızlarında, organik madde verimleri sırasıyla, %60.07, %61.36, %76.39, %66.64, %68.38; kül azalmaları sırasıyla, %57.00, %59.19, %47.23, %57.19, %57.28; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %79.66, %81.18, %58.56, %79.28, %77.76’dır. 1400 dev/dak.

karıştırma hızına kadar organik madde verimi artarken bu hızdan sonra düşme olmuştur. 1400 dev/dak. karıştırma hızında kül azalması ve piritik kükürt azalması diğer hızlara gören en düşük seviyededir. Bu durum karıştırma hızı 1400 dev/dak. değerini aştığında oluşan aglomeratların parçalanmaya başladığını, böylece de pirit ve diğer mineral maddelerin aglomerat yüzeylerinden ve aralarından kurtularak daha temiz aglomerat oluşmasına yol açtığını göstermektedir.

Tablo 3.5. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı %10, Gazyağı oranı %10, Aglomerasyon süresi 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Karıştırma Hızı (dev./dak.)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
1000	51,96	60,07	9,24	57,00	1,07	79,66	0,10	90,83
1200	52,81	61,36	8,77	59,19	0,99	81,18	0,12	88,99
1400	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24
1600	57,76	66,64	9,42	57,19	1,09	79,28	0,17	84,40
1800	59,11	68,38	9,18	57,28	1,17	77,76	0,12	88,99



Şekil 3.5. Karıştırma hızının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

3.6. Pülp pH' ının Aglomerasyona Etkisi

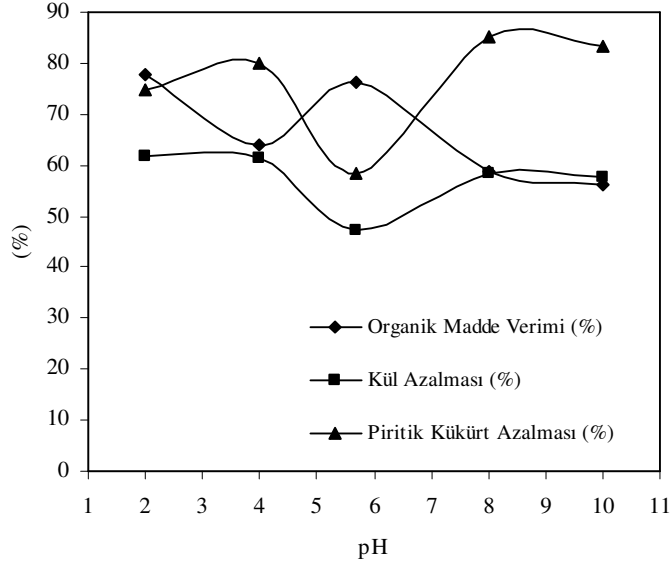
Tablo 3.6 ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde(Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm) yüksek pH larda organik madde verimi düşerken, kül ve piritik kükürt azalmalarında artışlar görülmektedir.

Pülp pH' ının, 2, 4, 5.68, 8,10 değerlerinde, organik madde verimi sırasıyla, %77.80, %63.86, %76.39, %58.66, %56.28; kül azalmaları sırasıyla, %61.56, %61.24, %47.23, %58.49, %57.61; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %74.71, %80.04, %58.56, %85.17, %83.27'dir. Nötr pH' a yakın bir değer olan pH: 5.68' den sonra organik madde verimlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum yüksek pH' larda kömür yüzeyinin negatifliğinin artmasıyla açıklanabilir.

Gazyağı damlacıkları sulu ortamlarda negatif elektrik yüküne sahip olduğundan, gazyağı kömür yüzeyine yeterince yapışmamaktadır. Canpolat (2003)' de en iyi verimi nötre yakın pH' larda bulmuştur. Yüksek pH'larda kül ve piritik kükürt azalmasının sebebi ise piritin yüksek pH' larda , flotasyonda olduğu gibi hidrofilik bir yapı kazanmasıyla açıklanabilir.

Tablo 3.6. Pülp pH'ının aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

pH	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
2	66,58	77,80	8,26	61,56	1,33	74,71	0,15	86,24
4	54,69	63,86	8,33	61,24	1,05	80,04	0,13	88,07
5,68	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24
8	50,57	58,66	8,92	58,49	0,78	85,17	0,15	86,24
10	48,61	56,28	9,11	57,61	0,88	83,27	0,13	88,07



Şekil 3.6. Pülp pH'ının, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

3.7. Yağ Tipinin Aglomerasyona Etkisi

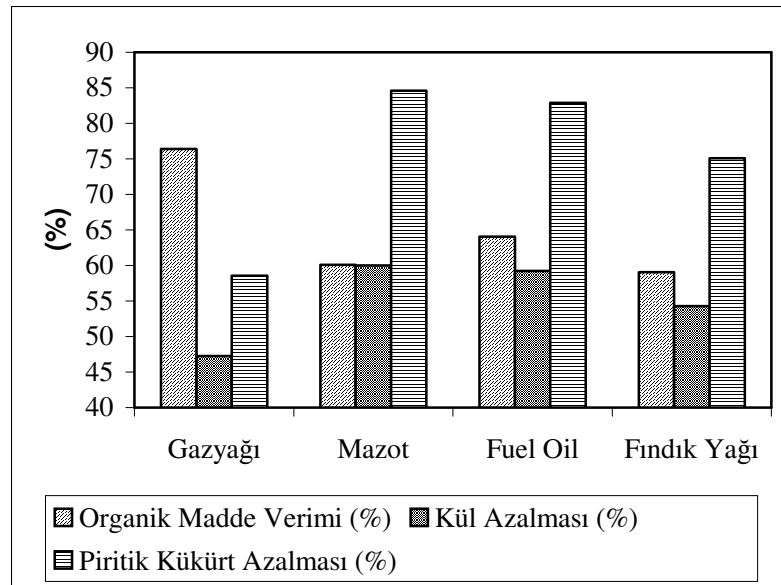
Tablo 3.7 ve Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, aglomerasyon işleminde(Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm) aglomerasyon yağı olarak gazyağı, mazot, fuel oil ve fındık yağı kullanıldığında organik madde verimi sırasıyla, %76.39, %60.09, %64.06, %59.06; kül azalmaları sırasıyla, %47.23, %59.98, %59.24, %54.30; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %58.56, %84.60, %82.89, %75.10' dır.

