

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE TEMİZLENMESİNDE
BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN VE SES ÖTESİ DALGALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİ**

DOKTORA TEZİ

Maden Yük. Müh. Ercan ŞAHİNOĞLU

**HAZİRAN 2012
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE TEMİZLENMESİNDE
BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN VE SES ÖTESİ DALGALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİ

Maden Yük. Müh. Ercan ŞAHİNOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (MADEN MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 29.06.2012

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tuncay USLU

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Ercan ŞAHİNOĞLU Tarafından Hazırlanan

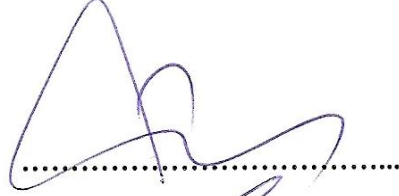
KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE TEMİZLENMESİNDE
BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN VE SES ÖTESİ DALGALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİ

Başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 / 05 / 2012 gün ve 1458 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin KOCA



Üye : Doç. Dr. Tuncay USLU



Üye : Doç. Dr. İbrahim ALP



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatma HOŞ ÇEBİ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuğba TÜRK



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü


ÖNSÖZ

“Kömürün yağ aglomerasyonu yöntemi ile temizlenmesinde bitkisel atık yağların ve ses ötesi dalgaların kullanılabilirliği” başlıklı çalışma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmaların çoğu KTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde yapılmış olup, bir kısmı da Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fizik Bölümü ve Kimya Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Tez konusunun belirlenmesi, çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada bilgi, destek ve değerli görüşlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tuncay USLU’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalar boyunca bana vakit ayıran, öneri, destek, yardım ve yapıcı eleştirilerini esirgemeyen, beni yönlendiren tez izleme komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. İbrahim ALP’e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatma HOŞ ÇEBİ’ye de sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Savunma sınavım için Eskişehir’den gelerek beni onurlandıran Sayın Prof. Dr. Hüseyin KOCA’ya ayrıca teşekkür ederim. Tez jürimde olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuğba TÜRK’e de teşekkür ederim. Mikroskop çalışmalarında yardımlarını aldığım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mithat VICIL’a ve deneysel çalışmalarda kullandığım kömürlerin temin edilmesindeki yardımlarından dolayı Fetih Madencilik İnş. San. Ltd. Şti.’ye de teşekkür ederim. Tez çalışmamı; çalışmalarım boyunca yeterince vakit ayıramadığım, varlıkları ve sevgileri ile bana güç veren eşime ve oğluma ithaf ediyorum.

Ercan ŞAHİNOĞLU
Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kömürün yağ aglomerasyonu yöntemi ile temizlenmesinde bitkisel atık yağların ve ses ötesi dalgaların kullanılabilirliği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Tuncay USLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/05/2012.



Ercan ŞAHİNOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER	IX
TABLolar	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tezin Gerekçesi ve Amacı.....	3
1.3. Kömürün Oluşumu	4
1.4. Kömürün Organik Yapısı	6
1.5. Kömürün İnorganik Yapısı	7
1.6. Kömürün İçerdiği Safsızlıklar	9
1.6.1. Nem	9
1.6.2. Kül	10
1.6.3. Uçucu Madde.....	11
1.6.4. Kükürt.....	12
1.6.4.1. Sülfat Kükürdü	13
1.6.4.2. Piritik Kükürt.....	14
1.6.4.3. Organik Kükürt.....	17
1.6.4.4. Elementer Kükürt	17
1.7. Yağ Aglomerasyonu Dışındaki Toz Kömür Temizleme Yöntemleri.....	18
1.7.1. Flotasyon	19
1.7.2. Seçici Flokülasyon.....	22
1.7.3. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcıları	23
1.7.3.1. Kelsey Jig	23
1.7.3.2. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS).....	24
1.7.3.3. Falkon Konsantratörü	25
1.7.3.4. Knelson Konsantratör	26

1.8.	Kömürün Yağ Aglomerasyonu.....	28
1.8.1.	Yağ Aglomerasyonunun Teorisi.....	28
1.8.2.	Yağ Aglomerasyonu Yönteminin Tarihçesi	37
1.8.3.	Atık Yağ Kullanılan Kömür Aglomerasyon Çalışmaları	39
1.9.	Ses Ötesi Dalgalar	41
1.9.1.	Ses Ötesi Dalgaların Cevher Hazırlamada ve Kömür Temizlemede Kullanımı ...	43
1.10.	Bitkisel Atık Yağlar.....	48
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	50
2.1.	Müzret Kömürünün Özellikleri	50
2.1.1.	Müzret Bölgesinin Genel Jeolojisi	50
2.1.2.	Müzret Kömürünün Kimyasal ve Minerolojik Özellikleri.....	51
2.2.	Bitkisel Atık Yağın Özellikleri.....	55
2.3.	Agglomerasyon Deneylerinin Yapılışı	57
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	65
3.1.	Bitkisel Atık Yağların Kömürün Yağ Aglomerasyonunda Kullanımı	66
3.1.1.	Katı Oranının Aglomerasyona Etkisi	66
3.1.2.	Atık Yağ Oranının Aglomerasyona Etkisi.....	68
3.1.3.	Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi	71
3.1.4.	Agglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi.....	73
3.1.5.	Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi.....	74
3.1.6.	pH'nın Aglomerasyona Etkisi	76
3.1.7.	Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi	78
3.1.8.	Agglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi.....	84
3.1.9.	Atık Ayçiçek Yağı ile Orijinal Ayçiçek Yağının Karşılaştırılması	94
3.2.	Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Yağ Aglomerasyonunda Kullanımı.....	99
3.2.1.	Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Yüzey Özelliklerine Etkisi	99
3.2.2.	Ses Ötesi Dalgaların Yağın Dağılmasına Etkisi	105
4.	SONUÇLAR.....	112
5.	ÖNERİLER	113
6.	KAYNAKLAR.....	114
7.	EKLER	125
	ÖZGEÇMİŞ.....	135

Doktora Tezi

ÖZET

KÖMÜRÜN YAĞ AGLOMERASYONU YÖNTEMİ İLE TEMİZLENMESİNDE
BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN VE SES ÖTESİ DALGALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİ

Ercan ŞAHİNOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Tuncay USLU
2012, 124 Sayfa, 10 Sayfa Ek

Bu çalışmada, kömürün yağ aglomerasyonu yöntemi ile temizlenmesinde bitkisel atık yağların ve ses ötesi dalgaların kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, yüksek kül ve kükürt içerikli Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürü, atık ayçiçek yağı ile aglomera edilmiştir. Katı oranı, atık yağ oranı, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi, yıkama suyu miktarı, pH, kömür tane boyutu ve kazanım eleği boyutu gibi parametrelerin aglomerasyon işleminin performansına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, ses ötesi dalgaların aglomerasyona etkisini belirlemek amacıyla aglomerasyon deneyleri yapılmıştır.

Atık ayçiçek yağının, kömürün yağ aglomerasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilirdiği ve oldukça yüksek oranda kül ve piritik kükürdün kömürden uzaklaştırılabildiği görülmüştür. İncelenen parametrelerin tamamı aglomerasyon işleminin performansını etkilemiştir. Ses ötesi dalgaların, kömürün yüzey özelliklerini değiştirmek amacıyla kullanıldığında aglomerasyon performansını genel olarak arttırdığı, yağın ortamda daha iyi dağıtılması amacıyla kullanıldığında ise aglomerasyon performansını genellikle olumsuz etkilediği görülmüştür. Elde edilen maksimum yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %85, %60 ve %92'dir. Maksimum kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %26 ve %59 olarak bulunmuştur. Bu ayırma etkinliklerinde, külün %57'si %70 yanabilir verimle, piritik kükürdün ise %83'i %75 yanabilir verimle uzaklaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Kül uzaklaştırma, Kükürt uzaklaştırma, Yağ aglomerasyonu, Atık ayçiçek yağı, Ses ötesi dalgalar

PhD. Thesis

SUMMARY

USABILITY OF WASTE VEGETABLE OIL AND ULTRASONIC WAVES IN OIL
AGGLOMERATION FOR COAL CLEANING

Ercan ŞAHİNOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tuncay USLU
2012, 124 Pages, 10 Pages Appendix

In this study, usability of waste vegetable oil and ultrasonic waves in oil agglomeration for coal cleaning was investigated. For this purpose, Muzret (Artvin-Yusufeli) coal containing high ash and sulphur, was subjected to oil agglomeration process by using waste sunflower oil. Effects of the parameters including solid content, waste oil dosage, stirring speed, agglomeration time, wash water amount, pH, coal particle size, and size of recovery sieve on the agglomeration performance were investigated. In addition, tests were undertaken to determine the effects of ultrasounds on the agglomeration process.

It was observed that waste sunflower oil could be used successfully in oil agglomeration of coal and considerable amount of ash and pyritic sulphur could be removed from the coal. All of the investigated parameters were determined to effect the agglomeration performance. While the ultrasonic waves was observed to have positive effect on performance generally when they are used in order to change surface properties of coal, expected increase in performance was not achieved generally by using ultrasounds for better emulsification of the oil in the medium. Maximum combustible recovery, ash removal and pyritic sulphur removal was achieved to be 85%, 60%, 92%, respectively. Maximum separation efficiency of ash and pyritic sulphur was 26% and 59%, respectively. These corresponded to the removal of 83% of pyritic sulphur with combustible recovery of 75% and removal of 57% of the ash with combustible recovery of 70%.

Key Words: Coal, Deashing, Desulphurization, Oil agglomeration, Waste sunflower oil, Ultrasonic waves

ŞEKİLLER

Sayfa No

Şekil 1. 1.	Kömür içindeki kükürdün neden olduğu asit yağmurlarından dolayı kuruyan bitki örtüsü.	13
Şekil 1. 2.	Kömürde sülfat kükürtte neden olan jips mineralinin görüntüsü	14
Şekil 1. 3.	Kömürde piritik kükürtte neden olan pirit mineralinin görüntüsü	15
Şekil 1. 4.	Flotasyonun temel prensipleri	20
Şekil 1. 5.	Kolon flotasyonunun şematik görünümü	21
Şekil 1. 6.	Kömürün seçici flokülasyonla temizlenmesi.	22
Şekil 1. 7.	Kelsey santrifüj jiginin şematik görünümü.	23
Şekil 1. 8.	MGS'nin çalışma prensibi ve endüstriyel uygulaması.....	25
Şekil 1. 9.	Falkon konsantratörü ayırım sırasında malzemenin dağılımı	26
Şekil 1. 10.	Knelson konsantratörü ile kömür temizlemenin şematik görünümü	27
Şekil 1. 11.	Laboratuvar ölçekli knelson konsantratörü.	28
Şekil 1. 12.	Kömür tanelerinin sıvı (yağ) ile kaplanması ve sıvı bağlantılarının oluşması.29	
Şekil 1. 13.	Yağ aglomerasyonu yönteminin genel akım şeması	29
Şekil 1. 14.	Yağ aglomerasyonu işleminde aglomeratların oluşum mekanizması	30
Şekil 1. 15.	Kömürün yağ aglomerasyonu, (a) Uygun bir hızda karıştırılan süspansiyondaki kömür taneleri (siyah) ve gang mineralleri, (b) Kömür tanelerinin yağ ile kaplanması ve aglomeratların oluşması, (c) Oluşan aglomeratların eleme ile süspansiyondan ayrılması.....	31
Şekil 1. 16.	(a) Taneler arasında sıvı köprüsü oluşması, (b) taneler arası sıvı ile dolmuş, (c) taneler tamamıyla sıvı ile kaplanmış	32
Şekil 1. 17.	Yağın aglomeratlar içindeki dağılımı ve aglomerat tipleri	33
Şekil 1. 18.	Geleneksel yağ aglomerasyonu (a) ve emülsiyeye edilmiş yağların kullanıldığı yağ aglomerasyonunda (b) oluşan aglomerat yapısı.	35
Şekil 1. 19.	Emülsiyeye edilmemiş yağların meydana getirdiği aglomerat (a), emülsiyeye edilmiş yağların meydana getirdiği aglomerat (b).	35
Şekil 1. 20.	Kavitasyon, (a) basınç ve gevşeme evresi (b) oyuklanma ve dağılma evresi. 42	
Şekil 2. 1.	Yerbulduru haritası.....	50
Şekil 2. 2.	Müzret kömürü XRD grafiği	52
Şekil 2. 3.	Kömür örneğinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri	53
Şekil 2. 4.	Aglomerasyon beslemesinin parlak kesitte görünümleri	54

Şekil 2. 5.	Müzret kömürünün zeta potansiyelinin pH'a bağlı değişimi	55
Şekil 2. 6.	Deneyleerde kullanılan atık ayçiçek yağı	56
Şekil 2. 7.	Deneyleerde kullanılan filtrelenmiş atık ayçiçek yağı (a), orijinal ayçiçek yağı (b)	56
Şekil 2. 8.	Atık ayçiçek yağının zeta potansiyelinin pH'a bağlı değişimi.....	57
Şekil 2. 9.	-0,5 mm'nin altına indirilmiş ve poşetlenmiş kömür örnekleri (a,b), silindirik cam kap ve mekanik karıştırıcı (c), karıştırma işlemi (d), aglomeratların kazanımı (e,f), aglomeratların yıkanması (g,h)	59
Şekil 2. 10.	Oluşan aglomeratların mikroskop görüntüsü (a,b), aglomeratların vakum filtrede susuzlandırılması ve yağ uzaklaştırma (c,d), susuzlandırılmış ve yağından arındırılmış aglomerat (temiz kömür) örneği (e), etüvde kurutulmuş temiz kömür örnekleri (f)	60
Şekil 2. 11.	Kükürt analizi görüntüleri (a, b, c, d), kül analizi görüntüleri (e, f, g, h).....	62
Şekil 2. 12.	Müzret kömürünün atık yağ ile aglomerasyonunun akım şeması.....	63
Şekil 2. 13.	Deneyleerde kullanılan ses ötesi dalga cihazı	64
Şekil 3. 1.	Katı oranının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi	66
Şekil 3. 2.	Katı oranının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi.....	67
Şekil 3. 3.	Atık yağ oranının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi	69
Şekil 3. 4.	Atık yağ oranının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi	69
Şekil 3. 5.	Atık yağ oranının artışına bağlı olarak aglomerat boyutlarının değişimi (a,b %5 yağ), (c,d %10 yağ), (e,f %15 yağ), (g,h %20 yağ)	70
Şekil 3. 6.	Karıştırma hızının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi	71
Şekil 3. 7.	Karıştırma hızının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi.....	72
Şekil 3. 8.	Aglomerasyon süresinin, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi	73
Şekil 3. 9.	Aglomerasyon süresinin, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi... ..	74
Şekil 3. 10.	Yıkama suyu miktarının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi	75
Şekil 3. 11.	Yıkama suyu miktarının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi	76
Şekil 3. 12.	pH'ın, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi.. ..	76
Şekil 3. 13.	pH'ın, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi	77
Şekil 3. 14.	Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %5).....	78
Şekil 3. 15.	Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %10).....	79

Şekil 3. 16.	Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %15).....	79
Şekil 3. 17.	Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %20).....	80
Şekil 3. 18.	Farklı kömür tane boyutunda oluşan aglomeratlar (a,b: -0,125 mm; c,d: -0,25 mm; e,f: -0,5 mm)	81
Şekil 3. 19.	Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %5).....	82
Şekil 3. 20.	Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %10).....	82
Şekil 3. 21.	Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %15).....	83
Şekil 3. 22.	Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %20).....	83
Şekil 3. 23.	Aglomerat kazanım eleği boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi.....	85
Şekil 3. 24.	Oluşan aglomeratların görüntüsü (Katı oranı: %10; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; pH: 5,36; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir)	85
Şekil 3. 25.	Aglomerat kazanım eleği boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi.....	86
Şekil 3. 26.	Aglomerat kazanım eleği boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi.....	87
Şekil 3. 27.	Aglomerat kazanım eleği boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi	87
Şekil 3. 28.	Aglomerasyon konsantresinin XRD grafiği	88
Şekil 3. 29.	Aglomerasyon atığının XRD grafiği	88
Şekil 3. 30.	Aglomerasyon konsantresinin parlak kesitte görünüşleri.....	89
Şekil 3. 31.	Aglomerasyon atığının parlak kesitte görünüşleri	90
Şekil 3. 32.	Aglomerasyon beslemesi (a, b), atığı (c, d) ve konsantresi (e, f)'nin parlak kesit fotoğrafları	91
Şekil 3. 33.	Aglomerasyon konsantresinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri.....	92
Şekil 3. 34.	Aglomerasyon atığının SEM görüntüsü ve EDS analizleri.....	93
Şekil 3. 35.	Katı oranına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması	94
Şekil 3. 36.	Yağ oranına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması	96

Şekil 3. 37.	Karıştırma hızına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması	97
Şekil 3. 38.	Aglomerasyon süresine göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması	98
Şekil 3. 39.	Kömür-su karışımının ses ötesi dalga işlemine tabi tutulması	99
Şekil 3. 40.	Kömür tanelerinin SEM fotoğrafları: (a) ses ötesi dalgalarla işlem görmemiş kömür taneleri, (b) ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür taneleri (72,8 watt/cm ² gücünde 5 dak.)	101
Şekil 3. 41.	Ses ötesi dalga gücü 9,5 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	102
Şekil 3. 42.	Ses ötesi dalga gücü 28,5 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	103
Şekil 3. 43.	Ses ötesi dalga gücü 45,7 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	104
Şekil 3. 44.	Ses ötesi dalga gücü 72,8 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	104
Şekil 3. 45.	Atık yağın ses ötesi dalga ile emülsiyeye edilmesi	106
Şekil 3. 46.	Su-yag karışımı (a), emülsiyeye edilmiş su-yag karışımı (b)	106
Şekil 3. 47.	Farklı güç ve sürelerde emülsiyeye edilen atık yağın mikroskop görüntüleri (a,b: 9,5 watt/cm ² gücünde 30 saniye; c,d: 9,5 watt/cm ² gücünde 2 dakika; e,f: 28,5 watt/cm ² gücünde 30 saniye; g,h: 28,5 watt/cm ² gücünde 2 dakika) ...	107
Şekil 3. 48.	Atık yağın emülsiyeye edilmesinde ses ötesi dalga gücü 9,5 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	108
Şekil 3. 49.	Atık yağın emülsiyeye edilmesinde ses ötesi dalga gücü 28,5 watt/cm ² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması	109

TABLolar

Sayfa No

Tablo 1. 1. Bitki ana maddeleri ve oranları	5
Tablo 1. 2. Kömür türlerinin ortalama C, H ve O oranları	5
Tablo 1. 3. Avustralya Standartları (AS2856-1986) maseral sınıflaması (* işaretli olanlar linyitlere ait maserallerdir)	7
Tablo 1. 4. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri	8
Tablo 1. 5. Ülkemizde toplanan kızartma yağı miktarı	49
Tablo 2. 1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları	52
Tablo 2. 2. Deneyleerde kullanılan yağların özellikleri	56
Tablo 2. 3. Kömür tane boyut dağılımı ve bu dağılıma göre kül ve piritik kükürt içerikleri	58
Tablo 2. 4. Aglomerasyon deney koşulları ve parametreleri	61
Tablo 2. 5. Ses ötesi cihazın genliğe (%) bağlı olarak hesaplanmış güç (watt/cm ²) değerleri	64
Tablo 3. 1. Oluşan aglomeratların boyut dağılımı	84
Tablo 3. 2. Ses ötesi dalga işleminin kömür tane boyu dağılımına etkisi (Süre: 5 dak.) ..	100
Tablo 3. 3. Ses ötesi dalga işleminin kömür tane boyu fraksiyonlarına göre kül ve piritik kükürt içeriğine etkisi (72,8 watt/cm ² gücünde 5 dak.)	100

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

- AS : Aglomerasyon süresi
AV : Ağırlıkça verim
BHP : Broken hill proprietary
EDS : Enerji saçınım spektroskopisi (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)
KAE : Kül ayırma etkinliği
KUO : Kül uzaklaştırma oranı
MGS : Multi gravite ayırıcısı
PKAE : Piritik kükürt ayırma etkinliği
PKUO : Piritik kükürt uzaklaştırma oranı
SEM : Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
SKUO : Sülfat kükürt uzaklaştırma oranı
TEP : Ton petrol eşdeğeri
XRD : X-ışını difraktometre
YV : Yanabilir verim

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kömür, dünya enerji gereksiniminin karşılanmasında birkaç yüzyıldan beri çok önemli rol üstlenmiş olan önemli bir katı fosil yakıttır (Ünalın, 2010). Dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, petrol rezervlerinin 41, doğal gaz rezervlerinin 63, kömür rezervlerinin de ortalama 180 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır (Delibalta, 2011). Dünya toplam enerji tüketiminin %26'sını oluşturan ve elektrik enerjisi üretiminin %38'inden sorumlu olan kömür geçmişte olduğu gibi gelecekte de önemini korumaya devam edecektir (Güler ve Güyagüler, 2011). Kömür, birçok endüstri için çok önemli bir enerji kaynağıdır (Yu, 1998). Dünyada her yıl yaklaşık 3 milyar Tep kömür üretilmekte ve tüketilmektedir (Ünalın, 2010). 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 (Şahinoğlu, 2006). 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 temizlenmesi şart olmuştur (Engin, 2002). Ayrıca kömür yandığında oluşan külün de çevreye zarar vermeyecek düzeylere indirilmesi gerekmektedir (Güney vd., 1997).

Kömürün uzun vadeli enerji kullanımında lider enerji kaynağı olmayı sürdürecektir olması ve gelişen teknolojiye paralel olarak üretimde artan toz kömür oranı, toz kömürün temizlenmesine ilginin artmasına sebep olmuştur. Günümüzde, -0,5 mm tane boyutunun altı olarak nitelendirilen toz kömürlerin çoğu, stoklanmakta ve ekonomiye kazandırılmayan atıl bir yatırım olarak kalmaktadır. Toz kömürlerin yakıt olarak kullanılmadan atılacak olmasının yanı sıra, son yıllarda artan çevre duyarlılığının getirdiği zorlamalar, toz kömürlerin atık olarak atılması konusunda engel teşkil etmektedir (Şahinoğlu, 2006).

Toz boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri olan flotasyon, konsantreye pirit kaçağı sebebiyle toz boyutta kömürü yeterince temizleyememekte (Kawatra ve Eisele, 2001; Honaker ve Das, 2004; Şahinoğlu ve Uslu, 2011a), oksitli yapıya sahip ve düşük kaliteli kömürlere uygulanamamaktadır (Mehrotra vd., 1983; Vanangamudi ve Rao, 1984; Sarıkaya ve Özbayoğlu, 1995; Özbayoğlu, 1996; Bolat vd., 1998). Geliştirilmiş gravite ayırıcıları ise mekanik olarak kompleks yapılı olup, çalıştırılma maliyetleri fazladır (Shah vd., 2002; Şahinoğlu ve Uslu, 2012). Bunun yanında, şlam ve kilsli malzeme, performanslarını düşürdüğünden temizleme işleminden önce şlam uzaklaştırmayı gerektirirler (Engin, 2002; Gitmez vd., 2009; Şahinoğlu ve Uslu, 2011b). Diğer dezavantajları da, su tüketimlerinin fazla olması ve çok seyreltik ürün vermeleri dolayısıyla kömürün susuzlandırma probleminin ortaya çıkmasıdır (Kawatra ve Eisele, 2001). Yağ aglomerasyonu yöntemi ise, yüksek verimi (Mehrotra vd., 1983, Cebeci ve Eroğlu, 1998; Şahinoğlu, 2006; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), kil ve şlamdan etkilenmemesi (Mehrotra vd., 1983; Uslu, 1997; Şimşek, 1999; Canpolat, 2003), oksitli kömürlere uygulanabilirliği (Mehrotra vd., 1983; Canpolat, 2003; Guntupalli ve Dastidar, 2006), birincil susuzlandırmanın kolay ve ucuz olması (Mehrotra vd., 1983; Canpolat, 2003) ve temiz kömürün düşük nem içeriğinden dolayı nihai susuzlandırmanın ucuz olması (Şimşek, 1999; Kawatra ve Eisele, 2001; Canpolat, 2003) gibi sebeplerle diğer yöntemlere üstünlük sağlamaktadır.

Yağ aglomerasyon yöntemi 1920'li yıllarda geliştirilmesine rağmen (Mehrotra vd., 1983; Özbayoğlu, 1996; Uslu, 1997; Kawatra ve Eisele, 2001), teknik başarısını ticari anlamda gösterememiş ve uygulanamamıştır (Theodore, 1985; Shrauti ve Arnold, 1995). Birkaç tesis kurulmuşsa da uzun ömürlü olmamıştır (Theodore, 1985; Kawatra ve Eisele, 2001). Toz boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan yağ aglomerasyonu yönteminin ticari başarısızlığın sebebi ise kullanılan bağlayıcı yağların maliyetidir (Theodore, 1985; Shrauti ve Arnold, 1995; Yu, 1998).

Bitkisel atık yağların bu yöntemde kullanılması yöntemin ekonomik olarak uygulanmasının yolunu açabilir. Dünyada her yıl oldukça fazla miktarda bitkisel atık yağ açığa çıkmaktadır. Bitkisel atık yağlar bedelsiz olarak veya oldukça düşük bir maliyetle temin edilip kömürün aglomerasyonunda kullanılabilir.

Kömürün yüzeyindeki kilsli yapıdaki malzemelerin ve oksidasyon tabakasının yüzeyden uzaklaştırılması, kömür-mineral madde birleşik yapılarının ayrılması ve kullanılan yağların daha iyi emülsiyeye edilerek sisteme verilmesi kömürün yağ

aglomerasyonu yönteminin başarısı için gereken önemli faktörlerdendir. Ses ötesi dalgaların çeşitli alanlarda gerek yüzey temizleme gerekse de yağ emülsifikasyonu amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla ses ötesi dalgalar, kömürün yağ aglomerasyonunda da, yağ emülsifikasyonu ve proses öncesi kömür yüzeylerinin temizlemesi amacıyla kullanılabilir.

Bu tez kapsamında, toz boyuta sahip yüksek kül/kükürt içerikli kömürlerin aglomerasyon yöntemiyle temizlenmesinde bitkisel atık yağların kullanılabilirliği ve ses ötesi dalgaların kullanımının aglomerasyon işleminin performansına etkileri araştırılmıştır.

1.2. Tezin Gerekçesi ve Amacı

Dünya kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi konusunda çeşitli çalışmalar mevcut olmasına rağmen, yöntemin en büyük dezavantajı olan yağ maliyetini ortadan kaldırma amacıyla bitkisel atık yağların aglomerasyon işleminde kullanılması yönünde dünya literatüründe oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte bu çalışmalar çok yüzeysel olup detay içermemektedir. Bu çalışmalarda kükürtsüzleştirme ve özellikle piritik kükürdün uzaklaştırılması konusuna değinilmemiş olup sadece yanabilir verimle kül azalması belirlenmiştir. Ayrıca çalışılan parametre sayısı da oldukça azdır. Bu sebeple, bitkisel atık yağların aglomerasyonda kullanımı konusunda farklı ve daha detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu tez kapsamında elde edilecek bulguların, kömürün yağ aglomerasyonu işleminin ekonomik bir şekilde uygulanması konusunda yol gösterici olacağı düşünülmüştür. Ekonomik hale gelmiş bir aglomerasyon yöntemi, evrensel niteliği yanında ülkemiz açısından da önem arz etmektedir. Şöyle ki, Türkiye büyük kömür rezervlerine sahip olmasına karşın bu rezervlerin çoğunluğu, düşük kaliteli olup yüksek kül, kükürt ve nem içeriğine sahiptir (Boylu ve Ateşok, 1999). Bu kömürlerin bir kısmının lavvarlarda kalitesi artırılırken, büyük bölümü ise temizlenmeden kullanılmakta ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır (Özbayoğlu, 2007). Ülkemizde yüksek kül/kükürt içeriğine sahip olduğu halde temizlenmeden kullanıldığı için değer kaybına uğrayan ve çevresel kirliliğe yol açan kömürlerin temizlenerek çevre dostu enerji yakıtı haline getirilmeleri ve ekonomik değerlerinin artırılması ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Bu kömürlerin bazılarının, çok fazla miktarda toz boyutlu malzeme içermesi ve oksitli olması gibi sebeplerle klasik

yöntemlerle temizlenmeleri zordur (Şahinoğlu ve Uslu, 2011a). Ekonomik olarak uygulanan bir yağ aglomerasyonu bu problemi de ortadan kaldıracaktır.

Tezin diğer ayağını kömürün yağ aglomerasyonunda ses ötesi dalgaların kullanımı oluşturmaktadır. Ses ötesi dalga ile muamelenin cevher hazırlamada ön işlem veya direkt olarak kullanılabilirliği detaylı olarak çalışılsa da; örneğin kömürün ve asfaltitin flotasyonunda, kömürün ağır ortamlarla ayrılmasında, sülfürlü cevherlerin flotasyonunda, öğütmede, kolemanit zenginleştirilmesinde, çökeltme ve susuzlandırma işlemlerinin hızlandırılmasında, siyanür bozundurmada, kömürün kimyasal desülfürizasyonunda vb., kömürün yağ aglomerasyonunun da kullanılabilirliği konusunda çalışmalar yetersizdir.

Sonuç olarak, kömürün yağ aglomerasyonunda bitkisel atık yağ kullanılması ve ses ötesi dalgaların kömür yağ aglomerasyonu performansına etkisi, araştırılması gereken konulardır. Çalışmada elde edilecek olumlu sonuçlar, aglomerasyon işlemi maliyetinin düşürülmesi ve performansının artırılması yönünde katkı sağlayacağı gibi literatürdeki bu konudaki boşluğu da dolduracaktır.

1.3. Kömürün Oluşumu

Kömür, uygun ortamlarda, bataklıklarda 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; Şahinoğlu, 2006; Yılmazel, 2010). Bu elementlerden kömürü oluşturan ana eleman karbondur (Özpeker, 1991).

Bitkiler, selüloz, hemiselüloz, linyin, yumurta akı maddesi, vakslar ve reçineler gibi bir takım temel maddelerden oluşmaktadır (Tablo 1.1). Bunlardan selülozlar ($C_6H_{10}O_5$)_n 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 (Kemal ve Arslan, 1999).

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 (Yenidinç, 1998).

Tablo 1. 1. Bitki ana maddeleri ve oranları (Kemal ve Arslan, 1999).

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

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. İdeal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü ve antrasit kömür türleri oluşmaktadır (Gülsuna, 2007). Tablo 1.2’de kömür türlerinin ortalama C, H ve O ağırlık yüzdeleri gösterilmiştir. Değerler kuru-külsüz bazdadır (Ünalın, 2010).

Tablo 1. 2. Kömür türlerinin ortalama C, H ve O oranları (Ünalın, 2010).

Kömür türü	%C	%H	%O
Turba	60	6	34
Linyit	70	5	25
Alt bitümlü kömür	75	5	20
Taşkömürü	85	5	10
Antrasit	94	3	3

1.4. Kömürün Organik Yapısı

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 (Özpeker, 1991). Litotipler en çok taşkömürlerinde gözlenir ve her birinin rengi ve parlaklığı farklıdır (Ünalın, 2010). Taşkömürleri vitren (vitrain), klaren (klarain), düren (durain) ve füzen (fusain) olmak üzere dört ayrı litotip içerir. Vitren kompakt ve homojen bir yapıda, en parlak kömür tipidir. Klaren, vitren'e göre daha az parlak ve kompaktır. Düren, mat siyah veya kahverengimsi siyah renkte, çok sert ve masiftir. Füzen odun kömürünü andıran ipliksi yapısı, siyah ve grimsi siyah rengi, kırıldığında eli boyayan, çok kırılğan ve toz haline gelebilen bir banttır (Özpeker, 1991).

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. Maseraller, kendilerini oluşturan bitki kalıntılarının fiziksel ve kimyasal yapılarına göre vitrinit, inertinit ve eksinit (liptinit) olmak üzere üç ana maseral kümesinde toplanmaktadır. Tablo 1.3'de Avustralya Standartları tarafından hazırlanan ve linyitlere ait maseralleri de kapsayan sınıflama görülmektedir (Ünalın, 2010). Üç maseral kümesi, farklı biçimde olduklarından ışığı yansıtma özellikleri ile ayrılmakta olup, biçimlerine göre bölümlenmiş basit maseralleri içerirler (Özpeker, 1991).

Vitrinit grubu maseraller (linyitlerde hüminit olarak adlandırılır) taşkömürlerinin en önemli maseral grubu olup hümit maddelerin kömürleşme ürünleridir. Vitrinitin özellikleri kömürleşme derecesi ile değişmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça, yansıyan ışıkta rengi siyahımsı griden beyaza kadar değişir (Suiçmez, 2007).

İnertinit grubu maseraller hidrojen fakir, karbonca zengin olduklarından koklaşma sürecinde tepkime göstermezler. Yansıyan ışıkta beyaz renkte olup üç maseral grubu arasında en yüksek yansıtmaya sahip olanıdır.

Eksinit grubu maseraller protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozulması sonucu oluşan, yansıtma derecesi en düşük olan gruptur. Hidrojen içerikleri vitrinitten daha yüksektir. Yansıyan ışıkta, kömürleşme derecesi artışına göre sarı-kahverengi-siyah renkler göstermektedirler (Özpeker, 1991).

Tablo 1. 3. Avustralya Standartları (AS2856-1986) maseral sınıflaması (* işaretli olanlar linyitlere ait maserallerdir) (Ünalın, 2010).

Maseral Grubu	Maseral
Vitrinit	Tekstinit*, Teksto-ülminit*, Ö-ülminit*, Telokollinit, Atrinit*, Densinit*, Desmokollinit, Korpojelinit, Porijelinit*, Öjelinit
Liptinit	Sporinit, Kütinit, Resinit, Liptodetrinit, Alginit, Suberinit, Fluorinit, Eksudatinit, Bitüminit
İnertinit	Füsinit, Semifüsinit, Sklerotinit, İnertodetrinit, Mikrinit, Makrinit

1.5. Kömürün İnorganik Yapısı

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 (eş oluşumlu) mineral birliklerini oluştururlar. Bunlar kömürleşme sürecinde değişen koşullarda duraylı olabilen minerallerdir.

İlksel ve birincil evre mineral ve öğelerinden değişen koşullarda duraylı kalamayanlarla, yüzeysel veya hidrotermal kökenli akışkanlara bağlı gelen öğeler, kömür katmanlarının kırık, çatlak ve gözenekleri içinde yeni mineral bileşenleri oluşturabilirler. Bunlar ikincil (ard oluşumlu) mineralleşmelerdir (Özpeker, 1991).

Tablo 1. 4. Kömürde gözlenen minerallerin oluşum evreleri (Özpeker, 1991).

Mineral kümesi	Eş oluşumlu (birincil)		Ard oluşumlu (ikincil)	
	Taşınma	Eş oluşum	Çatlaklarda	Dönüşüm
Killer	İllit, Serizit, Kaolen, Kıltaşı, Montmorillonit			İllit, Klorit
Karbonatlar		Siderit-ankerit topları, Dolomit, Kalsit	Ankerit, Kalsit, Dolomit	Siderit-pirit dönüşümü
Sülfürler		Pirit topları, Melnikovit, Pirit-kalkopirit-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	

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 (Ural vd., 2002).

Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemlileri, killer, karbonatlar ve demir mineralleridir (Tablo 1.4).

Killer 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. Kömürde killer, karmaşık yaygılı kömürlü kıltaşı (illit-montmorillonit), kaolen kömürlü kıltaşı ve illit kömürlü kıltaşı (leverrierit) olarak üç türe ayrılabilir (Özpeker, 1991).

Kömürde rastlanan karbonatlar, kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatlarıdır.

Kömürde sık rastlanan minerallerden biri de kuvarstır (Ural vd., 2002). Kuvars, genelde taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller; bataklık suyunda çözünmüş silisin uygun koşullarda çökelişi ile oluşmuşsa mini kristalli veya kalsedon biçiminde gözlenir.

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

Şüphesiz kömürdeki en önemli maddelerden biri pirit ve kükürttür. Kömürdeki pirit ve kükürt ile ilgili detaylı bilgi “Kömürün İçerdiği Safsızlıklar” başlığı altında verilmiştir.

Kömürlerin %0,1'in altında içerdikleri öğelere iz öğeler denir. 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, 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 (Özpeker, 1991).

Kömürün içerdiği mineraller, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Bu işlemlerin başarısı, kömürün içerdiği mineral maddelerin özelliklerinin iyi tanınmasına bağlıdır (Kadıköylü, 2005).

1.6. Kömürün İçerdiği Safsızlıklar

Kömürün içerdiği ve gerek kullanımında gerekse de kömür temizlemede önem taşıyan safsızlıkları dört grupta toplanmaktadır. Bu safsızlıklar nem, kül, uçucu madde ve kükürttür.

1.6.1. Nem

Nem nakliye, stoklama ve yakma işlemlerinde gereksiz bir yük oluşturduğu gibi kömürün kalori değerini de düşürmektedir. Kömür yandığı zaman açığa çıkan enerjinin bir kısmı nemin uzaklaştırılması için harcanmaktadır (Aykul vd., 2004).

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre, ocak çıkışında belirli oranda nem içerirler. Ocak çıkışı turbalar %75'in üzerinde, yumuşak linyitler %35-75 ve sert linyitler de %10-35 arasında nem içermektedir. Taşkömürü ve antrasitlerin orijinal nem oranları %1-2'dir. Bu durum göstermektedir ki, ocak çıkışı kömür nem oranı, kömürleşme derecesi ilerledikçe düşmektedir. Kömür nemi, suyun kömür bünyesinde bulunuş şekline göre, yüzey nemi ve iç nem olmak üzere iki gruba ayrılır. Yüzey nemi, adhezyon nemi, taneler arası nem ve adsorpsiyon nemini içerir. İç nem ise, kaba kapiler nem ve kılcal kapiler nemden oluşur.

Diğer taraftan, havada kuruma durumuna göre de, kömür nemi kaba ve higroskopik nem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Havada kurumaya bırakılan kömür, hava sıcaklığına ve havanın higroskopik nem oranına bağlı olarak belirli bir orana kadar nem kaybeder ve ondan sonra nem kaybı, yani kuruma durur. Bu ilk kuruma esnasında, özellikle taneler arası nem, adhezyon nemi ve kaba kapiler nem buharlaşmaktadır. Hava sıcaklığı ve havanın higroskopik nem oranına bağlı olarak, herhangi bir termik işlem olmaksızın, oda sıcaklığında kömürün kaybettiği neme, kaba nem ve kömürde geride kalan neme ise, higroskopik nem adı verilmektedir. Higroskopik nemi oluşturan, ince kapiler nemi ile adsorpsiyon neminin buharlaşması için daha fazla enerjiye gereksinin vardır. Bu nedenle, kömür $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ısıtılmak suretiyle, bu nem grubunun tayini yapılmaktadır. Higroskopik nem, kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taşkömüründe %1-2 olan higroskopik nem oranı, kömürleşme derecesi düştükçe, yükselmekte ve yumuşak linyitlere doğru %15'i geçmektedir (Kemal ve Arslan, 1999).

1.6.2. Kül

Bütün kömürler, organik olmayan maddeler içerirler. Kömürün yanmasından sonra, yanmayan maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden ibarettir.

Kömürlerde iki türlü kül bulunur, bünye külü ve harici kül. Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürdeki toplam külün %2-3' ünü oluştururlar. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre, kömürleşme esnasında karışabileceği gibi, kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı ve benzerleri olabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskopik parçalar halinde bulunabileceği gibi, damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Yabancı maddeler, tüvenan kömüre, üretim esnasında tavan ve taban yantaşlarından da karışabilir. Bunların hepsi harici külü oluştururlar. Bünye külü, kömürden, yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılmazken, harici kül, kömür yıkama yöntemleriyle belli bir oranda azaltılabilir (DPT, 2009).

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

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

1.6.3. Uçucu Madde

Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında, gaz ve sıvı ürünler halinde bir takım maddeler çıkmakta ve geride kok kalmaktadır. Isıtmaya bağlı olarak çıkan bu gaz ve sıvı maddelere, kömürün uçucu maddesi ve bunun toplam kömür ağırlığına olan oranına da, kömür uçucu madde oranı denilmektedir. Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında, önce içerdiği nem kurur ve üzerinde bulunan adsorpsiyon gazları (N_2 , CO_2) çıkar. Bundan sonra kömür, sıcaklığa bağlı olarak parçalanmaya başlar. Kömürün ısıl parçalanması esnasında, kömürün kimyasal yapısındaki yan zincirlerle, aromatik olmayan kimyasal grupların parçalanarak kömür yapısından ayrıldıkları kabul edilmektedir. Bunun sonucunda, geride kalan kısmın aromatikliği ve buna bağlı olarakta, karbon oranı artmaktadır. Belirli kimyasal grupların parçalanabilmeleri için, belirli aktivasyon enerjisi gerektiğinden sıcaklık arttıkça değişik gruplar parçalanmaktadır (Pişkin, 1988). Kömür ısıtıldığında ilk çıkan gaz, azot gazıdır. Bunu CO_2 ve CO gazları takip etmektedir. Daha sonra CH_4 gazı ve yüksek sıcaklıkta da H_2 gazı çıkmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Uçucu madde oranı, kömür değerlendirilmesi yönünden çok önemli bir özelliktir. Kömürleşme derecesi arttıkça, uçucu madde oranı azalmaktadır (Pişkin, 1988).

1.6.4. Kükürt

Kömürde kükürt, inorganik ve organik olmak üzere iki şekilde bulunur (Ambedkar vd., 2011). İnorganik kükürt, kömürde sülfat ve piritik kükürt şekillerinde olmaktadır. Hemen hemen bütün kömürlerde bulunan bu kükürt türlerine ilave olarak, elementer kükürtten de bahsetmek mümkündür (Oruç, 1996). Sülfat kükürdü ve elementer kükürt diğerlerine göre az oranda bulunduğundan önemsiz kabul edilebilir (Şahinoğlu, 2006).

Kükürt yanabilir olduğundan (sülfat kükürdü hariç) kömürün ısıl değerini olumsuz yönde etkilemez. Ancak, kömürün yanması sırasında kükürdün büyük kısmı oksitlenerek SO₂ gazına dönüşür. Genellikle bunun %3'ü ikinci bir oksitlenme geçirerek SO_x'e dönüşür. 850°C'de yanan ve SO₂ gazı olarak atmosfere çıkan kükürt yanabilir kükürt olarak isimlendirilir. Hava kalitesini, dolayısıyla soluma sonucu insan sağlığını ve de çevreyi olumsuz yönde etkileyen bu kükürt türüdür (Yıldız, 2007). Atmosfere yayılan SO_x gazları bulutlardaki su damlacıkları ile birleşerek asit yağmurları meydana getirebilmektedir. SO₂, havada su ile birleşerek sülfirik asit (H₂SO₄) oluşturmakta oluşan sülfirik asit, asit yağmuru şeklinde yeryüzüne inmektedir.



Bu yağmurlar bitki örtüsünün bozulmasına neden olmakta, toprağın ve göl sularının pH'ını düşürerek, su içinde yaşayan canlıları büyük ölçüde yok etmektedir. Şekil 1.1'de asit yağmurlarından dolayı kurumuş bitki örtüsü görülmektedir. Öte yandan kömürdeki kükürt, kömürün kendiliğinden yanmasını kolaylaştıran bir elementtir. Kendiliğinden yanma olayı kömür işletmeciliğinde önemli sorunlar yaratabilmektedir.

Kömürün toplam kükürt miktarı (S_T), aşağıdaki formülle açıklanmaktadır:

$$S_T = S_O + S_P + S_S \quad (1.2)$$

S_O: Organik kükürt

S_P: Piritik kükürt

S_S: Sülfat kükürdü

Kömürlerin toplam kükürt yüzdesine göre yapılan sınıflaması şöyledir:

- < % 0,5 : çok düşük kükürtlü kömür,
- % 0,5-1: düşük kükürtlü kömür,
- % 1-4 : oldukça yüksek kükürtlü kömür,
- > %4 : çok yüksek kükürtlü kömür (Ünalın, 2010).



Şekil 1. 1. Kömür içindeki kükürdün neden olduğu asit yağmurlarından dolayı kuruyan bitki örtüsü (Ünalın, 2010).

1.6.4.1. Sülfat Kükürdü

Kalsiyum ve demire bağı olan sülfat kükürtlerinden hidratlı kalsiyum sülfat (jips) genellikle kömürün çatlaklarında rastlanan ikincil bir mineral oluşumdur. Şekil 1.2'de kömürde sülfat kükürtte neden olan jips minerallerinin görüntüsü görülmektedir. Bir kömürdeki sülfat kükürdü içeriğı yüzeysel bozunmayla artmaktadır. Örneğın 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 ($(\text{Na},\text{K}) \text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$)'dir. Demir sülfatlar yalnızca bozunmuş kömürlerde önem taşımaktadırlar. Nadiren yüksek miktarlarda bulunurlar.

Kömürdeki sülfat kükürdü suda eridiğinden, kömürün arıtılması açısından herhangi bir sorun yaratmamaktadır (Özbayoğlu, 1982). Kömürün yanması sırasında, sülfat kökenli kükürt yanmadığından külde kalmaktadır. Ayrıca kömür bünyesindeki karbonatlı minerallerin miktarına bağı olarak bir miktar yanabilir kükürt, sülfat oluşturmakta ve külde geçmektedir. Yanmayan orijinal sülfat ve sonradan oluşan sülfatlar külde kükürt olarak isimlendirilir (Yıldız, 2007).

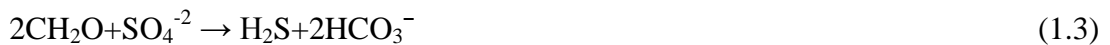


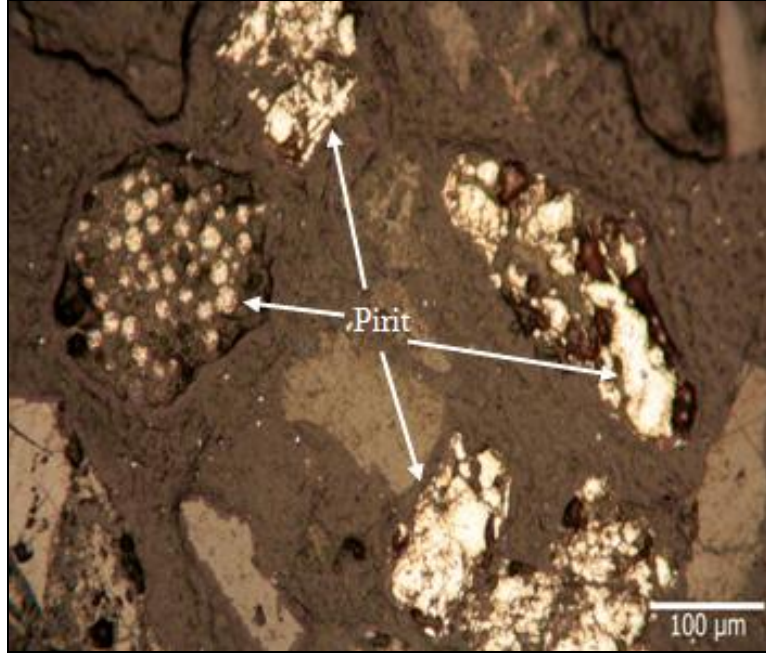
Şekil 1. 2. Kömürde sülfat kükürtte neden olan jips mineralinin görüntüsü (Şahinoğlu, 2006).