En yüksek organik madde veriminin ve en düşük kül ve piritik kükürt azalmaları gazyağı kullanıldığında elde edilmiştir. Bunun sebebi gazyağının mazot, fuel oil ve fındık yağına göre viskozitesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Gazyağı, mazot, fuel oil' in vizkositeleri sırasıyla, 1,17 cP, 2,22 cP, 35,77 cP' dir (Cebeci ve Eroğlu, 1998). Fındık yağının vizkositesi ise 78 cP' dir (URL-3, 2006). Gazyağı, düşük vizkositesi sebebiyle diğerlerine göre pülp içerisinde daha iyi dağılım göstermiştir ve kömür taneleriyle daha fazla temas ederek organik madde veriminin yüksek olmasını sağlamıştır. Fındık yağı yüksek vizkositeye sahip olması sebebiyle küçük damlacıklar halinde dağılamamıştır ve bu sebeple daha az miktarda kömürle temas ederek düşük organik madde verimi elde

edilmiştir. Fuel oil ve mazot ile gazyağı ve fındık yağına göre daha fazla kül ve piritik kükürt azalmaları elde edilmiştir.

Tablo 3.7. Yağ tipinin aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10 , Gazyağı oranı: %10 , Aglomerasyon süresi: 10 dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm)

Yağ Tipi	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
Gazyağı	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24
Mazot	51,61	60,09	8,6	59,98	0,81	84,60	0,14	87,16
Fuel-oil	55,12	64,06	8,76	59,24	0,90	82,89	0,10	90,83
Fındık Yağı	51,42	59,06	9,82	54,30	1,31	75,10	0,13	88,07



Şekil 3.7. Yağ tipinin, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür oranı: %10 , Gazyağı oranı : %10 , Aglomerasyon süresi: 10 dak., Kömür tane boyutu: -0,5mm)

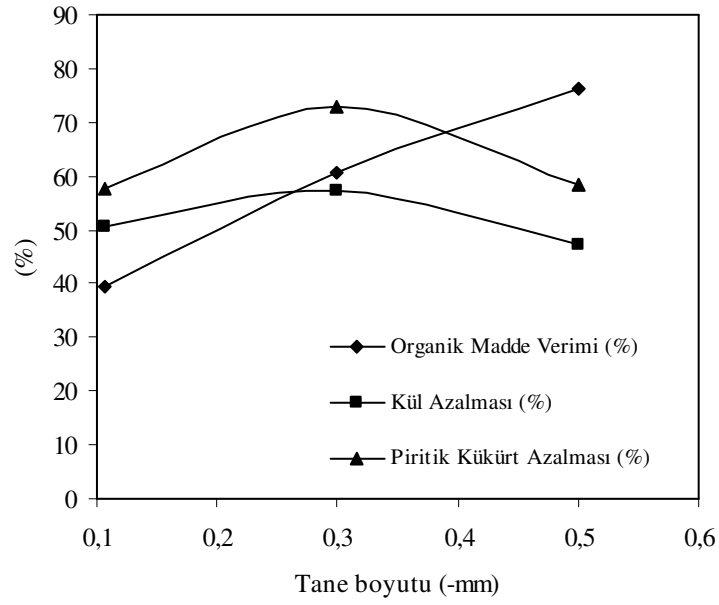
3.8. Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.8 ve Şekil 3.8, 3.9, 3.10'da görüldüğü gibi, aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm) düşük gazyağı oranlarında (%10, %20) kömür tane boyutu küçüldükçe verim azalmaktadır. Çünkü küçük tane boyutlarındaki kömürler için (-0,3 ve -0,106 mm), toplam yüzey alanı fazla olduğundan, gazyağı oranı yetersiz kalmış, yeterince aglomerat oluşmamış ve organik madde verimi düşük çıkmıştır. Küçük kömür tane boyutları için organik madde veriminin düşük olmasının diğer sebebi aglomerat kazanım eleği boyutunun (0.5mm), en yüksek kömür tane boyutu ile aynı olmasıdır.

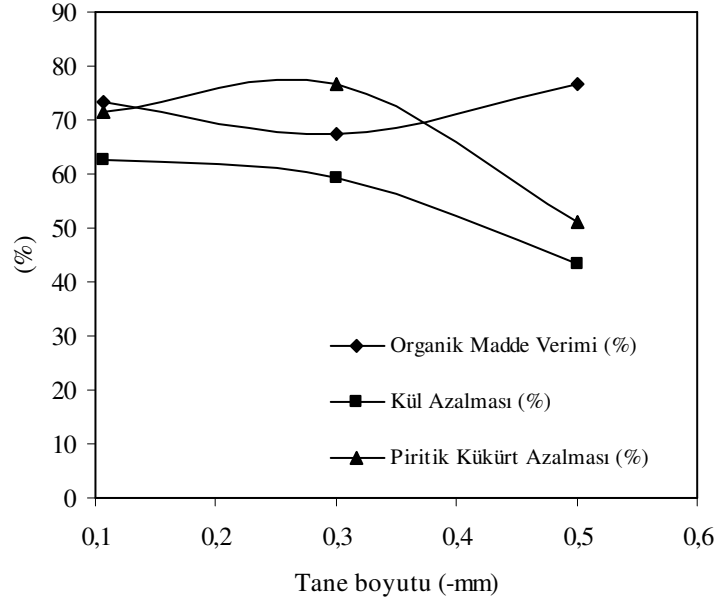
Yağ miktarı artırıldığında (%30), küçük tane boyutlu kömürler için (-0,3 ve -0,106 mm), organik madde verimleri artmış ve -0.5mm tane boyutlu kömür için elde edilen organik madde verimine yaklaşılmıştır. Diğer bir ifadeyle daha büyük aglomeratlar oluşmuştur. %30 gazyağı miktarları için, tane boyutu küçüldükçe kül azalması ve piritik kükürt azalması artmaktadır. Bunun sebebi, küçük kömür tane boyutları daha fazla serbest pirit ve diğer mineral maddelerin olması ve daha temiz kömür kazanılmasıdır. Daha düşük yağ oranlarında ise (%10, %20) bu durum gözlenmemiştir.