1.6.4.2. Piritik Kükürt

Sülfütlere ait kükürdün kömür içinde çok sık rastlanan örneği pirit (FeS₂) (Şekil 1.3) (Ünalın, 2010). 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 (Özbayoğlu, 1982).

Pirit, oksijensiz ortamda yaşayan sülfat indirgeyici anaerobik bakteriler tarafından, kömürün çökeldiği ortamdaki suda eriyik halde bulunan sülfatlardan, erken diyajenez sırasında üretilir. Sülfat indirgeyici anaerobik bakteriler, örneğin *Desulfovibrio*, önce CaSO₄'ten H₂S üretir. Üretilen H₂S'nin demir (Fe) ile birleşmesiyle pirit meydana gelir. Bu şekilde oluşan pirit eş oluşumlu pirit denilmektedir. Kömür içinde eş oluşumlu pirit minerallerine sık rastlanır. Eş oluşumlu pirit, turba aşamasında, su içinde eriyik halde bulunan Fe ile H₂S'nin birleşmesi sonucu oluşur. H₂S, turba tabanındaki anaerobik ortamda yaşayan sülfat indirgeyici bakteriler tarafından aşağıdaki formüldeki gibi üretilir;





Şekil 1. 3. Kömürde piritik kükürtte neden olan pirit mineralinin görüntüsü

Pirit ard oluşumlu olarak da oluşabilmektedir. Piritle birlikte markasit, galen ve sfalerit gibi diğer sülfidler de oluşabilmektedir (Ünalın, 2010). Makroskopik piritler kömürde dört şekilde bulunurlar;

1. Damarlar: Kömür yatağı içindeki dikey eklemler boyunca bazen ince ve film gibi, bazen de 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 pirit 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 piritler bitkisel maddeyle yer değiştirmiş ve hücre dolgusu şeklinde, kömür içine dağılmış kürecikler, damarcıklar ve toz halindeki kristaller olarak görülürler (Özbayoğlu, 1982). Piritik kükürt gözle görülebilir ya da mikroskopik olsun, kömürden serbestleştirildiği takdirde flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden ayrılabilir (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Genellikle deniz suyu içinde, kara ortamına ait tatlı suya oranla daha fazla miktarda eriyik sülfat bulunur. Deniz kenarındaki bataklıklarda, örneğin lagün kenarı bataklığı, alt delta düzlüğü gibi ortamlarda (paralik ortam) depolanmış kömürler, tatlı su ortamlarındaki bataklıklarda (limnik ortam) depolanmış kömürlere oranla daha fazla miktarda pirit ve dolayısıyla kükürt içerir. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, tavan kayası denizel olan bir kömür, tavan kayası tatlı su ortamında çökelmiş olan kömüre göre daha fazla kükürt içerir. Bu kükürdün önemli bir bölümü piritte ait olup deniz suyu içindeki CaSO_4 'ten bakteriler tarafından üretilir. Bu tip piritler genellikle framboid şeklindedir. Pirit framboidi, çok küçük ve eşit boyutlu pirit kristallerinin bir araya gelmesiyle meydana gelen ve ahududuya benzer, küresel veya yarı küresel yumrulardır. Yumruların boyutu 1-100 μm arasında değişmektedir. Üst delta düzlüğü, göl kenarı bataklığı, taşkın ovası gibi esasen tatlı suyun bulunduğu ortamlara ait kömürler içinde az miktarda pirit ve dolayısıyla piritte ait kükürt bulunur. Buna karşılık, bu kömürlerin organik kükürt oranları yüksek olabilmektedir.

Eş oluşumlu kükürt ile kömür maseralleri arasında aşağıda açıklanan ilişkiler söz konusudur:

- Su tablasının ve pH değerinin yüksek, Eh değerinin düşük olduğu ortamlarda depolanan kömürler vitrinit oranı yüksek olan parlak kömürlerdir. Bu koşullar bakterilerin sülfatları indirgemesine uygun olup bakteriler tarafından üretilen H_2S 'in, Fe^{2+} ile birleşmesiyle pirit oluşmaktadır. Dolayısıyla parlak kömürler içindeki eş oluşumlu kükürt oranı yüksektir.

- Buna karşılık, su tablasının düşük ve Eh değerinin yüksek olduğu ortamlarda (aerobik) organik madde önemli ölçüde oksitlenir ve sonuçta inertinit yönüyle zengin olan mat kömürler meydana gelir. Bu gibi ortamlarda H_2S ve pirit oluşumu zayıftır. Bu ortamlara ait kömürler içindeki kükürt esas olarak organik kükürttür. Pirit veya eş oluşumlu kükürt oluşumu zayıf olduğu için oluşan kömürün toplam kükürt oranı genellikle düşüktür (Ünalın, 2010).

Kömür yakıldığında piritik kükürt, kükürt oksitlere ve demir oksitlere dönüşmektedir (Ateşok, 1986).

1.6.4.3. Organik Kükürt

Kömürün organik yapısına bağlı olarak bulunan kükürt, organik kükürt olarak adlandırılır. Kömürü oluşturan bitkinin artıklarında bulunan proteinler, organik kükürt bileşiklerinin meydana gelmesine neden olurlar (Özbayoğlu, 1982). Organik kükürt bileşiklerini ayırmak ve analiz etmek için kömürün makromoleküler yapısını parçalamak gerekir. Başka bir deyişle, organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kimyasal bağlar kırılmadan fiziksel yöntemlerde uzaklaştırılması mümkün değildir. Fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile kömürdeki kükürt miktarı yalnızca bünyedeki organik kükürt seviyesine kadar inebilmektedir. Dünyadaki kömürlerin büyük bir kısmında toplam kükürt oranı %0,4-9 arasındadır. Organik kükürt genellikle %0,5-2 arasındadır ve toplam kükürdün %97'sine kadar çıkabilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Kömürlerde bulunan başlıca organik kükürt bileşikleri şunlardır;

1. Merkaptan veya Tiol, RSH (R: Alkil veya aril grubu)
2. Sülfür veya Tio-Eter, RSR
3. Di-Sülfür, RSSR
4. Tiofen halkası içeren aromatik bileşikler (Özbayoğlu, 1982).

Kömürün yakılması sırasında, organik kükürdün büyük bir kısmı, kükürtdioksit (SO_2)'e dönüşmektedir (Ateşok, 1986).

1.6.4.4. Elementer Kükürt

Elementer kükürt, kömürlerde çok seyrek olarak görülür. İkincil değişimler sonucu oluştuğu sanılmaktadır (Şahinoğlu, 2006). Piritin oluşumu esnasında, onun çok yakınında, birkaç molekül mesafede meydana çıkmaktadır (Renda, 2000).

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

1.7. Yağ Aglomerasyonu Dışındaki Toz Kömür Temizleme Yöntemleri

Kömür temizleme işleminin birçok avantajı vardır:

- 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 kurularak yerli linyitler değerlendirilir ve ülke ekonomisine katkı sağlanır (Bayazıt, 2000).

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 150-200 mm boyutlu olarak üretilen kömürler; iri kömür (+6 mm), ince kömür (-6+0,5 mm) ve toz kömür (-0,5 mm) olarak sınıflandırılarak değerlendirilmektedir (Güney vd., 1995). Kömür temizleme işlemi toz kömürün (-0,5 mm) dışında, yoğunluğa göre ayırım esasına dayalı, statik ağır ortam, jig, ağır ortam siklonu ve spiral gibi yöntemlerle yapılmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Cevher hazırlamada toz boyutlu taneler; ya üretim ya da boyut küçültme işlemlerinin doğal sonucu olarak daima mevcuttur (Şimşek, 1999). Özellikle, kömür endüstrisinde uygulanan modern üretim metotları toz boyutlu kömür miktarını sürekli olarak arttırmaktadır (Şimşek, 1999; Wang vd., 2010; Aslan ve Ünal, 2011).

Toz kömürün temizlenmesinde yukarıda bahsedilen klasik metotlarla istenen verim ve kül oranlarına ulaşılmasında yaşanan sıkıntılar birçok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yeni teknolojilerin üzerinde durulmasının diğer sebebi, toz kömürün yarattığı oluşumlardır. Hedef, daha az çevre kirletici atık ortaya çıkmasını ve toz kömürlerin enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğini sağlamaktır (Kemal ve Arslan, 1999).

Toz boyutundaki kömürlerin temizlenmesinde kullanılabilen yöntemler, yağ aglomerasyonu, flotasyon, seçici flokülasyon ve geliştirilmiş gravite ayırıcıları (kelsey jig, multi gravite ayırıcısı, falkon konsantratörü ve knelson konsantratör) dir (Kawatra ve Eisele, 2001). Bununla birlikte, endüstriyel ölçekte genellikle flotasyon kullanılmakta olup geliştirilmiş gravite ayırıcıların bazıları da yeni kullanılmaya başlanmıştır.

1.7.1. Flotasyon

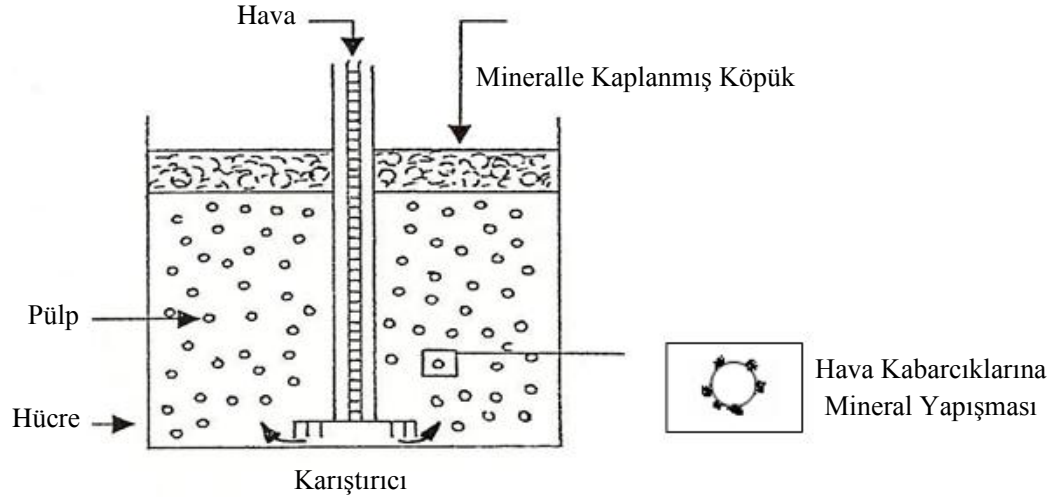
Flotasyon, çok ince tane büyüklüğünde ayrılması mümkün olan minerallere uygulanan, ayrıca toz kömür için de kullanılan bir temizleme yöntemidir. Flotasyon yöntemi, gravite yöntemleri ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için kıymetsiz kabul edilen, pek çok düşük dereceli veya kompleks yapılı cevher yatağının işletilmesini ve toz kömürlerinde temizlenebilmesini 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). Şekil 1.4 bir flotasyon makinesinde, flotasyonun temel prensiplerini göstermektedir. Flotasyon kömürlere dört amaçla uygulanır:

- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü (-0,5 mm) kazanmak,
- Lavvardan atılan siyah su denilen proses suyunu temizleyerek, çevre kirliliğini önlemek,
- Kömürde bulunan kükürdü gidermek,
- Kömür içinde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak koklaşabilir karışımlar hazırlamak.

Kömür flotasyonu için kömür tane boyutun 0,5 mm'nin altında olması yeterlidir. Hatta pratikte 0,7-1,0 mm'ye kadar kömürlerin flote edilmesi mümkündür (Yavuz, 2010).

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 (Şahinoğlu, 2006). Genellikle yeni üretilen kömürün bir süre açıkta kalan kömürden daha iyi yüzdüğü bilinmektedir. Kömürün yüzeyinde oksitlenme neticesinde OH^- ve COOH^- gibi grupların oluştuğu saptanmıştır. Normal atmosfer sıcaklığında bile havanın oksijeni kömür yüzeyini oksitleyerek flotasyon yeteneğini azaltır. Yüzdürülmesi istenmediği zaman kömür, potasyum permanganatla (KMnO_4) işleme sokularak oksitlenmesi sağlanır. Oksit tabakasını bozmak gerektiğinde %1'lik NaOH çözeltisi ile kömür pülünü karıştırmak yeterlidir. Oksitlenme düşük kaliteli kömürlerde yüksek kalitelilerden daha fazladır. Buna bağlı olarak da düşük kaliteli kömürlerin flotasyon yeteneği azdır. Kömür litotiplerinden vitrain çok çabuk oksitlenir. Oksitlenme özelliği; fusain, durain, klarain ve vitrain doğrultusunda artar (Ateşok, 1986).

Kömür flotasyonuna etki eden diğer faktörler; tane boyutu, pülp katı oranı (pülp yoğunluğu), hava kabarcık boyutu, hava miktarı, karıştırma hızı, besleme hızı, kullanılan reaktifler, nem, suyun pH derecesi ve flotasyon makinesidir.

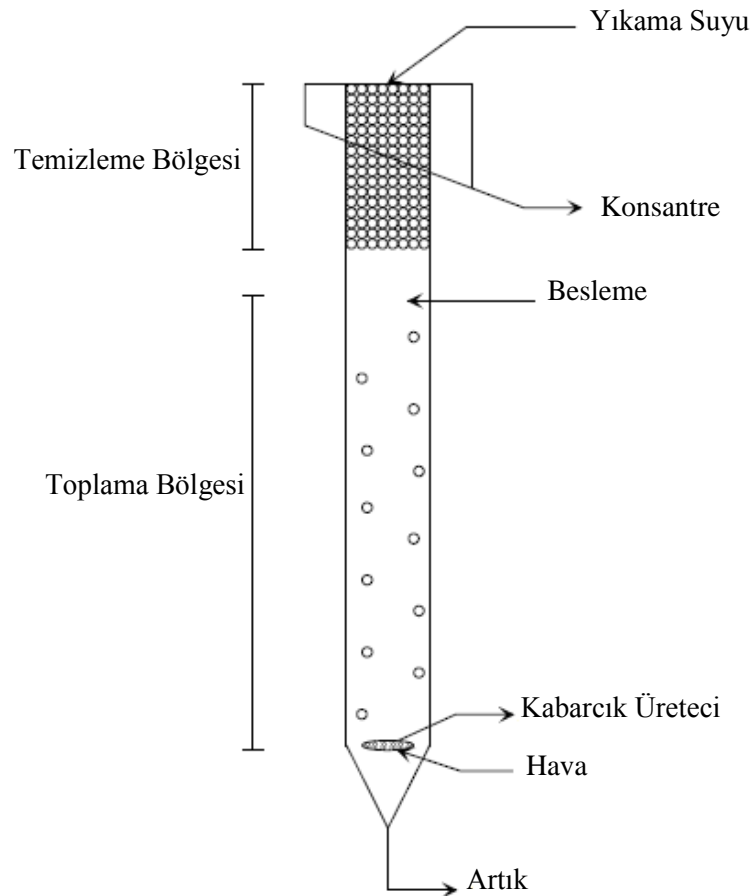


Şekil 1. 4. Flotasyonun temel prensipleri (Oruç, 1996).

Kömürler doğal olarak, yani kimyasal reaktifler kullanılmadan yüzebilirler de doğal flotasyon kabiliyeti kömür cinslerine göre çok değişmektedir. Flotasyon kabiliyeti linyitlerde en zayıftır. Yarı bitümlü ve bitümlü kömürlerde flotasyon kabiliyeti artmakta, antrasitte ise biraz düşmektedir (Oruç, 1996). Bitümlü kömürlerin bazıları sadece köpürtücü reaktif ile yüzdürülebilir. Bu kömürlerin flotasyonunda alkol tipi (metil izobütil karbinol, 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 (C91, C132, Montanol vb.) de üretilmektedir. Kömürdeki safsızlıklardan kil minerallerinin bastırılması için sodyum silikat ve sodyum karbonat, piritin bastırılması için sodyum siyanür ve kireç kullanılmaktadır. Kömür flotasyonunda klasik, kendi kendine havalandırmalı mekanik makinelerden başka pnömatik 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 (Yenidinç, 1998). Flotasyonla, daha temiz kömürlerin elde edilebilmesi için türbülansın

oluşmadığı, daha yüksek köpük kalınlıklarının elde edilebildiği ve köpüğün su ile yıkanabildiği flotasyon kolonları kullanılmaya başlanmıştır (Yavuz, 2010).

Kolon flotasyonu makinelerinin kömür temizlemede çok etkili olduğuna şüphe yoktur (Rubinstein vd., 1999). Şekil 1.5’de kolon flotasyonu şematik olarak verilmiştir. Şekilsel farklılığının yanı sıra, mekanik bir karıştırmanın olmaması kabarcık üretim sistemi ile yıkama suyunun olması, kolon flotasyonunu mekanik flotasyondan ayıran en önemli özelliklerdir. Genellikle endüstride kullanılan flotasyon kolonları 9 ile 15 m yüksekliğinde ve 0,5-0,3 m çapındadır. Bazı tesislerde kolon çapı 2,5-3 m civarında da olabilmektedir. Pülp beslemesi, kolon yüksekliğinin tabandan itibaren genellikle $2/3$ ’ü kadar yükseklikten yapılmaktadır. Pülp kolon içerisinde aşağı doğru hareket ederken alt kısımdan gelen kabarcık yukarı doğru hareket etmektedir. Kabarcık ile tanelerin ilk karşılaştığı ve hidrofobik tanelerin kabarcığa yapıştığı bu bölgeye toplama bölgesi, pülp besleme noktasının üzerinde kalan ve yıkama suyu verilerek daha seçici bir konsantrenin elde edildiği bölgeye ise temizleme bölgesi denilmektedir (Kurşun, 2001).



Şekil 1. 5. Kolon flotasyonunun şematik görünümü (Kurşun, 2001).

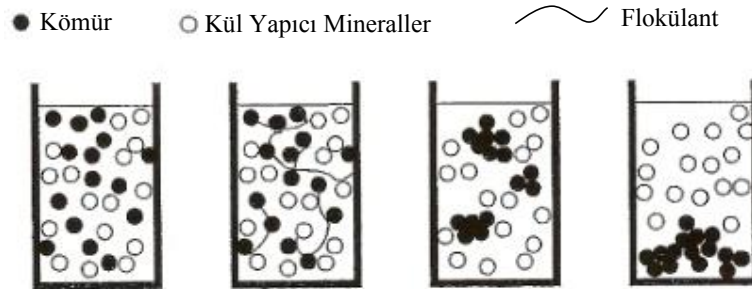
Kolon flotasyonunun avantajları şunlardır:

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

Yüksekliğinin tesislerde sorun çıkarması, kabarcık üreticinin bakımı, yıkama suyu maliyeti ise kolon flotasyonunun dezavantajıdır (Yavuz, 2010).

1.7.2. Seçici Flokülasyon

Seçici flokülasyon yöntemi çok küçük taneli (-0,15 mm) kömürlerde 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 (Uslu, 2002). Polimerik flokülantlar taneler arasında köprü kuran uzun zincirli moleküllerdir. Genellikle $2-10 \cdot 10^6$ molekül ağırlıklarıyla poliakrilamidler kullanılmaktadır. Noniyonik akrilamidler ve anyonik akrilamidler çok yüksek molekül ağırlıklarında üretilebildiklerinden büyük, hızlı çöken, oldukça kompakt flokların oluşumuna neden olmaktadır. Kömür tanelerini seçici floküle etmek için lateksler ve polietilen oksit gibi temel polimerler olan hidrofobik veya kısmen hidrofobik flokülantlar kullanılmaktadır. Ayrıca, sentetik flokülantlar ve doğal bir şekilde meydana gelen nişasta, mika ve jelatin gibi polimerler flokülasyon için kullanılabilir (Yavuz, 2010). Şekil 1.6'da kömürün seçici flokülasyonla temizlenmesi görülmektedir.



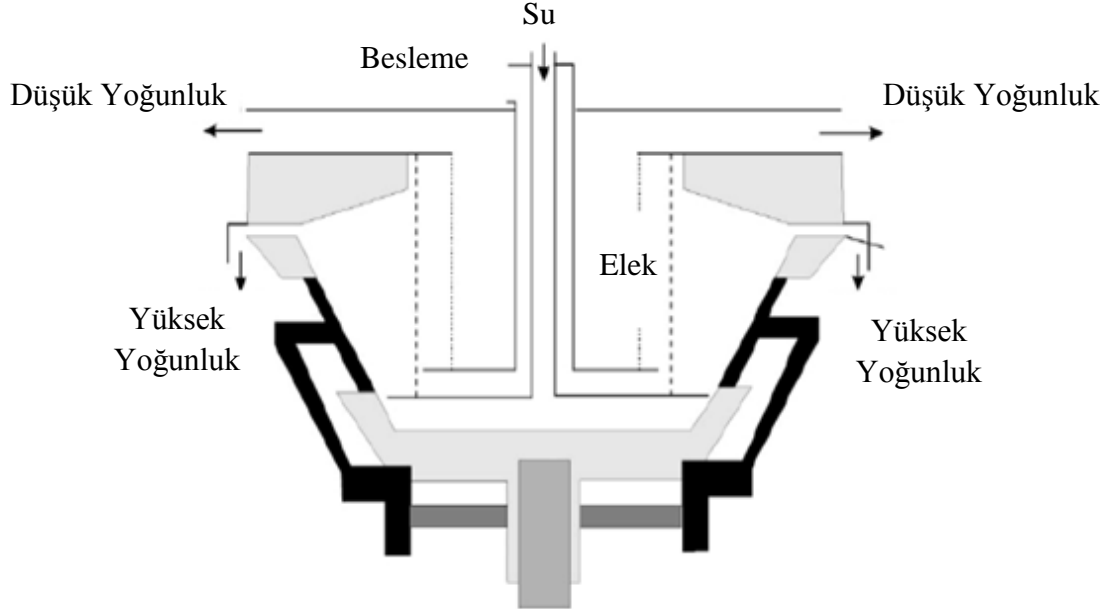
Şekil 1. 6. Kömürün seçici flokülasyonla temizlenmesi (Kawatra ve Eisele, 2001).

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).

1.7.3. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcıları

1.7.3.1. Kelsey Jig

Kelsey santrifüj jigi genel olarak iki ayırma yönteminin birleştirilmesi sonucu oluşan konsantratördür. Bu iki yöntemden biri santrifüj kuvveti ile ayırma diğeri ise jig ile ayırmadır. Besleme %25-40 katı içerir. Su üst taraftan verilir. Santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır mineraller alt akımla, hafif mineraller üst akımla alınır (Şekil 1.7) (Yavuz, 2010). Kelsey jigi, diğer jiglere çok ince gelen taneleri kazanmaya imkân tanımaktadır (Kantarıcı, 2009).



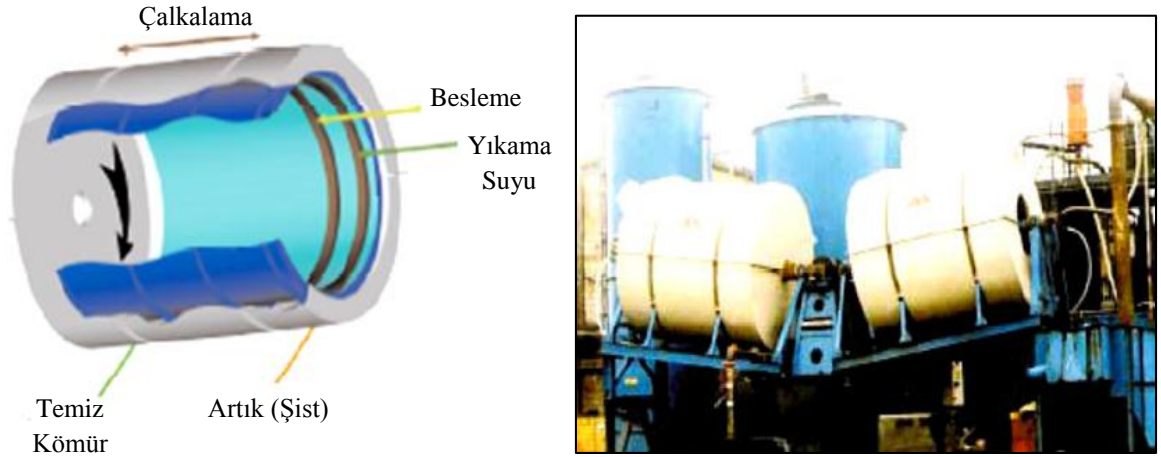
Şekil 1. 7. Kelsey santrifüj jiginin şematik görünümü (Yavuz, 2010).

Majumder ve Barnwal (2008), çalışmalarında 500 µm altındaki Moonidih kömürünü Kelsey Jigi ile zenginleştirmeye tabi tutmuşlar. Besleme kül değeri %36 olan Moonidih kömüründen %68 verimle %19 küllü temiz kömür elde etmişlerdir.

1.7.3.2. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)

Multi gravite ayırıcısı (MGS) ya da akan film ayırıcısı olarak bilinen bu cihaz, boyutu 100 µm'nin altında olan cevherleri zenginleştirmek üzere İngiltere'de geliştirilmiş olan yeni teknoloji bir gravite ayırıcısıdır. Bu yöntem sarsıntılı masadan esinlenerek geliştirilmiştir. Bilinen yatay sallantılı masa yüzeyinin, bir tambura doğru dönüşü şeklinde tasavvur edilebilir. Multi gravite ayırıcısı'nda ayırma işlemi, 150-300 dev/dak. hızla dönen eğimli bir tamburun iç yüzeyinde gerçekleşmektedir. Tamburun eksenine boyunca oluşturulan titreşim ile desteklenen tambur hareketinin etkisiyle, tanecikler gravite kuvvetinin yanısıra merkezkaç kuvvetinin de etkisi altında kalırlar. Tambur paslanmaz çeliktir ve poliüretan astarla kaplıdır. Oluşan merkezkaç kuvvetleri yerçekimi ivmesinin 6-24 katı kadardır. Şekil 1.8'de şematik görünümü verilen MGS'nin, 0,9-1,2 metre çapındaki tamburun ortasına %20-50 katı oranında beslenen cevherdeki nispeten daha ağır taneler tamburun dönmesi sonucu tamburun tabanına yerleşirken, hafif mineraller tabakanın üst kısmında ve daha sulu bir durumda bulunurlar. Hafif taneler suyun da etkisiyle tamburun eğimi boyunca aşağıya doğru hareket eder. Ağır tane ise, küreyici kollar vasıtasıyla yukarıya doğru taşınır ve tamburun arka ucundan dışarıya alınır.

Endüstriyel ölçekli MGS ünitesinin kapasitesi 2 ton/saat düzeyinde olup, genellikle çift tambur halinde çalıştırılırlar. Tambur hacminin (kapasitesinin) büyütülmesi durumunda, sistemin verimi düşmekte ve ayırım gerçekleştirilememektedir. Bu yüzden endüstriyel ölçekte bu cihazlar birbirine bağlı seri küçük tamburlar halinde kullanılırlar. Kalay, demir, kromit ve barit minerallerinin zenginleştirilmesi için uygulamaları mevcuttur. Kanada, İngiltere ve Amerika'da ise çok ince kömürlerden piritin giderilmesi için pilot ölçekte uygulamaları yapılmaktadır. Türkiye de ise çeşitli araştırmacılar tarafından çok ince (-0,1 mm) kömürlerin kül ve kükürdünün giderilmesi ve süper temiz kömür üretimi için denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Hacıfazlıoğlu, 2009).



Şekil 1. 8. MGS'nin çalışma prensibi ve endüstriyel uygulaması (Hacıfazlıoğlu, 2009).

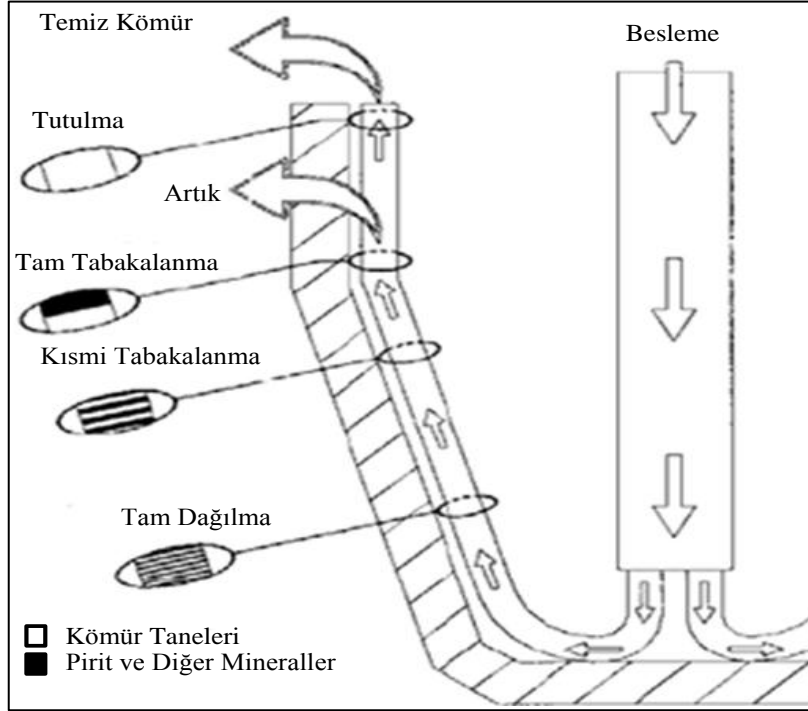
Özgen vd. (2011), multi gravite ayırıcısı ile, P_{80} : -28 μm olan Tunçbilek ve P_{80} : -45 μm Soma kömür yıkama tesisi atıklarının temizlenebilirliğini araştırmışlar. Kül değeri %66 olan Tunçbilek kömür yıkama tesisi atıklarından %49 verimle %23 küllü temiz kömür, kül değeri %53 olan Soma kömür yıkama tesisi atıklarından %60 verimle %23 küllü temiz kömür elde etmişlerdir.

1.7.3.3. Falkon Konsantratörü

Besleme, ilk olarak konik şekillendirilmiş haznenin içine dolmakta ve su basıncının yardımı ile haznenin üzerinden aşmadan hemen önce burada yoğunluk farkına dayalı bir akışkan yatak oluşturmaktadır. Şekil 1.9'da malzemelerin hazne içerisindeki yataklanması gösterilmektedir. Bu akışkan yatak, içerisinde ağır taneleri tutmakta, daha hafif taneler su ile dışarı çıkmaktadır. Falkon konsantratörü yerçekimi kuvvetinin 300 katına kadar gravite kuvveti oluşturabilmektedir (Kantarıcı, 2009).

Falkon cihazı özellikle, -1 mm ile 37 mikron arasında etkili ayırma yapabilmesi ile spiral ve flotasyon devresine alternatif oluşturabilmektedir. Toz kömür yıkayan diğer aygıtlarda genelde 1,7-1,8 gr/cm^3 ayırma yoğunluklarında kalınırken, Falkon cihazı ile 1,5 gr/cm^3 ayırma yoğunluğuna kadar inilebilmektedir. Falkon cihazında temizlenecek olan kömür, genellikle 100 mikronun altına ya da serbestleşme boyutuna kadar öğütülmektedir. Bu nedenle, yıkama sonucu elde edilecek temiz kömürün kül oranı, kullanılan cihazın ayırma hassasiyetine bağlıdır. Falkon cihazında ayırma hassasiyeti belirli bir tane iriliğine kadar (40 mikron), flotasyondan çok daha iyidir. Bunun nedeni olarakta, birleşik tanelerin

flotasyonda yüzmesi ve temiz kömüre geçmesidir. Falkon cihazında ise ayırmada etkili mekanizma, yüksek santrifüj ivmesinin sağladığı gravite farklılıklarıdır ve daha hassas bir ayırma gerçekleştirmektedir. Bu cihaz, flotasyonla zenginleştirilmeleri çok zor olan sert linyit ve oksitlenmiş taşkömürlerinin yıkanmalarını da mümkün kılmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2009).



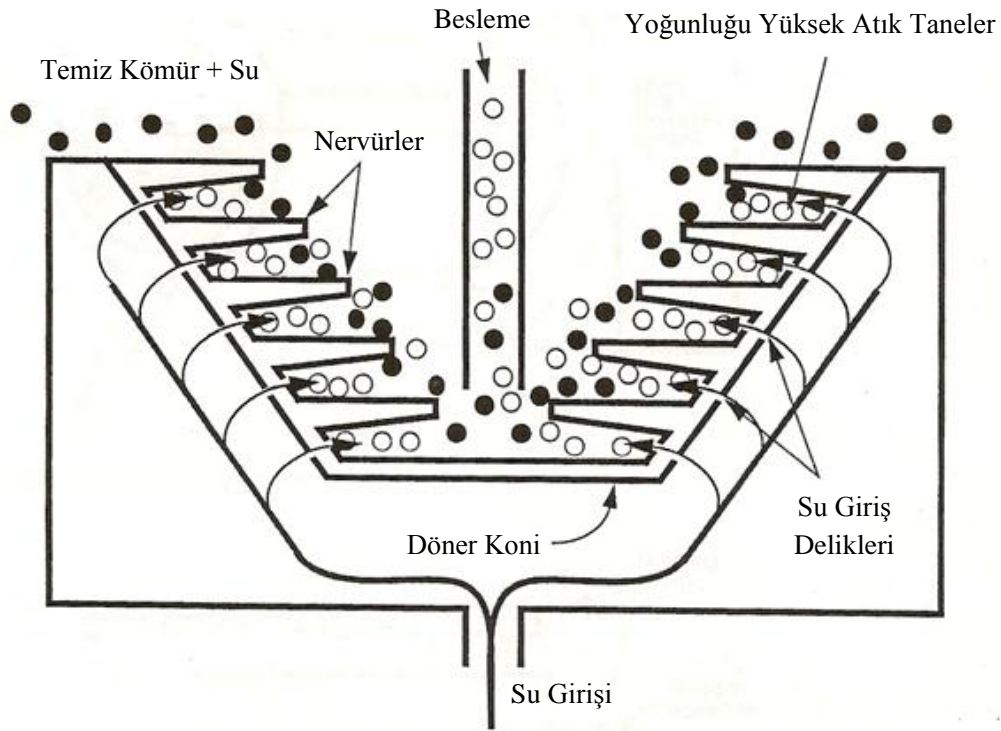
Şekil 1. 9. Falkon konsantratörü ayırım sırasında malzemenin dağılımı (Kantaracı, 2009).

Honaker vd. (1996), falkon konsantratörü ile, tane boyutu $210 \times 37 \mu\text{m}$ olan Illinois No. 5, kömüründen yaklaşık %90 yanabilir verimle temiz kömür elde ederken, %70 kül ve %70 toplam kükürt uzaklaştırmışlardır.

1.7.3.4. Knelson Konsantratör

Knelson konsantratörleri, tane boyutu 0,010 mm'den, en fazla 6 mm' ye kadar olan cevherleri temizleyebilmektedir. Knelson konsantratör engelli çökeltme ve santrifüj prensiplerine dayanmaktadır. İçerisinde merkeze yerleştirilmiş delikli, duvarında yatay nervürler olan bir koni bulundurmaktadır. Bu koni, 400 dev/dak. hareket ederek, 60 g

büyükliğünde bir kuvvet oluşturmaktadır. Koni içerisinde yoğunluğu yüksek taneler duvarlara doğru itilmekte ve burada nervürlerin arasına hapsolmaktadır. Hafif taneler ise, koninin üzerinden taşacak şekilde su ile yukarı taşınmaktadır. Ekipman içerisindeki koni, basınçlı su mantosu içerisinde olup, bu da ağır taneleri yataklanmış şekilde tutmaya yaramaktadır. Suyun yarattığı basınç kuvveti, koni içerisinde oluşan santrifüj kuvvetinin ters yönünde etki ettiğinden, koni içerisinde kalan atığı tutmaya yeterli olmaktadır. Sonuç olarak, hafif mineral taneleri (veya temiz kömür) hareketli kalarak, daha fazla ağır mineralin (kömürde küllü kısım) yataklanmış bölgeye gelmesini sağlamaktadır. Şekil 1.10'da knelson konsantratörü ile kömür temizlemenin şematik görünümü görülmektedir. Knelson konsantratörü kömür zenginleştirmede kullanıldığında, ekipmanın atık ve konsantre giderleri, ağır mineral zenginleştirmede kullanılanlardan farklı dizayn edilmektedir (Kantarıcı, 2009). Laboratuvar ölçekli knelson konsantratörü Şekil 1. 11'de görülmektedir.



Şekil 1. 10. Knelson konsantratörü ile kömür temizlemenin şematik görünümü (Kawatra ve Eisele, 2001)

Uslu vd. (2010), knelson konsantratörü ile, 500 μm altındaki kömür numunesinden yüksek seviyede piritik kükürt ve orta seviyede kül uzaklaştırıldığını rapor etmişlerdir.

Maksimum kül ve piritik kükürt ayırma verimi sırasıyla %37 ve %76 olarak belirlenmiştir. Sülfat kükürdü ise %83 oranında uzaklaştırılmıştır.



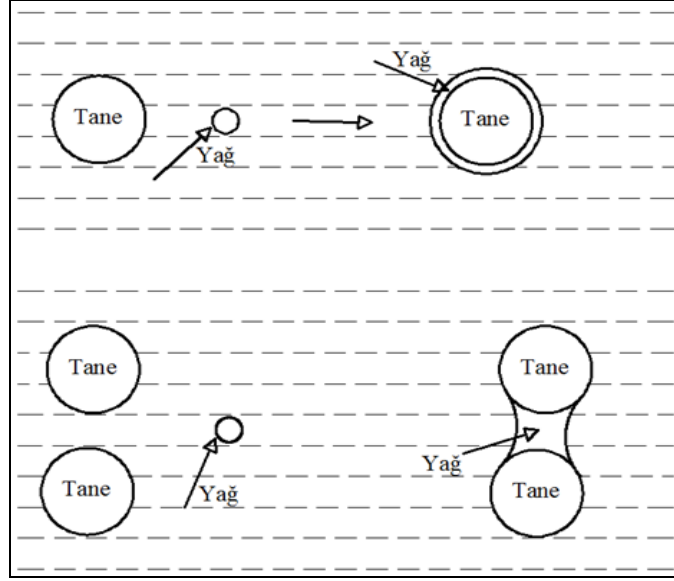
Şekil 1. 11. Laboratuvar ölçekli knelson konsantratörü (Uslu vd., 2012).

1.8. Kömürün Yağ Aglomerasyonu

1.8.1. Yağ Aglomerasyonunun Teorisi

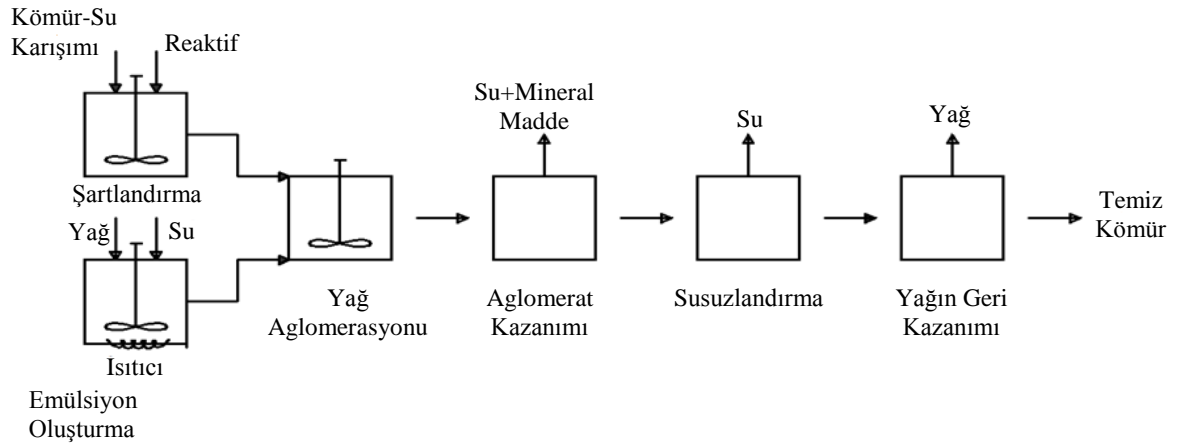
Yağ aglomerasyonu, kömürün ve beraberindeki mineral maddelerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak seçimli ayırım yapabilen bir temizleme yöntemidir (Hoşten ve Uçbaş, 1989). Sulu süspansiyon içinde toz boyutunda dağılmış kömür taneleri, kömür tanelerini tercihen ıslatan ve birinci sıvı ile karışmayan ikinci bir sıvı (genellikle yağ) ile işleme tabi tutulur. Bu ikinci sıvıya veya yağa “köprü sıvısı” denir (Şimşek, 1999). Şekil 1.12’de kömür tanelerinin sıvı (yağ) ile kaplanması ve sıvı bağlantılarının oluşması görülmektedir.

Bilindiği gibi kömür, beraberinde bulunan diğer mineral maddelere göre daha hidrofobiktir. Toz boyutlu kömürün sudaki süspansiyonuna yağ eklenip karıştırıldığında, hidrofobik kömür taneleri, yüzeylerindeki yağın da bağlayıcılık etkisiyle birbirine tutunarak aglomeratları oluştururlar. Hidrofilik özellikteki mineral maddeler (gang mineralleri) ise dağılmış halde sulu fazda kalırlar (Şahinoğlu, 2006).



Şekil 1. 12. Kömür tanelerinin sıvı (yağ) ile kaplanması ve sıvı bağlantılarının oluşması (Shen, 1999).

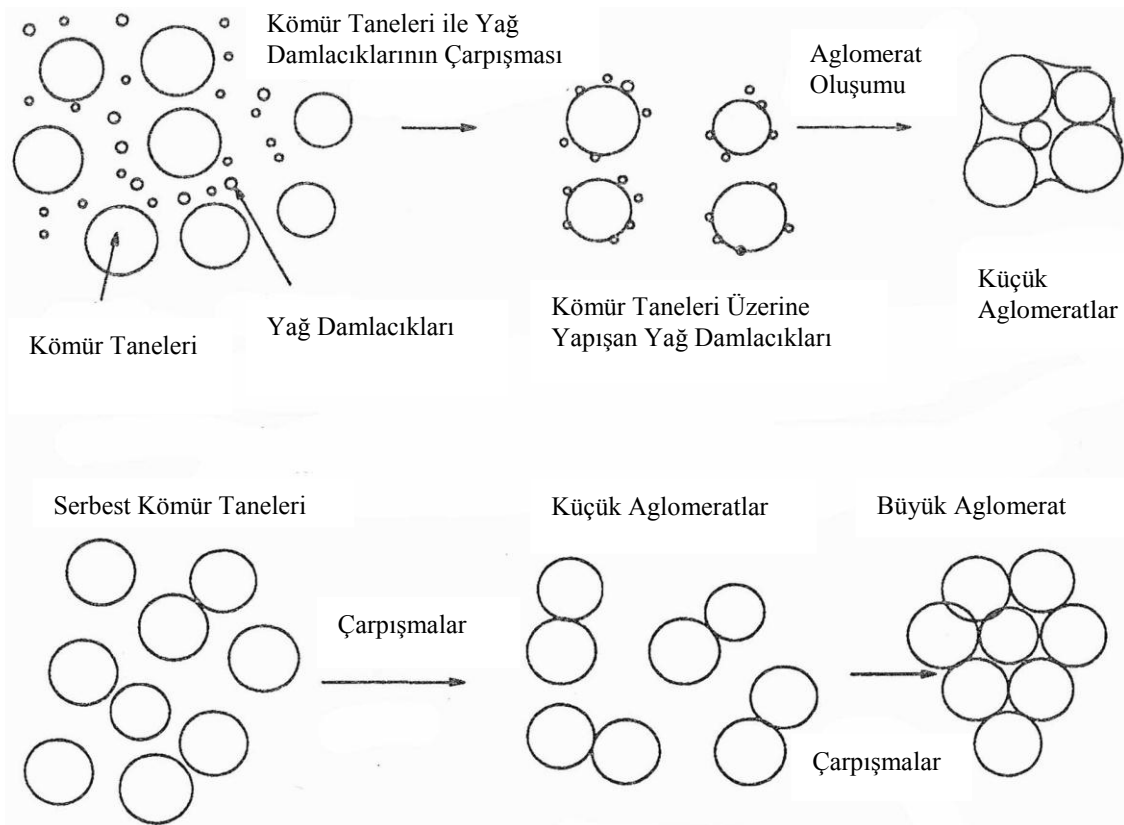
Yağ aglomerasyonu yönteminin genel akım şeması, kömür-su karışımının şartlandırılması, yağ-su emülsiyonunun hazırlanması, aglomeratların oluşması, oluşan aglomeratların kazanılması ve susuzlandırma olmak üzere beş aşamadan oluşur (Şekil 1.13) (Mehrotra vd., 1983).



Şekil 1. 13. Yağ aglomerasyonu yönteminin genel akım şeması (Mehrotra vd., 1983).

Kömür-su karışımının şartlandırılması, mineral maddelerin suyla ıslanmadan önce yağa tutunma olasılığını ortadan kaldırmak için yapılır. Bu aşamada, bazı reaktifler katılıp özellikle oksitli kömürlerin yağ ile ıslanabilme özellikleri geliştirilebilir. Yağ

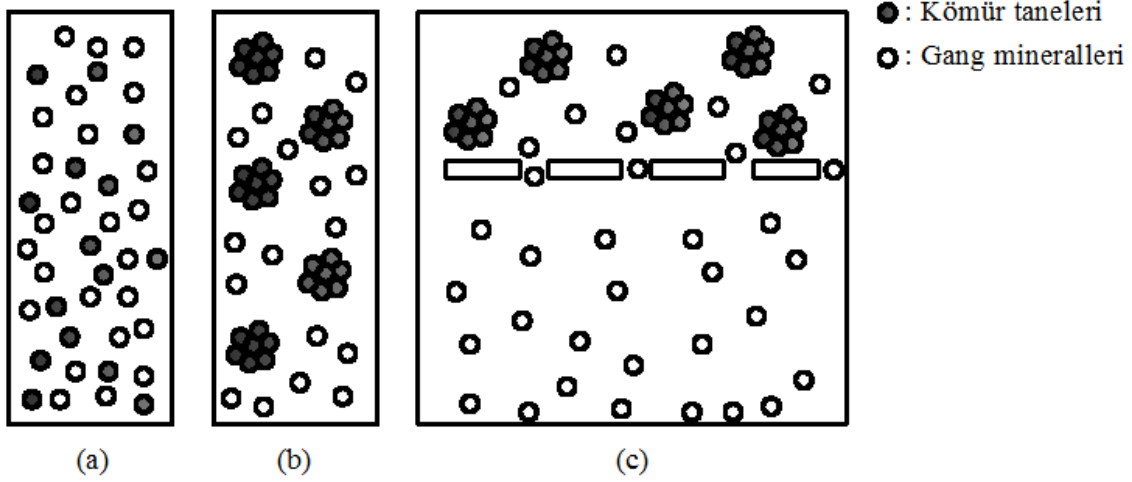
emülsifikasyonundaki amaç, yağ tanelerinin iyi bir şekilde dağılarak kömür taneleri ile daha fazla ve hızlı temas etmesini sağlamaktır (Mehrotra vd., 1983; Kawatra ve Eisele, 2001). Bununla birlikte çoğu aglomerasyon işleminden önce yağ emülsifikasyonu yapılmamakta ve yağın aglomerasyon işlemi sırasında (yağ-su-kömür karışımının karıştırılması) dağıtılması bağlayıcılık yapması sağlanmaktadır (Garcia vd., 1994; Shrauti ve Arnold, 1995; Gürses vd., 1997; Alonso vd., 1999; Ünal ve Erşan, 2005; Şahinoğlu, 2006; Temel ve Ayhan, 2006; Valdes ve Garcia, 2006a; Şahinoğlu ve Uslu, 2008, Chary ve Dastidar, 2010). Aglomerat oluşumu karıştırma ile sağlanmaktadır (Mehrotra vd., 1983; Kawatra ve Eisele, 2001). Bu aşamada, kömür ve yağ taneciklerinin teması gerçekleşerek küçük aglomeratlar oluşur. Küçük aglomeratların, sistem içerisinde birbirleriyle ve serbest kömür tanecikleri ile çarpışması sonucu büyümesi gerçekleşir (Şekil 1.14) (Shen, 1999).



Şekil 1. 14. Yağ aglomerasyonu işleminde aglomeratların oluşum mekanizması (Shen, 1999).

Süspansiyondan aglomeratların kazanımı, aglomeratların üstten sıyırılması şeklinde veya bir elek üzerine boşaltma yöntemiyle yapılır (Şekil 1.15). Susuzlandırma işlemi ise

aglomeratların bir yere boşaltılıp doğal drenaja bırakılması yöntemiyle veya titreşimli elek, santrifüj gibi ekipmanlar ile yapılır (Mehrotra vd., 1983).



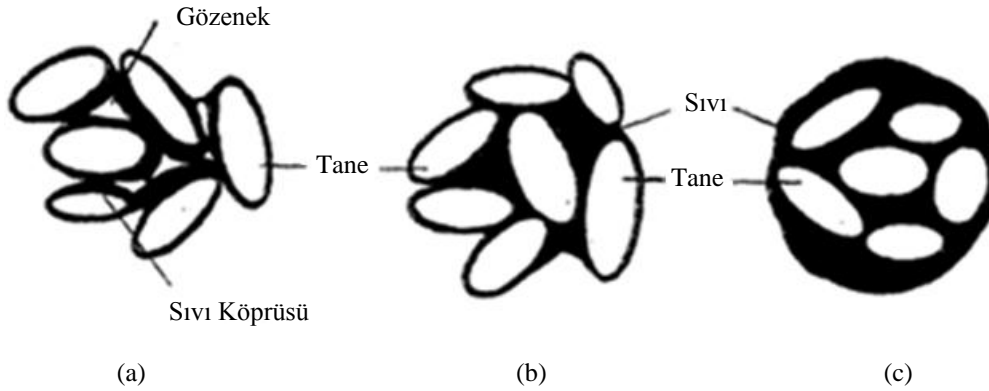
Şekil 1. 15. Kömürün yağ aglomerasyonu, (a) Uygun bir hızda karıştırılan süspansiyondaki kömür taneleri (siyah) ve gang mineralleri, (b) Kömür tanelerinin yağ ile kaplanması ve aglomeratların oluşması, (c) Oluşan aglomeratların eleme ile süspansiyondan ayrılması (Çuhadaroğlu, 1994).

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 ve petrografik yapısı 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. Sistem içerisinde dağılmış ortamda bulunan yağ taneleri ve su içinde çözünmeyen doymuş hidrokarbonlar, yağ aglomerasyonu ile kömürün temizlenmesi yönteminde 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. Hekzan, gazyağı, mazot, fuel oil, parafin ve özellikle damıtılmış kömür-zift karışımı, yağ aglomerasyonu yönteminde kullanılabilen bağlayıcı maddelerdir (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 (Doymuş, 1997).

Yağ aglomerasyonunda, süspansiyonda kullanılan yağ miktarına göre görülen üç yapı şu şekilde oluşur (Şekil 1.16).

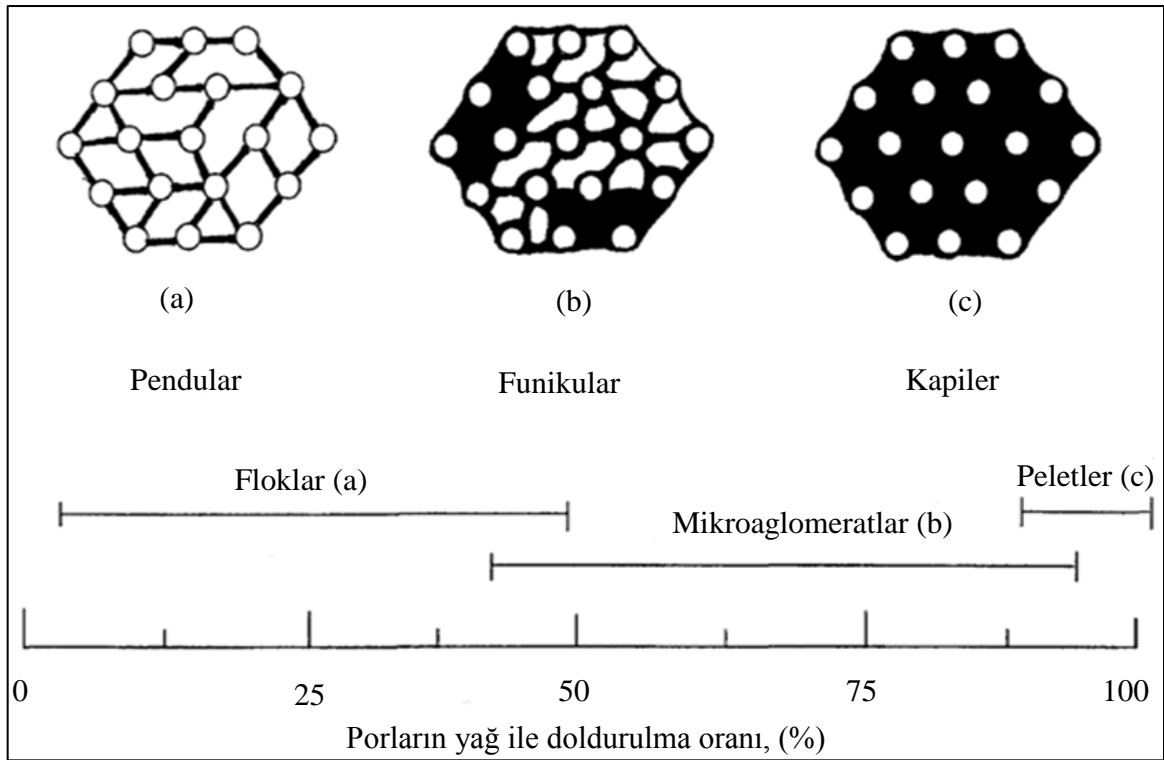
- Kullanılan yağ miktarının az olması durumunda taneler arasında sadece sıvı köprüsü oluşur (Şekil 1.16a).
- Yağ miktarı taneler arası boşlukları dolduracak miktarda ise, bu durumda aglomerat yüzeyinde yağ yoktur ve burada kapiler alçak basınç meydana gelir (Şekil 1.16b).
- Yağ miktarının çok fazla olması durumunda yağ tüm aglomeratı içine alır, bu durum aglomerasyon açısından önemli değildir (Şekil 1.16c).



Şekil 1. 16. (a) Taneler arasında sıvı köprüsü oluşması, (b) taneler arası sıvı ile dolmuş, (c) taneler tamamıyla sıvı ile kaplanmış (Çuhadaroğlu, 1994).

Kullanılan yağ miktarı, aglomeratların şeklini ve nemini belirler (Çuhadaroğlu, 1994). Az miktarda yağın kullanılmasıyla (yağ konsantrasyonu <math>< 8\%</math>) gevşek, floküle bir yapı (pendular bağlanma) oluşmaktadır. Bu durumda köprü sıvısındaki gözenek hacminin %20'si yağ ile kaplanmaktadır. Bağlayıcı sıvı, partiküller arasında, mercekler oluşturacak şekilde bir yapı oluşturur. Pendular yapısı kolaylıkla parçalanabilen bir yapıdır. Bu aşamada oluşan aglomeratların elek üzerinde süzme esnasında kolayca dağıldıkları gözlenmektedir. Ayrıca gevşek yapılı aglomeratların gözeneklerini kaplayan su içindeki şist ve mikst taneciklerinin aglomeratların külünü arttırdığı sanılmaktadır. Yağ miktarının artırılmasıyla daha kompakt bir yapı (funikular bağlanma) gelişir. Gevşek yapı içinde sulu

ortamın doldurduğu gözenekler giderek artan oranlarda yağ ile kaplanmakta (%90) ve küresel aglomeratlar oluşmaktadır. Bu durumda aglomeratların içinde bir miktar daha su mevcuttur. Yağ miktarının daha da artırılmasıyla (>%20), aglomeratların porları tamamen yağ ile doldurulur (kapiler bağlanma) ve aglomeratlar en kompakt ve en az su içeren bir yapı kazanırlar (Şekil 1. 17). Kapiler bağlanmadan sonra yağın daha da artırılmasıyla aglomeratların bozulması, yani hidrofob taneciklerin yağ fazı içinde dağılması gerçekleşir (Çuhadaroğlu, 1994; Şimşek, 1999).



Şekil 1. 17. Yağın aglomeratlar içindeki dağılımı ve aglomerat tipleri (Çuhadaroğlu, 1994).

Genel olarak, aglomerasyonda kullanılan yağlar ağır ve hafif yağlar olarak iki sınıfa ayrılır. Özgül ağırlığı $0,9 \text{ gr/cm}^3$ 'ün altındaki hafif yağlar (gazyağı, hekzan, mazot vb.) ile gerçekleştirilen aglomerasyonda düşük kül içerikli aglomeratlar alınmaktadır. $0,9 \text{ gr/cm}^3$ 'den daha büyük özgül ağırlıklı yağlar ile yapılan aglomerasyonda elde edilen aglomeratların kül içerikleri daha fazladır. Ağır ham petrol, kömür katranı, petrol reçineleri gibi daha fazla özgül ağırlıklı ve viskoz yağların içerdiği, nitrojen, oksijen ve sülfür grupları gibi inorganik polar gruplar, kül formundaki taneleri hidrofobikleştirir, bunların

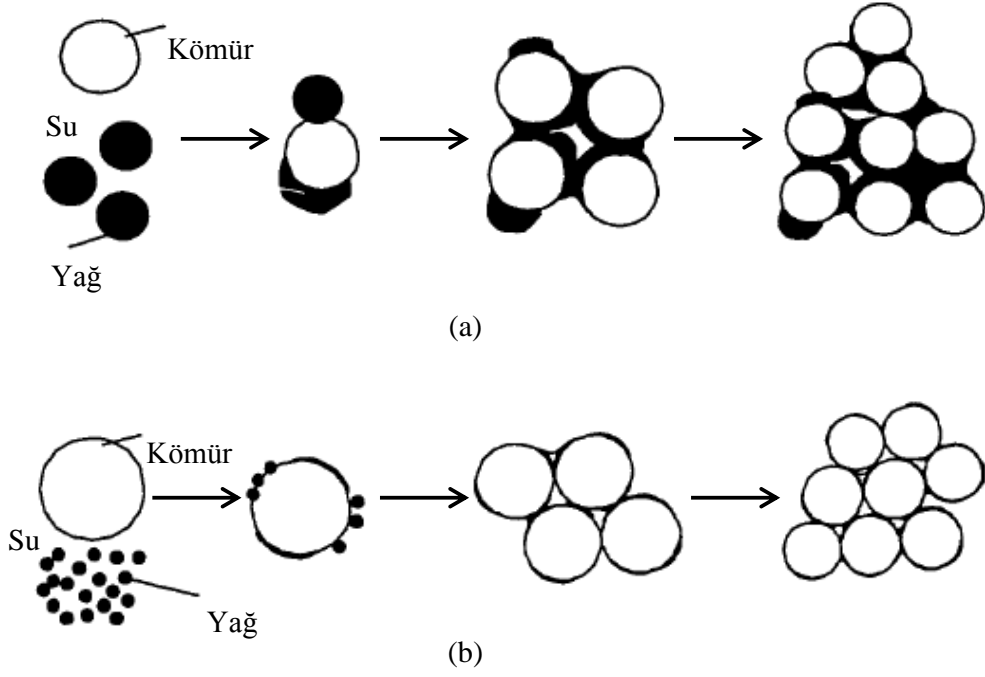
yağ moleküllerine yapışmasına, dolayısı ile kül formundaki tanelerin aglomeratlar içinde yer almasına neden olur (Çuhadaroğlu, 1994).

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).

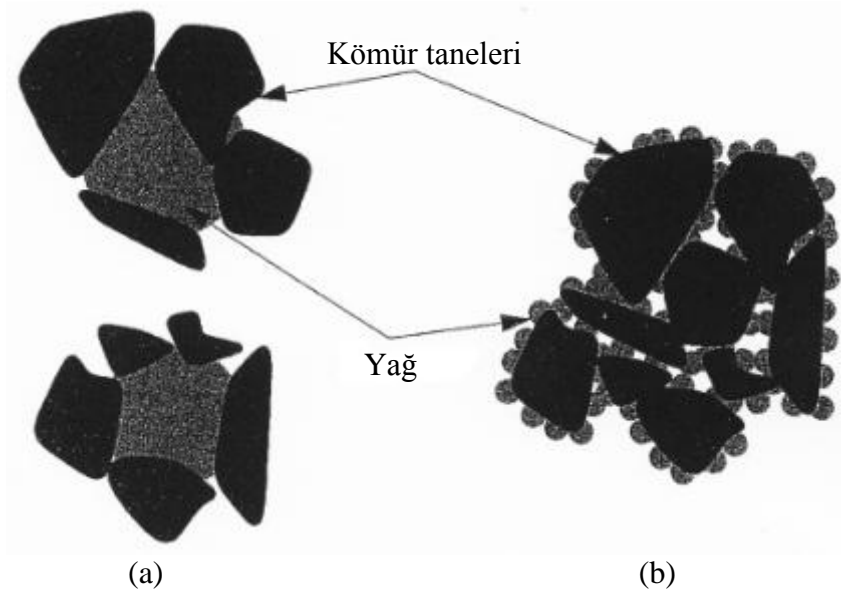
Aglomerasyonunda kullanılan yağların su içerisinde çözünememelerinden ve oldukça yüksek vizkozitelerinden dolayı kömür tanecikleri ile temasa geçebilmeleri oldukça zordur (Kılınç, 2000). Ayrıca, yağın ortama kütle fazı şeklinde verilmesi durumunda oluşacak ara yüzey alanı küçük olacağından, düşük verim elde edilecektir. Bu nedenlerle, bu tür yağların çok küçük damlacıklar halinde dağıtılmaları gerekmektedir. Yağın dağıtılması (emülsifikasyonu) genelde mekanik karıştırma ile sağlanmaktadır. Sistem içerisindeki damlacık sayısının artması, kömür taneleri ile yağ damlaları arasındaki çarpışmayı artırır (Aksay vd., 2010). Böylece, sistem içerisinde iki temel olay meydana gelecektir; dağılma ve yapışma. Bu iki olay, mekanik karıştırmanın hızı ile etkilenir (Kılınç, 2000).

Şekil 1.18'de geleneksel yağ aglomerasyonu ve emülsiye edilmiş yağların kullanıldığı yağ aglomerasyonunda oluşan aglomerat yapısının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 1.18a, geleneksel yağ aglomerasyonunda yağların tane boyutunun emülsiye edilmiş yağlara göre daha büyük olduğu ve oluşan aglomeratların belirli bir dereceye kadar kompakt oldukları, Şekil 1.18b, emülsiye edilmiş yağların kullanıldığı aglomerasyonda yağların tane boyutlarının küçüldüğü ve oluşan aglomeratlarında daha kompakt oldukları görülmektedir (Yu, 1998).

Şekil 1.19'da emülsiye edilmemiş yağların ve emülsiye edilmiş yağların meydana getirdiği aglomeratlar görülmektedir. Emülsiye olmamış yağlar sınırlı yüzey alanına sahip büyük damlalar şeklinde olup kömür yüzeylerini tamamiyle kaplayamazlar (Şekil 1.19a). Emülsifikasyon sonucu yüzey alanı fazla daha küçük damlalar oluşarak daha hızlı aglomerasyon sağlarlar (Şekil 1.19b), ayrıca yağ daha verimli kullanılmış olur (Kawatra ve Eisele, 2001). Emülsiye edilmiş yağlar ortamda daha homojen bir şekilde dağılırlar (Cucheval ve Chow, 2008).



Şekil 1. 18. Geleneksel yağ aglomerasyonu (a) ve emülsiyeye edilmiş yağların kullanıldığı yağ aglomerasyonunda (b) oluşan aglomerat yapısı (Yu, 1998).



Şekil 1. 19. Emülsiyeye edilmemiş yağların meydana getirdiği aglomerat (a), emülsiyeye edilmiş yağların meydana getirdiği aglomerat (b) (Kawatra ve Eisele, 2001).

Yağ emülsifikasyonu cevher ve kömür hazırlama dışında birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Son yıllarda yağ emülsifikasyonunda ses ötesi dalgalar kullanılmaya başlanmış ve bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır (Abismail vd., 1999; Jafari vd., 2007; Cucheval ve Chow, 2008; Gaikwad ve Pandit, 2008; Sivakumar vd., 2008; Kentish vd., 2008; Djenouhat vd., 2008; Leong vd., 2009; Nii vd., 2009). Ses ötesi dalgalar ile yapılan emülsifikasyonda yağların daha küçük tanecikler halinde (Abismail vd., 1999; Sivakumar vd., 2008), ortamda üniform bir halde yayıldıkları (Sivakumar vd., 2008), daha stabil oldukları (Abismail vd., 1999; Sivakumar vd., 2008) ortaya koyulmuştur. Bu çalışmalar genel nitelik taşımakta olup kömürün yağ aglomerasyonu ile ilişkili değildir.

Aglomerasyon işleminin başarısı süspansiyonun karıştırılma süresine ve hızına da 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 arttırıldığında daha iyi aglomerat oluşumu sağlanırken, gerekli karıştırma süresi düşer (Şimşek, 1999).

Su içinde dağılmış olarak bulunan fazlar; çarpışma, yapışma ve tekrar kopma alt prosesleri nedeniyle ilişkidirler. Bu proseslerin sonucunu, dağılmış fazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında, sisteme ilave edilen kimyasal maddeler de büyük ölçüde etkiler. Aglomerasyonun başarısı çarpışma ve yapışma alt proseslerinin başarı olasılığına bağlıdır. Çarpışma alt prosesi, suda dağılmış fazların; boyutu, sayısı, yoğunluğu ve şekli gibi özelliklerden etkilenir. Başarılı bir çarpışma, sonunda yapışma olsun olmasın, iki kömür tanesinin ya da kömür tanesi ile yağ damlasının birbirine yeterince yakın mesafeye gelmesidir. Başarılı bir yapışma için, iki tane ya da bir tane ile bir damla arasındaki ince su tabakasının aradan çekilmesi gerekir. Çarpışma olasılığı, esas olarak tanelerin fiziksel özelliklerinden etkilenirken, yapışma olasılığı hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri tarafından etkilenir. Yüzeyin kimyasal özellikleri iki tane arasında yapışmanın olup olmayacağını belirler. Yağ aglomerasyonu yönteminde, sistemi denetim altında tutan diğer önemli parametreler, katı yüzeyinin özellikleri ve karıştırma şeklidir. Katı yüzeyinin özellikleri, temas açısının ölçülmesi ile tespit edilebilir. Açının (Q) sıfırdan farklı bir değer alması, yüzeyin hidrofobluk derecesi hakkında bilgi verir. Kömür, kömürleşme derecesine

bağlı olarak değişmekle birlikte, 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).

1.8.2. Yağ Aglomerasyonu Yönteminin Tarihçesi

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 mesh'in altına öğütülmüş kömür tozlarından pülp yoğunluğu %40 olacak şekilde süspansiyonlar hazırlanmıştır. Süspansiyon, kömür ağırlığının %30'u kadar fuel-oil katılarak, 150 dev/dak. hızla dönen bir karıştırıcı ile tank içerisinde karıştırılmıştır. İşlem sonunda elde edilen aglomeratların boyutu 25 mm'ye kadar çıkmıştır. %4 kül içerikli temiz kömürün elde edildiği bu yöntem, işletme maliyeti çok yüksek olduğu için birkaç yıl sonra uygulamadan kaldırılmıştır.

Trent tesislerinin kapanmasından sonra 1952 yılına kadar yağ aglomerasyonuna çok az ilgi gösterilmiştir. Daha sonra, yüksek hızlı santrifüj filtre ile birlikte çalışan Convertol yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, koyulaştırılmış şlam (%40-50 katı) yağ ile karıştırılarak aglomerasyona tabi tutulmuş, aglomerat içeren süspansiyon yüksek hızlı santrifüj filtreye aktarılıp susuzlandırılmıştır. Convertol prosesiyle, 3-4 ton/saatlik üretim seviyelerine çıkılmış, %90 civarında kazanımlar elde edilmiş ve kömürlerin kül içerikleri yaklaşık %50 oranında düşürülmüştür.

National Research Council of Canada (NRCC) prosesi, 1960'lı yılların başlarında geliştirilmiştir. Kömür atıklarından kömürün kazanımının en önemli potansiyel uygulamalarından bir tanesi olmuştur. Bu prosesin diğerlerine göre en önemli farklılığı, nihai ürünün daha sıkı ve küresel olmasıdır. Ayrıca, susuzlandırma bu yöntemde

basitleştirilmiştir. Bu yöntemde aglomerasyon iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birincisi mikro aglomerasyon aşaması olup, kömür pülpi, %4 oranında hafif yağ ile yüksek hızlı karıştırıcılarda karıştırılmıştır. İkinci aşamada ise mikro aglomeratlar elek üzerinde susuzlandırılmış, daha sonra ağır yağlar kullanılarak tambur veya disk peletleyicilerde büyük peletler oluşturulmuştur. İkinci aşamada kullanılan yağın miktarının elde edilen aglomeratların nihai nemini ve boyutunu belirlediği görülmüştür. 6-12 mm boyutunda elde edilen peletlerin, nem içeriğinin basit gravite drenajı ile 12 saatte %3-5 seviyesine indirilebileceği ortaya koyulmuştur.

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

Olifloc prosesinde (1973), aglomerasyon işlemi flotasyon ve filtrasyon işlemleriyle birlikte uygulanmış ve 400 mesh'lik tane boyutuna sahip kömür örnekleri kullanılarak iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kurulan pilot tesislerin, çalışma kapasitesi 15 ton/saat olup, mekanik herhangi bir problem doğurmamışlardır ancak maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle, proses endüstriyel ölçekte uygulama imkânı bulamamıştır.

Central Fuel Research Institute (CFRI) prosesi (1976) ile, yıkanması güç ve kok yapılamayan kömürlerin temizlenmesi amaçlanmıştır. İnce kömür pülpi (-100 mikron), önce kolloid değirmenlerde %2 mazot oranı ile 2 dakika şartlandırılmıştır. Daha sonra %8-12 ağır yağ ile karıştırılmıştır. Süspansiyonun pH'ı, kireç, Na_2CO_3 ve asit gibi reaktiflerin eklenmesiyle sıkı bir şekilde kontrol edilmiştir. Bu yöntem ile pH ve şartlandırmanın, 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 viskoziteli 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 pülpiye karıştırılmadan önce bir jet ısıklık emülsiferi kullanarak yağ fazının verimli şekilde emülsifikasyonu ile olacağı düşünülmüştür. BHP yönteminde, yağ aglomerasyonuna tabi tutulmuş pülp elek üzerine beslenmiştir. Elek üzerinde, topaklanmış ürünün üzerinden kül mineralleri içeren tanelerin

uzaklaştırılması için fiskiye su ile yıkama yapılmıştır. Yaklaşık %30 nem içeren bu ürün stoklarda tutulmuş ve kısa bir zaman sonra drenaj ile nem içeriği yaklaşık %10'a düşürülmüştür. Bu yöntemde %7-10 kül içeriği ve %85-90 ağırlıkça kömür kazanımı için yağ tüketiminin %8-15 kadar olduğu belirtilmiştir (Mehrotra vd., 1983).

The Energy and Environmental Research Center (EERC) prosesi, North Dakota Üniversitesinde düşük kömürleşme dereceli kömürlerin aglomerasyonu için geliştirilmiştir. Aglomerat oluşturmada önce asit liçi uygulanmış ve kömür seyreltik asit çözeltisi olan sistemde güçlü bir karıştırıcı ile (5500-6000 dev/dak.) 1-30 dakika karıştırılmıştır. Bu asit muamelesi kömürü aglomerasyon için daha uygun hale getirmiş ve hidrofilik mineralleri kömür yüzeyinden uzaklaştırmıştır. Liç işleminden sonra, kömürün ağırlığının %70-100 oranında yağ ilave edilerek karıştırılmış ve aglomeratlar elde edilmiştir. Aglomeratlar 600 mikronluk elek kullanılarak kazanılmıştır.

Otisca prosesi, (Otisca Industries, Syracuse, New York) bağlayıcı olarak Freon-113 kullanılarak geliştirilmiştir. Ancak, n-pentan düşük fiyatından dolayı freon-113 yerine kullanılmıştır. Bu proseste kömür, tane boyutu $-500 \mu\text{m}$ 'un altına indirildikten sonra aglomera edilmiştir. %98 verimle kömür kül oranı %2'ye kadar düşürülmüştür. Bağlayıcı tekrar geri kazanılmıştır.

Licado prosesinde, sıvı karbondioksit bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Oda sıcaklığında karbondioksit yüksek basınçta (6000 KPa) sıvılaştırılmıştır. Kömür parçacıkları tercihen CO_2/su ara yüzeyine bağlanarak sıvı CO_2 içerisinde kömür pülpu olarak uzaklaştırılmıştır. Basınç ortadan kaldırıldığında kömür ve CO_2 hızlıca birbirinden ayrılmıştır. CO_2 buharlaştığında ise geride kuru kömür kalmıştır. Bu prosede kömür %75-83 oranında temizlenmiştir. Bu prosesin yüksek basınç kullanımı sebebiyle maliyeti yüksektir (Kawatra ve Eisele, 2001).

1.8.3. Atık Yağ Kullanılan Kömür Aglomerasyon Çalışmaları

Yağ aglomerasyonu yöntemi ile, yüksek kül/kükürt içerikli toz boyutlu kömürlerin temizlenmesi veya toz boyutlu kömürlerin atıklardan kazanılması konusunda çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, petrol kökenli yağlar, petrol ürünleri ve çeşitli bitkisel yağlar bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu bağlayıcılar, gazyağı (Swanson vd., 1977; Cebeci ve Eroğlu, 1998; Laskowski ve Yu, 2000; Ünal ve Aktaş, 2001; Cebeci vd., 2002; Cebeci ve Sönmez, 2002; Abakay vd., 2004; Cebeci ve Sönmez, 2005; Şahinoğlu,

2006; Ünal ve Erşan, 2007; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), mazot (Swanson vd., 1977; Shrauti ve Arnold, 1995; Cebeci ve Eroğlu,1998; Ünal ve Aktaş, 2001; Cebeci ve Sönmez, 2002; Şahinoğlu, 2006; Guntupalli ve Dastidar, 2006; Ünal ve Erşan, 2007; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), fuel oil (Rao vd., 1982; Rao ve Vanangamudi, 1984; Vanangamudi ve Rao, 1984; Theodore, 1985; Capes vd., 1985; Bajor ve Trass, 1988; Tamy, 1988; Cebeci ve Eroğlu,1998; Cebeci ve Sönmez, 2002; Abakay vd., 2004; Şahinoğlu, 2006; Ünal ve Erşan, 2007; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), baz yağlar (Cebeci ve Eroğlu,1998), toluen (Slaghuis ve Ferreira, 1987; Ünal ve Aktaş, 2001; Gence, 2006), hekzan (Baruah vd., 2000; Abakay vd., 2004; Gence, 2006), heptan (Venkatadri vd., 1988; Garcia vd., 1995; Gence, 2006), pentan (Tamy, 1988; Gence, 2006), xhlene (Baruah vd., 2000), ayçiçek yağı (Garcia vd., 1996; Alonso vd., 1999; Ünal ve Erşan, 2007), kolza yağı (Alonso vd., 2002), fındık yağı (Malik vd., 1999; Şahinoğlu, 2006; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), kastor (hint) yağı (Malik vd., 1999), keten tohumu yağı (Malik vd., 1999), soya yağı (Garcia vd., 1996; Alonso vd., 1999; Alonso vd., 2000), haşhaş yağı (Ünal ve Erşan, 2007), mahua yağı (Malik vd., 1999), jatropha yağı, karanja yağı (Chary ve Dastidar, 2008), varsol (solvent) (Tamy, 1988) ve kauçuk tohumu yağıdır (Chary ve Dastidar, 2008).

Yukarıdaki çalışmaların birçoğu, toz kömürlerin atıklardan kazanılması veya yüksek kül/kükürt içerikli kömürlerin temizlenmesinde, verim ve temiz kömür kalitesi bakımından yağ aglomerasyonunun başarılı olduğunu ispatlamışlardır. Bununla birlikte, yöntemin en büyük dezavantajı olan yağ maliyetini ortadan kaldırma amacıyla bitkisel atık yağların aglomerasyon işleminde kullanılması yönünde dünya literatüründe oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Valdes ve Garcia (2006a), lavvar atıklarından kömür kazanılmasında bağlayıcı olarak bitkisel atık yağların kullanılmasını araştırmışlar. Lavvar atıklarının aglomerasyonunda bağlayıcı olarak ev kaynaklı atık zeytinyağı ve atık ayçiçeği yağlarının başarıyla kullanılabileceğini görmüşlerdir. Şöyle ki, defalarca kızartma amacıyla kullanılmış atık zeytinyağı ve atık ayçiçek yağı-atık zeytinyağı karışımını kullanarak, %5 atık yağ oranıyla, kalorifik değeri 1832 kcal/kg, kül içeriği %72 olan lavvar atıklarının külünü yaklaşık %60 oranında azaltarak 5600 kcal/kg'lık temiz kömür elde etmişlerdir.

Valdes vd. (2007), lavvar atıklarından kömürün kazanılmasında bitkisel atık yağların aglomerasyon yeteneklerinin deneysel olarak tahminini araştırmışlar. Lavvar atıklarını, 150°C'de 1-15 gün arası ısıtılan bitkisel yağ ile (zeytinyağı), ayrıca defalarca kızartma amacıyla kullanılmış ev kaynaklı atık zeytinyağı ve atık zeytinyağı-atık ayçiçeği yağı

karışımını kullanarak aglomera etmişlerdir. Bitkisel atık yağların bazı yapısal ve fiziksel özelliklerinin aglomerasyondaki performans düzeylerini etkilediklerini ortaya koymuşlardır. Teorik olarak bitkisel atık yağların aglomerasyonda kullanılabilirliğinin tahmin edilebileceğini, elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki hata yüzdesinin %10'dan daha az olduğunu rapor etmişlerdir.

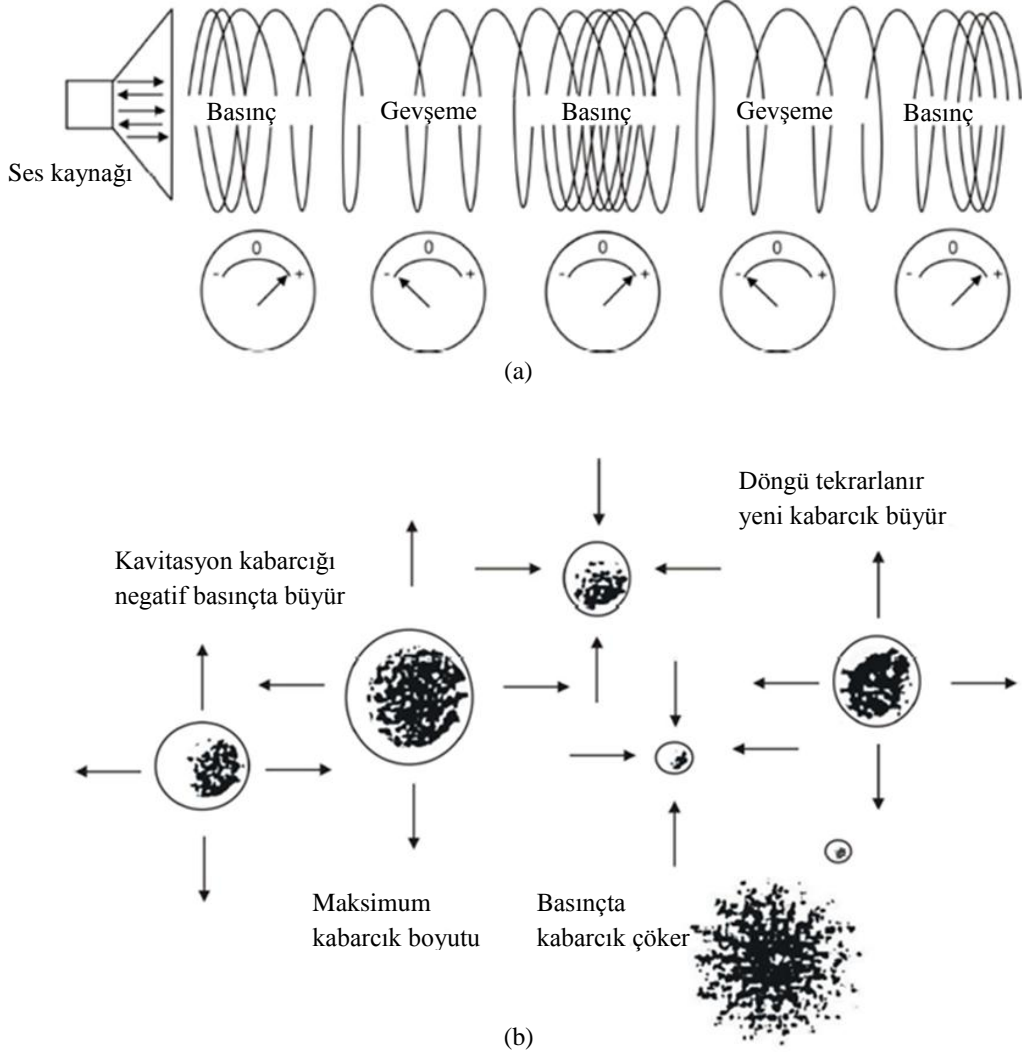
Wang vd. (2010), atık toz boyutlu Çin kömürleri üzerinde yağın özelliğinin aglomerasyona etkisini belirlemek amacıyla kolza yağını günde 30 dak. 7 gün boyunca ısıtılma işlemine tabi tutarak yağın özelliğinin aglomerasyona olan etkisini araştırmışlar ve ısıtılma işlemi sonucu oluşan atık yağın vizkozite ve kimyasal yapı değişiminin yanabilir verim, kül azalması ve ayırma etkinliği değeri üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda yanabilir verimin, kül azalmasının ve ayırma etkinliğinin sırasıyla yaklaşık %50-60, %70-80 ve %26-34 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

1.9. Ses Ötesi Dalgalar

Duyuma sınırının üzerinde kalan frekanslardaki ses; ultrason, ultrases veya ses ötesi şeklinde adlandırılmaktadır (Alp, 1998). Kullanım alanına bağlı olarak güç yoğunluğu 1 watt/cm²'in altından, binlerce watt/cm²'ye değişebilmektedir (Gül, 2001). İnsan kulağı, 16 Hz - 20 kHz frekans aralığında kalan seslere duyarlıdır (Gürpınar, 2007). Ses ötesi dalgalar frekans aralığına göre yüksek 2-10 MHz, orta 100 kHz - 2 MHz ve düşük 20-100 kHz frekans dalgaları olarak üçe ayrılmaktadır (Yazıcı, 2005). Ses ötesi, titreşim hareketinden ibaret olan sestense başka bir şey değildir. Titreşim hareketi olarak doğar, titreşim hareketi olarak yayılır ve titreşim hareketi olarak algılanır (Gürpınar, 2007). Atomların veya moleküllerin denge konumları etrafında titreşimidir (Taşdemir, 2007).

Ses ötesi dalga bir mekanik enerjidir. Aynı zamanda ışık, radyo dalgaları ve x-ışınlarıyla birçok ortak özelliklere sahiptir. Dalga boyları dikkate alındığında ses ötesi dalga boyunun, ışık dalga boyunun altında fakat çok yakınında olduğu görülür. Elektriksel olarak oluşturulabilmesi ve bir noktaya odaklanabilmesinin mümkün olması ışık dalgalarına benzer davranışlarıdır. Farklılığı, moleküllerin mekanik titreşimleriyle ilerleyebilmesinden dolayı boşlukta ilerleyememesidir. İlerleyebilmesi için hava, sıvı, katı, doku gibi bir ortam gereklidir. Ses ötesi dalgalar ışık, x-ışını gibi elektromanyetik dalgaların tersine, bir malzemenin atomsal veya moleküler partiküllerinin denge

pozisyonundan itibaren titreşimi ile meydana gelen mekanik dalgalardır ve katı, sıvı, gaz, elastik ortamlarda yayılabilirler (Taşdemir, 2007).



Şekil 1. 20. Kaviteasyon, (a) basınç ve gevşeme evresi (b) oyuklanma ve dağılma evresi (Taşdemir, 2007).

Ses ötesi dalgaları sıvı ortamı içinde kaviteasyon olarak bilinen bir olay meydana getirmektedir. Bu olay ses ötesi dalgaların sıvı içinde ilerlerken oluşturduğu basınç ve gevşeme evrelerinde, sıvı moleküllerin ayrılarak oyuklanması ve hızla büzülerek dağılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu sırada, oyuk içerisinde çok yüksek sıcaklık ve basınç değerleri meydana gelmektedir. Oyuğun çökmesiyle şok dalgaları ve sıvının yüksek hızlı mikrojetleri oluşmaktadır. Şok dalgaları ve sıvı jetleri herhangi bir yüzey üzerinde darbe etkisi yaparak aşınmaya sebep olmaktadır. Şekil 1.20'de kaviteasyon olayının basınç ve

gevşeme evresi ile oyuklanma ve dağılma evresi görülmektedir. Şekil 1.20a, kavitasyon olayının basınç ve gevşeme evresini, Şekil 1.20b ise oyuklanma ve dağılma evresini göstermektedir. Bu etki sayesinde ses ötesi dalgaların cevher hazırlamada birçok uygulama alanı bulunması ihtimali ortaya çıkmaktadır (Taşdemir, 2007).

1.9.1. Ses Ötesi Dalgaların Cevher Hazırlamada ve Kömür Temizlemede Kullanımı

Ses ötesi dalgaların, bilimde, sanayide, tıpta, deniz bilimlerinde ve hizmet sektöründe birçok uygulama alanı vardır (Alp, 1998). Cevher hazırlamada ve kömür temizleme de kırma, öğütme, eleme, sınıflandırma, topaklama (peletleme), flotasyon, hidrometalurji, siyanür bozundurma (Yazıcı, 2005) ve katı-sıvı ayırımında kullanım alanı bulmuştur (Altun vd., 2009). Ses ötesi dalgalar cevher hazırlamadaki fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal süreçler esnasında çoğunlukla yüzey temizleme için kullanılmaktadır (Özkan, 2006).

Alp (1998), kolemanit atıklarının ve tinkal cevherlerinin ses ötesi dalgalar ile zenginleştirilebilirliğini araştırmıştır. -3 mm boyutundaki %24 B₂O₃ tenörlü kolemanit artığından ses ötesi dalga banyosunda, 60 dak.'lık yıkama sonucunda %98 verimle %43 B₂O₃ tenörlü konsantre kazanmıştır. %24 B₂O₃ tenörlü Kırka tinkal cevherinden ses ötesi dalga banyosunda, 15dak.'lık yıkama sonucunda %79 verimle %35 B₂O₃ tenörlü konsantre kazanmıştır.

Gürpınar (2007), ses ötesi dalgaların kimyasal zenginleştirme deneylerinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmasını 35 kHz frekansta ses ötesi dalga üreten ses ötesi dalga banyosu düzeneği ile yapmıştır. Deneylerinde, Kırka tinkal konsantresi ve saf tinkal numunesi kullanmış, tinkal ile oda sıcaklığında yaptığı çalışmalarda çözme veriminde artış görmüştür. Yıkama yoluyla zenginleştirme deneylerinde, Kırka tinkal konsantratöründen alınan -6 mm tinkal konsantresi kullanarak, tinkal tanelerinin üzerini kaplayan, yıkamayla temizlenememiş ince kilin, ses ötesi dalgaların etkisiyle koparılarak uzaklaştırılması amaçlamıştır. Çalışmalar sonucunda çözme veriminde artış sağlamıştır, Ayrıca liç deneylerinde, Gümüşhane-Kaletaş ve Bergama-Ovacık altın cevherlerini kullanmış, ses ötesi dalgaların her iki altın cevheri için, altın özütlemeye veriminde artış sağladığı belirlemiştir.

Yazıcı (2005), ses ötesi dalgalarla sulu ortamda H₂O₂ oluşumu incelemiş ve ses ötesi dalgaların siyanür bozundurmada kullanımını araştırmıştır. Ses ötesi dalgalarla siyanürün özellikle yüksek şiddette ve ortamdaki CCl₄ ve/veya NaCl varlığında daha hızlı bozunduğunu belirlemiştir (CCl₄: 24 gr/lit, 90 dak.'da siyanür uzaklaştırma oranı %100). Elde edilen sonuçlara göre ses ötesi dalgaların özellikle düşük siyanür derişimine sahip atık sularda veya son bozundurma prosesi olarak daha uygun ve etkili olabileceğini rapor etmiştir.

Gürpınar (2007), ses ötesi dalgaların farklı minerallerin flotasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Flotasyon deneylerini kalsit, kuvars, barit, pirit ve galen mineralleri kullanılarak yapmış, ses ötesi dalgaların kalsit, barit, pirit ve galen flotasyonunda verim artışı sağladığını, kuvars flotasyonunda verim düşüşüne neden olduğunu bulmuştur. Flotasyon deneyleri sonucunda, ses ötesi dalgaların adsorpsiyon mekanizmasına bağlı olarak flotasyon verimini etkilediğini belirlemiştir.

Onur (2004), ses dalgalarının uçucu kül flotasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ses ötesi dalga işlemlerinin flotasyondaki etkilerini verim ve kül içeriği bazında konvansiyonel flotasyonla karşılaştırmıştır. Sonuçta ses ötesi dalgaları kullanıldığı flotasyonun daha başarılı olduğunu rapor etmiştir.

Fiziksel kömür temizleme yöntemlerinin etkin bir hale getirilmesi için denenmiş olan ses dalgaları enerjisi, kömür hazırlanmasında problem oluşturan ince kil taneciklerini ayırmak için kullanılabilir. Kömürün yüzdürme yöntemiyle temizlenmesinden önce ses dalgaları enerjisiyle muamele edilmesiyle yüzebilirliği artırılabilir. Kömürün ses dalgalarıyla muamele edilmesi üzerine yapılan bir çalışmada kömür-mineral madde birleşik yapılarının ayrılmasını kolaylaştırdığı ileri sürülmektedir (Gül, 2001). Ses ötesi dalga uygulama alanlarından bir tanesi de su-yağ karıştırma işlemidir (Alp, 1998). Kömür flotasyonunda reaktiflerin titreşimle emülsifiye edilmesiyle ortama verilmesinin yararlı olacağı saptanmıştır (Taşdemir, 2007).

Özkan ve Kuyumcu (2006), kömür şlamlarının flotasyonunda ses ötesi dalga mekanizmasının etkisini araştırmışlar. Ses ötesi dalga işleminin, şartlandırma ve havalandırma süresini azalttığını bu nedenle de toplam flotasyon zamanını kısalttığını belirtmişlerdir. Ses ötesi dalga ile flotasyon deneyleri esnasında köpük veya hava kabarcık boyutlarının flotasyon selülü içerisinde homojen olarak dağıldığını ve daha küçük boyutta olma eğiliminde olduklarını gözlemlemişlerdir. Ses ötesi dalga kullanımı ile kömür tanelerinin yüzeyinin temizlendiğini, bu nedenden dolayı da toplayıcı-köpürtücü ve kömür

tanelerinin arasındaki temas tam sağlandığından reaktif tüketiminin sert bir biçimde azaldığını görmüşlerdir. Ses ötesi dalga kullanımı ile yüzdürülen kömürün kalitesinin etkilenmediğini ancak flotasyon atıklarında kömür tanelerini içermediğini bundan dolayı da kömür flotasyon veriminin iyileştiğini bulmuşlardır. Ses ötesi dalga ile kömür flotasyonu deneylerinde konvansiyonel kömür flotasyonuna deneylerine göre daha iyi sonuçlar elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Özkan (2006), yeni geliştirilen ses ötesi dalga üreteçli flotasyon selüllerinin kullanımıyla gerçekleştirilen kömür flotasyonunu detaylı olarak araştırmıştır. Araştırmada Almanya, Ruhr Bölgesi'ndeki Prosper-Haniel Kömür Hazırlama Tesisi'nden temin edilen temsili taş kömürü şlam numuneleri kullanmıştır. 1200 dev/dak. pervane dönüş hızı ve 1,3 litre hacim kapasitesine sahip Wemco tipi flotasyon makinesinin kullanıldığı ses ötesi dalga donanımlı flotasyon deneyleri, değişken frekans ve güç seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel ve ses ötesi dalga ile flotasyon denemelerinde kömür flotasyonu reaktif olarak değişken oranlarda Ekofol-440 isimli ticari kimyasal kullanmıştır. Sonuçlara göre, aynı miktarda reaktif kullanımıyla ses ötesi dalgalarla kömür flotasyon deneylerinde konvansiyonel kömür flotasyonuna oranla daha yüksek yanabilir verimle ve daha düşük kül içerikli konsantreler elde edilebildiğini rapor etmiştir.

Kang vd. (2007), ses ötesi dalga flotasyonu yoluyla ince kömürün kükürtsüzleştirilmesini ve külsüzleştirilmesini araştırmışlardır. Ses ötesi dalga ile şartlandırmanın kömür tanelerini kırma etkisine sahip olduğu ve piritin serbestleşip kömürden ayrılmasını arttırdığını belirlemişlerdir. Ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın kömürün daha fazla hidrofobik ve yağ çekici olmasına neden olduğunu bulmuşlardır. Ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın piritin daha fazla hidrofilik ve yağ itici olmasına neden olduğunu bundan dolayı da şlam flotasyonu esnasında kükürtsüzleştirme ve külsüzleştiriminin artmasına yardım ettiğini belirlemişlerdir. Ses ötesi dalga işleminden sonra kömür yüzeyinin elektrik yükünün mutlak değerinin %3,76'ya kadar azaldığını, piritinkinin ise %36'ya kadar arttığını böylelikle de bu iki tip yüzey arasındaki potansiyel farkının da arttığını bulmuşlardır. Sonuç olarak da ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın kömür flotasyonu yönteminde kükürtsüzleştirme ve külsüzleştirme performansını arttırdığını rapor etmişlerdir.