Tablo 3.8. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak.)

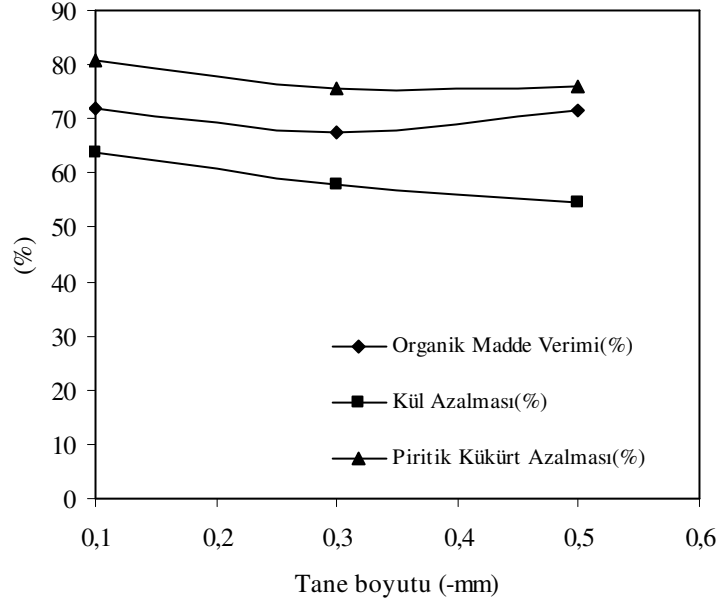
Gazyağı Oranı (%)	Tane Boyutu (mm)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
10	-0,5	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24
	-0,3	52,41	60,60	9,22	57,10	1,42	73,00	0,21	80,73
	-106	34,63	39,43	10,60	50,67	2,22	57,79	0,18	83,49
20	-0,5	68,36	76,49	12,21	43,18	2,58	50,95	0,10	90,83
	-0,3	57,90	67,27	8,78	59,14	1,23	76,62	0,14	87,16
	-106	62,76	73,49	8,07	62,45	1,5	71,48	0,12	88,99
30	-0,5	62,13	71,38	9,79	54,44	1,27	75,86	0,19	82,57
	-0,3	58,21	67,43	9,06	57,84	1,29	75,48	0,19	82,57
	-106	61,19	71,88	7,77	63,89	1,02	80,61	0,12	88,99



Şekil.3.8. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: %10, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm)



Şekil.3.9. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: % 20, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm)



Şekil.3.10. Kömür tane boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Aglomerasyon süresi: 10 dak., Gazyağı oranı: % 30, Aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5mm)

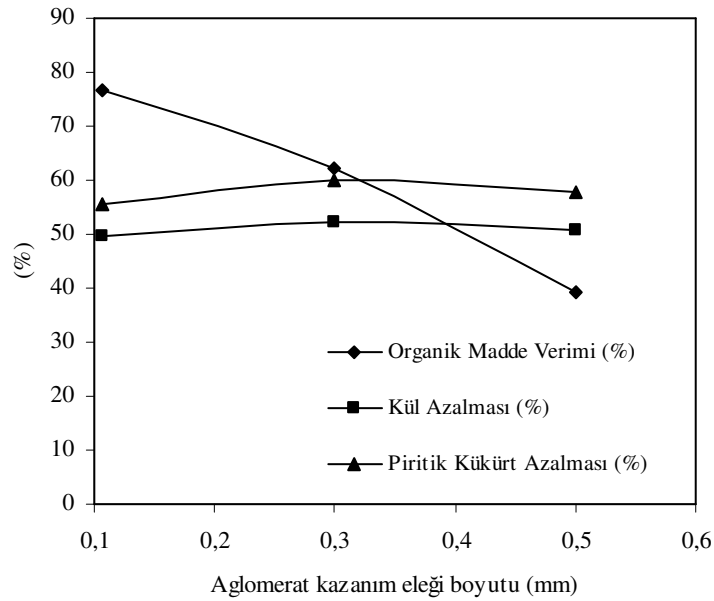
3.9. Aglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

Tablo 3.9 ve Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, aglomerasyon işleminde (Kömür tane boyutu: -0,106mm, Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak.), 0.106mm, 0.3mm, 0.5mm boyutlu aglomerat kazanım elekleri için organik madde verimleri sırasıyla, %76.60, %62.25, %39.43; kül azalmaları sırasıyla, %49.46, %52.16, %50.67; piritik kükürt azalmaları sırasıyla, %55.51, % 60.08, % 57.79’ dir. Tablo 3.9 ve Şekil 3.11’ de görüldüğü gibi aglomerat kazanım eleği boyutu arttıkça organik madde verimi düşmektedir. Bu durum %10 gazyağı miktarlarında -0,106mm tane boyundaki kömürlerden 0,5mm aglomerat kazanım eleğinin üzerinde kalabilecek kadar büyük aglomeratların oluşmadığını gösterir. Tablo 3.10’da görüldüğü gibi gazyağı oranı %20 ve %30’a çıkarıldığında 0,5mm’lik aglomerat kazanım eleği kullanıldığında gerçekleşen %39,43’lük organik madde verimi sırasıyla, %73.49, %71.88 olmuştur. Diğer bir ifadeyle yağ miktarının artışıyla, oluşan aglomeratların boyutları da büyümüş, ayrıca kül ve piritik kükürt azalmaları artmıştır. Bu durum aglomerat boyutu büyüyünce toplam aglomerat

yüzey alanının küçülmesi sebebiyle aglomerat yüzeylerine daha az sayıda pirit ve diğer maddelerin yapışmasıyla açıklanabilir.