Taşdemir (2007), şlamlı (-0,500 mm) ve şlamsız (-0,500+0,038 mm) olarak hazırlanan Zonguldak-Armutçuk taşkömürü numunesi ses ötesi dalgalarla ön işlemleri sürekli flotasyon deneyi yüzen ürünlerin ön işlemin uygulanmadığı yüzen ürünler ile

mikrodalga ön işlemlili yüzen ürünlerden daha düşük kül yüzdesi ve yüksek yanabilir verim yüzdesiyle elde edildiğini görmüştür.

Özkan ve Kuyumcu (2007), kömür flotasyonunu iyileştirmek için ses ötesi dalga cihazı ile donanımlı bir flotasyon selülü tasarlayarak, kömür yüzebilirliğini ses ötesi dalga cihazının farklı güç, frekans ve geometrileri için araştırmışlardır. Ses ötesi dalga gücü ve sürenin artışıyla sıcaklığın arttığını, fakat kömür flotasyonu 5'dak. sürdüğü için artan sıcaklığın sonuçları etkilemediğini görmüşlerdir. Ses ötesi dalga gücü ve sürenin artışıyla musluk suyunun pH'ının artmasına rağmen, pH'ın kömür-su-reaktif pülpünde azaldığını belirlemişlerdir. Ses ötesi dalga gücü ve sürenin artışı iletkenliği dolaylı bir şekilde etkilediğini, fakat bu olaya ses ötesi dalgaların kendinden ziyade sıcaklık artışının sebep olduğunu bulmuşlardır. Kömür flotasyonu esnasında ses ötesi dalga kullanımının yükseltgenme-indirgenme potansiyeli üzerinde herhangi bir etki yapmadığını görmüşlerdir. Ses ötesi dalga kullanımı ile reaktif tüketiminin keskin bir şekilde azaldığını, kömür tanelerinin yüzeylerinin tam olarak temizlendiğini ve bununda daha iyi yanabilir verime yol açtığını bulmuşlardır. Ses ötesi dalga kullanımı ile yüzen kömürlerin kalitesi etkilenmemiş görünmesine rağmen, ses ötesi dalga işleminden sonra flotasyon atıklarının konvansiyonel flotasyon atıklarına göre daha az kömür taneleri içerdiğini gözlemlemişlerdir. 40 kHz'deki uygulanan testlerin 25 kHz'deki testlerden biraz daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Sonunda, kömür flotasyonunun bütün evrelerinde ses ötesi dalga kullanımının genel verimi pozitif etkilediğini, yanabilir verimin hemen hemen iki katına, reaktif konsantrasyonunun dörtte bir ve aynı şarttaki atıkların kül içeriğinin de iki katı olarak sonuçlandığını rapor etmişlerdir.

Kang vd. (2008), yüksek kükürt içerikli kömürün flotasyonunda ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın kömürün kükürtsüzleştirme ve külsüzleştirme performansını arttırdığını rapor etmişlerdir.

Altun vd. (2009), ses ötesi dalgalarının bitümlü şist flotasyonunu olumlu yönde etkilediğini rapor etmişlerdir.

Kang vd. (2009), yüksek kükürt içerikli kömürün flotasyonunda ses ötesi dalgalarla şartlandırmadan sonra pülp'de meydana gelen değişikliklerin kömür flotasyonuna olan etkilerini araştırmışlar. Ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın pülp oksijen içeriğini ve ara yüzey gerilimini azalttığını, pülp pH'ını ve sıcaklığını arttırdığını bulmuşlar. Sonuç olarakda ses ötesi dalgalarla şartlandırmanın ince kömürlerin flotasyonunda kükürtsüzleştirme ve külsüzleştirme performansını arttırdığını rapor etmişlerdir.

Özkan (2012), eş zamanlı ses ötesi dalga işleminin taş kömürü şamlarının flotasyonuna etkisini araştırmıştır. Ses ötesi dalga işlemin kömür numunesinin flotasyon şartlarını iyileştirdiğini belirlemiştir. Ses ötesi dalga kullanımı ile toplayıcı-köpürtücü ve kömür taneleri arasındaki temas tam sağlanmasından dolayı reaktif tüketiminin sert bir şekilde azaldığını bulmuştur. Taşkömürü şamlarının yüzey oksidasyonunun ses ötesi dalga gücünün etkisiyle önlenebileceğini görmüştür. Ses ötesi dalga kullanımı ile yüzdürülen kömürün kül içeriğinin de bir azalma görülmediğini ancak atıklarada ses ötesi dalgaların fiziksel temizleme etkisi ile kömür tanelerinin gitmediğini bundan dolayı da yanabilir verimin arttığını rapor etmiştir.

Mitsubishi (1983), külce zengin kömür flotasyonu atığını ses ötesi dalgalarla muamele ettikten sonra ağır yağlar ile aglomera etmiş %12 küllü kömürün geri kazanılmasını sağlamıştır (Gül, 2001).

Tarpley vd. (1982), Illinois No. 6, Lower Kittanning ve Western Kentucky No.11 kömürlerinin küçük ölçekli, kesikli, sodyum hipoklorit (NaOCl) ekstraksiyonu, oksidesülfürizasyon ve klorinoliz gibi işlemlerle kömürlerin temizlenmesine ses ötesi dalga aktivasyonu uygulamıştır. Tüm durumlarda ses ötesi dalga enerji uygulaması prosesin etkinliğini arttırmış ve/veya ekipmanda tasarruf sağlamıştır. Özellikle klorinoliz reaksiyonunda piritik kükürt, ses ötesi dalga eşliğinde, ses ötesi dalgaları olmaksızın yapılan işlemde 23 kat daha hızlı uzaklaştırılmıştır. NaOCl ekstraksiyonunda toplam kükürt ekstraksiyon hızı, ses dalgaları ile 3 kat daha fazla olmuştur. Ses ötesi dalgaları, oksidesülfürizasyonda reaksiyon hızını iki katına çıkarmıştır (Gül, 2001).

Gül (2001), Muğla Yatağan, Zonguldak ve Beypazarı kömürlerinin ağır ortam ayırması ve mikrodalga enerji etkisiyle tetralin eşliğinde sıvılaştırılması üzerine ses dalgaları ile ön işlemin etkisi araştırmıştır. Ses dalgaları ile ön işlemin etkisiyle kömürlerin yapısında bulunan minerallerin bir kısmının uzaklaştığını, tanecik boyutunda ise azalma meydana geldiğini görmüştür. Ön işlemin, Muğla Yatağan linyitinin ağır ortam ayırmasında hiçbir etkisi görülmemiş, ön işlemin etkisiyle Zonguldak kömüründe geri kazanım ve kalite artmış, Beypazarı kömüründe ise geri kazanım ve kalite azalmıştır.

“Yağ Aglomerasyonu Yönteminin Tarihçesi” başlığı altında detaylı olarak anlatılan BHP prosesinde ses ötesi dalga ile yağın emülsifikasyonu yapılarak yağ daha iyi dağıtılmış ve kullanılan yağ miktarı azaltılmıştır (Mehrotra, 1983; Kawatra ve Eisele, 2001).

1.10. Bitkisel Atık Yağlar

Bitkisel yağlar önemsiz kükürt, azot ve metal içeriği yanında, yenilenebilir, kullanışlı ve çevreyi kirletmeyen bir enerji kaynağıdır. Bu önemli karakteristiklerinden dolayı gıda endüstrisinden başka amaçlar içinde uygun adaydır (Valdes ve Garcia, 2006a,b). Bu anlamda, bitkisel yağlar biyodizel üretimi ve kimya endüstrisinde hammadde kaynağı gibi alternatif kullanımlar için yoğun olarak araştırılmaktadır. Ancak, günümüzde bitkisel yağlar genel olarak beslenme için kullanılmaktadır. Bitkisel yağların kullanımı işlemi de atık yağ oluşumuna sebep olmaktadır (Valdes ve Garcia, 2006a).

Bitkisel yağ atıklarının kalorileri çok yüksektir. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozularak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Atık su arıtma tesislerinin işletme maliyetini artırır. Atık su borularına yapışarak boru kesitinin daralmasına ve tıkanmasına neden olur. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar diğer atıkları tutar ve kanalizasyon sisteminin kullanılmaz hale gelmesine sebep olurlar. Böylece atık su arıtma tesislerine zarar verir ve işletme maliyetini artırır. ABD’de yapılan bir araştırmaya göre lavaboya dökülen atık yağların kanalizasyon sistemlerinin %40 oranında tıkanmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Aybastier, 2010).

Dünyada her yıl milyonlarca ton bitkisel yağ kullanımı sonucu önemli miktarda atık yağ oluşmaktadır (Math vd., 2010) . Türk mutfağında da hazırlanan yemeklerde genel olarak bol miktarda yağ kullanılmaktadır. Özellikle kızartma işlemleri sırasında önemli miktarda atık yağ oluşmaktadır. Son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de yağda kızartılmış patates ve diğer yiyeceklerin kullanımında önemli artışlar olmuştur. Bu artışın sonucunda oluşan bitkisel atık yağ miktarı da artmıştır (Aybastier, 2010).

Türk mutfaklarında yılda 1,5 milyon ton bitkisel yağ kullanılmakta ve bu yağlardan yaklaşık 350 bin ton atık yağ açığa çıkmaktadır. Bu atık yağlar, biyodizel üretimi gibi amaçlarla lisanslı firmalarca toplanmaya çalışılsa da büyük çoğunluğu doğaya bırakılmaktadır (Uslu ve Şahinoğlu, 2010). Ancak bu yağların yaklaşık %2’si toplanabilmektedir. 2005-2008 yılları arasında lisanslı toplayıcılar tarafından toplanan atık yağ miktarları Tablo 1.5’de gösterilmiştir (Aybastier, 2010).

Tablo 1. 5. Ülkemizde toplanan kızartma yağı miktarı (Aybastier, 2010).

Yıl	Toplanan Atık Yağ Miktarı (ton)
2005	1380
2006	1680
2007	2450
2008	5850

Bitkisel atık yağlar çevreyle uyumlu olarak yönetilmesi gereken atıklar arasında yer almaktadır. Bu atıkların yönetiminin uygun şekilde yapılması gelişmiş ülkelerde yasal olarak sağlanmaktadır. Ülkemizde de Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” 19.04.2005 tarih ve 25791 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (ÇOB, 2010). Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında, bitkisel atık yağ, rafine sanayinden çıkan soap-stock’ları, tank dibi tortuları, yağlı toprakları, kullanılmış kızartmalık yağları, çeşitli tesislerin yağ tutucularından çıkan yağları ve kullanım süresi geçmiş olan bitkisel yağları, bitkisel atık yağ olarak tanımlanmaktadır (ÇOB, 2005). Bitkisel atık yağların çevre ile uyumlu yönetiminin sağlanması ile insan ve çevre sağlığı korunabilecek ve geri kazanımı ile ekonomik değeri olan ürünler üretilerek ülkemiz ekonomisine katkı sağlanacak, çevresel bir problem çevresel avantaja dönüştürülebilecektir (ÇOB, 2010).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmaya başlamadan önce çalışmada kullanılan kömürün getirildiği aynı sahadan temin edilen başka bir kömür örneği kullanılarak ön deneyler yapılmış ve çalışmanın ne ölçüde başarılı olacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Ön çalışmaların olumlu sonuç vermesi sonucu bu çalışma başlatılmıştır. Yapılan ön çalışmada kullanılan kömür örneğinin kimyasal analizi ve elde edilen deney sonuçları “Ekler” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, yüksek kül ve özellikle piritik kükürt içeriğine sahip olması, kırılğan yapısı sebebiyle toz fraksiyonunun oldukça fazla olması, oksitli yapısı ve yüzdürülebilirliğinin düşük olması gibi sebeplerden dolayı Müzret kömürü kullanılmıştır.

2.1. Müzret Kömürünün Özellikleri

2.1.1. Müzret Bölgesinin Genel Jeolojisi

Müzret kömür sahası, Artvin iline bağlı Yusufeli ilçesinin 10 km güney batısında bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. Yerbulduru haritası

Bölgede temel kayaları, metamorfik kayalar ve bunlara sokulum yapmış granitoidler oluşturmaktadır. Bu temel üzerine uyumsuz olarak volkano-sedimanter

kayaçlardan oluşan Liyas-Dogger ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı birimler gelmektedir (Korkmaz ve Baki, 1984).

Bölgede ilk kömürleşme süreci Erken Liyastaki sığ bataklık ortamlarında gelişmiş ve sonrasında bu bataklık ortamları hızlı bir şekilde denizel ortama dönüşerek kalın volkanotortul çökeller gelişmiştir. Havza Doggerde dolmuş ve tekrar sığlaşmıştır. Bölge geç Doggerde tekrar deniz ortamına dönmüş ve Alt Kretase zonuna kadar karbonat çökelmiştir (Korkmaz, 1995). Bölgedeki kömür mostraları zaman zaman denizle irtibatlı küçük havzalarda gelişmiştir. Sübsidans karakterde gelişen havzada çökelimin süratli olması kömürleşmenin gelişimini engellemiş ve bunun sonucunda ince kalınlıkta, kısa mesafelerde son bulan kömür damarları oluşmuştur (Çebi, 1998). Sahada, kömür kalınlıkları 0,5-3 m arasında değişen ve aralarında kıltaşı seviyeleri bulunan 3 damar halinde bulunmaktadır. Tabanda kıltaşı tabakaları ve tavanda ise tuf-kumtaşı karakterli tabakalar bulunmaktadır. Kömürlü zonun toplam kalınlığı 15 m kadardır. Bölgede yaklaşık 250.000 ton kömür rezervinin olduğu tahmin edilmektedir (Gökmen vd., 1993). Kömürlü seviyenin üzerinde 15-50 m arasında değişen örtü tabakası bulunmaktadır (Alp vd., 2004).

2.1.2. Müzret Kömürünün Kimyasal ve Minerolojik Özellikleri

Yağ aglomerasyonu deneylerinin yapılması amacıyla, Müzret havzasından yeni üretilmiş kömür yığınlarından örnek alınmıştır. Örneklerin tüm yığını temsil etmesi konusunda gerekli özen gösterilmiştir. Alınan kömür örneğinin miktarı laboratuvarda konileme-dörtleme yöntemi ve mekanik numune bölücü kullanılarak azaltılmıştır. Kömür örneğinin özellikleri kimyasal ve minerolojik analizlerle belirlenmiştir. Tablo 2.1’de Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları görülmektedir.

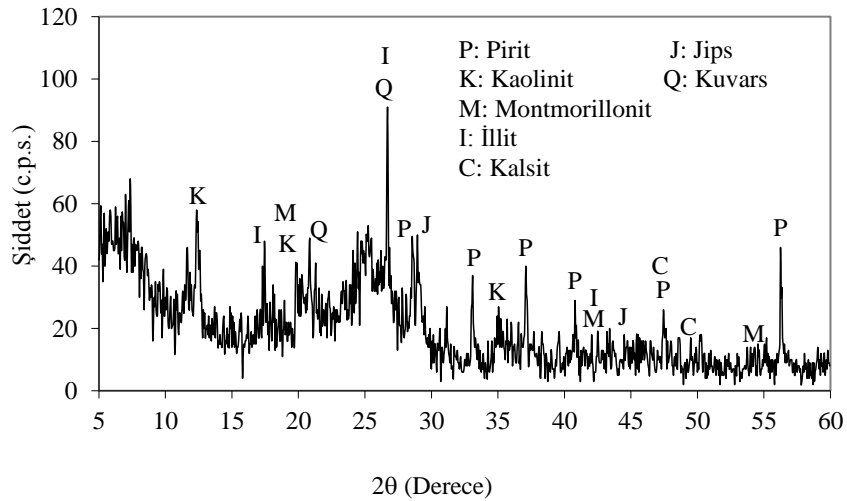
Minerolojik analizler, X-ışını difraktometresi (XRD), EDXRF spektrometresi, taramalı elektron mikroskop (SEM) - enerji saçınım spektroskopisi (EDS), mikroskop altında parlak kesit incelemesi gibi yöntemler ve cihazlar kullanılarak belirlenmiştir.

XRD analizleri DMAX IIIC Rigaku model cihazla, EDXRF analizi SKYRAY-EDX 3600B model cihazla, SEM ve EDS analizleri ZEISS-EVO MA model cihazla, parlak kesit incelemeleri Nikon ECLİPSE E400 POL tipi cevher mikroskobunda yapılmıştır.

Tablo 2. 1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları

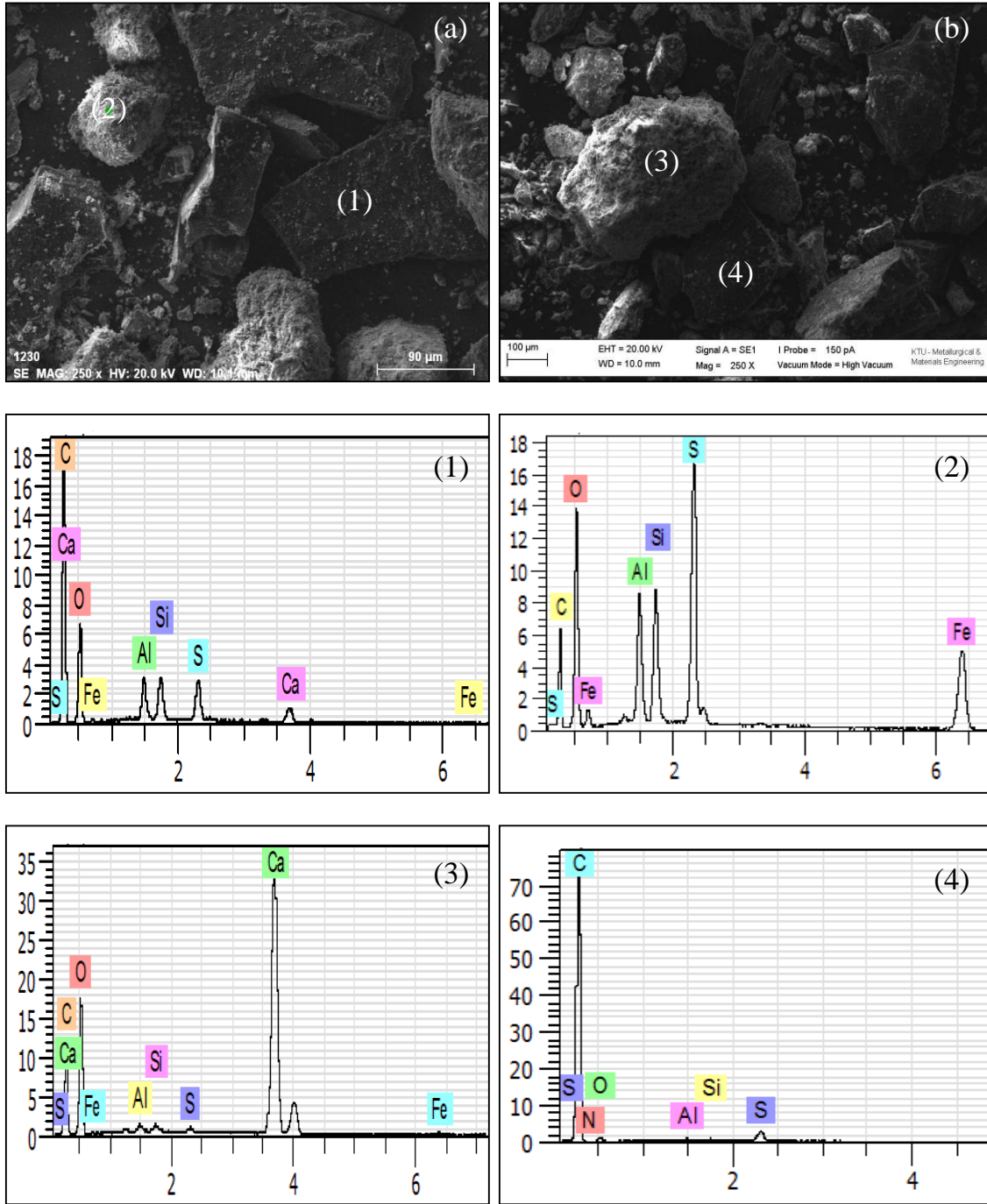
Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	2,25	-
Kül (%)	34,85	35,65
Uçucu Madde (%)	10,73	10,98
Sabit Karbon (%)	52,17	53,37
Sülfat Kükürt (%)	0,99	1,01
Piritik Kükürt (%)	5,44	5,57
Organik Kükürt (%)	1,3	1,33
Toplam Kükürt (%)	7,73	7,91
Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isı Değeri)	4970	5084

Kömür örneğinin XRD analizinde (Şekil 2.2), sülfür minerallerinden pirit, kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit, sülfat minerallerinden jips, silikat minerallerinden kuvars tespit edilmiştir. EDXRF spektrometresi analizinde kömür numunesinde iz element olarak Cu, Zn, Ti, P, Sr, V, Cr, Mn, As, Rb'ye rastlanmıştır.



Şekil 2. 2. Müzret kömürü XRD grafiği

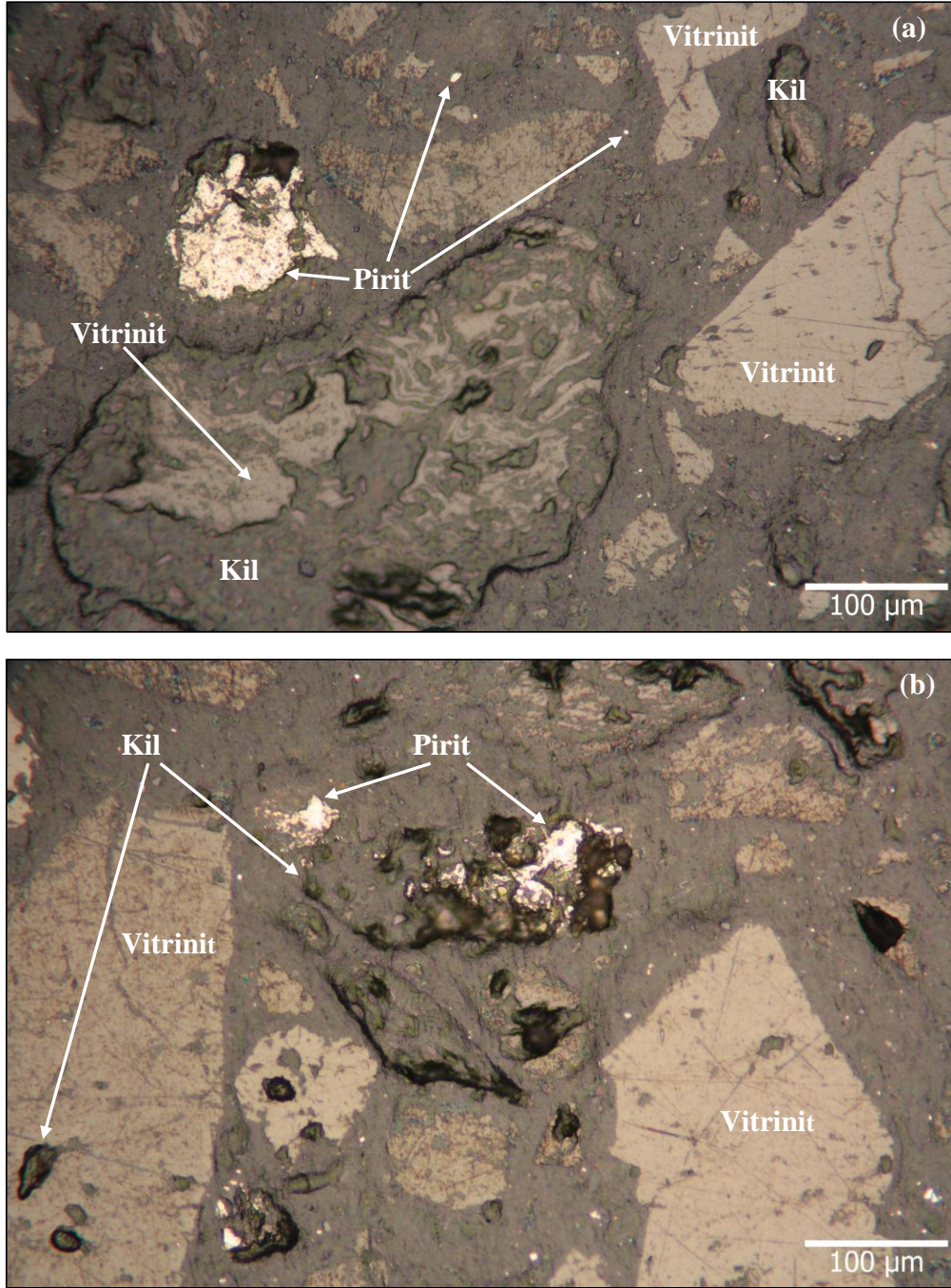
Kömür örneğinin, SEM ve EDS analizleri Şekil 2.3'de, parlak kesitte görünüşleri Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2. 3. Kömür örneğinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri

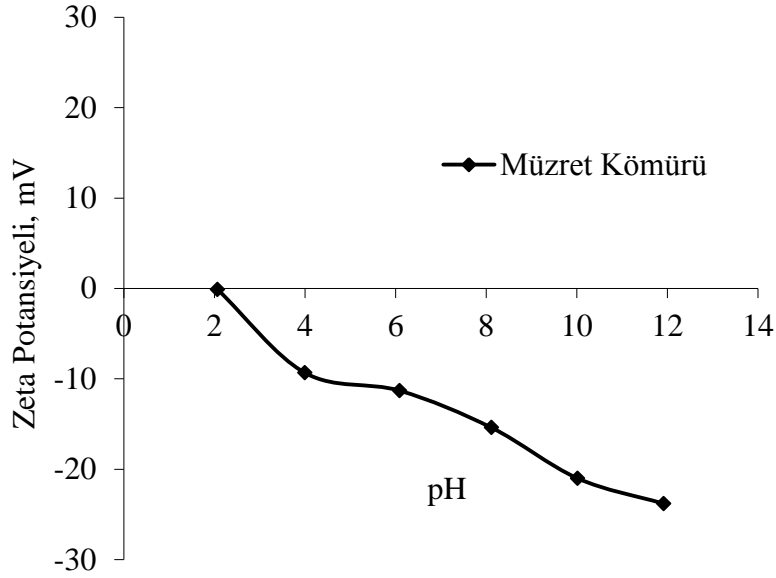
Şekil 2.3a,b'de SEM görüntüleri verilen kömür örneğinin noktasal EDS analizlerinde gang minerallerinden kil, pirit ve kalsit gösterilmektedir. Şekil 2.3a'(1)'de çoğunluğu kömür olan kömür+kil, (2)'de kil+kömür+pirit, Şekil 2.3b'(3)'de çoğunluğu kalsit olan kalsit+kömür, (4)'de kömür maserali görülmektedir.

Aglomerasyon beslemesinden yapılan parlak kesit incelendiğinde (Şekil 2.4a,b), vitrinitin kömür içinde baskın maseral olduğu, kil minerallerinin vitriniti çevrelediği bazen de vitrinit içinde dağıldığı, iri boyutlu piritlerin olduğu gibi çok küçük boyutlu piritlerin de yapıda yer aldığı görülmüştür.



Şekil 2. 4. Aglomerasyon beslemesinin parlak kesitte görünümüleri

Deney sonuçlarının irdelenmesinde gerekli olacağı için kömürün zeta potansiyeli ölçümü de yapılmıştır. Ölçümde Zetasizer Nano-ZS90 tipi zeta potansiyeli ölçüm cihazı kullanılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümleri için yüzdürme-batırma deneyleri sonucunda elde edilen temiz kömür örnekleri kullanılmıştır. Kömür örneği, %0,1 katı oranı olacak şekilde ayarlanmıştır. pH ayarlamaları için NaOH ve HCl kullanılmıştır. Şekil 2. 5’de Müzret kömürünün zeta potansiyelinin pH’a bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2. 5. Müzret kömürünün zeta potansiyelinin pH’a bağlı değişimi

Müzret kömürünün izo elektrik noktasının çok küçük pH’lara kaydığı ve çok geniş bir pH aralığında negatif yük taşıdığı görülmektedir. Deneilerin yapıldığı pH değerinde zeta potansiyeli yaklaşık -10,4 mV’tur.

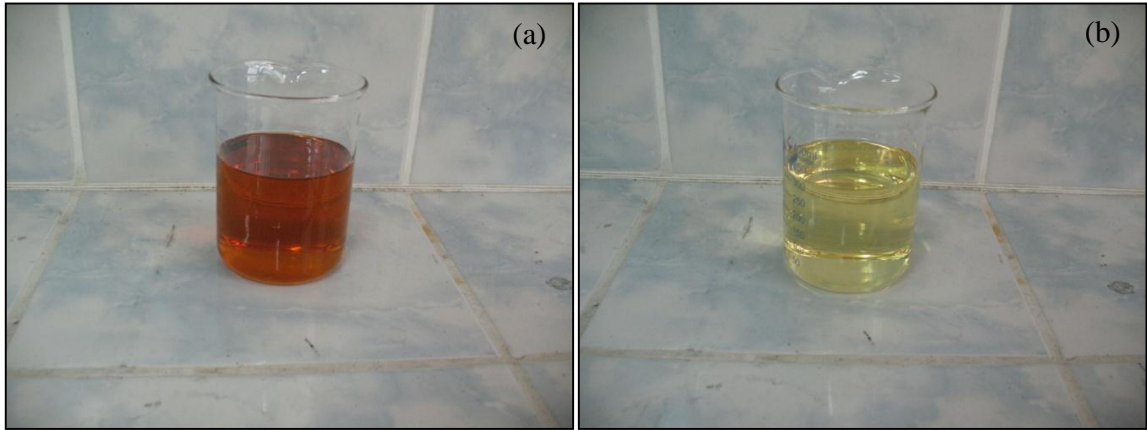
2.2. Bitkisel Atık Yağın Özellikleri

Araştırmada kullanılan atık ayçiçek yağı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü kantininden temin edilmiştir (Şekil 2.6). Ayrıca deneylerde karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı yerden alınan orijinal ayçiçek yağı da kullanılmıştır. Atık yağ, içindeki fiziksel safsızlıkların giderilmesi amacıyla vakum filtre ile süzülmüştür. Filtrelenmiş atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağı Şekil 2.7’de görünmektedir. Yağların, yoğunluğu Alla France tipi hidrometre, viskozitesi Tanaka AKV-

202 tipi viskometre ve yüzey gerilimi de CSC Dunouy tipi yüzey gerilimölçer cihazı ile belirlenmiştir. Deneyleerde kullanılan yağların özellikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 6. Deneyleerde kullanılan atık ayçiçek yağı

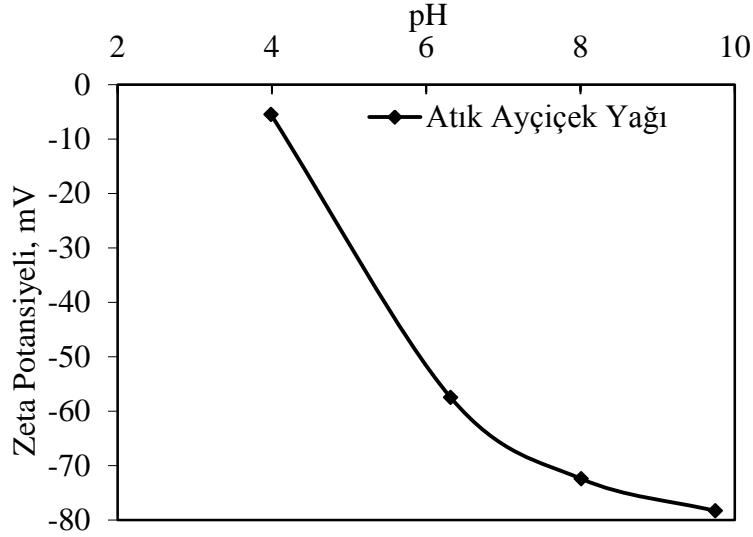


Şekil 2. 7. Deneyleerde kullanılan filtrelenmiş atık ayçiçek yağı (a), orijinal ayçiçek yağı (b)

Tablo 2. 2. Deneyleerde kullanılan yağların özellikleri

Yağ Türü	Renk	Yoğunluk (gr/cm ³) (23,8°C)	Viskozite (mm ² /s) (40°C)	Yüzey gerilimi (dyn/cm)
Atık ayçiçek yağı	Bal	0,91	35,81	34,6
Orijinal ayçiçek yağı	Açık sarı	0,91	32,24	34,6

Atık ayçiçek yağının zeta potansiyeli ölçümü, yağ-su emülsiyonlarında yapılmıştır. Şekil 2. 8’de atık ayçiçek yağının zeta potansiyelinin pH’a bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2. 8. Atık ayçiçek yağının zeta potansiyelinin pH’a bağlı değişimi

Atık ayçiçek yağının deneylerin yapıldığı pH değerinde negatif yük taşıdığı görülmektedir.

2.3. Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı

Aglomerasyon deneyleri öncesi, büyük çoğunluğu toz boyuta sahip kömür örneği kontrollü olarak 0,5 mm’nin altına indirilmiş ve poşetlenmiştir (Şekil 2.9a,b) ve deneyler -0,5 mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Besleme örneğinin tane boyut dağılımı ve bu dağılıma göre kül ve piritik kükürt içerikleri Tablo 2.3’de gösterilmiştir. Buna ilave olarak, tane boyutunun aglomerasyona etkisinin belirlenmesi amacıyla -0,25 mm ve -0,125 mm boyutunda kömür numuneleri de hazırlanmıştır. Aglomerasyon deneyleri için, iç çapı 11,7 cm olan silindirik cam bir kap kullanılmış olup (Şekil 2.9c), cam kap içerisine genişlikleri 1,1 cm olan 4 adet plastik levha (baffle) koyulmuştur. Levha koymanın amacı, kömür ve yağ damlacıklarının kap çeperinde dönmeksizin birbiriyle etkin bir şekilde temasını sağlamaktır. Deneyler, RZR 2021 tipi hızı ayarlanabilen bir mekanik karıştırıcı vasıtasıyla (Şekil 2.9c), saf su kullanılarak yapılmıştır. Karıştırıcının pervane çapı 50 mm olup pervaneler yatayla 45° açı

yapmaktadır. Karıştırma işlemi kap tabanından 8 mm yükseklikte yapılmıştır. İlk olarak kömür-su karışımları, 1000 dev/dak. karıştırma hızında 5 dakika şartlandırılmıştır. Şartlandırılmış kömür-su karışımına yağ ilave edilip karıştırma işlemi yapılmış (Şekil 2.9d) ve kömürlerin aglomera olmaları sağlanmıştır. Daha sonra, pülp 0,5 mm boyutlu eleğe beslenerek aglomeratlar elek üstü olarak kazanılmıştır (Şekil 2.9e,f). Aglomeratlar, yüzeylerine yapışan mineral maddelerin uzaklaşması için eleklerle birlikte içinde su olan bir kaba elek yüksekliğinin daha önce belirlenen seviyesine kadar daldırılmıştır (Elek seviyesinin yarısına kadar 2 kez yapılan daldırma işlemi 1,5 litre suya karşılık gelmektedir) (Şekil 2.9g,h). Yıkama işlemi sonrası aglomeratlar elekten uzaklaştırılmıştır. Şekil 2.10a,b’de mikroskopla çekilmiş (LEICA MZ16 Stereo mikroskop) fotoğrafları görülen aglomeratlar, vakum filtreye konularak susuzlandırılmış, 200 ml aseton ile yıkanarak da yağı arındırılmıştır (Şekil 2.10c,d). Susuzlandırılmış ve yağından arındırılmış aglomerat (temiz kömür) örneği (Şekil 2.10e), etüvde $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulmuş ve tartılmıştır (Şekil 2.10f). Deneyler, katı oranı, atık ayçiçek yağı oranı, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi, yıkama suyu miktarı, pH, kömür tane boyutu ve aglomerat kazanım eleği boyutu gibi aglomerasyonda etkili olan parametrelerin farklı değerleri için gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.4). Katı oranı, kömür ağırlığı / kömür+su ağırlığı’nı, atık yağ oranı ise atık yağ ağırlığı / kömür ağırlığı’nı ifade etmektedir.

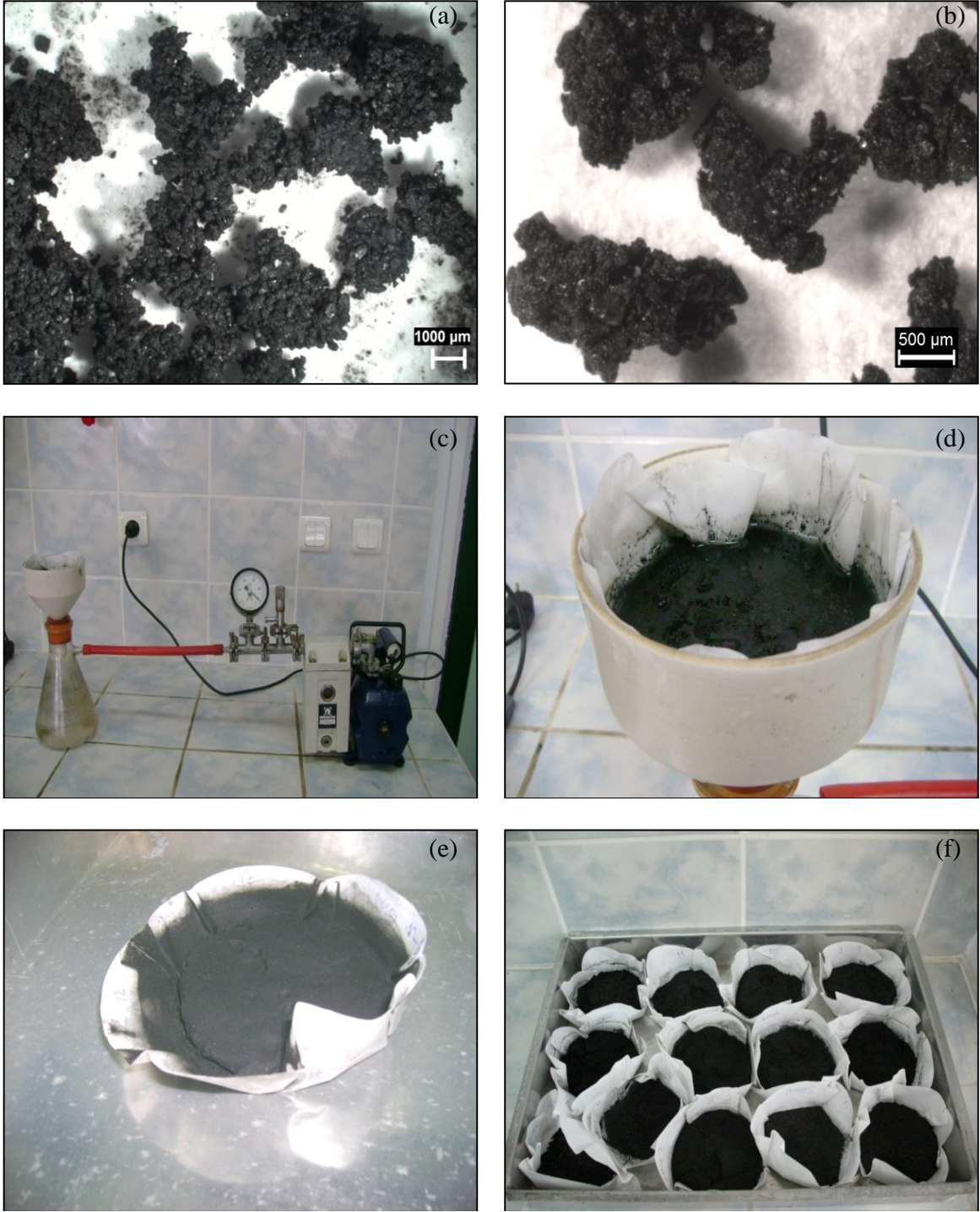
Aglomerasyon sonucu elde edilen temiz kömürün kül, piritik kükürt ve sülfat kükürdü analizleri yapılmıştır (Şekil 2.11). Standart metodlar kullanılarak yapılmış olan analizlerin detayları “Ekler” bölümünde anlatılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapmak için orijinal ayçiçek yağı kullanılarak da, katı oranı, yağ oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresi parametreleri için deneyler yapılmıştır. Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu akım şeması Şekil 2.12’de gösterilmektedir.

Tablo 2. 3. Kömür tane boyut dağılımı ve bu dağılıma göre kül ve piritik kükürt içerikleri

Kömür Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül Kuru Bazda (%)	Piritik Kükürt Kuru Bazda (%)
-0,5+0,3	22,16	35,30	6,88
-0,3+0,212	17,54	34,02	5,76
-0,212+0,15	14,11	34,06	5,43
-0,15+0,106	10,10	32,20	5,36
-0,106+0,053	15,93	34,01	4,75
-0,053	20,16	41,09	4,10



Şekil 2. 9. -0,5 mm'nin altına indirilmiş ve poşetlenmiş kömür örnekleri (a,b), silindirik cam kap ve mekanik karıştırıcı (c), karıştırma işlemi (d), aglomeratların kazanımı (e,f), aglomeratların yıkanması (g,h)



Şekil 2. 10. Oluşan aglomeratların mikroskop görüntüsü (a,b), aglomeratların vakum filtrede susuzlandırılması ve yağ uzaklaştırma (c,d), susuzlandırılmış ve yağından arındırılmış aglomerat (temiz kömür) örneği (e), etüde kurutulmuş temiz kömür örnekleri (f)

Tablo 2. 4. Aglomerasyon deney koşulları ve parametreleri

Parametre	Aglomerasyon Deney Koşulları							
	Katı Oranı (%)*	Atık Yağ Oranı (%)*	Karıştırma Hızı (dev/dak.)	AS (dak.)	Yıkama Suyu Miktarı (lt)	pH	Kömür Tane Boyutu (mm)*	Aglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)
Katı Oranı (%)	5-30	10	1400	10	1,5	-	0,5	0,5
Atık Yağ Oranı (%)	10	5-20	1400	10	1,5	-	0,5	0,5
Karıştırma Hızı (dev/dak.)	10	10	1000-1600	10	1,5	-	0,5	0,5
AS (dak.)	10	10	1400	5-20	1,5	-	0,5	0,5
Yıkama Suyu Miktarı (lt)	10	10	1400	10	1,5-6	5,36	0,5	0,5
pH	10	10	1400	10	1,5	2-10	0,5	0,5
Kömür Tane Boyutu (mm)	10	5-20	1400	10	1,5	-	0,125-0,5	0,5
Aglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)	10	10	1400	10	1,5	5,36	0,125-0,5	0,125-1

AS: Aglomerasyon süresi

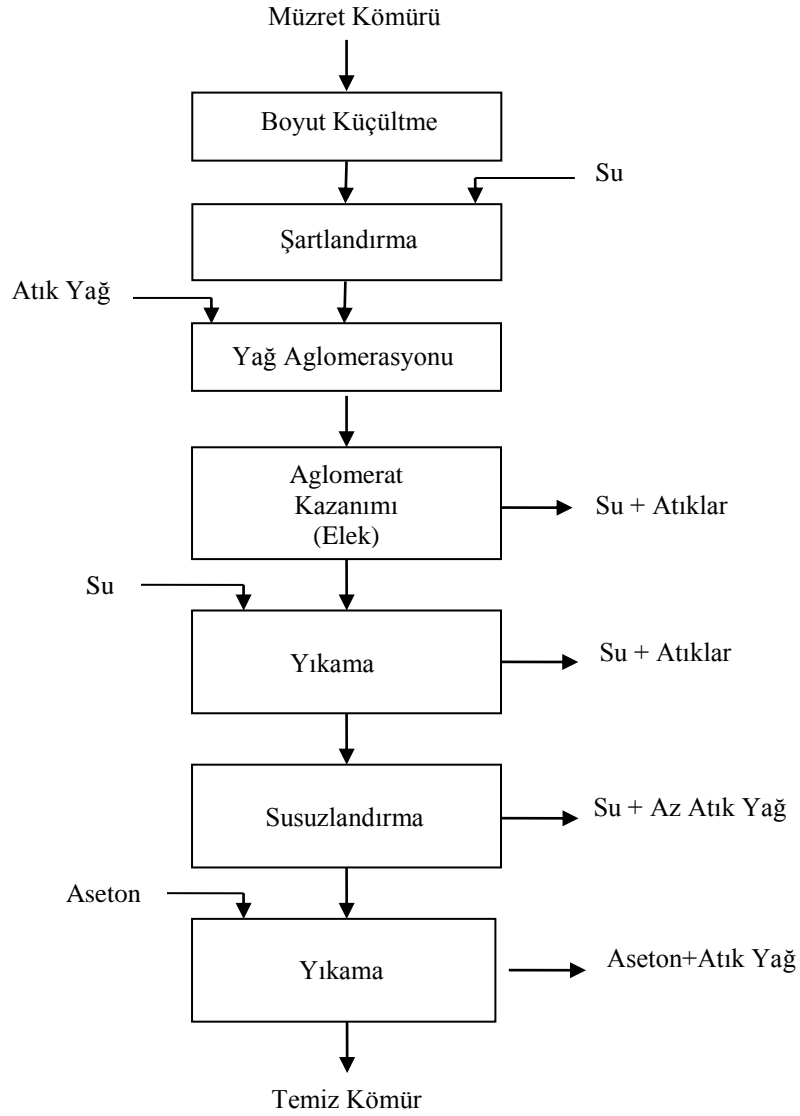
Katı oranı (%)*: Kömür+su ağırlığının yüzdesi olarak kömür miktarı

Atık yağ oranı (%)*: Kömür ağırlığının yüzdesi olarak yağ miktarı

Kömür tane boyutu (mm)*: Maksimum kömür tane boyutu



Şekil 2. 11. Kükürt analizi görüntüleri (a, b, c, d), kül analizi görüntüleri (e, f, g, h)



Şekil 2. 12. Müzret kömürünün atık yağ ile aglomerasyonunun akım şeması

Ses ötesi dalgaların aglomerasyona olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde 750 watt gücünde ve 20 kHz frekansında ses ötesi cihaz (Cole-Parmer) kullanılmıştır (Şekil 2.13). Cihazın genlik değerine bağlı olarak ortama verdiği ses ötesi gücü (şiddeti) Tablo 2.5’de görülmektedir. Ses ötesi dalgaların kömürün yüzey özelliklerini değiştirmesi sonucu aglomerasyona yapacağı etkiyi belirlemek amacıyla, kömür-su karışımı (450 ml su, 50 gr kömür), 1000 dev/dak. hızda 5 dakika şartlandırıldıktan sonra farklı güçlerde (9,5; 28,5; 45,7; 72,8 watt/cm²) ve farklı sürelerde (0,5; 1; 3; 5; 7 dak.) ses ötesi dalga işlemine tabi tutulup aglomerasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm aglomerasyon deneylerinde deney koşulları sabit tutulmuştur (Kati oranı: %10, atık yağ oranı: %10, karıştırma hızı: 1400 dev/dak., aglomerasyon süresi:

10 dak., yıkama suyu miktarı: 1,5 lt, kömür tane boyutu: -0,5 mm, aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm).