Tablo 3.9. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi (Kömür tane boyutu: -0,106 mm, Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak.)

Aglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürdü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
0,106	67,47	76,60	10,86	49,46	2,34	55,51	0,20	81,65
0,3	54,47	62,25	10,28	52,16	2,01	60,08	0,17	84,40
0,5	34,63	39,43	10,60	50,67	2,22	57,79	0,18	83,49



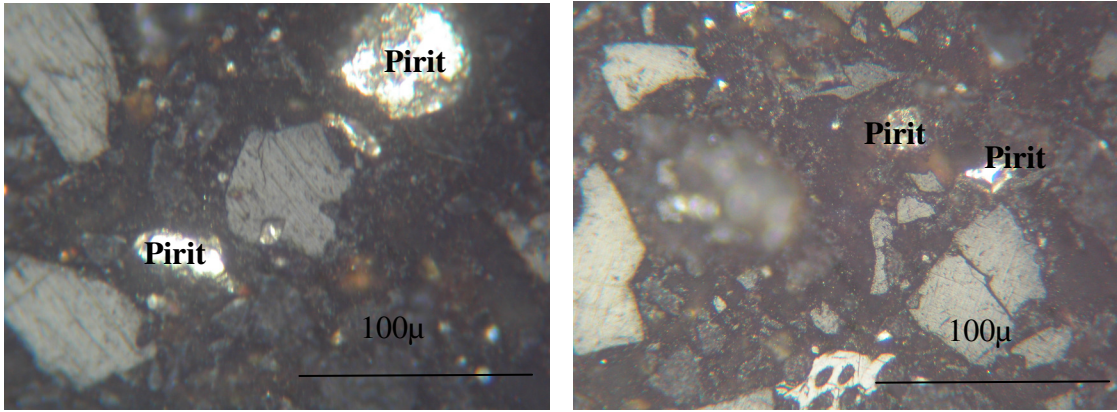
Şekil 3.11. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, organik madde verimi, kül azalması, piritik kükürt azalmasına etkisi (Kömür tane boyutu: -0,106 mm, Kömür oranı: %10, Gazyağı oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10 dak.)

Tablo 3.10. -0,106mm kömür tane boyutunda 0,5mm'lik aglomerat kazanım eleğinde yağ miktarının etkisi (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak.)

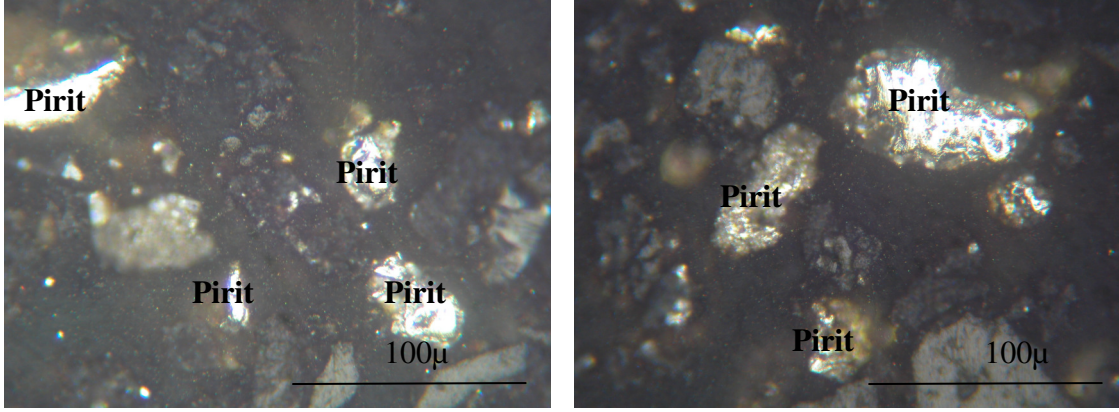
Gazyağı Oranı (%)	Geri Kazanım (%)	Organik Madde Verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)
10	34,63	39,43	10,60	50,67	2,22	57,79	0,18	83,49
20	62,76	73,49	8,07	62,45	1,5	71,48	0,12	88,99
30	61,19	71,88	7,77	63,84	1,02	70,91	0,12	88,99

Yukarıdaki tablo ve grafiklerde ve de ekler bölümündeki tablolardan görüleceği gibi, Müzret kömürü yağ aglomerasyonu yöntemiyle önemli ölçüde temizlenmiştir. Şöyleki, kuru bazda kül içeriği %21,49 ve piritik kükürt içeriği %5,26 olan kömürden kül içeriği %8,92 ve piritik kükürt içeriği %0,78 olan temiz kömür elde edilmiştir.

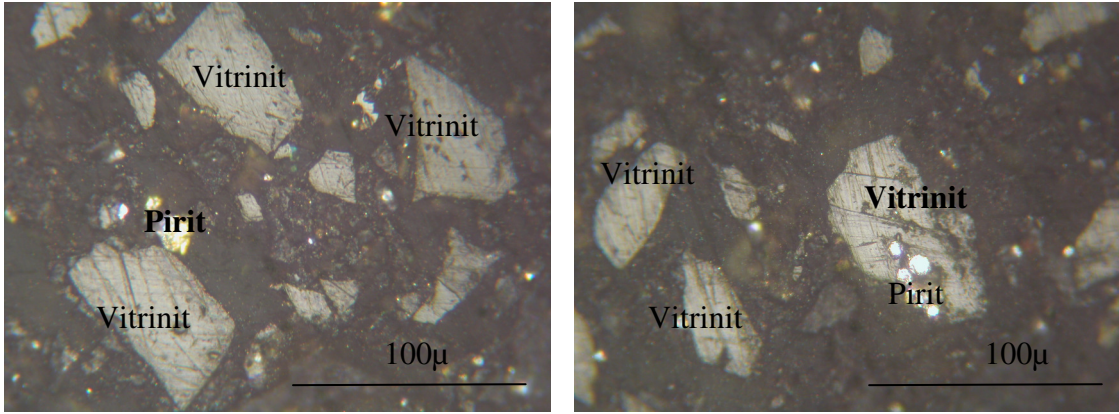
Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14'de gösterilen, aglomerasyon beslemesi, atığı ve konsantresine ait parlak kesit örneklerinden, Müzret kömürü içerisindeki piritin büyük miktarda uzaklaştırıldığı açık olarak görülmektedir.



Şekil 3.12. Aglomerasyon beslemesinden yapılan parlak kesit



Şekil 3.13. Aglomerasyon atığından yapılan parlak kesit



Şekil 3.14. Aglomerasyon sonucu elde edilen konsantrenin parlak kesiti

4. SONUÇLAR

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

1. Müzret(Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile önemli ölçüde temizlenebildiği görülmüştür. Şöyleki, kuru bazda kül içeriği %21,49 ve piritik kükürt içeriği %5,26 olan Müzret kömüründen kül içeriği %8,92 ve piritik kükürt içeriği %0,78 olan temiz kömür elde edilmiştir.

2. Kömür oranının aglomerasyona etkisi, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 20 dak. kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Kömür oranına bağlı olarak en yüksek organik madde verimi %30 kömür oranında %92,02 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması %5 kömür oranında sırasıyla %48,95 ve %60,08 olarak gerçekleşmiştir.

3. Gazyağı oranının aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %10, aglomerasyon süresi: % 10 dak., kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Gazyağı oranına bağlı olarak en yüksek organik madde verimi, %20 gazyağı oranında %76,45 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması %30 gazyağı oranında sırasıyla %54,44 ve %75,86 olarak gerçekleşmiştir.

4. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %5, gazyağı oranı: %20, kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Aglomerasyon süresine bağlı olarak en yüksek organik madde verimi 40dak. aglomerasyon süresinde %76,29 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması 60dak. aglomerasyon süresinde sırasıyla %58,31 ve %74,71 olarak gerçekleşmiştir.

5. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %30, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 20dak. Kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Yıkama suyu miktarına bağlı olarak en yüksek organik madde verimi 3 lt yıkama suyu miktarında %92,88 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması 6lt yıkama suyu miktarında sırasıyla %54,49 ve %69,96 olarak gerçekleşmiştir.

6. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %10, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 10dak., kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Karıştırma hızına bağlı olarak en yüksek organik madde verimi 1400dev/dak. karıştırma hızında %76,39 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması 1200dev/dak. karıştırma hızında sırasıyla %59,19 ve %81,18 olarak gerçekleşmiştir.

7. Pülp pH'ının aglomerasyona etkisi, kömür oranı, %10, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 10dak., kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Nötr pH'a yakın bir değer olan 5,68'den sonra organik madde verimlerinin düştüğü görülmektedir. Pülp pH'ına bağlı olarak en yüksek organik madde verimi pH: 2'de. %77,80 olarak, en fazla kül azalması pH: 2'de %61,56 olarak, en fazla piritik kükürt azalması pH:8'de %85,17 olarak gerçekleşmiştir.

8. Yağ tipinin aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %10, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 10dak., kömür tane boyutu: -0,5mm şartlarında incelenmiştir. Yağ tipine bağlı olarak en yüksek organik madde verimi gazyağında %76,39 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması mazot da sırasıyla %59,98 ve %84,60 olarak gerçekleşmiştir.

9. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %10, gazyağı oranı: %10, %20, %30, aglomerasyon süresi: 10dak., kömür tane boyutu: -0,5mm, -0,3mm, -0,106mm şartlarında incelenmiştir. Kömür tane boyutuna bağlı olarak en yüksek organik madde verimi %20 gazyağı oranı ve -0,5mm kömür tane boyutunda %76,49 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması %30 gazyağı oranı ve -0,106mm kömür tane boyutunda sırasıyla %63,89 ve %80,61 olarak gerçekleşmiştir.

10. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi, kömür oranı: %10, gazyağı oranı: %10, aglomerasyon süresi: 10dak., kömür tane boyutu: -0,106mm, Aglomerat kazanım elekleri boyutu: 0,5mm, 0,3mm ve 0,106mm şartlarında incelenmiştir. Aglomerat kazanım eleği boyutuna bağlı olarak en yüksek organik madde verimi 0,106mm aglomerat kazanım eleği boyutunda %67,47 olarak, en fazla kül ve piritik kükürt azalması 0,3mm aglomerat kazanım eleği boyutunda sırasıyla %52,16 ve %60,08 olarak gerçekleşmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Alp, İ., Uslu, T., Vıçıl, M., Yılmaz, A.O. ve Deveci, H., 2004. Müzret (Yusufeli-Artvin) Kömürlerinin Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Ed: Aydın ve H., Çolak, K., Zonguldak, Türkiye.
- Alpar, S.R., Hakdiyen, İ., ve Bigat, T., 1982. Kimyasal Analiz Metotları, Birsen Yayınevi.
- ASTM-D 3172-89. Kömür ve Kokun Proximate Analizinde Standart Method.
- ASTM-D 3174-89. Kömürün ve Kömürden Elde Edilen Kokun Kül Analizi İçin Standart Metodu.
- ASTM-D 3175-85. Kömür ve Kokun Uçucu Madde Analizinde Standart Method.
- ASTM-D 3177-89. Kömür ve Koktaki Toplam Kükürt Analizi İçin Standart Test Metodu.
- 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, YMGV, 79-91.
- Ateşok, G., 1986. Kömür Hazırlama, 190 s.
- Bayazıt, G., 2000. Soma İnce Ufalanmış Linyit Kömürlerinin Flotasyonla Zenginleştirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. Anabilim Dalı, İzmir.
- Boylu F. ve Ateşok G., 1999. Çevre Dostu Yeni Bir Enerji Hammaddesi: Kömür-Su Karışımları, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Sempozyumu, Ankara. 154-162.
- Capes, C. E. ve McIlhinney, A.E., Mckeever, R..E., Messer L., 1976. Application of Spherical Agglomeration to Coal Preparation, Paper H2, Proc.7 th Int.Coal Prep.Congress, Sydney, Australia.
- Capes, C.E., 1980. Principals and Application of Size Enlargement in Liquid System, Fine Particle Processing, Chapter 73, P. Somasundaran (Ed.), AIME, New York, 1442-1462.
- Cebeci, Y., Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77, 5, 419-424.
- Cebeci, Y., Ulusoy, U. ve Şimşek, 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.