Ses ötesi dalgaların yağları daha iyi dağıtarak aglomerasyon işlemi üzerinde yapacağı etkiyi belirlemek amacıyla da deneyler yapılmıştır. Önce, kömür-su karışımı (350 ml su, 50 gr kömür) 1000 dev/dak. hızda 5 dakika şartlandırılmıştır. Atık ayçiçek yağı' da 100 ml su içerisinde ses ötesi dalgalarla farklı güçlerde (9,5; 28,5 watt/cm²) ve farklı sürelerde (0,5; 1; 1,5; 2 dak.) emülsiyeye edilerek kömür-su karışımına eklenmiş ve aglomerasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm aglomerasyon deneyleri yukarıda bahsedilen sabit koşullarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 13. Deneylerde kullanılan ses ötesi dalga cihazı

Tablo 2. 5. Ses ötesi cihazın genliğe (%) bağlı olarak hesaplanmış güç (watt/cm²) değerleri (Yazıcı, 2005).

Genlik (%)	Güç (watt/cm ²)
20	9,5
40	28,5
60	45,7
80	72,8
100	113,6

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aglomerasyon sonucu elde edilen temiz kömürün kül, piritik kükürt ve sülfat kükürdü analizleri yapılmıştır. Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, ağırlıkça verim (AV %), yanabilir verim (YV %), kül uzaklaştırma oranı (KUO %), piritik kükürt uzaklaştırma oranı (PKUO %), sülfat kükürt uzaklaştırma oranı (SKUO %) (Şahinoğlu ve Uslu, 2008), kül ayırma etkinliği (KAE %) ve piritik kükürt ayırma etkinliği (PKAE %) (Kawatra ve Eisele, 2001), hesaplanmıştır.

$$AV (\%) = (W_{A\ddot{U}A}/W_{ABA}) \times 100 \quad (3.1)$$

$$YV (\%) = (W_{\ddot{U}}/W_B) \times 100 \quad (3.2)$$

$$KUO (\%) = [(A_B - A_{\ddot{U}})/A_B] \times 100 \quad (3.3)$$

$$PKUO (\%) = [(PK_B - PK_{\ddot{U}})/PK_B] \times 100 \quad (3.4)$$

$$SKUO (\%) = [(SK_B - SK_{\ddot{U}})/SK_B] \times 100 \quad (3.5)$$

$$KAE (\%) = YV + KUO - 100 \quad (3.6)$$

$$PKAE (\%) = YV + PKUO - 100 \quad (3.7)$$

Burada;

$W_{A\ddot{U}A}$: Aglomerasyon ürününün kuru-yağsız bazda ağırlığı (gr)

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

$W_{\ddot{U}}$: Aglomerasyon ürününün, kuru-külsüz-yağsız bazda ağırlığı (gr)

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

A_B : Kuru aglomerasyon beslemesinin kül oranı (%)

$A_{\ddot{U}}$: Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün kül oranı (%)

PK_B : Kuru aglomerasyon beslemesinin piritik kükürt oranı (%)

$PK_{\ddot{U}}$: Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün piritik kükürt oranı (%)

SK_B : Kuru aglomerasyon beslemesinin sülfat kükürt oranı (%)

$SK_{\ddot{U}}$: Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün sülfat kükürt oranı (%)

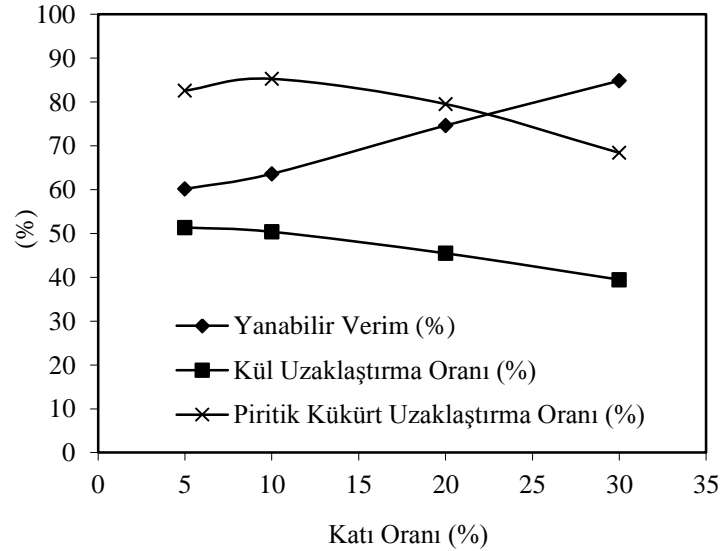
Çeşitli parametrelerin kömürün yağ aglomerasyonuna olan etkilerinin detaylı sonuçları “Ekler” bölümündeki tablolarda gösterilmiştir. Aşağıda, çeşitli parametrelerin aglomerasyona etkileri üzerine elde edilen sonuçlar sunulup tartışılmıştır.

3.1. Bitkisel Atık Yağların Kömürün Yağ Aglomerasyonunda Kullanımı

Katı oranı, atık yağ oranı, karıştırma hızı, aglomerasyon süresi, yıkama suyu miktarı, pH, kömür tane boyutu ve aglomerat kazanım eleği boyutu gibi parametrelerin aglomerasyon performansına etkisi aşağıda detaylı olarak anlatılmakta olup, parametre incelemesi yapılırken sabit tutulan değişkenler daha önce Tablo 2.4’de verilmiştir.

3.1.1. Katı Oranının Aglomerasyona Etkisi

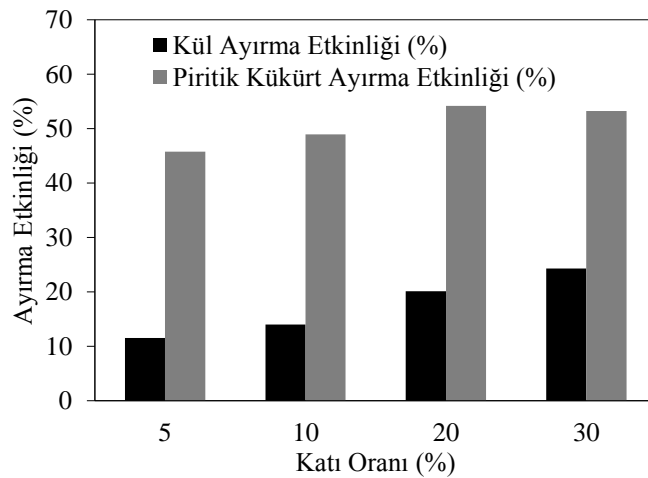
Şekil 3.1’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %85, %51 ve %85’dir. Yanabilir verim %60-85, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %39-51 ve %68-85 arasında değişmektedir. Katı oranı arttıkça yanabilir verim artarken, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları genel olarak düşmektedir.



Şekil 3. 1. Katı oranının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

Artan katı oranı ile birlikte yanabilir verimindeki artış, yüksek kömür konsantrasyonlarında taneler arasındaki mesafenin düşük kömür konsantrasyonlarındakine göre daha az olması ile açıklanabilir. Bir başka ifade ile, kömürün atık ayçiçek yağı ile kaplanmasını sağlayan “kömür-yağ” temaslarının sayısı ve aglomeratların büyümesini sağlayan “yağla kaplı kömür-kömür temasları”, katı oranının artması ile birlikte artmıştır. Bununla birlikte birim hacimdeki kömür tanesi miktarındaki artış, seçimliliği azaltarak kül uzaklaştırma oranında düşüşe sebep olurken, piritik kükürt uzaklaştırma oranında da genel olarak düşüşe neden olmuştur. Çünkü kömür taneleri üzerindeki veya arasındaki pirit ve diğer mineral maddeler fazla sayıdaki kömür taneleri arasında sıkışıp aglomeratlar arasında kalmışlardır. Gürses vd. (2003) ve Şahinoğlu ve Uslu (2008), çalışmalarında atık yağ kullanmamış olsalar da bu konuda benzer sonuçları rapor etmişlerdir. Aktaş (2002), çalışmasında mazot yağını kullanarak katı oranın artışına bağlı olarak geri kazanımın arttığını, kömür kalitesinin ise azaldığını bulmuştur.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %24 ve %54’dir. Katı oranının artışıyla birlikte kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, katı oranının artışıyla birlikte yanabilir veriminin artmasından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar, katı oranının artışıyla kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları azalsa da bu azalma yanabilir verimindeki artıştan daha az olmaktadır. Sadece %30 katı oranında piritik kükürt ayırma etkinliğinde bir miktar azalma görülmüştür. Bunun nedeni katı oranının artışıyla piritin aglomerat aralarına biraz daha fazla kaçak yapmasıdır.



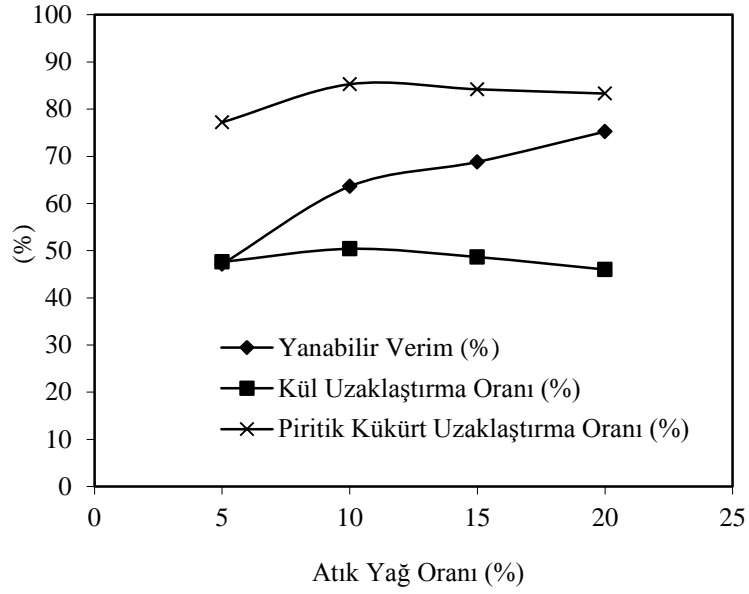
Şekil 3. 2. Katı oranının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

3.1.2. Atık Yağ Oranının Aglomerasyona Etkisi

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %75, %50 ve %85’dir. Yanabilir verim %47-75, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %46-50 ve %77-85 arasında değişmektedir. Atık ayçiçek yağı oranının artışıyla yanabilir verimin arttığı, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise önce arttığı daha sonra azda olsa azaldığı gözlemlenmiştir.

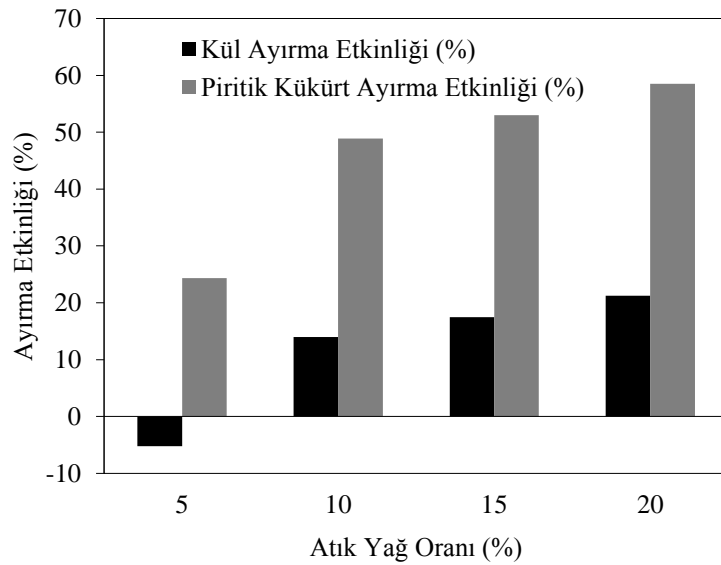
Artan atık ayçiçek yağı oranıyla birlikte yanabilir verimindeki artış, ortamda daha fazla yağ damlası bulunması sonucu kömür taneleriyle daha fazla temasının olması ve bunun sonucu gerçekleşen aglomeratlardaki boyut büyümesidir (Şekil 3.5). Kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarındaki artış ise ortamda daha fazla atık ayçiçeği yağının olması ile kömür tanelerinin yüzeyinde ve aralarında bulunan pirit ve diğer mineral maddelerin atık yağ ile yer değiştirmelerinden kaynaklanmıştır. Daha fazla atık ayçiçek yağı oranlarındaki kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranındaki az miktardaki azalmanın sebebi ise ortamdaki yağ damlacıklarının sayısının daha da artması sonucu pirit ve diğer mineral maddelerin, oluşan aglomeratların aralarına sıkışıp kalmasıyla açıklanabilir. Kullanılan atık yağ oranının %20’yi aşmaması, aglomerasyondaki bağlanma mekanizmasının, kararlı aglomeratlar oluşturan “funikular” tipi bağlanma türünden yağ çamuru şeklindeki daha gevşek aglomeratları oluşturan “kapiler” türü bağlanma türüne dönmesini başlatmış ve yanabilir verimin düşmesine engel olmuştur.

Valdes ve Garcia (2006a), atık zeytinyağını kullanarak yağ oranının artışına bağlı olarak yanabilir verimin arttığını ve kül uzaklaştırma oranının ise azaldığını, yanabilir verimin %70-80 arasında değiştiğini, kül uzaklaştırma oranının ise %85-50 arasında olduğunu bulmuşlardır. Atık ayçiçek yağı-atık zeytinyağı karışımını (1:1) kullandıklarında ise yağ oranının artışına bağlı olarak yanabilir verimin arttığını ve kül uzaklaştırma oranının azaldığını, yanabilir verimin %70-90 arasında değiştiğini, kül uzaklaştırma oranının ise %30-80 arasında olduğunu belirlemişlerdir.

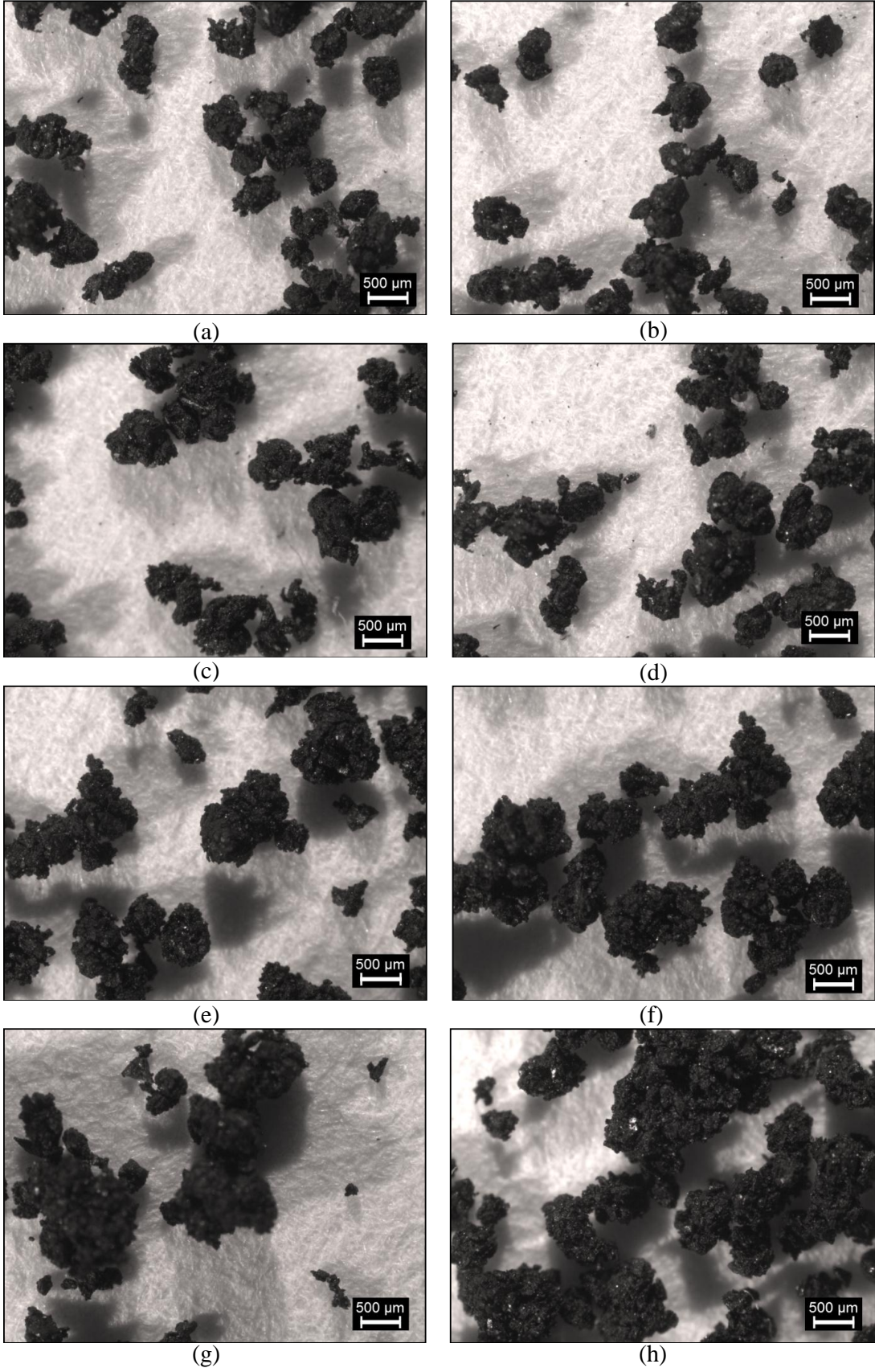


Şekil 3. 3. Atık yağ oranının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %21 ve %59'dır. Atık ayçiçek yağı oranının artışıyla birlikte kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni atık ayçiçek yağı oranının artışıyla birlikte yanabilir verimdeki artış oranının, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarındaki değişimlere göre çok daha fazla olmasıyla açıklanabilir.



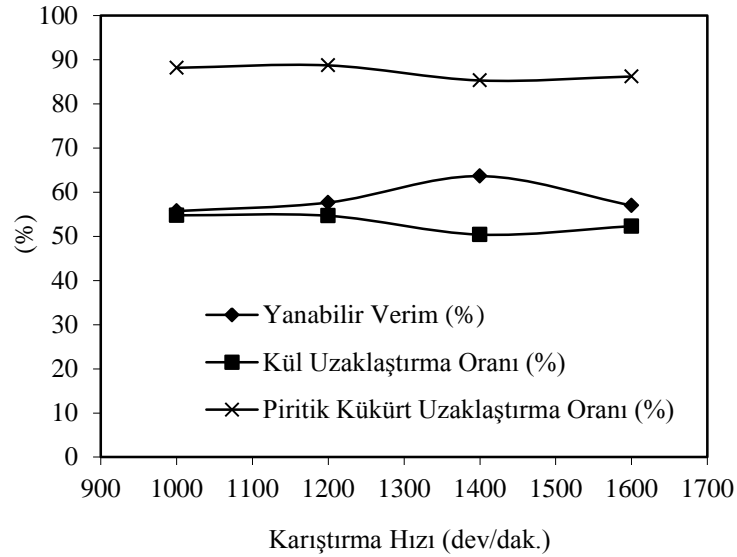
Şekil 3. 4. Atık yağ oranının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi



Şekil 3. 5. Atık yağ oranının artışına bağlı olarak aglomerat boyutlarının değişimi (a,b %5 yağ), (c,d %10 yağ), (e,f %15 yağ), (g,h %20 yağ)

3.1.3. Karıştırma Hızının Aglomerasyona Etkisi

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %55 ve %89'dir. Yanabilir verim %56-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-55 ve %85-89 arasında değişmektedir. 1400 dev/dak. kadar karıştırma hızının artışına bağlı olarak yanabilir verimin arttığı daha sonra ise azaldığı, kül uzaklaştırma oranının önce azaldığı daha sonra az da olsa arttığı, piritik kükürt uzaklaştırma oranının ise çok fazla değişmediği görülmektedir.



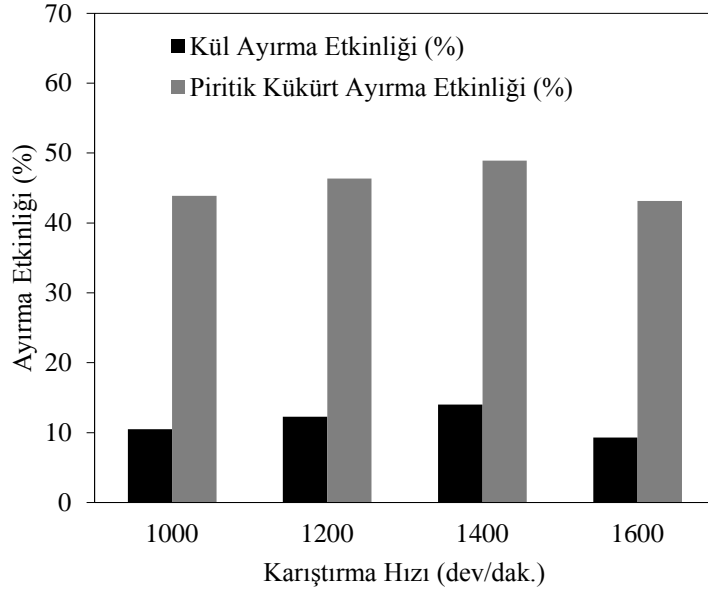
Şekil 3. 6. Karıştırma hızının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

Düşük karıştırma hızlarında yağla kaplanmış kömür tanecikleri arasındaki çarpışmaların daha az olması nedeniyle aglomera olan kömür miktarı da azalmaktadır. Karıştırma hızının artması yağların ortamda daha iyi dağılmasını ve taneciklerin çarpışma olasılığını arttıracığından yanabilir verim artmıştır. Daha yüksek karıştırma hızlarında oluşmuş olan aglomeratlar birbirlerine ve cam kap çevresine süratle çarparak parçalanmaya başladığından yanabilir verim azalmıştır. Artan karıştırma hızıyla birlikte uzaklaştırılan kül miktarının azalması ortamdaki mineral maddelerin karıştırma hızının artması sonucunda oluşan türbülans sebebiyle aglomeratların aralarına daha fazla girmesiyle açıklanabilir. Kül uzaklaştırma oranının 1600 dev/dak. az da olsa artması bu hızda aglomeratların

parçalanmaya başlaması ve aglomeratlar arasına türbülans sebebiyle girmiş olan mineral maddelerin aglomeratlardan uzaklaşmasıyla olduğu söylenebilir.

Şahinoğlu ve Uslu (2008), çalışmalarında gazyağı kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmışlardır. Karıştırma hızının artışına bağlı olarak yanabilir verimin arttığını, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise azaldığını rapor etmişlerdir. Yavuz (2010), çalışmasında atık motor yağını kullanarak karıştırma hızının artışına bağlı olarak yanabilir verimin önce azaldığını daha sonra arttığını ve %82-87 arasında değiştiğini, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise sırasıyla %25-27 ve %4-17 arasında olduğunu bulmuştur. Güleç (1999), çalışmasında dizel yağı kullanarak karıştırma hızının aglomerasyona olan etkisini araştırmıştır. Karıştırma hızının değişiminin kömürün geri kazanım ve kalitesini dikkate değer ölçüde etkilemediğini belirlemiştir.

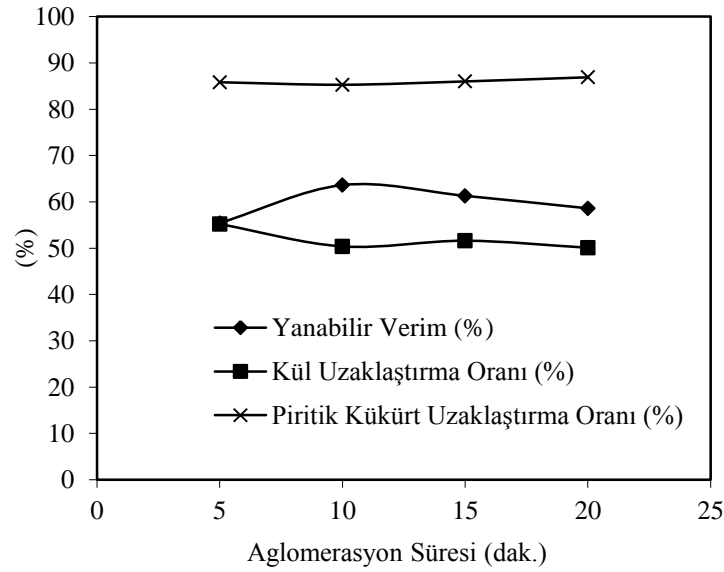
Şekil 3.7’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %14 ve %49’dır. En yüksek değerler 1400 dev/dak. karıştırma hızında elde edilmiştir. Bu karıştırma hızına kadar yanabilir verim artarken kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları çok fazla değişmediğinden en yüksek ayırma etkinlikleri elde edilmiştir. 1600 dev/dak. karıştırma hızında aglomeratların parçalanmaya başlaması yanabilir verimi azaltırken ayırma etkinliklerini de düşürmüştür.



Şekil 3. 7. Karıştırma hızının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

3.1.4. Aglomerasyon Süresinin Aglomerasyona Etkisi

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %55 ve %87’dir. Yanabilir verim %55-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-55 ve %85-87 arasında değişmektedir. Aglomerasyon işleminde sürenin artmasıyla birlikte yanabilir verimin arttığı, belli bir süreden sonra azaldığı, kül uzaklaştırma oranının genel olarak azaldığı, piritik kükürt uzaklaştırma oranının ise çok fazla değişmediği görülmektedir.

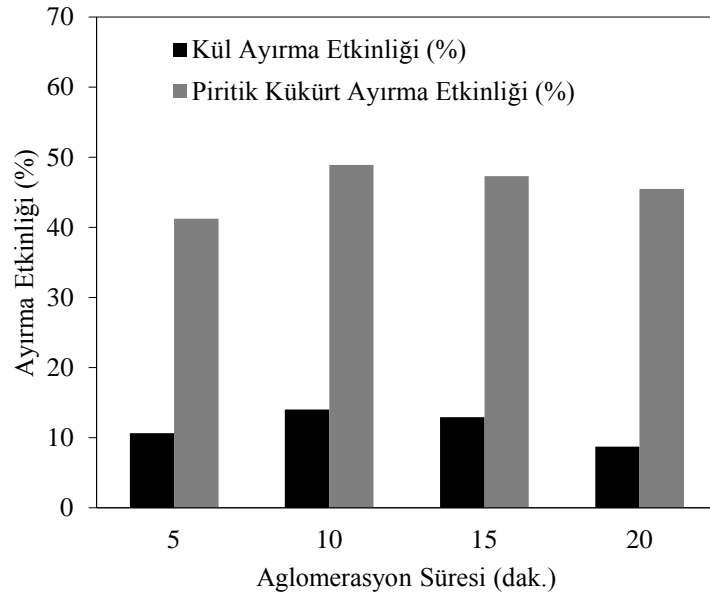


Şekil 3. 8. Aglomerasyon süresinin, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

Genel olarak, düşük karıştırma sürelerinde tanecik-tanecik ve tanecik-mikroaglomerat temas şansı düşük olduğundan aglomerat verimi düşük olmaktadır. Sürenin artışına bağlı olarak yağın pülp içinde daha iyi dağıldığını ve de kömür taneciklerinin yağ ile temas etmeleri için daha fazla şans bulunduğu söylenebilir. Daha yüksek sürelerde verimin düşüş eğilimi göstermesi belirli bir süre sonra belli boyuta gelmiş aglomeratların birbirine ve cam kap çevresine çarpmaya başladığını göstermektedir. 5 dak. aglomerasyon süresinde en fazla kül uzaklaştırma oranının elde edilmesi düşük aglomerasyon süresinde daha temiz aglomeratların oluştuğunu ve sürenin artışıyla birlikte kül yapıcı mineral maddelerin aglomeratlar arasına girerek bu oranın düşmesine neden olduğu söylenebilir.

Şimşek (1999), çalışmasında gazyağı kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmıştır. Aglomerasyon süresi arttıkça veriminde arttığını 1 dak.'lık aglomerasyon süresinde %78 olan verimin 25 dak.'lık aglomerasyon süresinde %88 olduğunu bulmuştur. Şahinoğlu (2006), çalışmasında gazyağı kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmıştır. Aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak yanabilir verimin önce arttığını sonra azaldığını, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise arttığını rapor etmiştir.

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %14 ve %49'dur. En yüksek değerler 10 dak. aglomerasyon süresinde elde edilmiştir. Bu sürede elde edilen yanabilir verimin daha fazla olması, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının değişimlerinin süreye bağlı olarak yanabilir verim kadar değişmediğinden dolayı en yüksek değerler bu sürede elde edilmiştir.



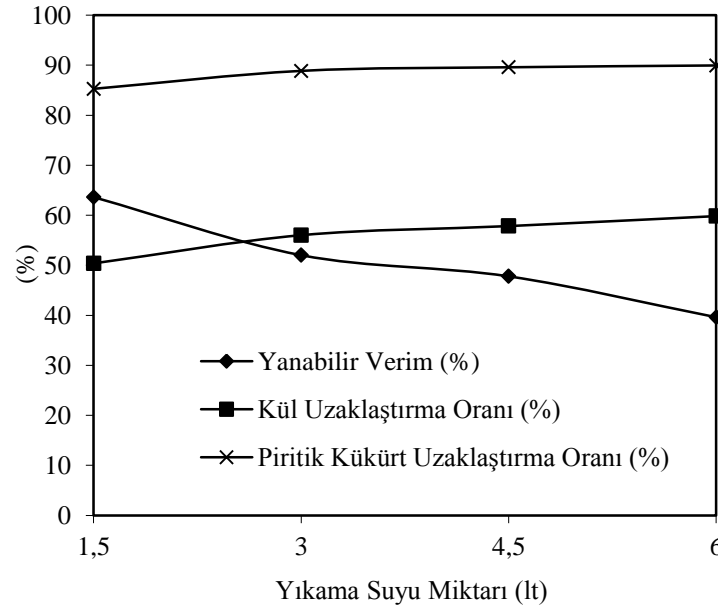
Şekil 3. 9. Aglomerasyon süresinin, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

3.1.5. Yıkama Suyu Miktarının Aglomerasyona Etkisi

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %60 ve %90'dur. Yanabilir verim %40-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-60 ve %85-90 arasında değişmektedir. Artan yıkama suyu miktarı ile yanabilir verimin azaldığı, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise arttığı görülmektedir. Bu durum aglomerat

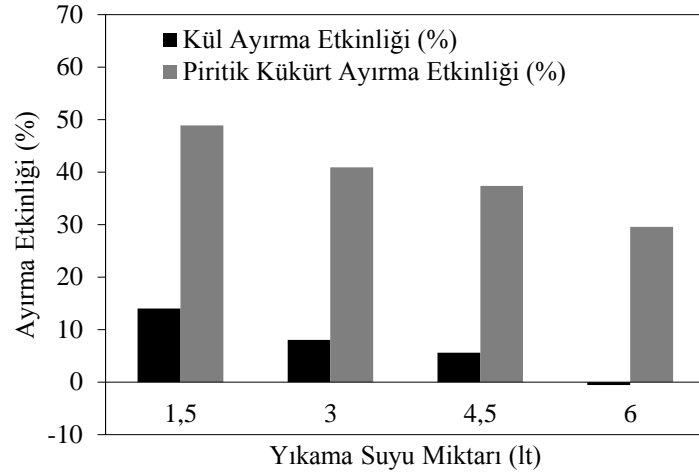
yüzeylerindeki ve aralarındaki pirit ve diğer mineral maddelerin yıkama suyu miktarının artışıyla daha fazla yıkanarak uzaklaştığını, fakat bu yıkama esnasında aglomeratların da artan suyun etkisiyle daha fazla parçalandığını göstermektedir.

Uslu vd. (2006), çalışmalarında gazyağı kullanarak yıkama suyu miktarının aglomerasyona olan etkisini araştırmışlar. Yıkama suyu miktarının artışına bağlı olarak yanabilir verimin azaldığını, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ise arttığını bulmuşlardır. Güleç (1999), çalışmasında dizel yağı kullanarak yıkama suyu miktarının aglomerasyona olan etkisini araştırmıştır. Yıkama suyu miktarının artışına bağlı olarak geri kazanımın azaldığını, kazanılan kömürün kalitesinin arttığını rapor etmiştir.



Şekil 3. 10. Yıkama suyu miktarının, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

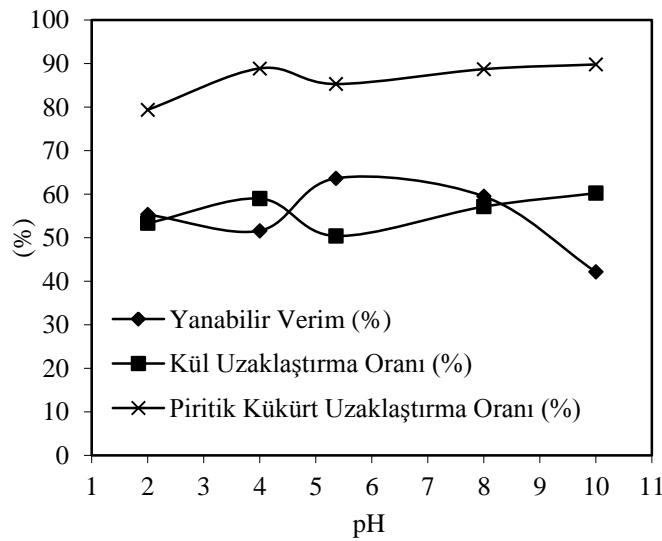
Şekil 3.11’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %14 ve %49’dır. En yüksek ayırma etkinlikleri 1,5 lt yıkama suyu miktarında elde edilmiştir. Artan yıkama suyu miktarıyla yanabilir verim çok fazla miktarda azalmakta iken kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları artsa da bu artış yanabilir verimdeki değişmeye göre daha az olmuştur.



Şekil 3. 11. Yıkama suyu miktarının, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

3.1.6. pH'ın Aglomerasyona Etkisi

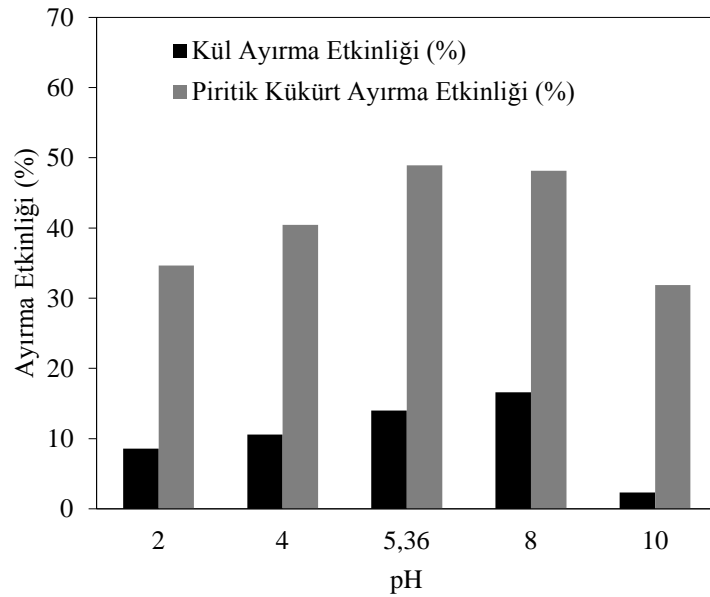
Şekil 3.12'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %60 ve %90'dır. Yanabilir verim %42-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-60 ve %79-90 arasında değişmektedir. Yüksek ve düşük pH'larda yanabilir verim azalmıştır. Deneylemin yapıldığı ortam pH'ında (pH: 5,36) en yüksek yanabilir verime ulaşıırken, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma pH: 10'da en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 3. 12. pH'ın, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

Düşük pH'larda yanabilir verimdeki düşüşler, kömür yüzeyindeki fonksiyonel grupların iyonlaşmasının azalmasıyla, yağ damlacıklarının polar kısmıyla kömür yüzeyi arasındaki etkileşimin azalmasına dayandırılabilir (Şimşek, 2007). Yüksek pH değerlerinde yanabilir verimdeki azalma ise, kömür ve yağların zeta potansiyellerinin negatifliğinin artması nedeniyle elektriksel itme kuvvetlerinin yükselmesi sonucu yağ damlacıklarının kömür yüzeyine adsorpsiyonunun azalmasına dayandırılmıştır. En yüksek pH'da (pH: 10) kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranının en yüksek olması, piritin yüksek pH'larda, flotasyonda olduğu gibi hidrofilik bir yapı kazanmasıyla açıklanabilir. Temel vd. (2009), çalışmalarında gazyağı kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmışlar. pH artışına bağlı olarak geri kazanımın önce arttığını (pH:4'den pH: 6'ya kadar) sonra azaldığını (pH:6'dan pH: 9'a kadar), kül ve kükürt uzaklaştırmanın da önce arttığını (pH:4'den pH: 6'ya kadar) sonra azaldığını (pH:6'dan pH: 9'a kadar) bulmuşlardır. Maksimum geri kazanım, kül ve kükürt uzaklaştırmanın pH: 6'da olduğunu rapor etmişlerdir.

Şekil 3.13'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %17 ve %49'dır. Düşük ve yüksek pH'larda kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri azalmaktadır. Çünkü yanabilir verim değerleri düşük çıkmaktadır. pH: 5,36'da ve pH:8'de yanabilir verimin fazla olması bu pH'larda ayırma etkinliklerini arttırmaktadır.

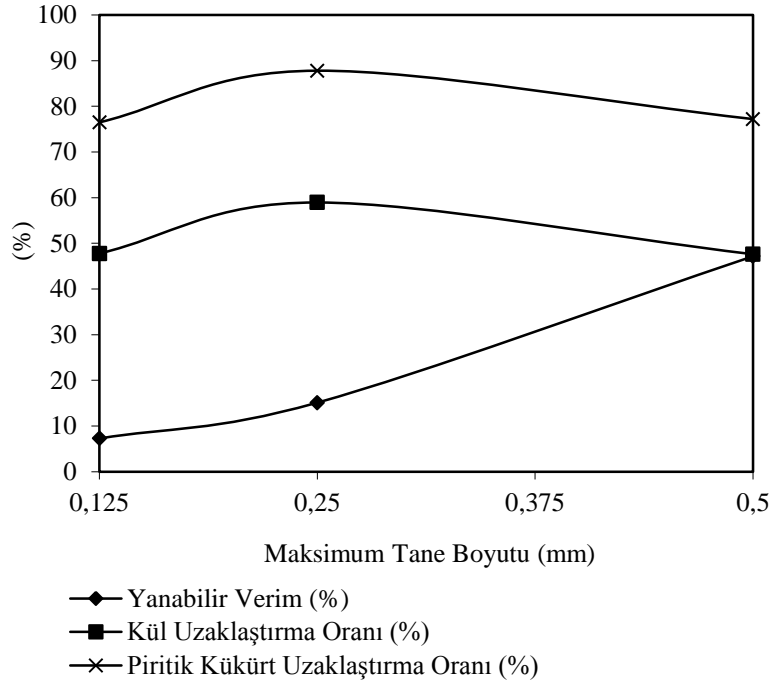


Şekil 3. 13. pH'ın, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

3.1.7. Kömür Tane Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

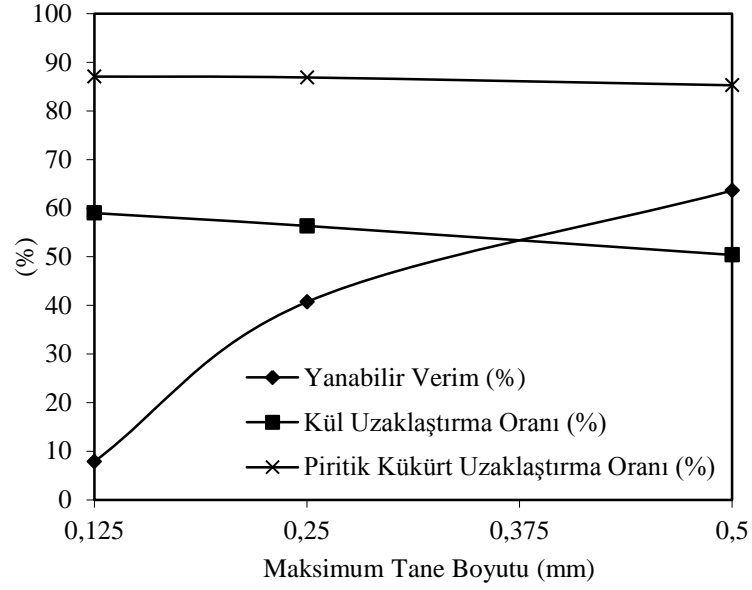
Kömürün tane boyutu azaldıkça, yüzey alanı artışıyla beraber bağlayıcı yağın yetersiz kalabileceği ve sağlıklı yorum yapılamayabileceği endişesiyle kömür tane boyutunun etkisi sabit tek bir yağ oranında (%10) değil de %5, %10, %15 ve %20 atık yağ oranlarında da araştırılmıştır.

En düşük atık yağ oranında (%5) elde edilen en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %47, %59 ve %88'dir. Yanabilir verim %7-47, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %48-59 ve %76-88 arasında değişmektedir (Şekil 3.14).



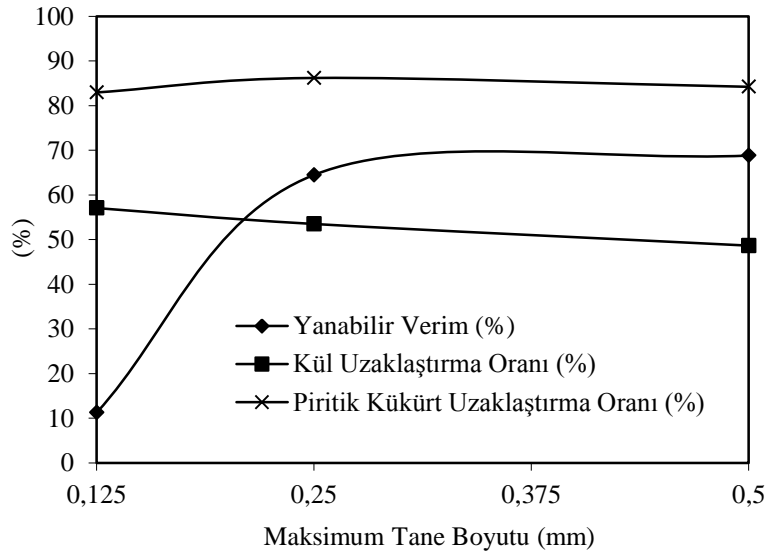
Şekil 3. 14. Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %5)

Atık yağ oranı %10 olduğunda en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %59 ve %87'dir. Yanabilir verim %8-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-59 ve %85-87 arasında değişmektedir (Şekil 3.15).



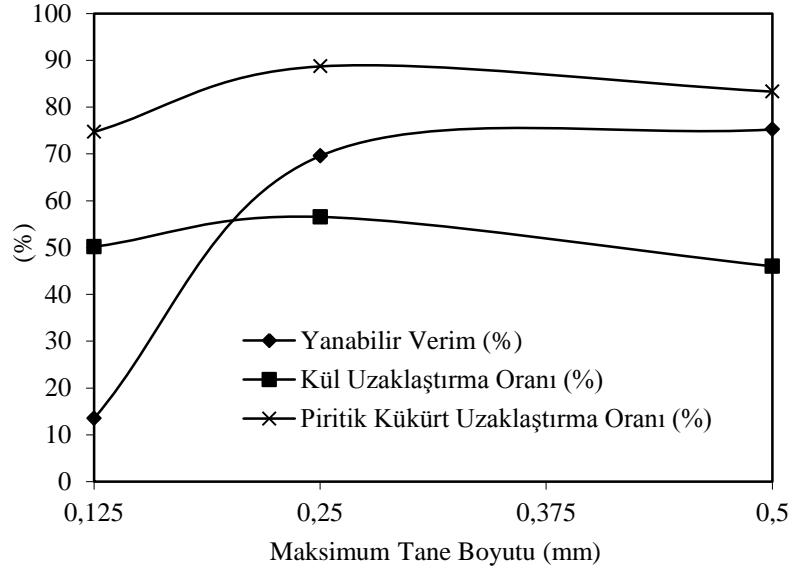
Şekil 3. 15. Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %10)

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde atık yağ oranı %15 olduğunda en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %69, %57 ve %86'dır. Yanabilir verim %11-69, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %49-57 ve %83-86 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 16. Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %15)

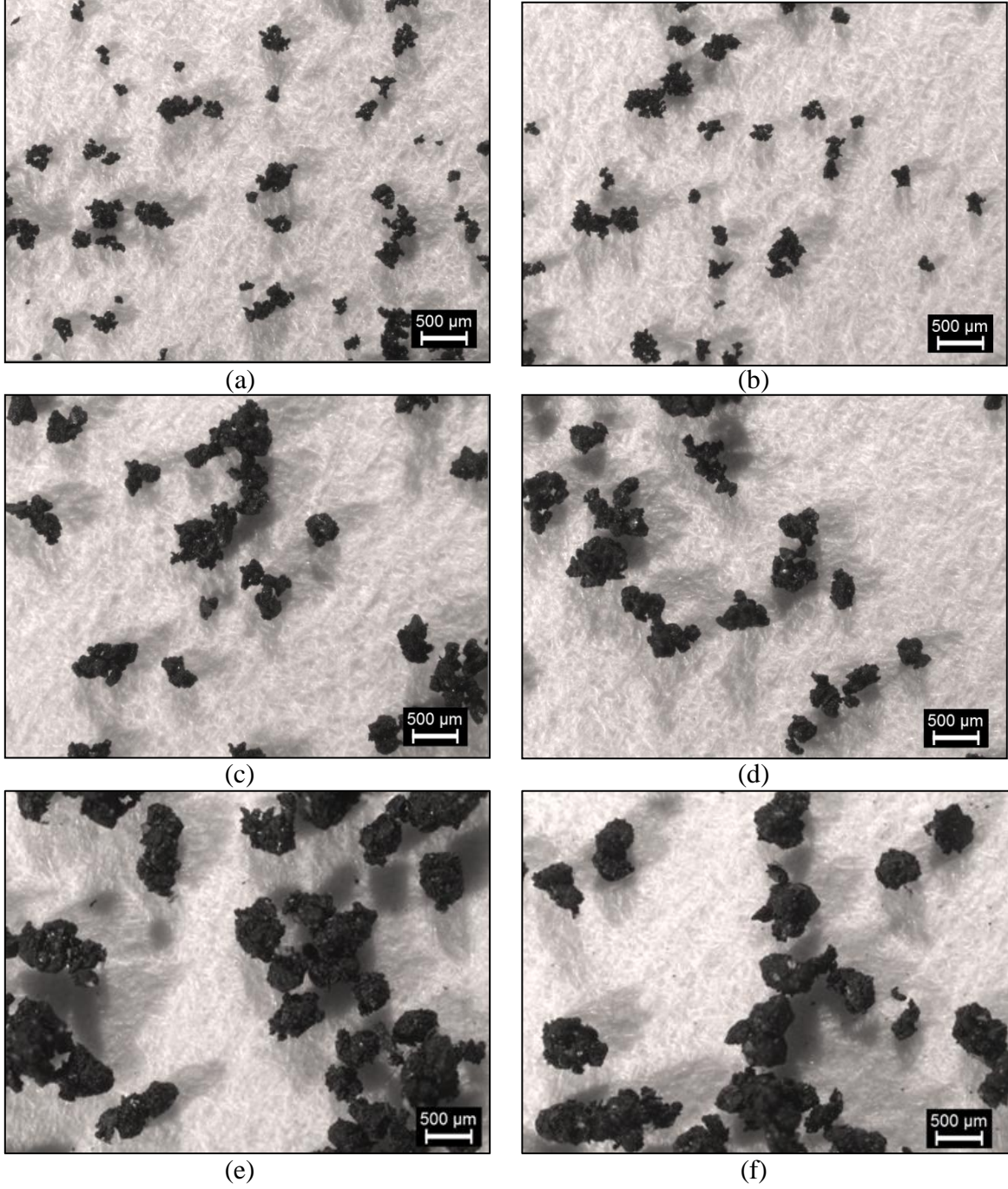
En yüksek atık yağ oranında (%20) elde edilen en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %75, %57 ve %89'dır. Yanabilir verim %14-75, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %46-57 ve %75-89 arasında değişmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3. 17. Tane boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi (atık yağ oranı: %20)

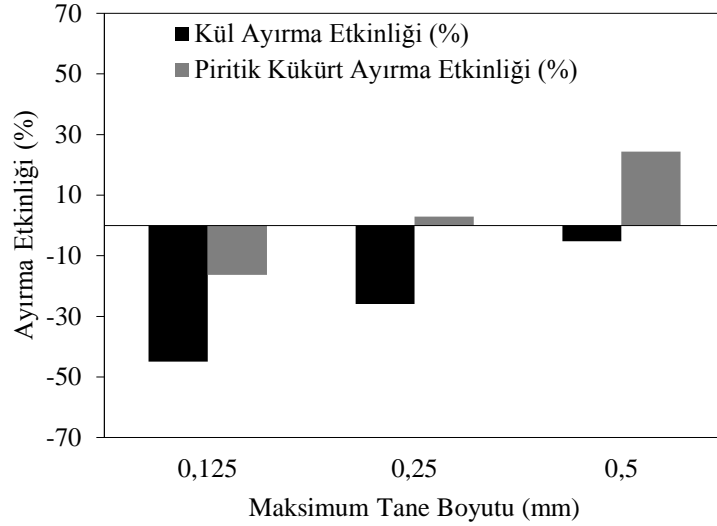
%5, %10, %15 ve %20 atık yağ oranlarında tane boyutunun artmasıyla, yanabilir verimin arttığı görülmektedir. Kül uzaklaştırma oranının -0,125 mm ve -0,25 mm tane boyutunda -0,5 mm tane boyutuna göre daha fazla olduğu, piritik kükürt uzaklaştırma oranının ise genel olarak en fazla -0,25 mm tane boyutunda olduğu görülmektedir. -0,125 mm tane boyutunda piritik kükürt uzaklaştırma oranının az olmasının sebebi çok küçük boyutlu piritlerin aynen flotasyonda olduğu gibi kömür yüzeylerine yapışması veya aglomerat aralarına suyla beraber daha rahat kaçak yapmasıdır. Düşük atık yağ oranlarında (%5, %10) kömür tane boyutu küçüldükçe yanabilir verim azalmaktadır. Çünkü küçük tane boyutlarındaki kömürler için (-0,125 mm ve -0,25 mm), toplam yüzey alanı fazla olduğundan, atık yağ oranı yetersiz kalmış, yeterince aglomerat oluşmamış, oluşan aglomeratlarda 0,5 mm boyutunun altında kalmıştır (Şekil 3.18a,b,c,d) bundan dolayı yanabilir verim düşük çıkmıştır. Küçük kömür tane boyutları için yanabilir verimin düşük olmasının diğer sebebi aglomerat kazanım eleği boyutunun (0,5 mm), en yüksek kömür tane boyutu ile aynı olmasıdır. Şekil 3.18'de farklı kömür tane boyutlu kömürlerden oluşan

aglomeratlar görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere kömür tane boyutu arttıkça aglomerat boyutları da artmaktadır.