- Çilingir, Y. ve Buğdaycı, S., 1989. Soma/Önen–Eynez Linyitlerinin Yıkanabilirliği ve Yıkama Tesisi Yatırım İşletme Maliyetleri, Türkiye 11. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi.
- Çuhadaroğlu, D. ve Özdağ, H., 1996. Flotation and Agglomeration Studies for Beneficiation of -0,5 mm Coal of Zonguldak Washery, Changing Scopes in Mineral Processing, Ed: Arslan, K. ve Canbazoglu, A., Rotterdam,B., 475-479.
- DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Genel Endüstri Mineralleri I: (Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum), Çalışma Grubu Raporu (www.dpt.gov.tr)
- Engin, V.D., 2002. Kömür Yıkama Tesisleri İnce Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. ve Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri, MTA Yayınları, Ankara, 45-46.
- Güleç, C., 1999. Küresel Yağ Aglomerasyon Tekniği İle Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Atak, S., 1998. Türkiye Linyitlerine Uygulanması Gereken İyileştirme Yöntemleri, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, 4, 85-106.
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., ve Altaş, A., 1996. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri 3, 13-14 Ekim, YMGV, 277 s.
- Gürses, A., Doymuş, K., Doğar, Ç. ve Yalçın, M., 2003. Investigation of Agglomeration Rates of Two Turkish Lignites, Energy Conversion and Management, 44, 1247-1257.
- Hoşten, Ç., ve Uçbaş, Y., 1989. Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, 24-28 Nisan, Ankara, 355-365.
- Hui, S. ve Ahmed, N., 1999. İri Tane Flotasyonunda Enerji Dağılımının Etkisi, Ed; Atak, S., Önal, G., Arslan, F., ve Perek, K.T., Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, VII Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildirileri, 71-76.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 1999. Kömür Teknolojisi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, No:33, İzmir, 370 s.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 2000. Toz Kömürlerin Zenginleştirilmesindeki Yeni Gelişmeler, Ed; Önal, G. ve Dinçer, H., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Ankara, 139-152.

- Kemal, M., 1991. Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, 16-18 Ekim, YMGV, 270-282.
- Kılınç, E., 2000. Toz Kömürlerin Yağ Aglomerasyonu İle Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Kural, O., 1991. Diğer Önemli Karbonlu Maddelerin Tanıtılması, Ed: Kural, O., Kömür, Kurtiş Matbaası, İzmir, 842-865.
- Mehrotra, V.P., Sastry, K.V.S. ve Morey, B.W., 1983. Review of Oil Agglomeration Techniques for Processing of Fine Coals, Int. Journal of Mineral Processing, 11, 75-201.
- ODTÜ, 1994. Linyitlerin Kalitesinin Artırılması. 2000'li Yıllarda Linyit Sektörümüz Sempozyumu, 15 Kasım 1994, Maden Mühendisleri Odası Yayını.
- Oruç, M., 1996. Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Önemli Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özbayoğlu, G., 1982. Determination of Washability Characteristics of Some Turkish Lignites with Ash and Sulphur Content, Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özbayoğlu, G., 1999. Kömür Yıkama Tesisleri ve Türkiye'deki Durum, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Sempozyumu, 21-22 Ekim, Ankara, 129-139.
- Özpeker, I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması, Ed: Kural, O., Kömür, Kurtiş Matbaası, İzmir, 8-74.
- Renda, D., 2000. Temiz Kömür Üretiminde Yeni Bir Teknoloji, Editörler; Önal, G., ve Dinçer, H., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, 14-15 Nisan, 153-163.
- Rubinstein, J.B., Linev, B.I., ve Hall, S.T., 1999. Kömür Hazırlamada çok Bölmeli Kolon Flotasyonu, Editörler; Atak, S., Önal, G., Arslan, F., ve Perek, K.T., Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, VII Uluslar Arası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildirileri, 251-261.
- Selçuk, N., 1999. Akışkan Yatakta Yakma Teknolojileri, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Sempozyumu, Ankara, 9-23.
- Şimşek, S., 1999. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu İle Zenginleştirilmesinde Bazı İşletme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Tefek, M., 1989, Selektif Flokülasyon İle Linyitlerin Pritik Kükürttten Temizlenmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, 24-28 Nisan, Ankara, 367-378.

Ural, S., Yıldırım, M., ve Anıl M., 2002. Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Toz Kömür Yakma Sistemindeki Rolü, Editörler; Kızıgut, S., Çuhadaroğlu, D., ve Geniş, M., Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs, Zonguldak, 151-160.

URL-1, <http://www.mta.gov.tr/muze/mineroloji/yeralti.asp>, 02.Mayıs.2006.

URL-2, http://www.tki.gov.tr/tk1_hakkında/kömür_petrografisi.htm, 02.Mayıs.2006.

URL-3, http://www.cundasabunculuk.com/faydalibilgiler.htm#Türkiye'de_Fındık_ve_Fındık_Yağı

Uslu, T., 2002. Microwave Heating Characteristics of Pyrite and Microwave Assisted Coal Desulphurization, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 153 s.

Ünal, İ., 1999. Kömürün Yağ Aglomerasyonu ve Ekstraksiyon Çarının İyileştirilmesi,, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Yenidiç, E., 1988. Kozlu Kömür Damarlarının Flotasyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

Zengin, Y., 1955. Yusufeli(Çoruh) Kömürleri MTA Araş. Rap. No:2342, Ankara. 15 s.