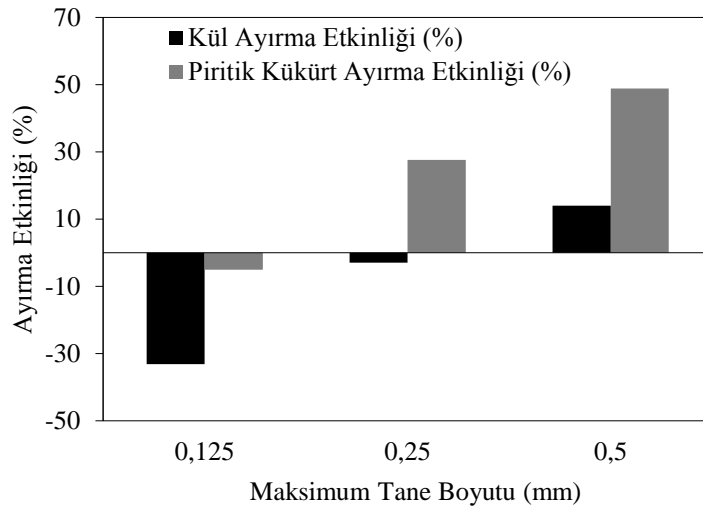
Şekil 3. 18. Farklı kömür tane boyutunda oluşan aglomeratlar (a,b: -0,125 mm; c,d: -0,25 mm; e,f: -0,5 mm)

En düşük atık yağ oranında (%5) elde edilen en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %-5 ve %24'dır (Şekil 3.19).



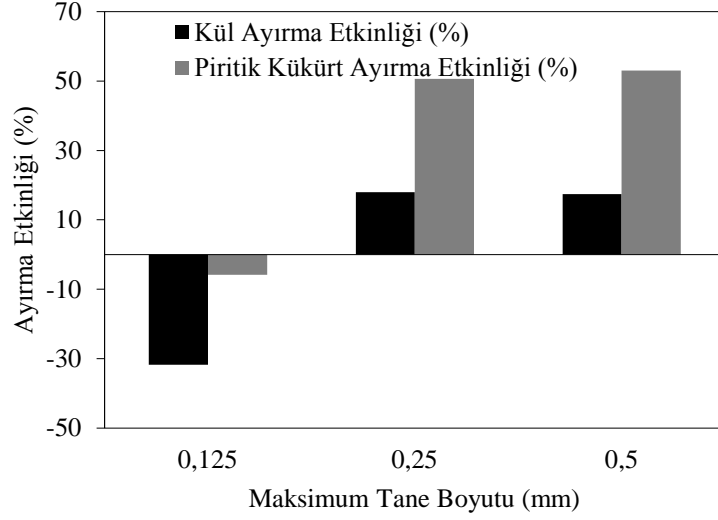
Şekil 3. 19. Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %5)

Atık yağ oranı %10 olduğunda en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %14 ve %49'dır (Şekil 3.20).



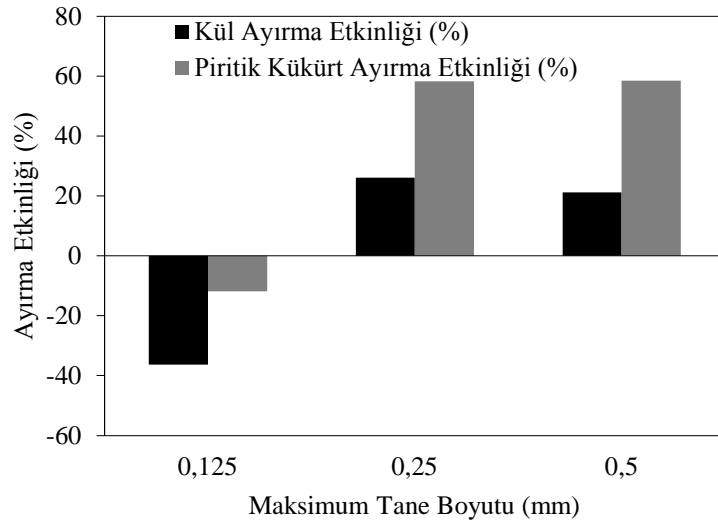
Şekil 3. 20. Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %10)

Şekil 3.21’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde atık yağ oranı %15 olduğunda en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %18 ve %53’dir.



Şekil 3. 21. Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %15)

En yüksek atık yağ oranında (%20) elde edilen en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %26 ve %59’dır (Şekil 3.22).



Şekil 3. 22. Tane boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi (atık yağ oranı: %20)

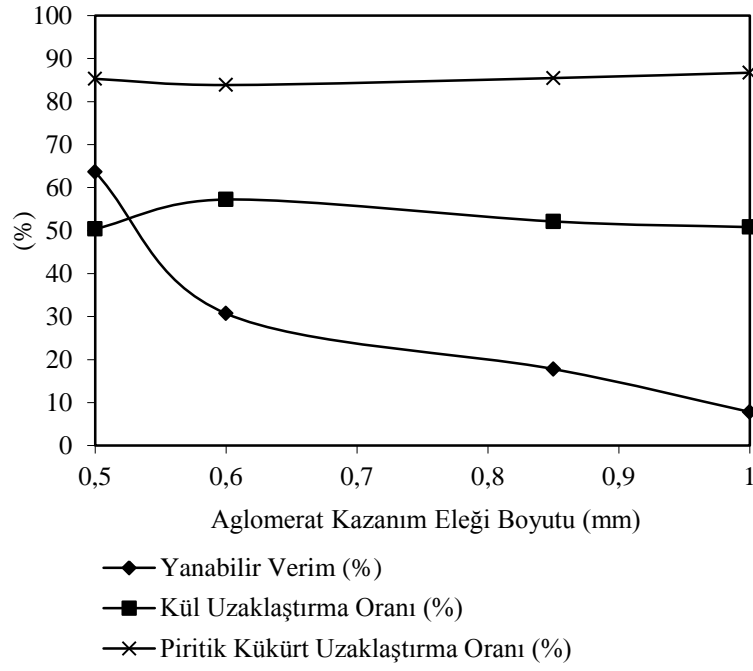
%5, %10, %15 ve %20 atık yağ oranlarında tane boyutunun artmasıyla birlikte genel olarak kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri artmaktadır. Bu durum tane boyutunun artmasıyla birlikte yanabilir verimin artmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.8. Aglomerat Kazanım Eleği Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

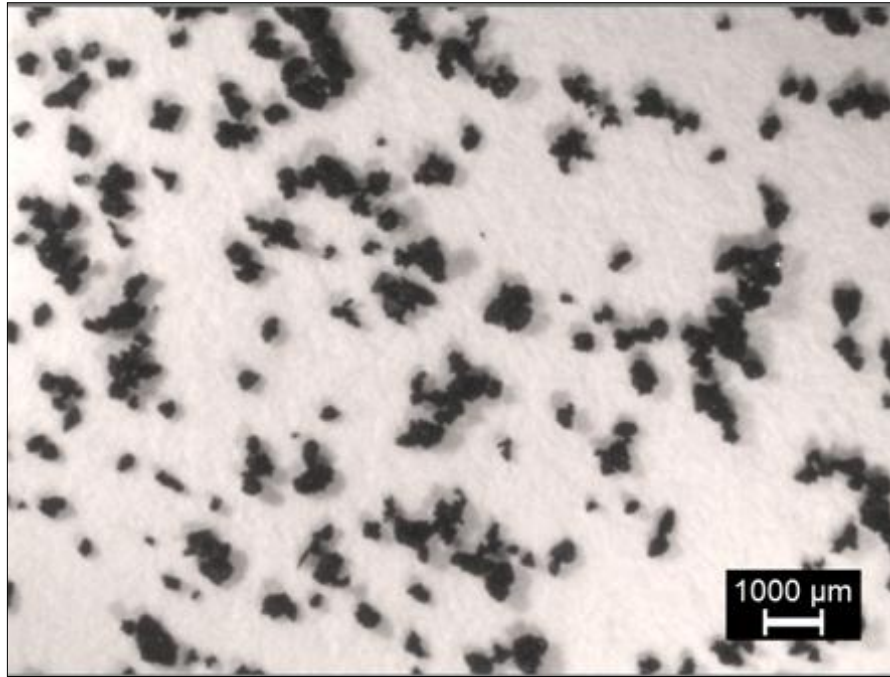
-0,5 mm kömür tane boyutu için aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyon işlemine etkisi incelendiğinde, Şekil 3.23'de görüldüğü gibi en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %64, %57 ve %87'dir. Yanabilir verim %8-64, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %50-57 ve %84-87 arasında değişmektedir. Aglomerat kazanım eleği boyutunun artmasıyla, yanabilir verimin azaldığı, kül uzaklaştırma oranının önce arttığı sonra azaldığı ve piritik kükürt uzaklaştırma oranının ise çok fazla değişmediği görülmektedir. Yanabilir verimdeki azalma, elde edilen aglomeratların boyutlarının çoğunun 0,5-0,6 mm olması ve üst boyutlarda daha az aglomeratın oluşmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.24). Kömürün yağ aglomerasyonu işleminde %10 yağ kullanıldığında oluşan aglomeratların boyutlarının %52'si 0,5-0,6 mm, %20'si 0,6-0,85 mm, %16'sı 0,85-1 mm arasında ve %12'si 1 mm boyutunun üstündedir. Tablo 3.1'de oluşan aglomeratların boyut dağılımı görülmektedir. Aglomeratların boyutları 0,85 mm ve 1 mm üzerine çıktığında kül uzaklaştırma oranının azalması kül yapıcı mineral maddelerin oluşan aglomeratların aralarına sıkışıp kalmasıyla açıklanabilir.

Tablo 3. 1. Oluşan aglomeratların boyut dağılımı

Aglomerat Boyutu (mm)	Miktar (%)
0,5-0,6	51,73
0,6-0,85	20,29
0,85-1	15,67
>1	12,31

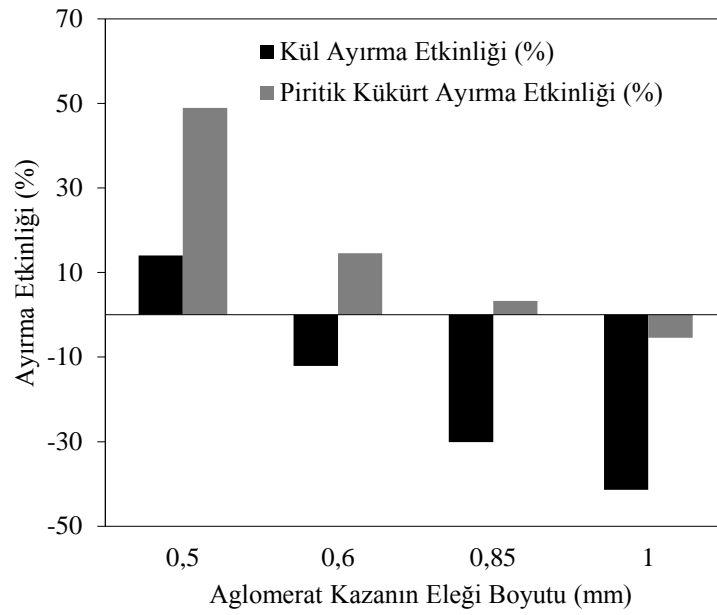


Şekil 3. 23. Agglomerat kazanım eleği boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi



Şekil 3. 24. Oluşan agglomeratların görüntüsü (Katı oranı: %10; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; pH: 5,36; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir)

Şekil 3.25’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %14 ve %49’dır. En yüksek ayırma etkinlikleri 0,5 mm aglomerat kazanım eleği kullanıldığında elde edilmiştir. Aglomerat kazanım eleği boyutunun artmasıyla birlikte yanabilir verimdeki çok fazla miktarda görülen azalmanın yanında kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarındaki değişimlerin çok fazla olmaması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

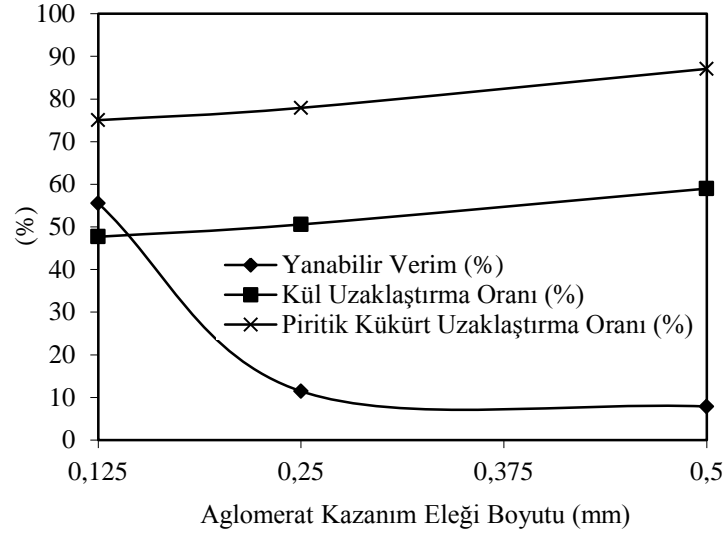


Şekil 3. 25. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

Daha küçük aglomerat kazanım eleği boyutlarının da (0,125; 0,25 ve 0,5 mm) etkisini de görebilmek amacıyla kömür tane boyutu -0,125 mm’ye indirilerek, bu elek boyutları için aglomerasyon işleminin performansı belirlenmeye çalışılmıştır.

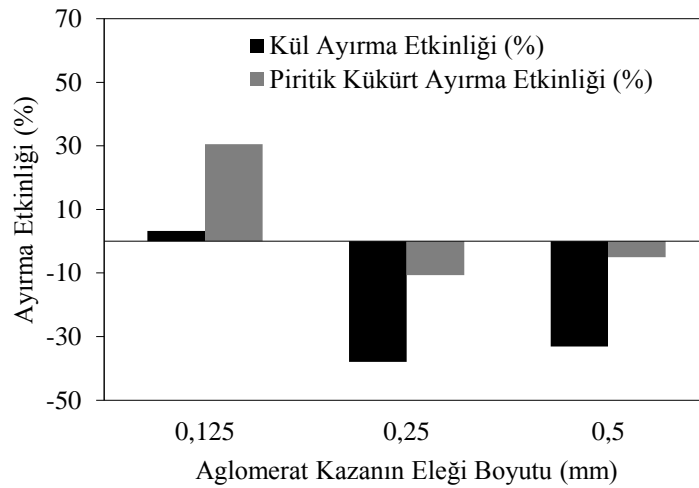
Şekil 3.26’da görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %56, %59 ve %87’dir. Yanabilir verim %8-56, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %48-59 ve %75-87 arasında değişmektedir.

Daha büyük kazanım eleği boyutu fraksiyonlarında (0,5-1 mm) görüldüğü gibi bu elek boyutları (0,125-0,5 mm) için de yanabilir verimlerin artan elek boyutuyla düştüğü görülmüştür. Bu durum ideal verim elde etmek için maksimum kömür boyutuyla aynı boyutdaki kazanım eleklerinin kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. 26. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarına etkisi

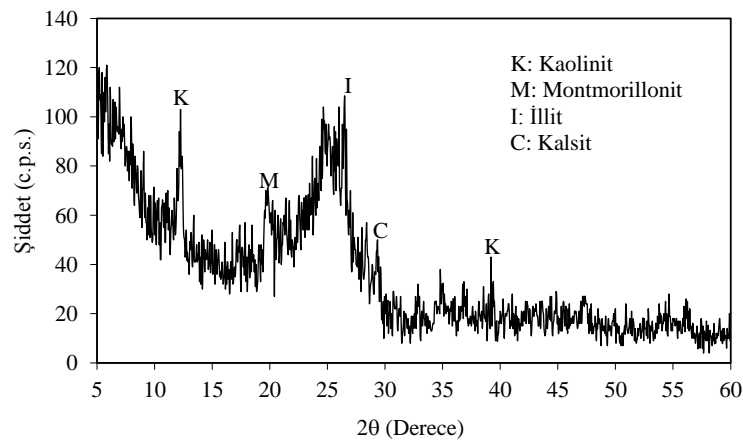
Şekil 3.27’de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %3 ve %31’dir. En yüksek ayırma etkinlikleri 0,125 mm aglomerat kazanım eleği kullanıldığında elde edilmiştir. Aglomerat kazanım eleği boyutunun artmasıyla birlikte yanabilir verimdeki çok fazla miktardaki azalma, bununla birlikte kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarındaki değişimlerin çok fazla olmaması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 3. 27. Aglomerat kazanım eleği boyutunun, kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine etkisi

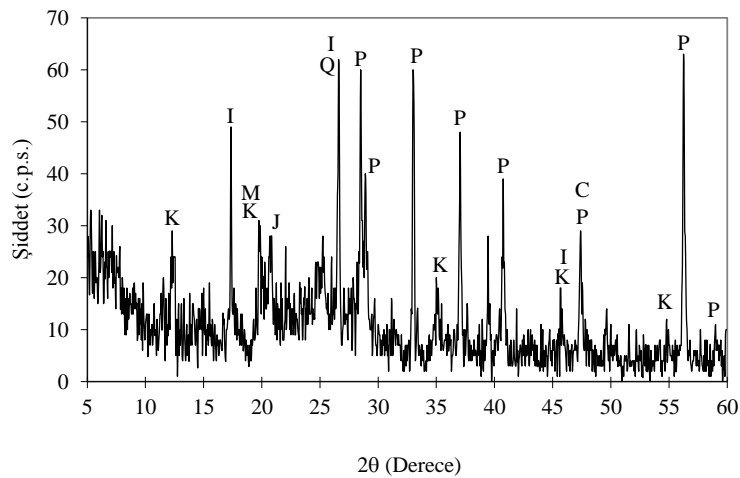
Aglomerasyon deneyinden (Kati oranı: %10; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; pH: 5,36; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm) elde edilen konsantre ve atığın XRD analizi, parlak kesiti ve SEM-EDS analizi yapılmıştır.

Aglomerasyon konsantresinin XRD analizinde (Şekil 3.28), kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit tespit edilmiştir. Bu mineraller besleme ve atığa göre az miktarda olsalar da konsantrenin kül artışına sebep olmuşlardır.



Şekil 3. 28. Aglomerasyon konsantresinin XRD grafiği

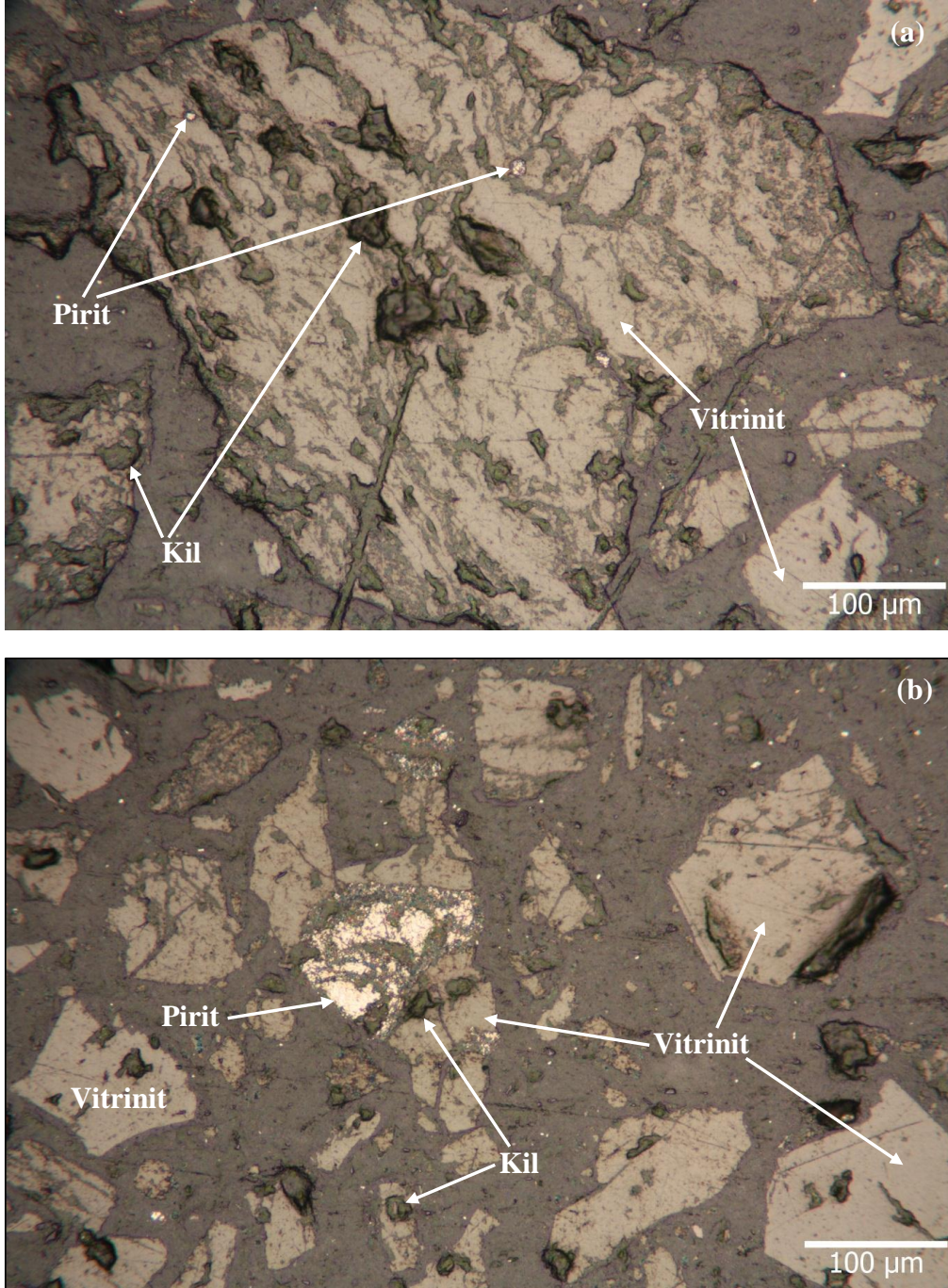
Aglomerasyon atığının XRD analizinde (Şekil 3.29), sülfür minerallerinden pirit, kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit, sülfat minerallerinden jips, silikat minerallerinden kuvars tespit edilmiştir.



P: Pirit, K: Kaolinit, M: Montmorillonit, I: İllit, C: Kalsit, J: Jips, Q: Kuvars

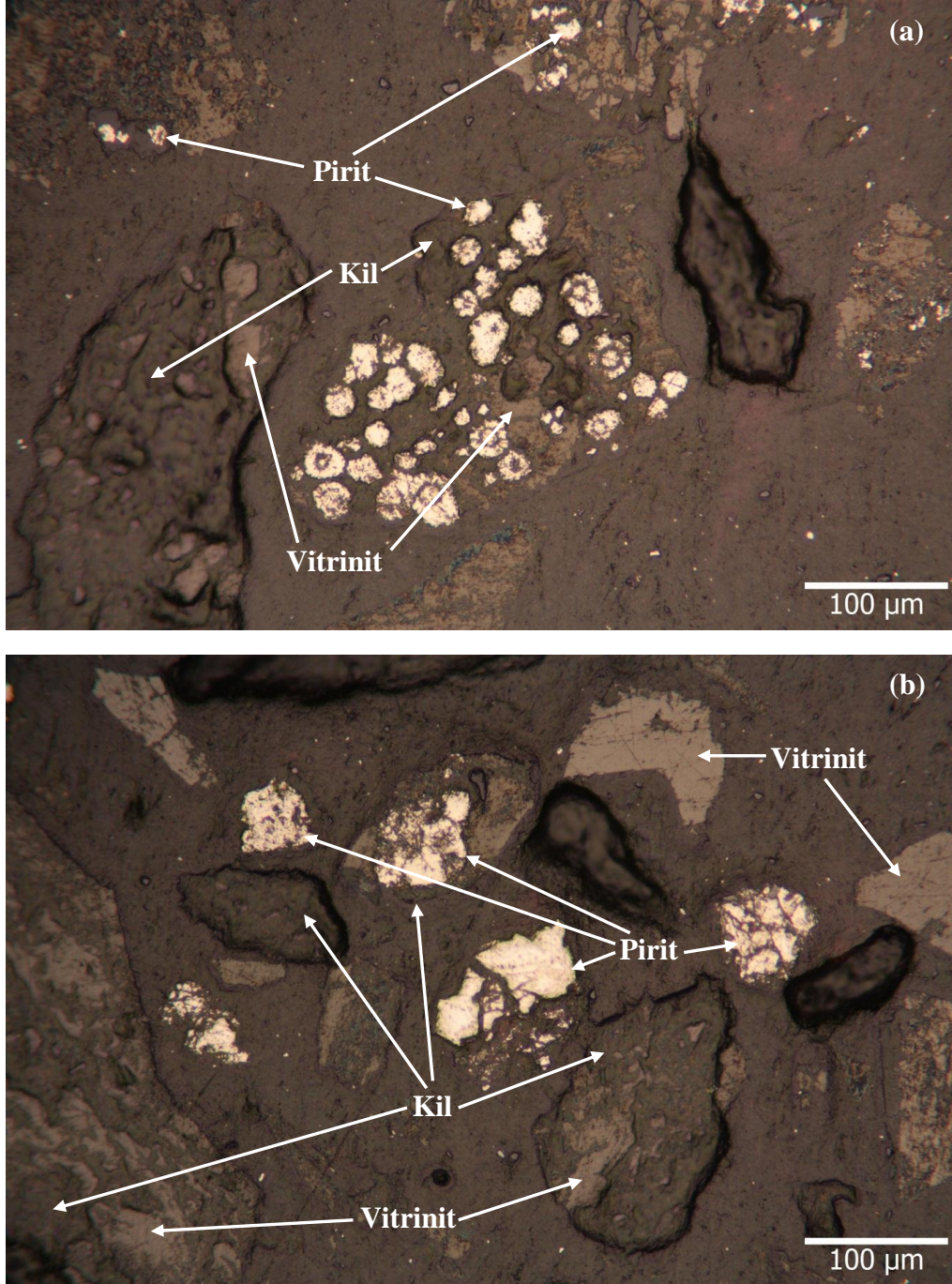
Şekil 3. 29. Aglomerasyon atığının XRD grafiği

Aglomerasyon konsantresinden yapılan parlak kesit incelendiğinde, çoğunlukla kömürden oluştuğu, ancak gang minerallerinin de az da olsa konsantreye geldiği görülmektedir (Şekil 3.30a,b). Parlak kesitte de, gang minerallerinin miktarlarının besleme ve atıktakilere oranla az olduğu görülebilir. Diğer bir ifadeyle bu mineraller kömürden başarıyla uzaklaştırılmıştır.



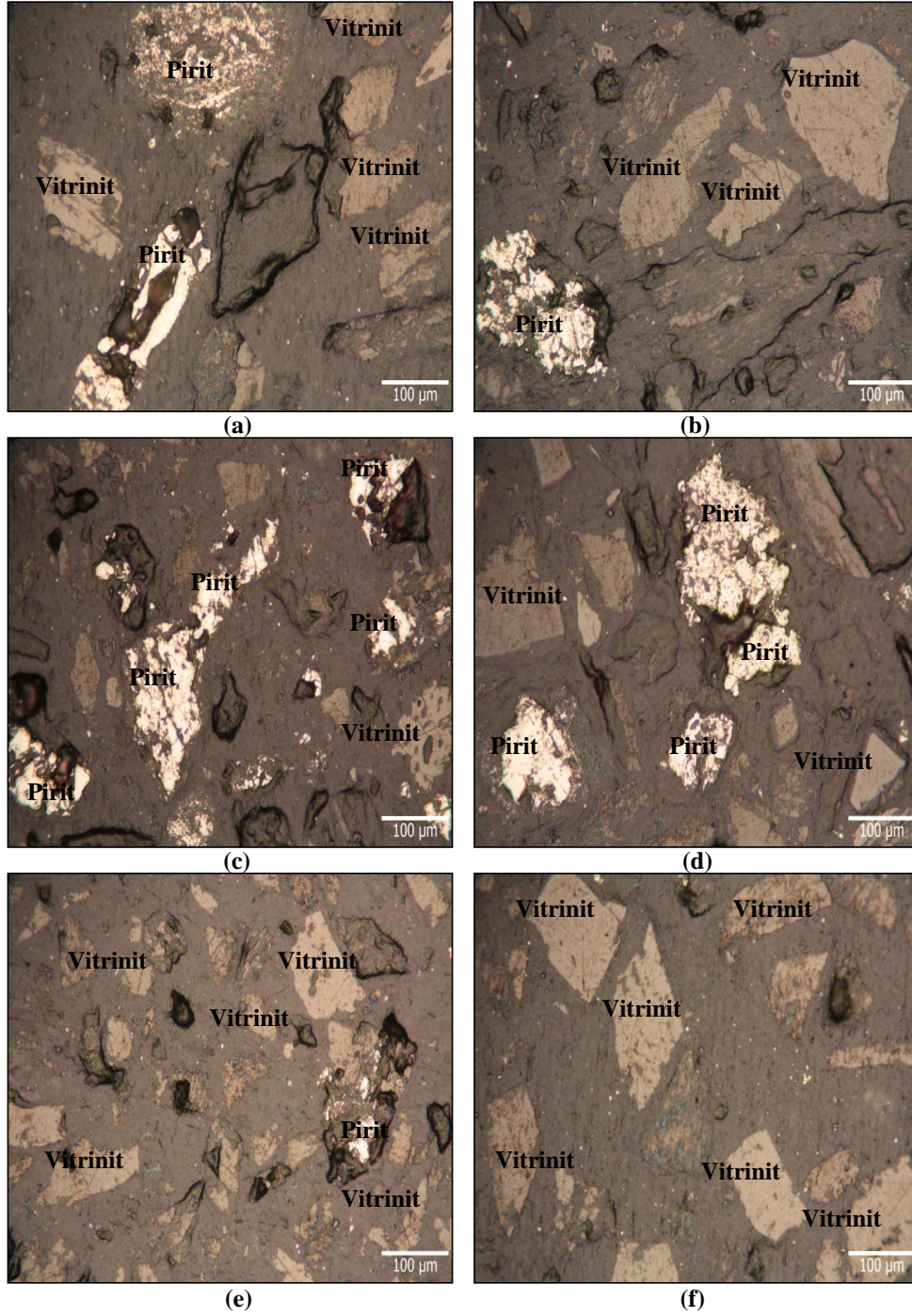
Şekil 3. 30. Aglomerasyon konsantresinin parlak kesitte görünümüleri

Aglomerasyon atığından yapılan parlak kesit incelendiğinde oldukça fazla miktarda gang minerallerinin atıkta toplandığı, gang minerallerinin yanı sıra az miktarda kömürün de atığa kaçtığı görülmektedir (Şekil 3.31a,b).



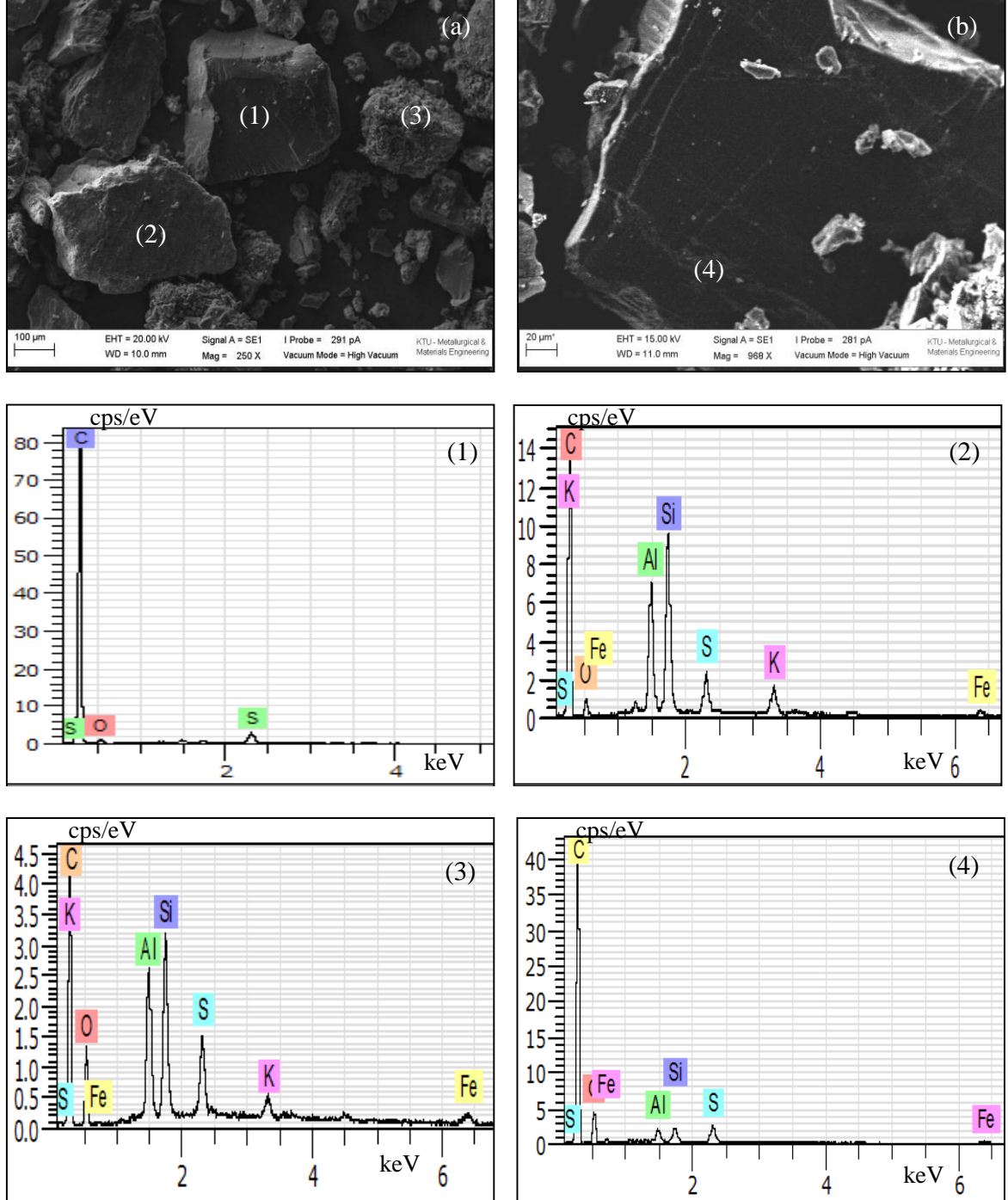
Şekil 3. 31. Aglomerasyon atığının parlak kesitte görünüşleri

Şekil 3.32’de aglomerasyon beslemesinin, atığının ve konsantresinin parlak kesitte görünüşleri hep birlikte karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Konsantrenin parlak kesit görünümünden de Müzret kömürü içerisindeki piritin büyük miktarlarda uzaklaştırıldığı açık olarak görülmektedir.

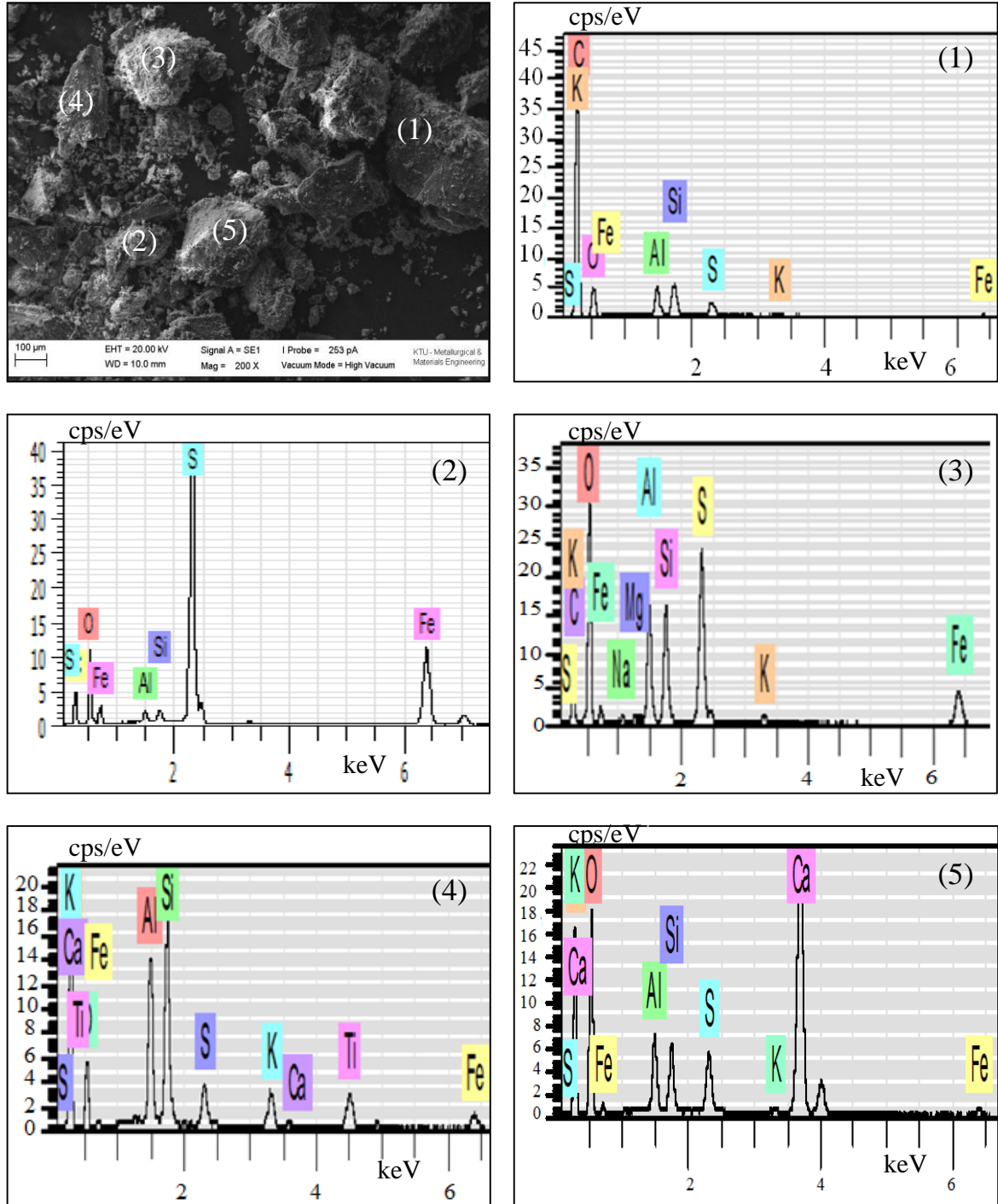


Şekil 3. 32. Aglomerasyon beslemesi (a, b), atığı (c, d) ve konsantresi (e, f)'nin parlak kesit fotoğrafları

Şekil 3.33a,b ve Şekil 3.34'deki konsantre ve atığın SEM-EDS analizlerinden de gang minerallerinin atıkta toplandığı ve konsantreden büyük ölçüde uzaklaştığı görülebilir.



Şekil 3. 33. Aglomerasyon konsantresinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri

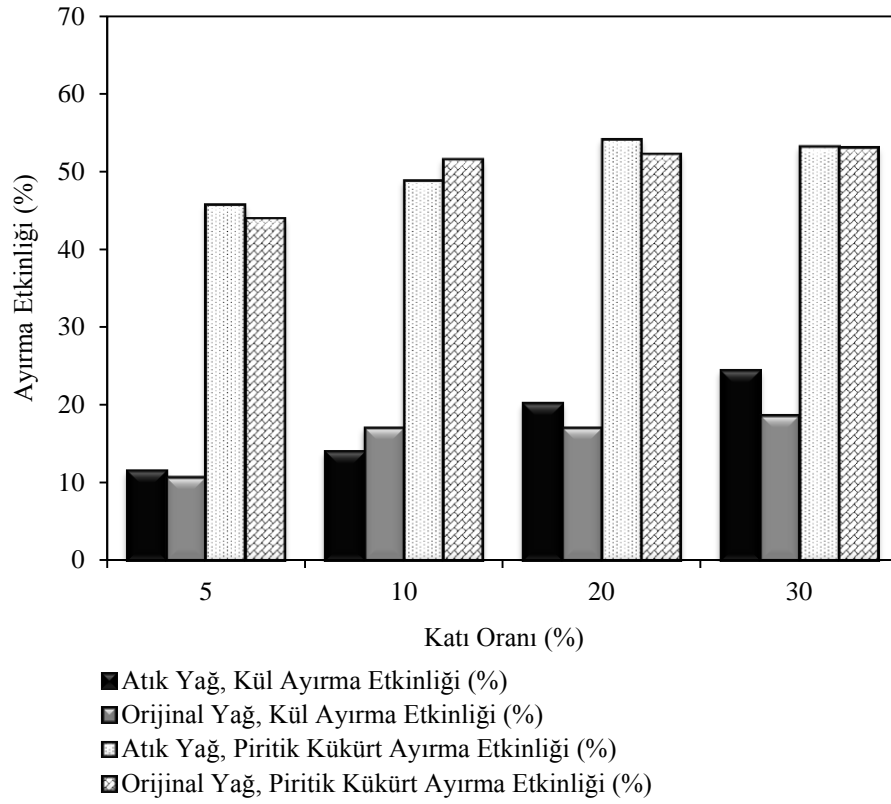


Şekil 3. 34. Aglomerasyon atığının SEM görüntüsü ve EDS analizleri

3.1.9. Atık Ayçiçek Yağı ile Orijinal Ayçiçek Yağının Karşılaştırılması

Atık ayçiçek yağı ile orijinal ayçiçek yağının aglomerasyon işlemindeki performanslarının karşılaştırılması dört parametre için yapılmıştır. Bu parametreler katı oranı, yağ oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresidir. Karşılaştırma için kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri esas alınmıştır.

Farklı katı oranlarında atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri Şekil 3.35’de görülmektedir.

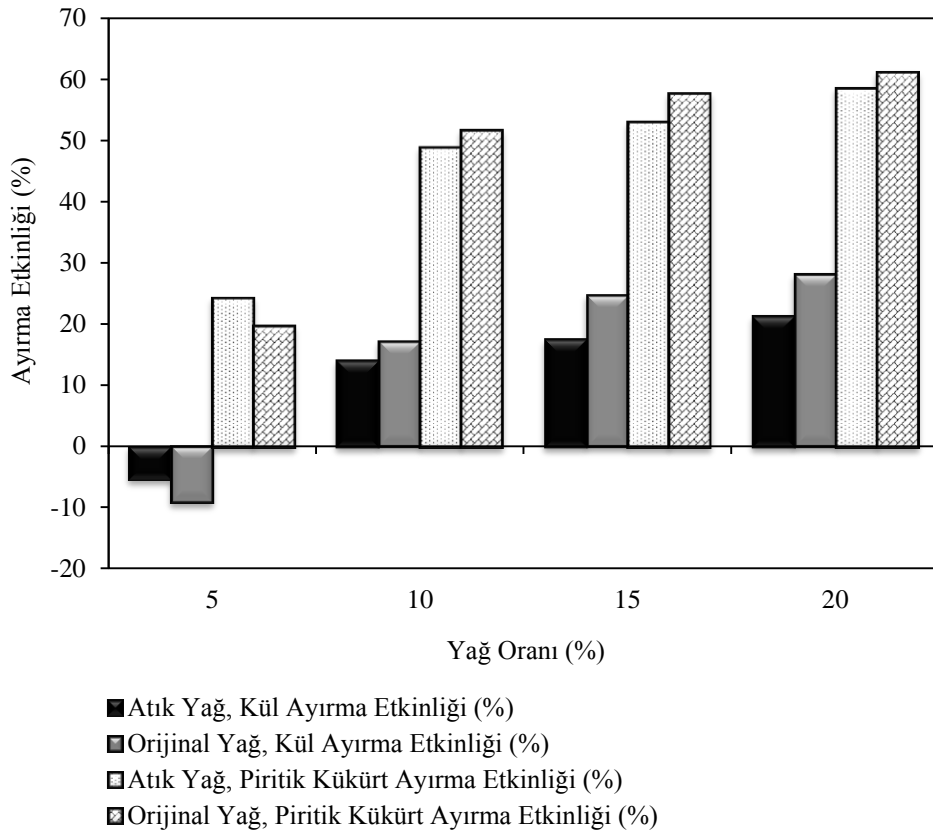


Şekil 3. 35. Katı oranına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması

En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri atık yağ ile elde edilmiş olup bu değerler sırasıyla %24 ve %54’dır. Atık yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %12-24 ve %46-54 arasında değişmektedir. Orijinal yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %11-19 ve %44-53 arasında değişmektedir.

Katı oranının artışına bağlı olarak, atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde yanabilir verim artarken kül uzaklaştırma oranı azalmaktadır. Piritik kükürt uzaklaştırma oranı ise orijinal ayçiçek yağında azda olsa azalırken atık ayçiçek yağında genel olarak azalmaktadır. Yüzdesele olarak en fazla değişim yanabilir verimde görülmektedir. Bunun sonucunda katı oranının artışına bağlı olarak her iki yağ içinde kül ayırma etkinlikleri artmaktadır. Piritik kükürt ayırma etkinliği ise orijinal ayçiçek yağında artarken atık ayçiçek yağında genel olarak artmaktadır. Ayırma etkinlikleri karşılaştırıldığında genel olarak birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni ise, orijinal ayçiçek yağı ile atık ayçiçek yağının yoğunluk ve yüzey gerilimi değerlerinin aynı olmasıyla açıklanabilir. Az da olsa aradaki bazı farklılıkların yağların viskozitelerinin farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

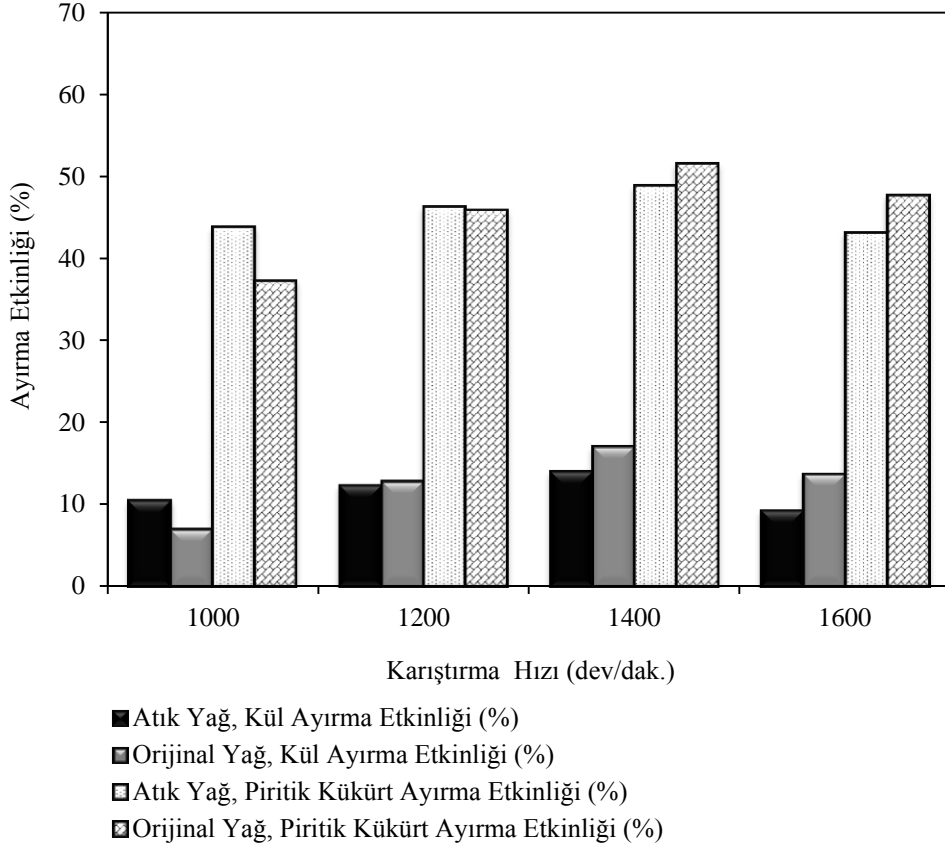
Yağ oranının değişimine bağlı olarak atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri Şekil 3.36'da görülmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri orijinal yağ ile elde edilmiş olup bu değerler sırasıyla %28 ve %61'dir. Atık yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %-5-21 ve %24-59 arasında değişmektedir. Orijinal yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %-9-28 ve %20-61 arasında değişmektedir. Yağ oranının artışına bağlı olarak, atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde yanabilir verim artmaktadır. Her ne kadar kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarında da değişimler olsa da bu değişim yanabilir verimdeki değişim kadar olmamaktadır. Bunun neticesinde de yağ oranının artışına bağlı olarak her iki yağ içinde kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri artmaktadır. Bu yağların ayırma etkinlikleri karşılaştırıldığında sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte genel olarak orijinal ayçiçek yağı ile elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise orijinal ayçiçek yağının viskozitesinin atık ayçiçek yağından daha az olmasıdır. Orijinal ayçiçek yağının ortamda daha iyi dağılması sonucu oluşan aglomeratlar kömür-yağ temas yüzeyinin fazla olması sebebiyle daha sağlam olmuş, ayrıca aralara mineral madde kaçağı az olmuştur.



Şekil 3. 36. Yağ oranına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması

Karıştırma hızı değişimine bağlı olarak atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri Şekil 3.37'de görülmektedir. Bu yağlar, ayırma etkinliklerine göre karşılaştırıldığında en yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri orijinal yağ ile elde edilmiş olup bu değerler sırasıyla %17 ve %52'dir. Atık yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %9-14 ve %43-49 arasında değişmektedir. Orijinal yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %7-17 ve %37-52 arasında değişmektedir. Yanabilir verim 1400 dev/dak. karıştırma hızına kadar artmaktadır. Daha yüksek hızda oluşan aglomeratların parçalanmaya başlamalarından dolayı azalma başlamaktadır. Karıştırma hızının değişmesiyle kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarında da değişimler olsa da bu değişim yanabilir verimdeki değişim kadar olmamaktadır. Karıştırma hızının artışıyla birlikte 1400 dev/dak.'ya kadar kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri her iki yağ için de artmakta iken daha sonraki karıştırma hızında azalmaktadır. Ayırma etkinlikleri karşılaştırıldığında sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte, düşük karıştırma hızlarında

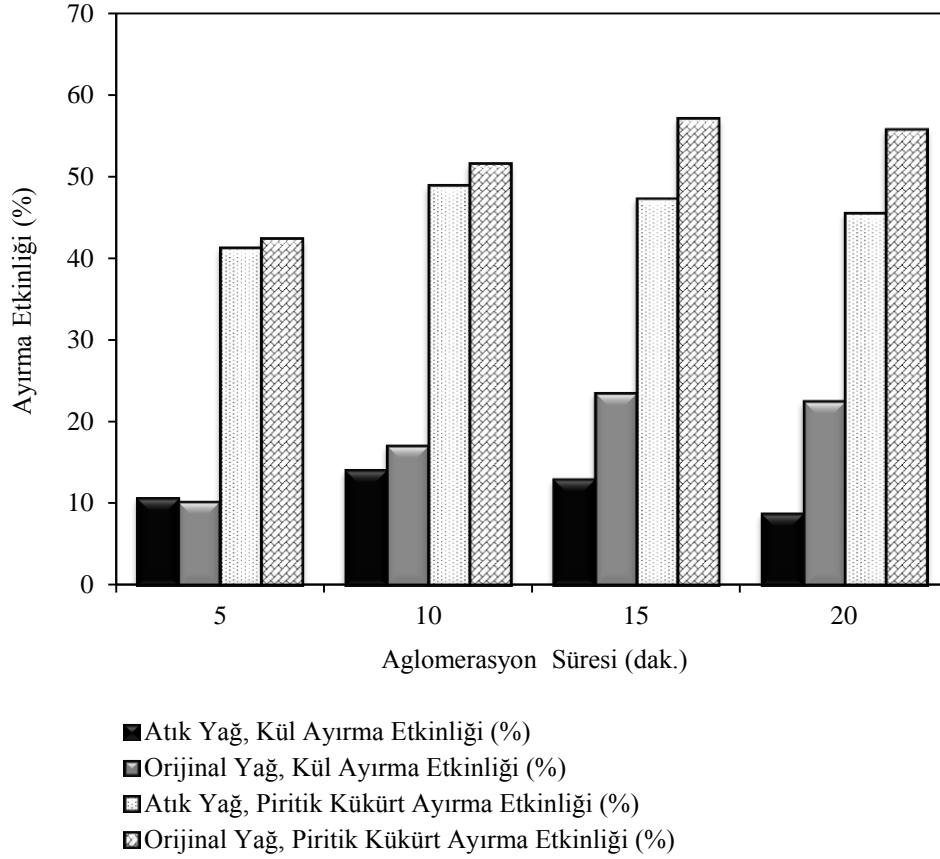
genel olarak (1000-1200 dev/dak.) atık ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde daha iyi sonuçlar alınırken yüksek karıştırma hızlarında (1400-1600 dev/dak.) orijinal ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.



Şekil 3. 37. Karıştırma hızına göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması

Aglomerasyon süresi değişimine göre atık yağ ve orijinal yağın kullanıldığı aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri Şekil 3.38'de görülmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri orijinal yağ ile elde edilmiş olup bu değerler sırasıyla %23 ve %57'dir. Atık yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %9-14 ve %41-49 arasında değişmektedir. Orijinal yağ ile elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %10-23 ve %42-57 arasında değişmektedir. Aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak, atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde yanabilir verim önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak kül ve piritik kükürt

ayırma etkinlikleri değerlerini etkilemektedir. Atık yağ ile yapılan aglomerasyon deneylerinde 10 dak.'ya kadar kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir. Orijinal yağ ile yapılan deneylerde ise 15 dak.'ya kadar kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir. Bu yağların ayırma etkinlikleri karşılaştırıldığında 5-10 dak.'lık aglomerasyon sürelerinde sonuçların birbirine yakın olduğu 15-20 dak.'lık aglomerasyon sürelerinde orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon deneylerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Orijinal yağın viskozitesi daha az olduğu için sürenin artışına bağlı olarak yağın pülp içinde daha iyi dağıldığını ve de kömür taneciklerinin yağ ile temas etmeleri için daha fazla şans bulunduğu söylenebilir.



Şekil 3. 38. Aglomerasyon süresine göre, atık yağ ve orijinal yağ ile yapılan aglomerasyon işlemlerinin kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin karşılaştırılması

3.2. Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Yağ Aglomerasyonunda Kullanımı

3.2.1. Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Yüzey Özelliklerine Etkisi

Ses ötesi dalgaların aglomerasyonda kullanılmasının da ilk hedef bu dalgaların kömürün yüzey özelliklerini değiştirmesi ve bu değişikliğin aglomerasyon üzerinde olumlu etkisinin sağlanmasıdır. Bu amaçla detayı “Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı” kısmında anlatıldığı şekilde, kömürler ses ötesi dalga işlemine maruz bırakılarak (Şekil 3.39) aglomerasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar konvansiyonel aglomerasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Amaç kömürün yüzey özelliklerini değiştirmesi olmasına rağmen, kömürün parçalandığı ve tane boyutunun küçüldüğü de gözlemlendiğinden ses ötesi dalgalara maruz bırakılan kömürlerin elek analizinde yapılmıştır (Tablo 3.2). Ses ötesi dalga işleminin tane boyu fraksiyonlarına göre kül ve piritik kükürt içeriğine etkisi de incelenmiştir (Tablo 3.3). Ses ötesi dalgaların kömürün yüzey özelliklerine etkisini anlamak için ses ötesi dalgalarla işlem görmemiş ve işlem görmüş kömür tanelerinin SEM fotoğrafları çekilerek ses ötesi dalgaların etkisiyle oluşan kavitasyon kabarcıklarının etkisi araştırılmıştır (Şekil 3.40).



Şekil 3. 39. Kömür-su karışımının ses ötesi dalga işlemine tabi tutulması

Tablo 3. 2. Ses ötesi dalga işleminin kömür tane boyu dağılımına etkisi (Süre: 5 dak.)

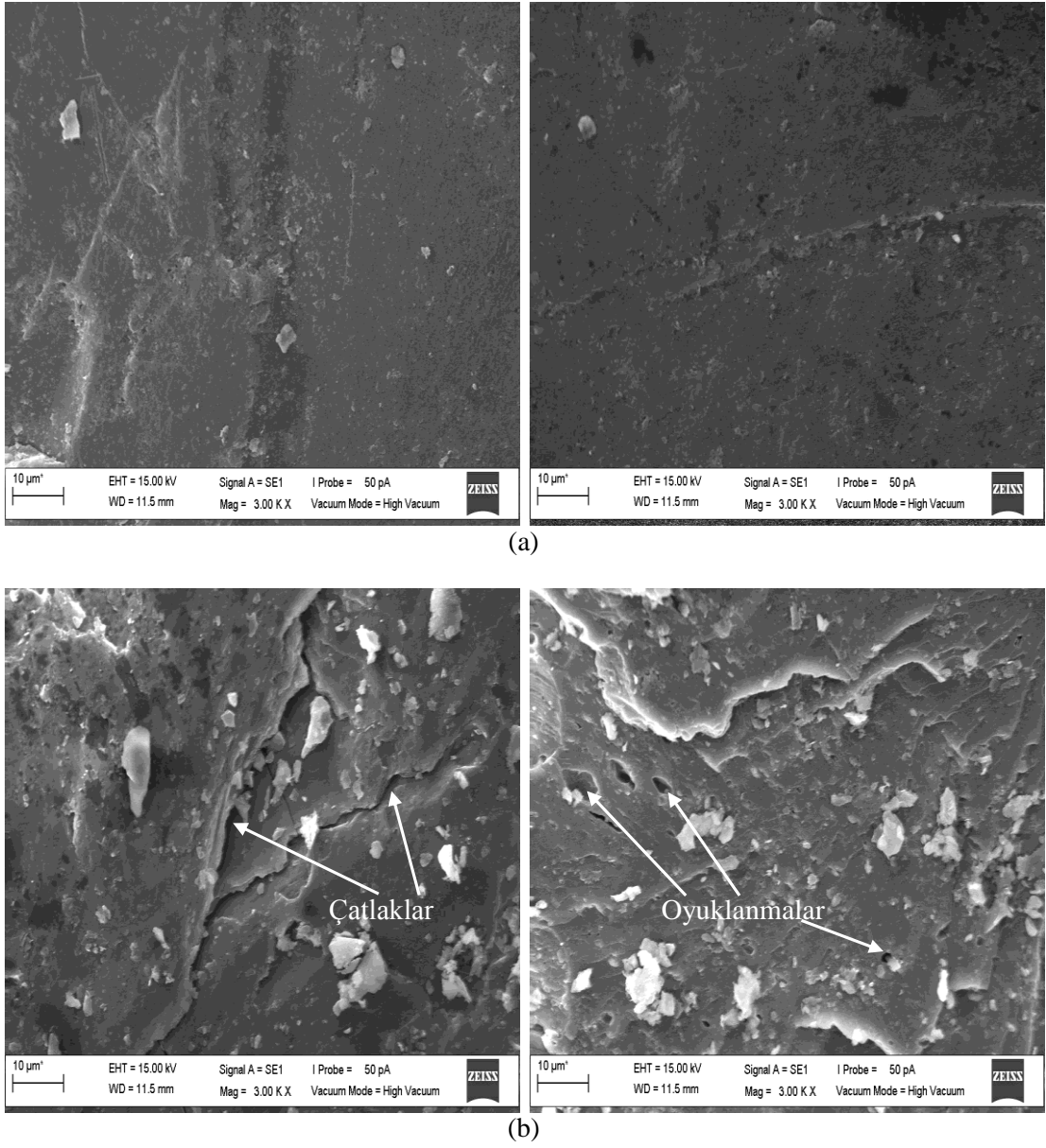
Kömür Tane Boyutu (mm)	Ses Ötesi Dalga Yok	Ses Ötesi Dalga 9,5 watt/cm ²	Ses Ötesi Dalga 28,5 watt/cm ²	Ses Ötesi Dalga 45,7 watt/cm ²	Ses Ötesi Dalga 72,8 watt/cm ²
	Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	Ağırlık (%)
-0,5+0,3	22,16	19,93	16,64	14,89	12,83
-0,3+0,212	17,54	15,98	14,30	14,74	16,81
-0,212+0,15	14,11	12,13	17,97	14,55	15,85
-0,15+0,106	10,10	9,24	11,73	10,33	9,65
-0,106+0,053	15,93	20,62	16,38	20,56	18,23
-0,053	20,16	22,10	22,98	24,93	26,63

Tablo 3.2'den görüldüğü gibi ses ötesi dalga işleminde güç arttıkça -0,5+03 mm aralığındaki örnek miktarı azalmaktadır. Ses ötesi dalga yokken -0,5+03 mm boyut aralığında %22,16 olan örnek miktarı ses ötesi dalga gücü 72,8 watt/cm² olduğunda %12,83'e düşmektedir. Bu sonuç ses ötesi dalgaların taneleri kırma etkisini göstermektedir. Ses ötesi dalgalar kullanıldığında daha küçük elek boyutu fraksiyonlarında örnek miktarı da artmıştır.

Tablo 3. 3. Ses ötesi dalga işleminin kömür tane boyu fraksiyonlarına göre kül ve piritik kükürt içeriğine etkisi (72,8 watt/cm² gücünde 5 dak.)

Kömür Tane Boyutu (mm)	Ses Ötesi Dalga Yok		Ses Ötesi Dalga 72,8 watt/cm ²	
	Kül Kuru Bazda (%)	Piritik Kükürt Kuru Bazda (%)	Kül Kuru Bazda (%)	Piritik Kükürt Kuru Bazda (%)
-0,5+0,3	35,30	6,88	33,97	7,97
-0,3+0,212	34,02	5,76	33,70	6,58
-0,212+0,15	34,06	5,43	33,40	5,49
-0,15+0,106	32,20	5,36	32,07	5,28
-0,106+0,053	34,01	4,75	33,10	4,50
-0,053	41,09	4,10	40,08	4,06

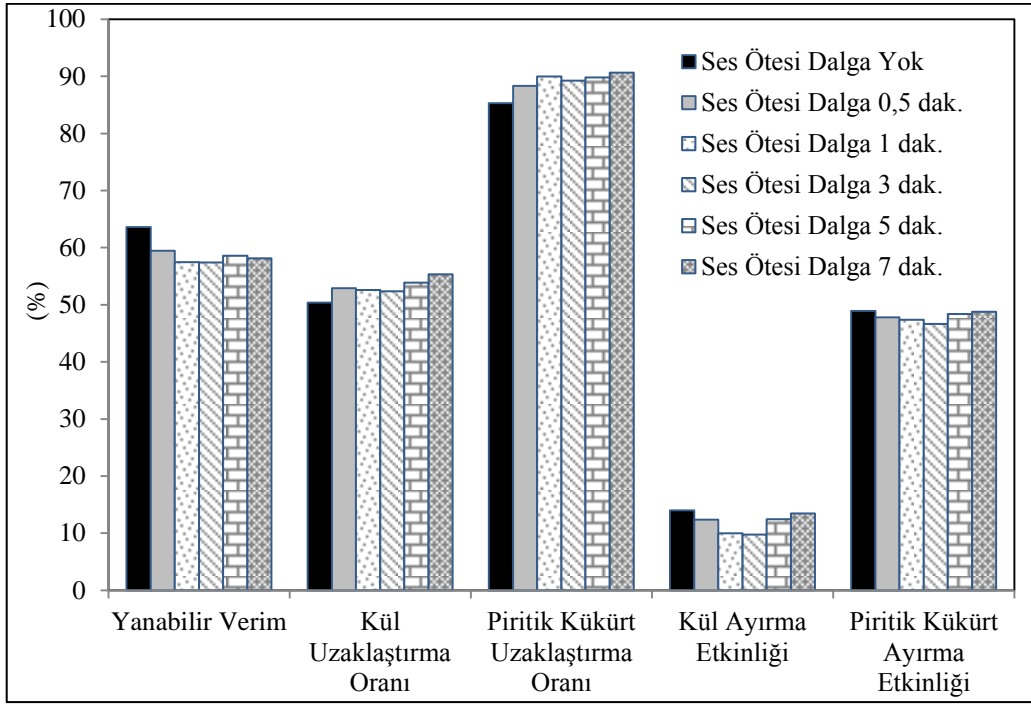
Kırma işleminden pirit tanelerinin daha az etkilendiği Tablo 3.3'den açıkça görülebilmektedir. Ses ötesi dalga işleminden önce -0,5+0,3 mm aralığında piritik kükürt %6,88 iken ses ötesi dalga işleminden sonra bu oran %7,97 olmuştur. Ses ötesi dalga işlemiyle kırılan kömür tanelerinin daha düşük elek fraksiyonlarında (-0,15 mm'nin altında) yer almasıyla düşük boyutlarda kül ve piritik kükürt yüzdesini azaltmaktadır.



Şekil 3. 40. Kömür tanelerinin SEM fotoğrafları: (a) ses ötesi dalgalarla işlem görmemiş kömür taneleri, (b) ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür taneleri (72,8 watt/cm² gücünde 5 dak.)

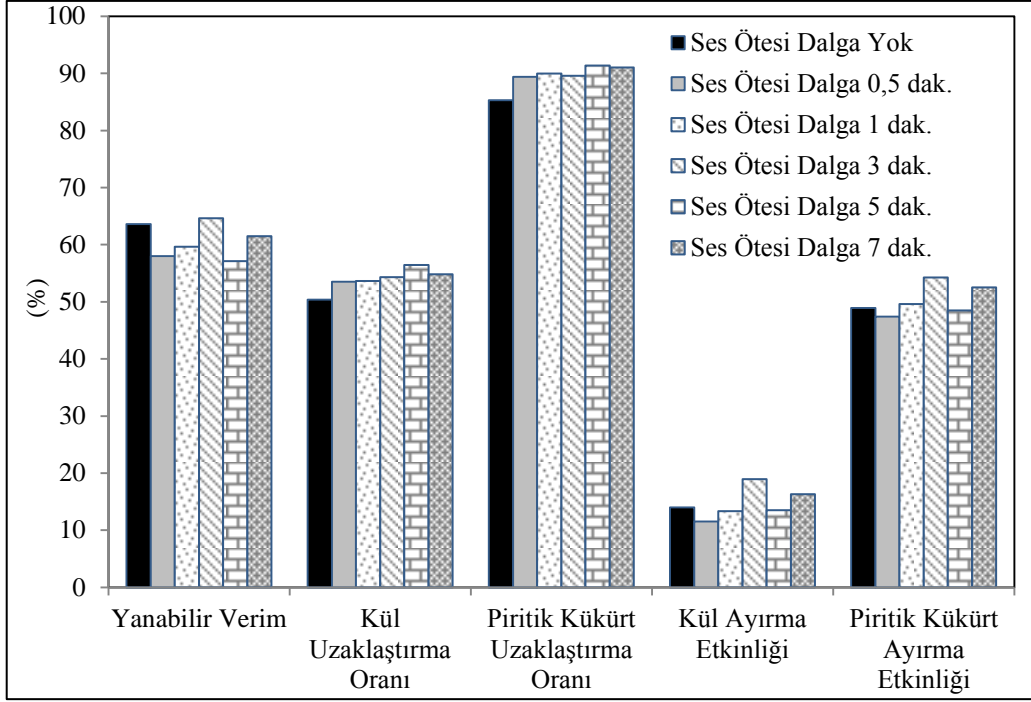
Ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür taneleri yüzeyinde kavitasyon kabarcıkları etkisiyle çatlaklar ve oyuklanmalar oluşmaktadır. Bu işlem kömür tanelerinin kırılmasına da yol açmaktadır. Şekil 3.40b'de kömür taneleri yüzeyinde oluşan çatlaklar ve oyuklanmalar görülmektedir. Bu oyuklanmalar kömür yüzeyinde taze yeni yüzeylerin oluşması anlamına geldiği gibi sebep oldukları çatlamlar kömürün ortamda kolayca kırılarak tane boyutunun düşmesine ve aynı şekilde yeni yüzey oluşumuna sebep olmaktadır.

Ses ötesi dalga gücü $9,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.41'de görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %59, %55 ve %91'dir. Yanabilir verim %57-59, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %52-55 ve %88-91 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %13 ve %49'dır. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %10-13 ve %47-49 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 41. Ses ötesi dalga gücü $9,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

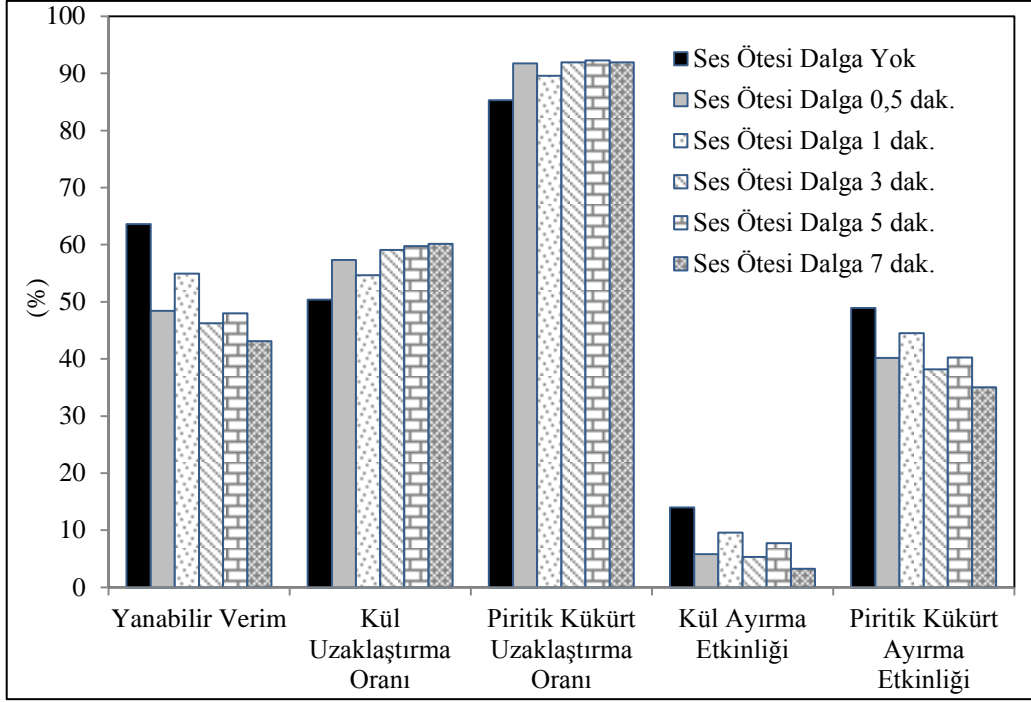
Ses ötesi dalga gücü $28,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.42'de görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %65, %56 ve %91'dir. Yanabilir verim %57-65, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %54-56 ve %89-91 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %19 ve %54'dır. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %12-19 ve %47-54 arasında değişmektedir.



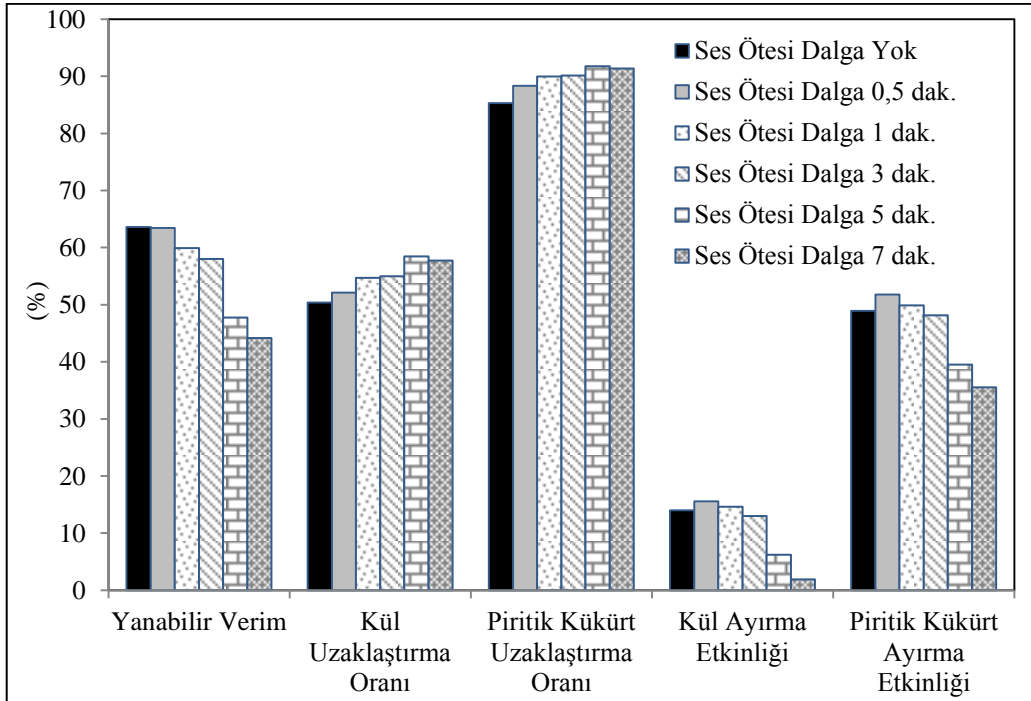
Şekil 3. 42. Ses ötesi dalga gücü $28,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Ses ötesi dalga gücü $45,7 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.43'de görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %55, %60 ve %92'dir. Yanabilir verim %43-55, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %55-60 ve %90-92 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %10 ve %45'dir. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %3-10 ve %35-45 arasında değişmektedir.

Ses ötesi dalga gücü $72,8 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.44'de görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %63, %58 ve %92'dir. Yanabilir verim %44-63, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %52-58 ve %88-92 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %16 ve %52'dir. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %2-16 ve %36-52 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 43. Ses ötesi dalga gücü 45,7 watt/cm² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması



Şekil 3. 44. Ses ötesi dalga gücü 72,8 watt/cm² olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Ses ötesi dalgaların kömürün yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanıldığı aglomerasyonda elde edilen sonuçlar konvansiyonel aglomerasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; yanabilir verimin genel olarak konvansiyonel yağ aglomerasyonunda daha fazla olduğu görülmüştür. Ses ötesi dalgaların kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde ses ötesi dalga gücü arttıkça özellikle uzun sürelerde (5; 7 dak.) yanabilir verim düşmektedir. Bunun sebebi güç artışıyla birlikte kömür tane boyutunun azalması ve oluşan aglomeratların tane boyutunun aglomerat kazanım eleği boyutundan daha küçük kalmasıyla açıklanabilir. Süre artışının düşük güçlerde (9,5; 28,5 watt/cm²) yanabilir verimi çok fazla etkilemediği yüksek güçlerde ise yanabilir verimi düşürdüğü görülmüştür. Sürenin bu etkisi güç etkisinde olduğu gibi tane boyutunun küçülmesinin artışıyla açıklanabilir. Ses ötesi dalgalar kullanıldığında kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının konvansiyonel yağ aglomerasyonuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ses ötesi dalga işlemi ile kömürle birlikte bulunan kil ve pirit minerallerinin kömürden uzaklaştırılmasıyla açıklanabilir. Ses ötesi dalgalar pirit ve diğer mineral maddelerin kömürden serbestleşmesini sağlamaktadır. Kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının ses ötesi dalga gücünün artışıyla pek fazla değişmediği, aynı güçlerde ise sürenin artışıyla arttığı görülmüştür. Bu durum kül ve piritik kükürt uzaklaştırma da uygulanan ses ötesi dalga uygulaması süresinin ses ötesi dalga gücünden daha önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ses ötesi dalgaların kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde güç ve süre arttıkça elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri konvansiyonel yağ aglomerasyonuna göre daha az olmuştur. Bunun nedeni her ne kadar ses ötesi dalgalar kullanıldığında yüksek güç ve sürelerde kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları artsa da bu artışın yanabilir verimdeki azalmadan daha fazla olmamasıyla açıklanabilir. En yüksek güçte (72,8 watt/cm²) ve düşük sürelerde (0,5; 1 dak.) elde edilen kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri konvansiyonel yağ aglomerasyonuna göre daha fazla olmuştur.

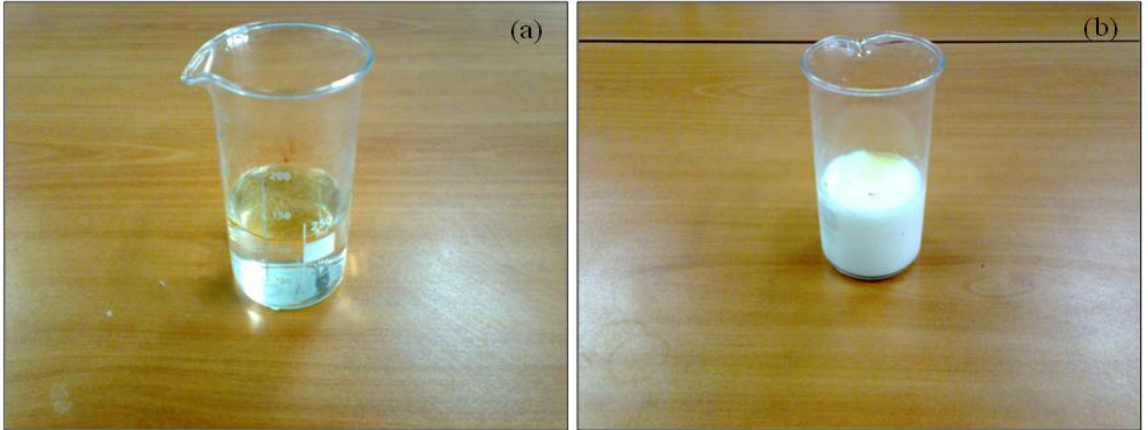
3.2.2. Ses Ötesi Dalgaların Yağın Dağılmasına Etkisi

Aglomerasyon işleminde kullanılan yağın ortamda daha iyi emülsiyeye edilmesi amacıyla ses ötesi dalgaları kullanılmıştır. Şekil 3.45’de atık yağın ses ötesi dalga ile emülsiyeye edilmesi görülmektedir. Detaylı olarak “Aglomerasyon Deneylerinin Yapılışı” kısmında anlatıldığı üzere aglomerasyon işleminden önce yağ ses ötesi dalga ile emülsiyeye edilerek aglomerasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar konvansiyonel

aglomerasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 3.46'da su-yağ karışımı ve emülsiyeye edilmiş su-yağ karışımı görülmektedir.



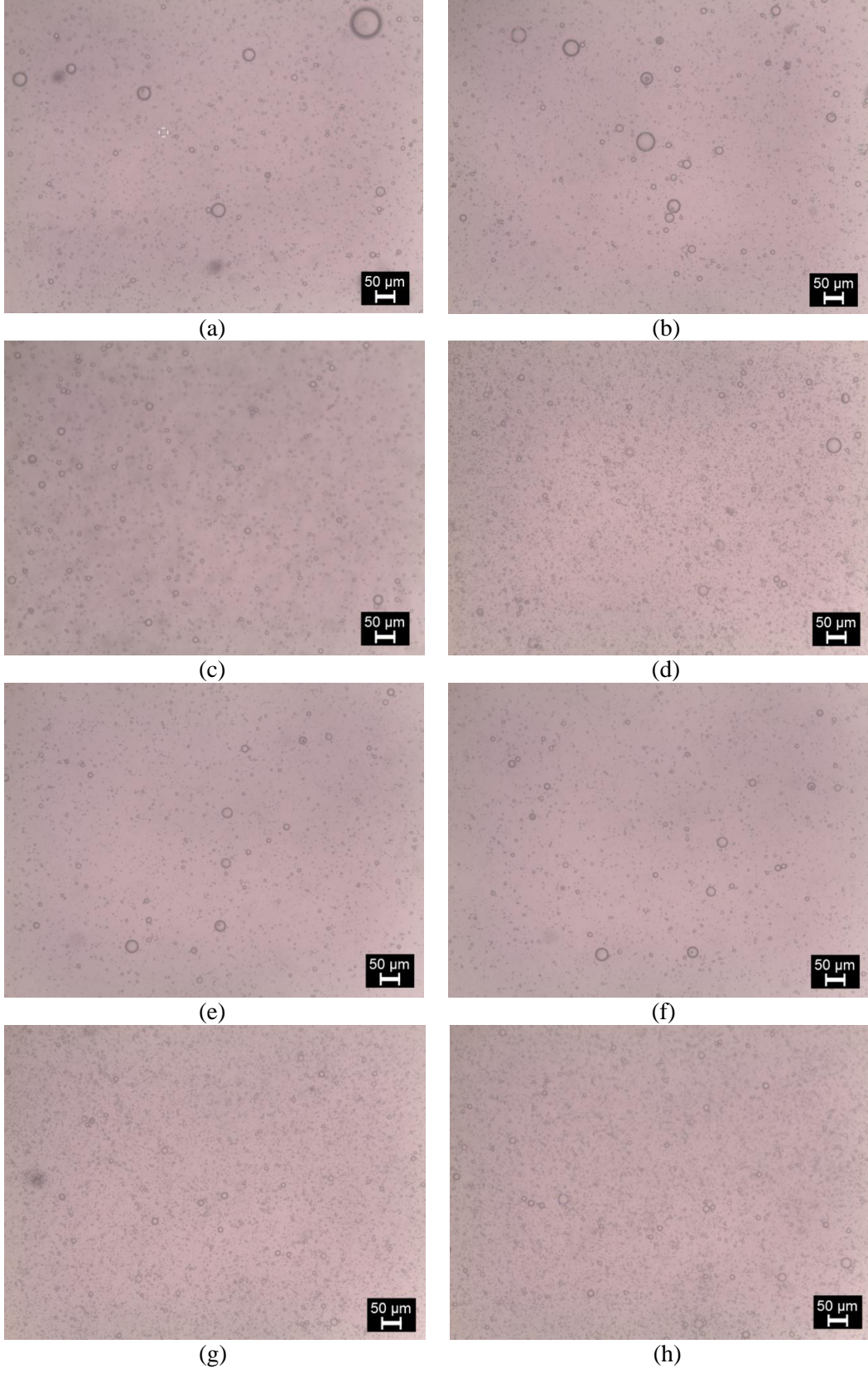
Şekil 3. 45. Atık yağın ses ötesi dalga ile emülsiyeye edilmesi



Şekil 3. 46. Su-yağ karışımı (a), emülsiyeye edilmiş su-yağ karışımı (b)

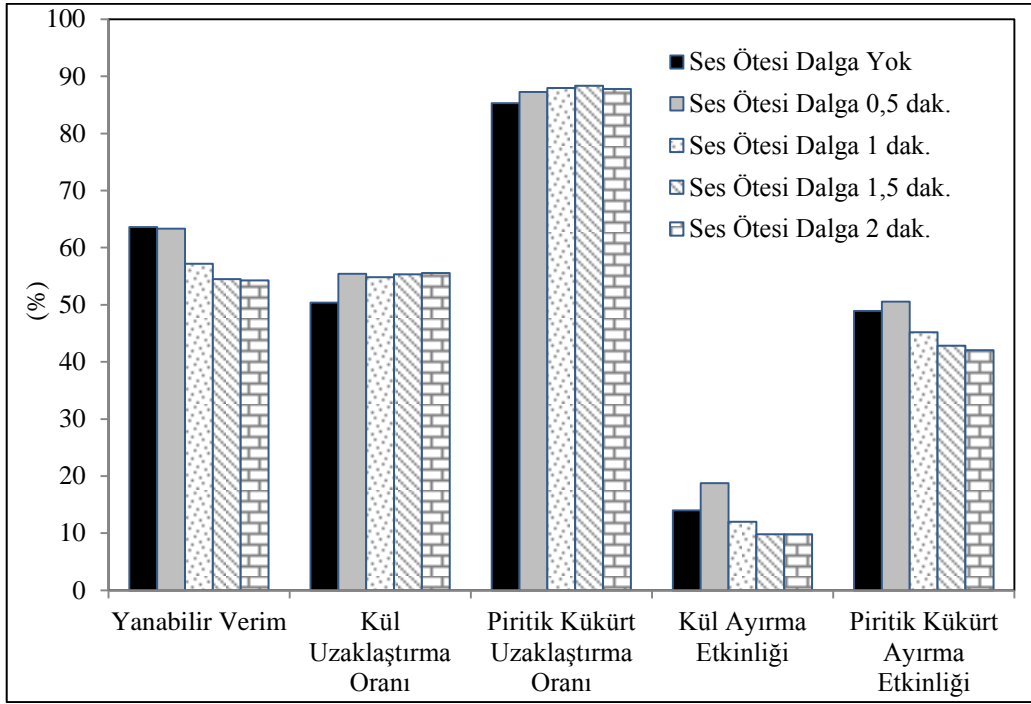
Şekil 3.46a'da su-yağ karışımında yağın suyun üst kısmında toplandığı, Şekil 3.46b'de ses ötesi dalgalarla emülsiyeye edilmiş yağın suyun içerisinde dağıldığı ve renginin beyaz olduğu görülmektedir.

Farklı güç ve sürelerde emülsiyeye edilen atık yağın mikroskop görüntüleri Şekil 3.47'de görülmektedir (Emülsiyeye edilmiş yağların mikroskop görüntüleri LEICA DM4000 M Optik Mikroskop'da çekilmiştir). Şekilde görüleceği üzere güç ve süre arttıkça yağların tane boyutunun azaldığı görülmektedir.



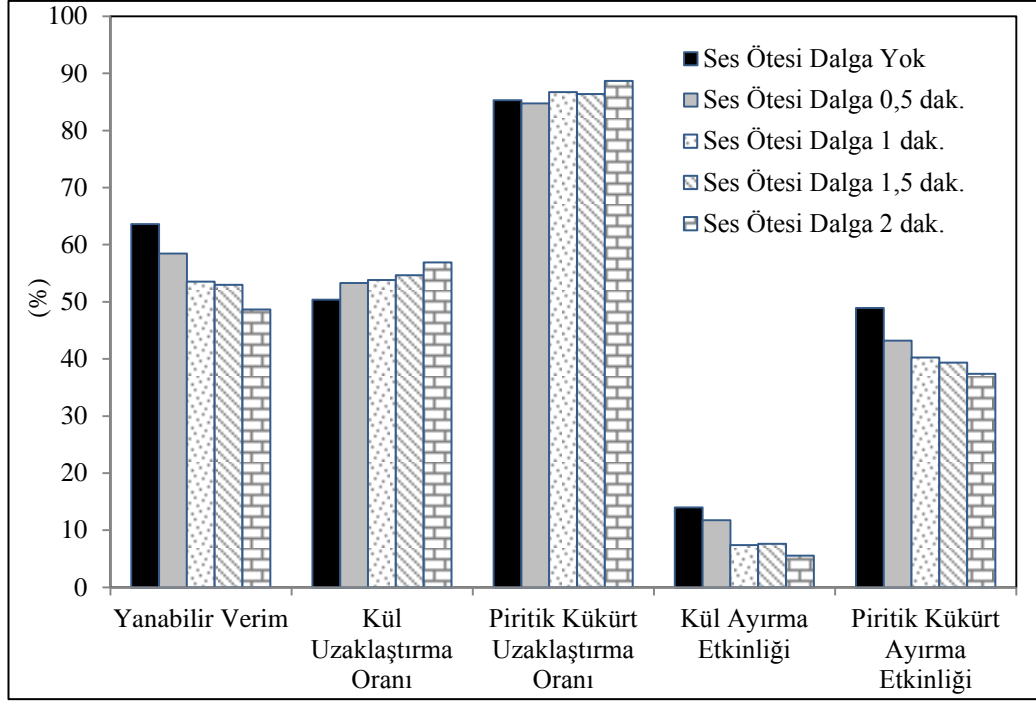
Şekil 3. 47. Farklı güç ve sürelerde emülsiyeye edilen atık yağın mikroskop görüntüleri (a,b: 9,5 watt/cm² gücünde 30 saniye; c,d: 9,5 watt/cm² gücünde 2 dakika; e,f: 28,5 watt/cm² gücünde 30 saniye; g,h: 28,5 watt/cm² gücünde 2 dakika)

Ses ötesi dalga gücü $9,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.48'de görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %63, %56 ve %88'dir. Yanabilir verim %54-63, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %55-56 ve %87-88 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %19 ve %51'dir. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %10-19 ve %42-51 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 48. Atık yağın emülsiyeye edilmesinde ses ötesi dalga gücü $9,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Ses ötesi dalga gücü $28,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen aglomerasyon sonuçları Şekil 3.49'da görülmektedir. En yüksek yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %58, %57 ve %89'dur. Yanabilir verim %49-58, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %53-57 ve %85-89 arasında değişmektedir. En yüksek kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri sırasıyla %12 ve %43'dur. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %6-12 ve %37-43 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 49. Atık yağın emülsiyeye edilmesinde ses ötesi dalga gücü $28,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Ses ötesi dalgaların yağ emülsifikasyonu için kullanıldığı aglomerasyonda elde edilen sonuçlar konvansiyonel aglomerasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; yanabilir verimin konvansiyonel yağ aglomerasyonunda daha fazla olduğu görülmüştür. Ses ötesi dalgalar ile atık yağın emülsiyeye edildiği aglomerasyon deneylerinde güç ve süre artışına bağlı olarak yanabilir verimin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi güç ve süre artışıyla birlikte yağların tane boyutunun çok küçülmesidir. Dolayısıyla yağların tane boyutunun çok fazla küçülmesi daha iri boyutlu ($-0,5 \text{ mm}$) kömür tanelerini yüksek verimle aglomera edememektedir. Yağlar emülsiyeye edilince kömür-yağ teması daha iyi oluşsa da kömür boyutunun fazla oluşu sonucu kömürün ağırlığından kaynaklanan yerçekimi kuvveti kömür-yağ arasındaki bağ kuvvetini yenerek iri boyutlu kömürün aglomeratlardan ayrılmasına yol açmaktadır. Emülsiyeye edilmiş yağlarla yapılan aglomerasyon deneylerinde konvansiyonel aglomerasyon deneylerine göre daha fazla kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları elde edilmiştir. Kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının artması çok küçük boyuttaki yağ damlacıklarının oluşan aglomeratlar arasına girerek kül yapıcı mineral maddelerin (kil mineralleri, pirit vb.) aglomeratların arasına girmesini engellemesinden kaynaklanmaktadır. Ses ötesi dalga gücü $9,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda sürenin artışıyla birlikte kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının çok fazla değişmediği görülmüştür. Ses ötesi

dalga gücü $28,5 \text{ watt/cm}^2$ olduğunda sürenin artışıyla birlikte kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarının arttığı bulunmuştur. Bunun sebebi $28,5 \text{ watt/cm}^2$ gücünde süre artışıyla birlikte yağların tane boyutunun çok daha küçülmesiyle birlikte ortamda çok daha fazla yağ tanelerinin bulunması ve bu yağ tanelerinde oluşan aglomeratların aralarına girerek kül yapıcı minerallerin aglomeratlar arasına girmesine engel olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Konvansiyonel yağ aglomerasyonu deneylerinde ses ötesi dalgalarla yağların emülsiyeye edildiği aglomerasyon deneylerine göre genel olarak daha fazla kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerinin elde edildiği görülmüştür. Bu durum, yağ emülsifikasyonu sonucu yanabilir verimin azalmasından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları emülsiyeye edilmiş yağların kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde artsa da, bu artışın yanabilir verimdeki azalmadan daha fazla olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

Elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde;

Maksimum yanabilir verim %85 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: katı oranı: %30; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir. Aynı şartlarda kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %39 ve %68 olurken, kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %24 ve %53 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kül uzaklaştırma oranı %60 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: katı oranı: %10; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; pH: 10; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir. Aynı şartlarda yanabilir verim %42 ve piritik kükürt uzaklaştırma oranı %90 olurken, kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %2 ve %32 olarak belirlenmiştir.