6. EKLER

Ek Tablo 6.1. Farklı kömür miktarları, yağ miktarları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen kül içerikleri

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Kül Miktarı (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	11,77	11,06	14,61	13,90
	10	10,46	11,88	13,82	14,23
	20	9,82	12,46	14,41	12,65
10	5	11,15	10,43	13,83	12,66
	10	9,79	11,34	13,11	13,02
	20	10,97	11,87	12,69	14,28
20	5	10,28	11,74	12,48	13,76
	10	10,10	12,21	13,90	13,11
	20	9,58	12,83	12,96	12,32

Ek Tablo 6.2. Farklı kömür oranlarında, yağ oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen piritik kükürt içerikleri

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Piritik Kükürt (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	2,17	1,82	3,69	2,92
	10	1,59	2,53	3,01	2,95
	20	1,48	2,62	3,43	2,38
10	5	1,94	1,67	3,10	2,36
	10	1,44	2,18	2,71	2,68
	20	2,10	2,55	2,65	3,09
20	5	1,68	2,34	2,48	2,90
	10	1,56	2,58	3,02	2,52
	20	1,50	2,75	2,74	2,36

Ek Tablo 6.3. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen sülfat kükürt içerikleri

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Sülfat Kükürtü (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	0,21	0,37	0,19	0,22
	10	0,29	0,13	0,22	0,32
	20	0,17	0,14	0,25	0,33
10	5	0,24	0,15	0,23	0,28
	10	0,23	0,15	0,21	0,34
	20	0,20	0,15	0,23	0,30
20	5	0,19	0,12	0,19	0,38
	10	0,14	0,10	0,22	0,36
	20	0,14	0,12	0,20	0,34

Ek Tablo 6.4. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen geri kazanım verimleri

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Geri Kazanım (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	49,14	62,99	76,59	81,11
	10	58,49	57,29	73,83	80,20
	20	57,14	65,86	77,73	74,52
10	5	61,49	63,58	75,76	76,76
	10	57,08	67,64	72,47	77,21
	20	60,76	70,47	74,66	84,27
20	5	57,29	67,58	72,50	76,75
	10	58,58	68,36	76,78	78,18
	20	58,32	70,23	75,60	76,40

Ek Tablo 6.5. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen kül azalma miktarları

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Kül Azalması (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	45,23	48,53	32,01	35,32
	10	51,33	44,72	35,69	33,78
	20	54,30	42,02	32,95	41,13
10	5	48,12	51,47	35,64	41,09
	10	54,44	47,23	38,99	39,41
	20	48,95	44,77	40,94	33,55
20	5	52,16	45,37	41,92	35,97
	10	53,00	43,18	35,32	38,99
	20	55,42	40,30	39,69	42,67

Ek Tablo 6.6. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen piritik kükürt azalma miktarları

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Piritik Kükürt Azalması (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	58,75	65,40	29,85	44,49
	10	69,77	51,90	42,78	43,92
	20	71,86	50,19	34,79	54,75
10	5	63,12	68,25	41,06	55,13
	10	72,62	58,56	48,48	49,05
	20	60,08	54,18	49,62	41,25
20	5	68,06	55,51	52,85	44,87
	10	70,34	50,95	38,40	52,28
	20	71,48	47,72	47,91	55,13

Ek Tablo 6.7. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerde elde edilen sülfat kükürdü azalma miktarları

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Sülfat Kükürtü Azalması (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	80,73	66,06	82,57	79,82
	10	73,39	88,07	79,82	70,64
	20	84,40	87,16	77,06	69,72
10	5	77,98	86,24	78,90	74,31
	10	78,90	86,24	80,73	68,81
	20	81,65	86,24	78,90	72,48
20	5	82,57	88,99	82,57	65,14
	10	87,16	90,83	79,82	66,97
	20	87,16	88,99	81,65	68,81

Ek Tablo 6.8. Farklı kömür oranları, gazyağı oranları ve aglomerasyon sürelerinde yapılan deneylerin organik madde kazanım verimleri

Gazyağı Oranı (%)	Süre (dak.)	Organik Madde Verimi (%)			
		Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
5	5	55,23	71,36	83,31	88,96
	10	66,70	64,31	81,05	87,62
	20	65,64	73,44	84,75	82,92
10	5	69,60	72,54	83,15	85,40
	10	65,60	76,39	80,21	85,54
	20	68,91	79,22	83,04	92,02
20	5	65,48	75,98	80,83	84,30
	10	67,09	76,45	84,20	86,52
	20	67,18	77,98	83,82	85,33

Ek Tablo 6.9. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi (Aglomerasyon süresi: 10dak., Gazyağı Oranı: %10)

	Kömür Tane Boyutu (-mm)	Kömür Oranı (%)			
		5	10	20	30
Geri Kazanım (%)	-0.5	57,08	67,64	72,47	77,21
	-0.3	57,60	52,41	60,67	64,25
	-0.106	32,25	34,63	35,82	42,28
Organik Madde Verimi (%)	-0.5	65,60	76,39	80,21	85,54
	-0.3	66,39	60,60	69,05	79,95
	-0.106	35,44	39,43	40,10	51,76
Kül (%)	-0.5	9,79	11,34	13,11	13,02
	-0.3	9,51	9,22	10,64	11,91
	-0.106	10,73	10,60	12,10	13,33
Kül Azalması (%)	-0.5	54,44	47,23	38,99	39,41
	-0.3	55,75	57,10	50,49	44,58
	-0.106	50,07	50,67	43,69	37,97
Piritik Kükürt (%)	-0.5	1,46	2,18	2,71	2,72
	-0.3	1,56	1,42	1,96	2,67
	-0.106	2,43	2,22	2,64	2,88
Piritik Kükürt Azalması (%)	-0.5	72,24	58,56	48,48	48,29
	-0.3	70,34	73,00	62,74	49,24
	-0.106	53,80	57,79	49,81	45,25
Sülfat Kükürtü (%)	-0.5	0,21	0,15	0,21	0,3
	-0.3	0,17	0,21	0,19	0,22
	-0.106	0,17	0,18	0,21	0,21
Sülfat Kükürt Azalması (%)	-0.5	80,73	86,24	80,73	72,48
	-0.3	84,40	80,73	82,57	79,82
	-0.106	84,40	83,49	80,73	80,73