Maksimum piritik kükürt uzaklaştırma oranı %92 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: $45,7 \text{ watt/cm}^2$ gücünde 5 dak. ses ötesi dalga işlemi; katı oranı: %10; atık yağ oranı: %10; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir. Aynı şartlarda yanabilir verim %48 ve kül uzaklaştırma oranı %60 olurken, kül ve piritik kükürt ayırma etkinlikleri ise sırasıyla %8 ve %40 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kül ayırma etkinliği %26 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: katı oranı: %10; atık yağ oranı: %20; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,25 mm'dir. Aynı şartlarda yanabilir verim %70, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %57 ve %89 olurken, piritik kükürt ayırma etkinliği ise %58 olarak belirlenmiştir.

Maksimum piritik kükürt ayırma etkinliği %59 olarak bulunmuştur. Bu sonucun elde edildiği koşullar şunlardır: katı oranı: %10; atık yağ oranı: %20; aglomerasyon süresi: 10 dak.; karıştırma hızı: 1400 dev/dak.; yıkama suyu miktarı: 1,5 lt; aglomerat kazanım eleği boyutu: 0,5 mm; kömür tane boyutu: -0,5 mm'dir. Aynı şartlarda yanabilir verim %75, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %46 ve %83 olurken, kül ayırma etkinliği ise %21 olarak belirlenmiştir.

Yanabilir verimi en fazla etkileyen değişkenler kömür tane boyutu, aglomerat kazanım eleği boyutu, atık yağ oranı, katı oranı, yıkama suyu miktarı ve pH olurken, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarını katı oranı, kömür tane boyutu ve pH değişkenleri daha fazla etkilemiştir. Kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerini en fazla etkileyen değişkenler kömür tane boyutu, aglomerat kazanım eleği boyutu, atık yağ oranı, yıkama suyu miktarı ve pH olmuştur.

4. SONUÇLAR

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

1. Atık ayçiçek yağı kömürün yağ aglomerasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilmekte, yüksek oranlarda yanabilir verim ile yüksek oranlarda kül ve piritik kükürt uzaklaştırılabilmektedir.

2. Maksimum yanabilir verim, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları sırasıyla %85, %60 ve %92 olarak bulunmuştur. Optimum kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranları ise sırasıyla %57 ve %83 olarak belirlenmiştir.

3. Atık ayçiçek yağı ile orijinal ayçiçek yağının aglomerasyon performansları kül ve piritik kükürt ayırma etkinliklerine göre karşılaştırıldığında genel olarak orijinal ayçiçek yağının aglomerasyon performansının biraz daha iyi olduğu belirlenmiştir.

4. Ses ötesi dalgaları, kömür de oyuklanmalar, çatlaklar ve kırılmalar oluşturmaktadır. Bu durum kömürde taze yüzey oluşumunu arttırmakta pirit ve diğer mineral maddelerin kömürden serbestleşmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak ses ötesi dalgalar kömürün yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanıldığında kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarını arttırmakta, fakat tane boyutu küçültme etkisi sebebiyle yanabilir verimi düşürmektedir. Ses ötesi dalga gücü ve süresi arttıkça kömür üzerindeki oyuklanma, çatlama ve parçalanma etkisi artmıştır.

5. Ses ötesi dalgalarla bağlayıcı yağ çok başarılı bir şekilde emülsiyeye edilmekte, çok küçük boyutlu yağ damlacıkları oluşmaktadır. Bu durumun temas yüzey alanını arttırarak daha iyi aglomeratları oluşturması beklentisine rağmen, yanabilir verimde, kül ve piritik kükürt uzaklaştırma oranlarında istenen artış sağlanamamıştır. Ses ötesi dalga gücü ve süresi arttıkça bağlayıcı yağın daha iyi emülsiyeye olduğu ve daha küçük boyutlarda yağ damlacığı oluştuğu gözlenmiştir.

5. ÖNERİLER

1. Ayçiçek yağı dışındaki bitkisel yağların atıklarının da kömürün yağ aglomerasyonunda bağlayıcı yağ olarak aglomerasyon performansı üzerine etkileri araştırılabilir.

2. Bitkisel yağlar farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtılarak, fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yapılarında meydana gelen değişiklikler detaylı olarak incelenebilir ve bu değişikliklerin kömürün yağ aglomerasyonu performansına olan etkileri araştırılabilir.

3. Bitkisel atık yağların, farklı kömür türlerinin temizlenmesinde ve lavvar atıklarından kömürün geri kazanılmasında kullanılabilirliği araştırılabilir.

4. Kömür daha ince tane boylarına indirilerek bu tane boyları için ses ötesi dalgaların aglomerasyon üzerindeki etkileri incelenebilir.

5. Ses ötesi dalgalarının kömür pülünde meydana getirdiği değişiklikler (oksijen içeriği, pH ve sıcaklık vb.) ve bu değişikliklerin kömürün yağ aglomerasyonuna olan etkisi araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abakay, H., Ayhan, F.D. ve Kahraman, F., 2004. Selective Oil Agglomeration in Şırnak Asphaltite Beneficiation, Fuel, 83, 14-15, 2081-2086.
- Abismail, B., Canselier, J.P., Wilhelm, A.M., Delmas, H. ve Gourdon, C., 1999. Emulsification by Ultrasound: Drop Size Distribution and Stability, Ultrasonics Sonochemistry, 6, 1-2, 75-83.
- Aksay, E. K., Arslan, V. ve Polat, H., 2010. Toz Kömürlerin Zenginleştirilmesinde Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ve Yenilikler, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 23, 2, 97-108.
- Aktaş, Z., 2002. Some Factors Affecting Spherical Oil Agglomeration Performance of Coal Fines, International Journal of Mineral Processing, 65,3-4, 177-190.
- Alonso, M.I., Valdes, A.F., Martinez-Tarazone, R.M. ve Garcia, A.B., 1999. Coal Recovery from Coal Fines Cleaning Wastes by Agglomeration with Vegetable Oils: Effects of Oil Type and Concentration, Fuel, 78, 7, 753-759.
- Alonso, M. I., Castano, C. ve Garcia, A. B., 2000. Performance of Vegetable Oils as Flotation Collectors for the Recovery of Coal from Coal Fines Wastes, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 21, 4, 411-420.
- Alonso, M.I., Valdes, A.F., Martinez-Tarazona, R.M. ve Garcia, A.B., 2002. Coal Recovery from Fines Cleaning Wastes by Agglomeration with Colza Oil: A Contribution to the Environment and Energy Preservation, Fuel Processing Technology, 75, 2, 85-95.
- Alp, İ., 1998. Yüksek Frekanslı Ses Dalgalarının Cevher Zenginleştirmede Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- 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, H. ve Çolak, K., Zonguldak, Türkiye.
- Alpar, S.R., Hakdiyen, İ. ve Bigat, T., 1982. Kimyasal Analiz Metotları, Birsen Yayınevi.
- Altun, N.E., Hwang, J.Y. ve Hiçyılmaz, C., 2009. Enhancement of Flotation Performance of Oil Shale Cleaning by Ultrasonic Treatment, International Journal of Mineral Processing, 91, 1-2, 1-13.
- Ambedkar, B., Nagarajan, R. ve Jayanti, S., 2011. Ultrasonic Coal-Wash for De-Sulfurization, Ultrasonics Sonochemistry, 18, 3, 718-726.

- Aslan, N. ve Ünal, İ., 2011. Multi-response Optimization of Oil Agglomeration with Multiple Performance Characteristics, Fuel Processing Technology, 92, 6, 1157-1163.
- ASTM-D 3172-89, Kömür ve Kokun Proksimate Analizinde Standart Metod.
- ASTM-D 3174-89, Kömürün ve Kömürden Elde Edilen Kokun Kül Analizi İçin Standart Metodu.
- ASTM-D 3175-89, Kömür ve Kokun Uçucu Madde Analizinde Standart Metod.
- 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 Yayın No: 34, İstanbul.
- Ateşok, G., 1986. Kömür Hazırlama, 190 s.
- Aybastier, Ö., 2010. Bitkisel Atık Yağların Karakterizasyonu ve Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Aykul, H., Akçakoca, H. ve Bentli, İ., 2004. Seyitömer Linyit İşletmesi (SLİ) Kömürlerinin Beklemeye Bağlı Olarak Isıl Değer Değişimi, Türkiye 14. Kömür Kongresi, Haziran, Zonguldak, Bildiriler Kitabı: 301-309.
- Bajor, O. ve Trass, O., 1988. Modified Oil Agglomeration Process for Coal Beneficiation. I. Mineral Matter Liberation by Fine Grinding with the Szego Mill, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 66, 282-285.
- Baruah, M.K., Kotoky, P., Baruah, J. ve Bora, G.C., 2000. Cleaning of Indian Coals by Agglomeration with Xylene and Hexane, Separation and Purification Technology, 20, 2, 235-241.
- Bayazıt, G., 2000. Soma İnce Ufalanmış Linyit Kömürlerinin Flotasyonla Zenginleştirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bolat, E., Sağlam, S. ve Pişkin, S., 1998. The Effect of Oxidation on the Flotation Properties of a Turkish Bituminous Coal, Fuel Processing Technology, 55, 2, 101-105.
- 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.
- Canpolat, L., 2003. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Yağ Aglomerasyonu-Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

- Capes, C.E., Coleman, R.D. ve Thayer, W.L., 1985. Oil Agglomeration for Fine Coal Processing, Proceedings of 4th International Symposium on Agglomeration, Iron and Steel Society, Toronto, Canada, June 2-5, 857-866.
- Cebeci, Y. ve Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77, 5, 419-424.
- Cebeci, Y. ve Sönmez, İ., 2002. The Investigation of Coal-Pyrite/Lignite Concentration and their Separation in the Artificial Mixture by Oil Agglomeration, Fuel, 81, 9, 1139-1146.
- Cebeci, Y., Ulusoy, U. ve Şimşek, S., 2002. Investigation of the Effect of Agglomeration Time, pH and Various Salts on the Cleaning of Zonguldak Bituminous Coal by Oil Agglomeration, Fuel, 81, 9, 1131-1137.
- Cebeci, Y. ve Sönmez, İ., 2005. Application of the Box-Wilson Experimental Design Method for the Spherical Oil Agglomeration of Coal, Fuel, 85, 3, 289-297.
- Chary, G.H.V.C. ve Dastidar, M.G., 2008. Coal Waste Management by Agglomeration of Coal Fines Using Non-Edible Vegetable Oils, 23rd International Conference on Solid Waste Technology and Management, USA.
- Chary, G.H.V.C. ve Dastidar, M.G., 2010. Optimization of Experimental Conditions for Recovery of Coking Coal Fines by Oil Agglomeration Technique, Fuel, 89, 9, 2317-2322.
- Cucheval, A. ve Chow, R.C.Y., 2008. A Study on the Emulsification of Oil by Power Ultrasound, Ultrasonics Sonochemistry, 15, 5, 916-920.
- Çebi, F.H., 1998. Kelkit-Şiran (Gümüşhane) ve Yusufeli (Artvin) Yöreleri Jura Yaşlı Kömürlerin İz Element Jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ç.O.B., 2005. Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 25791 sayılı ve 19.04.2005 Tarihli Resmi Gazete.
- Ç.O.B., 2010. Bitkisel Atık Yağların Yönetimi, T.C., Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Nisan, Ankara.
- Çuhadaroğlu, D., 1994. Zonguldak Lavuarı Filtrasyon Girişİ -0,5 mm Boyutlu Kömürün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Agloflotasyon Yöntemleri ile Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Delibalta, M.S., 2011. Sürdürülebilir Kalkınmada AB-Türkiye Enerji ve Çevre Politikalarının Rolü, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: 3-10.

- Djenouhat, M., Hamdaoui, O., Chiha, M. ve Samar, M.H., 2008. Ultrasonication-Assisted Preparation of Water-in-oil Emulsions and Application to the Removal of Cationic Dyes from Water by Emulsion Liquid Membrane Part 2. Permeation and Stripping, Separation and Purification Technology, 63, 1, 231-238.
- Doymuş K., 1997. Bazı Türk Linyitlerinin Seçimli Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenebilirliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- D.P.T., 2009. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Enerji Hammaddeleri (Linyit-Taşkömürü-Jeotermal) Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Yayın No, 2794, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 322 s.
- Engin, V.D., 2002. Kömür Yıkama Tesisleri İnce Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gaikwad, S.G. ve Pandit, A.B., 2008. Ultrasound Emulsification: Effect of Ultrasonic and Physicochemical Properties on Dispersed Phase Volume and Droplet Size, Ultrasonics Sonochemistry, 15, 4, 554-563.
- Garcia, A.B., Vega, J.M.G., Martinez-Tarazona, M.R. ve Spears, D.A., 1994. The Removal of Trace Elements from Spanish High Rank Coals by a Selective Agglomeration Process, Fuel, 73, 7, 1189-1196.
- Garcia, A.B., Vega, J.M.G. ve Martinez-Tarazona, M.R., 1995. Effects of Oil Concentration and Particle Size on the Cleaning of Spanish High-Rank Coals by Agglomeration with n-Heptane, Fuel, 74, 11, 1692-1697.
- Garcia, A.B., Martinez-Tarazona, M.R. ve Vega, J.M.G., 1996. Cleaning of Spanish High-Rank Coals by Agglomeration with Vegetable Oils, Fuel, 75, 7, 885-890.
- Gence, N., 2006. Coal Recovery from Bituminous Coal by Aggloflotation with Petroleum Oils, Fuel, 85, 7-8, 1138-1142.
- Gitmez, A., Olgun, A., Erdem, A., Gülmez, A. ve Altun, O., 2009. TKİ-Ömerler Lavvarı Tikiner Atıklarından Kömürün Kazanılması, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı: 159-163.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. ve Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri, MTA Yayınları, Ankara, 45-46.
- Guntupalli, H.V.C.C. ve Dastidar, M.G., 2006. Fine Coal Beneficiation by Oil Agglomeration Using Vegetable Oil: an Ecofriendly and Energy Saving Technique, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi-110016, India.
- Gül, E., 2001. Ses Dalgaları ile Türk Linyitlerinin Zenginleştirilmesinin Kömür Dönüşümü ve Ürün Dağılımı Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Güleç, C., 1999. Küresel Yağ Aglomerasyon Tekniği ile Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güler, M. ve Güyagüler, T., 2011. Dünyada ve Türkiye’de Kömür, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: 29-40.
- Gülsuna, G., 2007. Linyit Kömürü Ara Ürününün Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Altaş, A., 1995. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri III, Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı: 59-75.
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Atak, S., 1997. Türkiye Linyitlerine Uygulanması Gereken İyileştirme Yöntemleri, Ed; Önal, G., ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri IV, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 85-106.
- Gürpınar, G., 2007. Ses Ötesi Dalgaların Cevher Zenginleştirmede Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gürses, A., Doymuş, K. ve Bayrakçeken, S., 1997. Evaluation of Response of Brown Coal to Selective Oil Agglomeration by Zeta Potential Measurements of The Agglomerates, Fuel, 76, 14/15, 1439-1444.
- Gürses, A., Doymuş, K., Doğar, Ç. ve Yalçın, M., 2003. Investigation of Agglomeration Rates of Two Turkish Lignites, Energy Conversion and Management, 44, 8, 1247-1257.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2009. İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu İçin Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Honaker, R.Q., Wang, D. ve Ho, K., 1996. Application of the Falcon Concentrator for Fine Coal Cleaning, Minerals Engineering, 9, 11, 1143-1156.
- Honaker, R.Q. ve Das, A., 2004. Ultrafine Coal Cleaning Using a Centrifugal Fluidized-Bed Separator, Coal Preparation, 24, 1-2, 1-18.
- Hoşten, Ç., ve Uçbaş, Y., 1989. Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Nisan, Ankara, 355-365.
- Jafari, S.M., He, Y. ve Bhandari, B., 2007. Production of Sub-micron Emulsions by Ultrasound and Microfluidization Techniques, Journal of Food Engineering, 82, 4, 478-488.

- Kadıköylü, Ş., 2005. Bazı Türk Kömürlerinde Mineral Madde Miktarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kang, W., Xun, H. ve Chen, J., 2007. Study of Enhanced Fine Coal De-Sulphurization and De-Ashing by Ultrasonic Flotation, *Journal of China University of Mining & Technology*, 17, 3, 358-362.
- Kang, W., Xun, H. ve Hu, J., 2008. Study of the Effect of Ultrasonic Treatment on the Surface Composition and the Flotation Performance of High-Sulfur Coal, *Fuel Processing Technology*, 89, 12, 1337-1344.
- Kang, W., Xun, H., Kong X. ve Li, M., 2009. Effects from Changes in Pulp Nature After Ultrasonic Conditioning on High-Sulfur Coal Flotation, *Mining Science and Technology*, 19, 4, 498-502, 507.
- Kantarıcı, E. A., 2009. İnce Kömürün Santrifüjlü Konsantratör ile Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kawatra, S.K. ve Eisele, T.C., 2001. Coal Desulfurization High-Efficiency Preparation Methods, Department of Mining and Materials Processing Engineering Michigan Technological University, 360 s.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 1999. Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, No:33, İzmir, 373 s.
- Kentish, S., Wooster, T.J., Ashokkumar, M., Balachandran, S., Mawson, R. ve Simons, L., 2008. The Use of Ultrasonics for Nanoemulsion Preparation, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 2, 170-175.
- Kılınç, E., 2000. Toz Kömürlerin Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Korkmaz, S. ve Baki, Z., 1984. Demirözü Güneyinin Jeolojisi ve Kömür Oluşumları, MTA Raporu, No: 7863, Ankara.
- Korkmaz, S., 1995. Jurassic Coal Occurrences and Their Depositional Environments in the Eastern Pontides, NE-Turkey, *Geology of The Black Sea Region*, Ed; Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S., Ankara, 275-279.
- Kurşun, H., 2001. Kolon Flotasyonunda Zenginleştirmeyi Etkileyen Parametrelerin Teorisinin İncelenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5, 2, 25-39.
- Laskowski, J.S. ve Yu, Z., 2000. Oil Agglomeration and its Effect on Beneficiation and Filtration of Low-Rank/Oxidized Coals, *International Journal of Mineral Processing*, 58, 1-4, 237-252.

- Leong, T.S.H., Wooster, T.J., Kentish, S.E. ve Ashokkumar, M., 2009. Minimising Oil Droplet Size Using Ultrasonic Emulsification, Ultrasonics Sonochemistry, 16, 6, 721-727.
- Majumder, A.K. ve Barnwal, J.P., 2008. New Possibilities in Fine Coal Beneficiation Techniques, The Advanced Materials and Processes Research Institute, Journal- MN, August, 89, 3-8.
- Malik, A., Singh, D.P., Sharma, S., Dastidar, M.G. ve Roychoudhury, P.K., 1999. Oil Agglomeration for Recovery of Coal Fines: Effect of Vegetable Oil and Bacterial Pretreatment, Internatiol Journal of Coal Preparation and Utilization, 20, 3, 247-268.
- Math, M.C., Kumar, S.P. ve Chetty, S.V. 2010. Technogies for Biodiesel Production from Used Cooking oil – A review, Energy for Sustainable Development, 14, 4, 339-345.
- Mehrotra, V.P., Sastry, K.V.S. ve Morey, B.W., 1983. Review of Oil Agglomeration Techniques for Processing of Fine Coals, International Journal of Mineral Processing, 11, 175-201.
- Nii, S., Kikumoto, S. ve Tokuyama, H., 2009. Quantitative Approach to Ultrasonic Emulsion Separation, Ultrasonics Sonochemistry, 16, 1, 145-149.
- Onur, A., 2004. Bazı Cevher ve Atıkların Cevher Hazırlama ve Flotasyonunda Ultrasonik Dalgaların Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Oruç, M., 1996. Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Önemli Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özbayoğlu, G., 1982. Yüksek Kül ve Kükürt İçerikli Bazı Türk Linyitlerinin Yıkabilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Doçentlik Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Özbayoğlu, G., 1996. Desulphurization of Coal to Protect the Environment, Mineral Processing and the Environment, Ed; Gallios, G.P., Matis, K.A., NATO ASI Series, 2. Environment, 43, 199-221.
- Özbayoğlu, G., 2007. Yakma Öncesi Kömür Yıkama İşlemlerinin Önemi-Dünyada ve Türkiye'deki Kömür Yıkama Uygulamaları, Temiz Kömür Teknolojileri ve Yakma Teknikleri Semineri, Ekim-Kasım, Afşin-Elbistan, TMMOB Maden Müh. Odası Yayın No: 136, 59-66.
- Özgen, S., Malkoç, Ö., Doğancık, C., Sabah, E. ve Şapçı, F.O., 2011. Optimization of a Multi Gravity Separator to Produce Clean Coal from Turkish Lignite Fine Coal Tailings, Fuel, 90, 4, 1549-1555.
- Özkan, Ş.G., 2006. Ultrason Yoluyla Kömür Flotasyonunun İyileştirilmesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 19, 2, 169-174.

- Özkan, Ş.G. ve Kuyumcu, H.Z., 2006. Investigation of Mechanism of Ultrasound on Coal Flotation, International Journal Mineral Processing, 81, 3, 201-203.
- Özkan, Ş.G. ve Kuyumcu, H.Z., 2007. Design of a Flotation Cell Equipped With Ultrasound Transducers to Enhance Coal Flotation, Ultrasonics Sonochemistry, 14, 5, 639-645.
- Özkan, Ş.G., 2012. Effects of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Flotation of Hard Coal Slimes, Fuel, 93, 576-580.
- Özpeker, I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması, Ed; Kural, O., Kömür, Kurtiş Matbaası, 8-74.
- Pişkin, S., 1988. Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Ed; Kural, O., Kömür Kimyası ve Teknolojisi, 59-88.
- Rao, T.C., Vanangamudi, M. ve Rao, K.H., 1982. Characteristic Curve for the Coal-Oil Agglomeration Process, International Journal of Mineral Processing, 9, 3, 235-243.
- Rao, T.C. ve Vanangamudi M., 1984. Quantitative Studies on the Coal-Oil Agglomeration Process, Powder Technology, 40, 1-3, 195-205.
- Renda, D., 2000. Temiz Kömür Üretiminde Yeni Bir Teknoloji, Ed; Önal, G., ve Dinçer, H., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Nisan, 153-163.
- Rubinstein, J.B., Linev, B.I. ve Hall, S.T., 1999. Kömür Hazırlamada çok Bölmeli Kolon Flotasyonu, Ed; Atak, S., Önal, G., Arslan, F. ve Perek, K.T., Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, VII Uluslar Arası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Bildiriler Kitabı: 251-261.
- Sarıkaya, M. ve Özbayoğlu, G., 1995. Flotation Characteristics of Oxidized Coal, Fuel, 74, 2, 291-294.
- Shah, C.L., Abbott, J.A., Miles, N.J., Xuejun, L. ve Jianping, X., 2002. Sulphur Reduction Evaluation of Selected High-Sulphur Chinese Coals, Fuel, 81, 5, 519-529.
- Shen, M., 1999. Development and Scale-up of Particle Agglomeration Processes for Coal Beneficiation, PhD. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Shrauti, S.M. ve Arnold, D.W., 1995. Recovery of Waste Fine Coal by Oil Agglomeration, Fuel, 74, 3, 459-465.
- Sivakumar, V., Prakash, R.P., Rao, P.G., Ramabrahman, B.V. ve Swaminathan G., 2008. Power Ultrasound in Fatliquor Preparation Based on Vegetable Oil for Leather Application, Journal of Cleaner Production, 16, 4, 549-553.
- Slaghuis, J.H. ve Ferreira, L.C., 1987. Selective Spherical Agglomeration of Coal: An Amended Mechanism of Agglomerate Formation and Growth and its Effect on Product Quality, Fuel, 66, 10, 1427-1430.

- Suiçmez, T., 2007. Kömürün Petrografik Bileşenlerinin Seçimli Olarak Ayrılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Swanson, A.R., Bensley, C.N. ve Nicol, S.K., 1977. Some Fundamental Aspects of the Selective Agglomeration of Fine Coal, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum. Agglomeration 77: Proceedings of the 2nd International Symposium on Agglomeration, 939-951.
- Şahinoğlu, E., 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, Energy Conversion and Management, 49, 12, 3684-3690.
- Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2011a. Toz Boyutlu Kömürün Aglomerasyon ile Temizlenmesinde Ayçiçeği Yağının Kullanılabilirliği, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: 341-346.
- Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2011b. Atık Ayçiçek Yağı Kullanarak Temiz Kömür Eldesi, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Haziran, İzmir, Bildiriler Kitabı: 267-272.
- Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2012. Cleaning of High Sulphur Coal by Agglomeration with Waste Vegetable Oil, Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, DOI: 10.1080/15567036.2011.652760.
- Şimşek, S., 1999. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesinde Bazı İşletme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Şimşek, S., 2007. Farklı Kömürlerin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Klasik Flotasyon Yağları ile Bitkisel Kökenli Yağların Performanslarının Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Tampy, G.K., 1988. A Study of Surface and Liberation Characteristics in Coal Beneficiation by Oil Agglomeration, PhD. Thesis, Ohio University, Athens, Ohio.
- Taşdemir, A., 2007. Kömür Flotasyonunda Yeni Tekniklerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Temel, H.A. ve Ayhan, F.D., 2006. Desulfurization and Deashing of Hazro Coal by Selective Oil Agglomeration in Various Water Mediums, Energy & Fuels, 20, 5, 2052-2055.
- Temel, H.A., Bozkurt, V. ve Majumder, A.K., 2009. Selective Oil Agglomeration of Lignite, Energy & Fuels, 23, 2, 779-784.

- Theodore, F.W., 1985. Oil Agglomeration for Fine Coal Recovery as Commercialized at Conoco/Consol, 4th International Symposium on Agglomeration, Iron and Steel Society, Jun. 2-5, 883-889.
- Ural, S., Yıldırım, M. ve Anıl M., 2002. Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Toz Kömür Yakma Sistemindeki Rolü, Ed; Kızgut, S., Çuhadaroğlu, D., ve Geniş, M., Türkiye 13. Kömür Kongresi, Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı: 151-160.
- Uslu, T., 1997. Particle Size (Feed and Agglomerate Size) in Oil Agglomeration of Coal, Unpublished Report Submitted to Prof. Dr. Çetin Hoşten in Lecture of Particle Characterization, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Uslu, T., 2002. Microwave Heating Characteristics of Pyrite and Microwave Assisted Coal Desulphurization, PhD. Thesis, Middle East Technical University, September, Ankara.
- Uslu, T., Şahinoğlu, E., Alp, İ. ve Deveci, H., 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Eylül, Trabzon, Bildiriler Kitabı: 351-357.
- Uslu, T., Şahinoğlu, E. ve Yavuz, M., 2010. Preliminary Investigation into Cleaning of Oxidized Fine Coal by Knelson Concentrator, XII. International Mineral Processing Symposium, October, Nevşehir, Turkey, 891-899.
- Uslu, T. ve Şahinoğlu, E., 2010. Atık Yağların Kömürün Temizlenmesinde Kullanımı ve Türkiye'deki Potansiyel, Madencilik Türkiye Dergisi, 5, 30-34.
- Uslu, T., Şahinoğlu, E. ve Yavuz, M., 2012. Desulphurization and Deashing of Oxidized Fine Coal by Knelson Concentrator, Fuel Processing Technology, 101, 94-100.
- Ünal, İ. ve Aktaş, Z., 2001. Effect of Various Bridging Liquids on Coal Fines Agglomeration Performance, Fuel Processing Technology, 69, 2, 141-155.
- Ünal, İ. ve Erşan, M.G., 2005. Oil Agglomeration of a Lignite Treated with Microwave Energy: Effect of Particle Size and Bridging Oil, Fuel Processing Technology, 87, 1, 71-76.
- Ünal, İ. ve Erşan, M.G., 2007. Factors Affecting the Oil Agglomeration of Sivas-Divriği Uluçayır Lignite, Energy Sources, Part A; Recovery, Utilization and Environmental Effects, 29,11, 983-993.
- Ünalın, G., 2010. Kömür Jeolojisi, Matser Basım San. Tic. Ltd. Şti., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 556 s.
- Valdes, A.F. ve Garcia, A.B., 2006a. On the Utilization of Waste Vegetable Oils (WVO) as Agglomerants to Recover Coal from Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), Fuel, 85, 5-6, 607-614.

- Valdes, A.F. ve Garcia, A.B., 2006b. A Study of the Evolution of the Physicochemical and Structural Characteristics of Olive and Sunflower Oils After Heating at Frying Temperatures, Food Chemistry, 98, 2, 214-219.
- Valdes, A.F., Gonzalez-Azpiroz, M.D., Blanco, C.G. ve Garcia, A.B., 2007. Experimental Prediction of the Agglomeration Capability of Waste Vegetable Oils (WVO) in Relation to the Recovery of Coal from Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), Fuel, 86, 10-11, 1345-1350.
- Vanangamudi, M. ve Rao, T.C., 1984. Kinetic Study of Agglomerate Growth in Coal-Oil Agglomeration Process, Fuel, 63, 6, 738-743.
- Venkatadri, R., Markuszewski, R. ve Wheelock, T.D., 1988. Oil Agglomeration of Weakly Hydrophobic Coals and Coal/Pyrite Mixtures, Energy & Fuels, 2, 2, 145-150.
- Wang, Q., Kashiwagi, N., Apaer, P., Chen, Q., Wang, Y. ve Maezono, T., 2010. Study on Coal Recovery Technology from Waste Fine Chinese Coals by a Vegetable Oil Agglomeration Process, The Sustainable World, Ed; Brebbia, C.A., 142, 331-342.
- Yavuz, M., 2010. Kömürün Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ile Temizlenmesinde Atık Motor Yağlarının Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yazıcı, E.Y., 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yenidiñ, E., 1998. Kozlu Kömür Damarlarının Flotasyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Yıldız, N., 2007. Cevher Hazırlama, Ertem Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti., Ankara, 504 s.
- Yılmazel, H., 2010. Çatalağzı Termik Santralinde (Çates) Kullanılan Lavvar Artıklarındaki Kömürün Kazanımında Optimum Flotasyon Koşullarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yu, Z., 1998. Flocculation, Hydrophobic Agglomeration and Filtration of Ultrafine Coal, PhD. Thesis, The University of British Columbia.

7. EKLER

Ek Tablo 7.1. Katı oranının aglomerasyona etkisi

Katı Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	46,81	60,16	17,34	51,36	0,97	82,59	0,09	91,09	11,52	45,75
10	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
20	59,61	74,63	19,44	45,47	1,14	79,53	0,11	89,11	20,1	54,16
30	69,61	84,84	21,58	39,47	1,76	68,40	0,09	91,09	24,31	53,24

Ek Tablo 7.2. Atık yağ oranının aglomerasyona etkisi

Atık Yağ Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	37,29	47,15	18,68	47,60	1,27	77,20	0,05	95,05	-5,25	24,35
10	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
15	54,21	68,81	18,31	48,64	0,88	84,20	0,16	84,16	17,45	53,01
20	59,96	75,23	19,25	46,00	0,93	83,30	0,16	84,16	21,23	58,53

Ek Tablo 7.3. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi

Karıştırma Hızı (dev/dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
1000	42,74	55,71	16,13	54,75	0,66	88,15	0,11	89,11	10,46	43,86
1200	44,25	57,65	16,17	54,64	0,63	88,69	0,11	89,11	12,29	46,34
1400	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
1600	44,18	56,98	17,01	52,29	0,77	86,18	0,10	90,10	9,27	43,16

Ek Tablo 7.4. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi

AS (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	42,44	55,42	15,97	55,20	0,79	85,82	0,10	90,10	10,62	41,24
10	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
15	47,68	61,30	17,25	51,61	0,78	86	0,10	90,10	12,91	47,3
20	45,86	58,60	17,79	50,10	0,73	86,89	0,16	84,16	8,7	45,49

Ek Tablo 7.5. Yıkama suyu miktarının aglomerasyona etkisi

Yıkama Suyu Miktarı (lt)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
1,5	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
3	39,7	52,02	15,68	56,02	0,62	88,87	0,13	87,13	8,04	40,89
4,5	36,19	47,79	15,03	57,84	0,58	89,59	0,10	90,10	5,63	37,38
6	29,76	39,62	14,32	59,83	0,56	89,95	0,07	93,07	-0,55	29,57

Ek Tablo 7.6. pH'in aglomerasyona etkisi

pH	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
2	42,68	55,28	16,65	53,3	1,15	79,35	0,13	87,13	8,58	34,63
4	38,89	51,59	14,63	58,96	0,62	88,87	0,12	88,12	10,55	40,46
5,36	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
8	45,18	59,47	15,29	57,11	0,63	88,69	0,18	82,18	16,58	48,16
10	31,58	42,11	14,19	60,2	0,57	89,77	0,18	82,18	2,31	31,88

Ek Tablo 7.7. Kömür tane boyutunun aglomerasyona etkisi

Atık Yağ Oranı (%)	Kömür Tane Boyutu (mm)*	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	0,125	5,75	7,26	18,62	47,77	1,31	76,48	0,40	60,40	-44,97	-16,26
	0,25	11,38	15,10	14,64	58,93	0,68	87,79	0,24	76,24	-25,97	2,89
	0,5	37,29	47,15	18,68	47,60	1,27	77,20	0,05	95,05	-5,25	24,35
10	0,125	5,94	7,88	14,62	58,99	0,72	87,07	0,34	66,34	-33,13	-5,05
	0,25	31,03	40,71	15,56	56,35	0,73	86,89	0,20	80,20	-2,94	27,6
	0,5	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
15	0,125	8,54	11,24	15,31	57,05	0,95	82,94	0,28	72,28	-31,71	-5,82
	0,25	49,73	64,47	16,58	53,49	0,77	86,18	0,18	82,18	17,96	50,65
	0,5	54,21	68,81	18,31	48,64	0,88	84,20	0,16	84,16	17,45	53,01
20	0,125	10,58	13,52	17,76	50,18	1,41	74,69	0,24	76,24	-36,3	-11,79
	0,25	52,96	69,56	15,49	56,55	0,63	88,69	0,16	84,16	26,11	58,25
	0,5	59,96	75,23	19,25	46,00	0,93	83,30	0,16	84,16	21,23	58,53

Kömür tane boyutu (mm)*: Maksimum kömür tane boyutu

Ek Tablo 7.8. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi

Agglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	49,75	63,62	17,69	50,38	0,82	85,28	0,10	90,10	14	48,9
0,6	23,31	30,71	15,25	57,22	0,9	83,84	0,19	81,19	-12,07	14,55
0,85	13,81	17,8	17,07	52,12	0,81	85,46	0,17	83,17	-30,08	3,26
1	6,11	7,83	17,54	50,8	0,74	86,71	0,2	80,2	-41,37	-5,46

Ek Tablo 7.9. Aglomerat kazanım eleği boyutunun aglomerasyona etkisi (kömür tane boyutu: -0,125 mm)

Aglomerat Kazanım Eleği Boyutu (mm)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,125	43,93	55,54	18,65	47,69	1,39	75,04	0,22	78,22	3,23	30,58
0,25	8,95	11,46	17,62	50,58	1,23	77,92	0,27	73,27	-37,96	-10,62
0,5	5,94	7,88	14,62	58,99	0,72	87,07	0,34	66,34	-33,13	-5,05

Ek Tablo 7.10. Katı oranının aglomerasyona etkisi (orijinal ayçiçek yağı)

Katı Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	41,49	54,44	15,60	56,24	0,58	89,59	0,20	80,20	10,68	44,03
10	47,69	62,20	16,10	54,84	0,59	89,41	0,15	85,15	17,04	51,61
20	49,96	64,51	16,92	52,54	0,68	87,79	0,14	86,14	17,05	52,3
30	51,22	66,07	16,93	52,51	0,72	87,07	0,16	84,16	18,58	53,14

Ek Tablo 7.11. Orijinal ayçiçek yağı oranının aglomerasyona etkisi

Orijinal Ayçiçek Yağı Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	23,14	30,84	14,25	60,03	0,62	88,87	0,13	87,13	-9,13	19,71
10	47,69	62,20	16,10	54,84	0,59	89,41	0,15	85,15	17,04	51,61
15	51,97	68,20	15,55	56,38	0,59	89,41	0,13	87,13	24,58	57,61
20	56,56	73,60	16,26	54,39	0,7	87,43	0,14	86,14	27,99	61,03

Ek Tablo 7.12. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi (orijinal ayçiçek yağı)

Karıştırma Hızı (dev/dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
1000	33,21	44,67	13,44	62,30	0,41	92,64	0,16	84,16	6,97	37,31
1200	41,74	55,09	15,07	57,73	0,51	90,84	0,18	82,18	12,82	45,93
1400	47,69	62,20	16,10	54,84	0,59	89,41	0,15	85,15	17,04	51,61
1600	47,22	61,01	16,86	52,71	0,74	86,71	0,20	80,20	13,72	47,72

Ek Tablo 7.13. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi (orijinal ayçiçek yağı)

AS (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	39,74	52,46	15,07	57,73	0,56	89,95	0,16	84,16	10,19	42,41
10	47,69	62,20	16,10	54,84	0,59	89,41	0,15	85,15	17,04	51,61
15	50,88	66,84	15,47	56,61	0,54	90,31	0,12	88,12	23,45	57,15
20	50,32	66,04	15,54	56,41	0,57	89,77	0,13	87,13	22,45	55,81

Ek Tablo 7.14. Ses ötesi dalgaların aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 9,5 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	45,99	59,46	16,79	52,90	0,65	88,33	0,10	90,10	12,36	47,79
1	44,47	57,42	16,91	52,57	0,56	89,95	0,24	76,24	9,99	47,37
3	44,47	57,38	16,98	52,37	0,6	89,23	0,21	79,21	9,75	46,61
5	45,10	58,57	16,44	53,88	0,57	89,77	0,19	81,19	12,45	48,34
7	44,48	58,12	15,93	55,32	0,52	90,66	0,19	81,19	13,44	48,78

Ek Tablo 7.15. Ses ötesi dalgaların aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 28,5 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	44,74	58,00	16,57	53,52	0,59	89,41	0,21	79,21	11,52	47,41
1	45,99	59,66	16,52	53,66	0,56	89,95	0,19	81,19	13,32	49,61
3	49,69	64,64	16,30	54,28	0,58	89,59	0,18	82,18	18,92	54,23
5	43,51	57,11	15,54	56,41	0,48	91,38	0,17	83,17	13,52	48,49
7	47,18	61,51	16,11	54,81	0,5	91,02	0,19	81,19	16,32	52,53

Ek Tablo 7.16. Ses ötesi dalgaların aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 45,7 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	36,76	48,44	15,20	57,36	0,46	91,74	0,19	81,19	5,8	40,18
1	42,15	54,91	16,17	54,64	0,58	89,59	0,18	82,18	9,55	44,5
3	34,83	46,23	14,58	59,10	0,45	91,92	0,16	84,16	5,33	38,15
5	36,03	47,95	14,35	59,75	0,43	92,28	0,15	85,15	7,7	40,23
7	32,32	43,09	14,21	60,14	0,45	91,92	0,18	82,18	3,23	35,01

Ek Tablo 7.17. Ses ötesi dalgaların aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 72,8 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	49,24	63,46	17,07	52,12	0,65	88,33	0,19	81,19	15,58	51,79
1	45,97	59,91	16,15	54,70	0,56	89,95	0,17	83,17	14,61	49,86
3	44,46	58,01	16,05	54,98	0,55	90,13	0,17	83,17	12,99	48,14
5	36,08	47,77	14,82	58,43	0,46	91,74	0,17	83,17	6,2	39,51
7	33,47	44,17	15,08	57,70	0,48	91,38	0,17	83,17	1,87	35,55

Ek Tablo 7.18. Yağ emülsifikasyonunun aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 9,5 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	48,60	63,32	15,89	55,43	0,71	87,25	0,18	82,18	18,75	50,57
1	43,86	57,18	16,11	54,81	0,67	87,97	0,19	81,19	11,99	45,15
1,5	41,69	54,47	15,92	55,34	0,65	88,33	0,16	84,16	9,81	42,80
2	41,48	54,25	15,85	55,54	0,68	87,79	0,18	82,18	9,79	42,04

Ek Tablo 7.19. Yağ emülsifikasyonunun aglomerasyona etkisi (ses ötesi dalga gücü: 28,5 watt/cm²)

Süre (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
0,5	45,11	58,44	16,64	53,32	0,85	84,74	0,16	84,16	11,76	43,18
1	41,23	53,53	16,46	53,83	0,74	86,71	0,17	83,17	7,36	40,24
1,5	40,66	52,97	16,17	54,64	0,76	86,36	0,18	82,18	7,61	39,33
2	37,01	48,67	15,37	56,89	0,63	88,69	0,17	83,17	5,56	37,36

Ek Tablo 7.20. Ön deneylerde kullanılan kömürün kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	1,71	-
Kül (%)	21,12	21,49
Uçucu Madde (%)	20,86	21,22
Sabit Karbon (%)	56,31	57,29
Sülfat Kükürt (%)	1,06	1,08
Piritik Kükürt (%)	5,17	5,26
Organik Kükürt (%)	2,22	2,26
Toplam Kükürt (%)	8,45	8,60
Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isı Değeri)	6143	6250

Ek Tablo 7.21. Katı oranının aglomerasyona etkisi (ön deney)

Katı Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	55,55	64,33	9,05	57,89	1,27	75,86	0,20	81,48	22,22	40,19
10	63,93	74,10	9,02	58,03	1,16	77,95	0,18	83,33	32,13	52,05
20	61,19	70,95	8,98	58,21	1,23	76,62	0,21	80,56	29,16	47,57
30	68,20	78,99	9,08	57,75	1,23	76,62	0,20	81,48	36,74	55,61

Ek Tablo 7.22. Atık ayçiçek yağı oranının aglomerasyona etkisi (ön deney)

Atık Yağ Oranı (%)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	52,71	61,03	9,08	57,75	1,3	75,29	0,23	78,70	18,78	36,32
10	63,93	74,10	9,02	58,03	1,16	77,95	0,18	83,33	32,13	52,05
15	63,40	73,71	8,73	59,38	1,1	79,09	0,18	83,33	33,09	52,80
20	73,33	85,50	8,46	60,63	1,12	78,71	0,18	83,33	46,13	64,21

Ek Tablo 7.23. Karıştırma hızının aglomerasyona etkisi (ön deney)

Karıştırma Hızı (dev/dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
1000	63,90	73,61	9,56	55,51	1,57	70,15	0,27	75	29,12	43,76
1200	64,71	74,61	9,49	55,84	1,39	73,57	0,23	78,70	30,45	48,18
1400	63,93	74,10	9,02	58,03	1,16	77,95	0,18	83,33	32,13	52,05
1600	65,55	75,21	9,92	53,84	1,74	66,92	0,28	74,07	29,05	42,13

Ek Tablo 7.24. Aglomerasyon süresinin aglomerasyona etkisi (ön deney)

AS (dak.)	AV (%)	YV (%)	Kül (%)	KUO (%)	Piritik Kükürt (%)	PKUO (%)	Sülfat Kükürdü (%)	SKUO (%)	KAE (%)	PKAE (%)
5	63,24	72,79	9,64	55,14	1,54	70,72	0,26	75,93	27,93	43,51
10	63,93	74,10	9,02	58,03	1,16	77,95	0,18	83,33	32,13	52,05
15	69,75	80,13	9,80	54,40	1,62	69,20	0,28	74,07	34,53	49,33
20	71,92	82,55	9,89	53,98	1,61	69,39	0,27	75	36,53	51,94

7.1. Yanar Kükürt Analizi

Kömür 0,25 mm'nin altına öğütülür. Kalorimetre bombasında 30 atm. basınç altında oksijen ile yakılır. Bombadaki gaz yavaşça boşaltılır. Bomba açılır ve saf su ile iyice temizlenerek çözelti behere alınır ve kaynamaya bırakılır. Daha sonra süzgeç kâğıdından süzülerek süzölmüş çözeltinin bulunduğu beher saf su ile 250 ml'ye tamamlanır. 2 ml HCl ilave edilir ve kaynamaya başladığında 10 ml %10'luk BaCl₂ ilave edilir ve cam baget ile sürekli karıştırılır. 15 dak. boyunca kaynamanın devamına izin verilir. Sıcaklık azaltılarak kaynama noktasının altında 2 saat bekletilir. Filtre kâğıdından süzülür. Filtre kâğıdı üzerinde kalan BaSO₄ tekrar tekrar yıkanarak klorürler kaldıysa iyice temizlenir. Filtre kâğıdı 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).

7.2. Sülfat Kükürt Analizi

Kömür 0,25 mm'nin altına öğütülür. Tartıldıktan sonra behere konulur. 50 ml su ve 10 ml %10'luk HCl ilave edilir ve kömür iyice ıslanana kadar karıştırılır. Beher ısıtıcının üzerine konularak 30 dak. boyunca dikkatli bir şekilde kaynatılır. Süzgeç kâğıdında süzülür. Süzgeç kâğıdı üzerinde kalan kömür piritik kükürt analizi için alınır (Alpar vd., 1982). Süzgeç kâğıdı 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).

7.3. Piritik Kükürt Analizi

Sülfat sülfür analizinin başındaki filtre kâğıdı üzerinde kalan kömür behere alınır. Seyreltik nitrik asit ilave edilip oda sıcaklığında 4 gün bekletilir. Filtre kâğıdında süzülür. Çözelti kuruyana kadar buharlaştırılır. Bir kez de HCl ilave edilip buharlaştırılır (Alpar vd., 1982). Saf su ile 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).

7.4. Kül Analizi

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

% Kül = [(A-B) / C] x 100

A = (Kroze + Kül) Ağırlığı

B = Boş Kroze Ağırlığı

C = Kömür Ağırlığı (ASTM-D 3174-89).

7.5. Nem Analizi

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

7.6. Uçucu Madde Analizi

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

7.7. Sabit Karbon Analizi

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

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

ÖZGEÇMİŞ

Ercan ŞAHİNOĞLU, 21.11.1977 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1998-1999 öğretim döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 2002 yılında lisans eğitimini tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında başlayıp 2006 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı.

Ercan ŞAHİNOĞLU, 2006 yılından bu yana doktora çalışmalarını sürdürmekte olup evli ve bir erkek çocuk babasıdır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

Tezden üretilmiş makale

Şahinoğlu, E. ve Uslu, T., 2012. Cleaning of High Sulphur Coal by Agglomeration with Waste Vegetable Oil, Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, DOI: 10.1080/15567036.2011.652760.