Ek Tablo 6.10. Farklı yağ tiplerinin aglomerasyona etkisi

Yağ Tipi	Kömür Tane Boyutu (mm)	Aglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)	Geri Kazanım (%)	Organik madde verimi (%)	Kül (%)	Kül Azalması (%)	Piritik Kükürt (%)	Piritik Kükürt Azalması (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Sülfat Kükürt Azalması (%)	
Gazyağı	-0,1	0,1	67,47	76,60	10,86	49,46	2,34	55,51	0,20	81,65	
		0,3	54,47	62,25	10,28	52,16	2,1	60,08	0,17	84,40	
		0,5	34,63	39,43	10,60	50,67	2,22	57,79	0,18	83,49	
	-0,3	-									
		0,3	58,00	66,83	9,54	55,61	1,59	69,77	0,20	81,65	
		0,5	52,41	60,60	9,22	57,10	1,42	73,00	0,21	80,73	
	-0,5	-									
		-									
		0,5	67,64	76,39	11,34	47,23	2,18	58,56	0,15	86,24	
Mazot	-0,1	0,1	71,70	80,70	11,64	45,84	2,41	54,18	0,31	71,56	
		0,3	51,75	58,35	11,47	46,63	2,39	54,56	0,23	78,90	
		0,5	27,05	30,72	10,86	49,46	2,05	61,03	0,28	74,31	
		-									
	-0,3	0,3	58,47	67,92	8,80	59,05	1,2	77,19	0,22	79,82	
		0,5	46,69	53,71	9,68	54,96	1,57	70,15	0,26	76,15	
		-									
	-0,5	-									
		-									
0,5		51,61	60,09	8,6	59,98	0,81	84,60	0,14	87,16		
Fuel-oil	-0,1	0,1	87,55	96,04	13,88	35,41	3,44	34,60	0,27	75,23	
		0,3	73,18	80,43	13,71	36,20	3,23	38,59	0,25	77,06	
		0,5	53,48	58,53	14,08	34,48	3,35	36,31	0,28	74,31	
		-									
	-0,3	0,3	77,51	87,75	11,12	48,26	2,1	60,08	0,27	75,23	
		0,5	60,43	68,79	10,62	50,58	1,81	65,59	0,28	74,31	
		-									
	-0,5	-									
		-									
0,5		55,12	64,06	8,76	59,24	0,90	82,89	0,10	90,83		
Fındık Yağı	-0,1	0,1	87,55	96,14	13,79	35,83	3,56	32,32	0,14	87,16	
		0,3	71,42	78,67	13,52	37,09	3,56	32,32	0,14	87,16	
		0,5	51,94	56,65	14,36	33,18	3,75	28,71	0,14	87,16	
	-0,3	-									
		0,3	62,47	70,70	11,14	48,16	2,17	58,75	0,15	86,24	
		0,5	45,33	51,36	11,06	48,53	2,25	57,22	0,24	77,98	
	-0,5	-									
		-									
		0,5	51,42	59,06	9,82	54,30	1,31	75,10	0,13	88,07	

6.1. Yanar Kükürt Analizi

Kömür 0,25mm'nin altına öğütülür. Kalorimetre bombasında 30atm. 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 çözeltilinin bulunduğu beher saf su ile 250ml'ye tamamlanır. 2 ml HCl ilave edilir ve kaynamaya başladığında 10ml %10'luk BaCl₂ ilave edilir ve cam baget ile sürekli karıştırılır. 15dak. 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).

6.2. Sülfat Kükürt Analizi

Kömür 0,25mm'nin altına öğütülür. Tartıldıktan sonra behere konulur. 50ml 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 kâğıdında süzülür. Süzgeç kağıdı üzerinde kalan kömür piritik kükürt analizi için alınır (Alpar vd., 1982). Süzgeç kağıdı altına geçen çözeltiliye 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).

6.3. 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).

6.4. Kül Analizi

Kömür 0,25mm'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 şu şekilde bulunur.

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

$$A = (\text{Kroze} + \text{Kül}) \text{ Ağırlığı}$$

$$B = \text{Boş Kroze Ağırlığı}$$

$$C = \text{Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3174-89)}.$$

6.5. Nem Analizi

Kömür kroze içine konularak etüvde, 105-110⁰C'de 3 saat bekletilir. Desikatör içinde soğutulur tartılır. Yüzde olarak ağırlık kaybı nemi ifade eder (Alpar vd., 1982).

6.6. Uçucu Madde Analizi

Kömür 0,25mm'nin altına öğütülür. Ağırlığı tartılmış numune platin krozeye konularak krozenin ağzı kapatılır. Kroze, 950⁰C'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).

6.7. Sabit Karbon Analizi

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

$$\text{Sabit Karbon (\%)} = 100 - (\% \text{Nem} + \% \text{Kül} + \% \text{Uçucu Madde}) \text{ (ASTM-D 3172-89)}.$$

ÖZGEÇMİŞ

Ercan ŞAHİNOĞLU, 21.11.1977 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1998–1999 öğretim döneminde K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2000 yılı yaz döneminde K.B.İ. Murgul A.Ş.'de 20 gün açık işletme ve bakır flotasyon tesisinde staj yaptı. 2001 yılı yaz döneminde Trabzon-Yomra-Kayabaşı maden sahasında 40 günlük yeraltı stajını tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2003 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında başladı. Yüksek lisans eğitimine devam eden Ercan ŞAHİNOĞLU İngilizce bilmektedir.