



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KÖMÜRÜN HİDROFOBİK FLOKÜLASYON  
İLE TEMİZLEMESİNDE ATIK YAĞLARIN  
KULLANIM OLANAKLARININ  
ARAŞTIRILMASI**

**OSMAN AĞCA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2020**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Osman AĞCA tarafından hazırlanan “Kömürün Hidrofobik Flokülasyon ile Temizlenmesinde Atık Yağların Kullanım Olanaklarının Araştırılması” adlı tez çalışması 27/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

.....

#### Üye

Doç. Dr. Selma DÜZYOL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

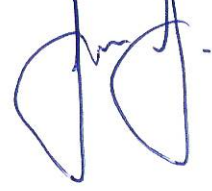
## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdaki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Osman AĞCA  
27.07.2020



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## KÖMÜRÜN HİDROFOBİK FLOKÜLASYON İLE TEMİZLENMESİNDE ATIK YAĞLARIN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Osman AĞCA

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Tefik AĞAÇAYAK

2020, 68 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Tefik AĞAÇAYAK  
Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN  
Doç. Dr. Selma DÜZYOL

Bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci kısımda, Beyşehir bölgesinde faaliyet gösteren maden sahasından temin edilen ince boyuttaki (-212 µm) linyit kömürünün zenginleştirilmesi için hidrofobik flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ ve motor atık yağ olmak üzere 3 farklı bağlayıcı sıvı kullanılmıştır. Süspansiyonun pH'ı, katı oran etkisi, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, karıştırma hızı, yağ miktarı, flokülasyon süresi ve flok büyüme süresi gibi parametreler detaylı olarak incelenmiştir. Hidrofobik flokülasyon işleminin başarısı deney sonrasında elde edilen flokların kül içerikleri ve yanabilir kısım verimi (%YKV) ile değerlendirilmiştir. Bitkisel atık yağ kullanılan deneylerde %41.58 kül giderimine ulaşılmış ve %16.38 kül içerikli floklar %99.77 YKV ile kazanılmıştır. Hidrolik atık yağ ve motor atık yağ için kül giderimleri sırasıyla 41.45 ve 43.22 (%) olurken sırasıyla %16.33 ve %17.03 kül içerikli floklar %99.90 ve %99.06 YKV ile kazanılmıştır.

İkinci kısımda ise hidrofobik flokülasyon deneylerinde belirlenen parametrelerin etkileri altında kazanılmış flokların iki kez sisteme dâhil edilmesiyle temiz kömür elde edilmesi araştırılmıştır. Bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ ve motor atık yağlar ile hidrofobik flokülasyon deneylerinin birinci ve ikinci aşamasında elde edilen temiz kömürlerin kül içerikleri ve YKV değerleri sırasıyla; bitkisel atık yağ için %15.95, %97.98; %13.48, %99.48, hidrolik atık yağ için %15.37, %96.53, %14.21, %99.67 ve motor atık yağ için %15.81, %98.66, %14.19, %99.98 olarak kazanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık yağ, bitkisel atık yağ, hidrofobik flokülasyon, hidrolik atık yağ, kömür temizleme, motor atık yağ

## ABSTRACT

### MSc THESIS

## INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF USE OF WASTE OILS FOR CLEANING COAL BY HYDROPHOBIC FLOCCULATION

OSMAN AĞCA

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK**

**2020, 68 Pages**

### Jury

**Assoc. Prof. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK  
Assoc. Prof. Dr. Muhammed Fatih CAN  
Assoc. Prof. Dr. Selma DÜZYOL**

This thesis study consists of two stages. In the first part, hydrophobic flocculation experiments were carried out to enrich the fine-size ( $-212 \mu\text{m}$ ) lignite coal supplied from the Mine field operating in the Beyşehir region. In the experiments, 3 different binding fluids, vegetable waste oil, hydraulic waste oil and engine waste oil, were used. Parameters such as pH of the suspension, solid rate effect, sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) amount, mixing speed, oil amount, flocculation time and floc growth time were examined in detail. The success of the hydrophobic flocculation process was evaluated by the ash content and combustion recovery (CR%) of the flocs obtained after the experiment. In experiments using vegetable waste oil, 41.58% ash removal was achieved and flocs with 16.38% ash content were obtained with 99.77% CR. While ash removal for hydraulic waste oil and engine waste oil was 41.45 and 43.22 (%), respectively, 16.33% and 17.03% ash-containing flocs were obtained with 99.90% and 99.06% CR respectively.

In the second part, it was investigated to obtain clean coal by adding the acquired flocs to the system twice under the effects of the parameters determined in the hydrophobic flocculation experiments. Ash contents and CR values of clean coals obtained in the first and second stages of vegetable waste oil, hydraulic waste oil and engine waste oils and hydrophobic flocculation experiments, respectively; 15.95%, 97.98%, 13.48%, 99.48% for vegetable waste oil, 15.37%, 96.53%, 14.21%, 99.67% for hydraulic waste oil and 15.81%, 98.66%, 14.19%, 99.98% for engine waste oil.

**Keywords:** Coal cleaning, hydraulic waste oil, hydrophobic flocculation, engine waste oil, waste oil, vegetable waste oil,

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamızın her aşamasında bilgi ve birikimlerini bana yardım etmek ve verdiği bilgilerin ışığında, sabırla engin tecrübelerinden yararlanmama olanak sunan, motivasyonu ve desteği ile her daim yanımda olan danışmanım Doç. Dr. Tefvik AĞAÇAYAK hocama, çalışma süresince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Selma DÜZYOL hocama, her koşulda büyük bir özveri ile beni en güzel şekilde yetiştiren, eğitim- öğretim hayatım boyunca güven ve maddi manevi desteklerini her zaman hissettiren annem Gönül AĞCA'ya ve abim Başak AĞCA'ya, en önemlisi benim bu yola girmemde örnek aldığım ve her daim destekçim olmaktan çekinmeyen beni bu günlere getiren, hayatta her zaman başarılı olmam için emek ve çabalarıyla kendine hayran olduğum, gurur duyduğum ve hayatımın her dakikasında özlemle andığım saygı ve sevgi duyduğum merhum babam Mevlüt AĞCA'ya sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Osman AĞCA  
KONYA-2020

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Kömür tanımı, oluşumu ve sınıflandırılması .....	3
2.2. Kömürün önemi, rezervleri, üretimi ve tüketimi .....	6
2.3. Kömür temizlemenin amacı.....	10
2.4. Kömür temizleme ve zenginleştirme yöntemleri.....	11
2.4.1. Flotasyon.....	12
2.4.2. Yağ Aglomerasyonu .....	13
2.4.3. Flokülasyon.....	14
<b>3. ATIK YAĞLAR, TÜRLERİ, MİKTARLARI.....</b>	<b>21</b>
3.1. Bitkisel atık yağ .....	21
3.2. Atık madeni yağ.....	23
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>25</b>
4.1. Materyal .....	25
4.1.1. Kömürün kısa analizi .....	25
4.1.2. Deneylerde kullanılan kimyasallar .....	25
4.1.3. Deneylerde kullanılan diğer kimyasallar .....	26
4.2. Yöntem.....	26
4.2.1. Numune hazırlama .....	26
4.2.2. Elek analizi .....	26
4.2.3. Nem analizi .....	27
4.2.4. Kül analizi.....	27
4.2.5. Kalori tayini analizi .....	28
4.2.6. Zeta potansiyeli ölçümleri .....	28
4.2.7. Temas açısı ölçümleri .....	28
4.2.8. Hidrofobik flokülasyon deneyleri.....	29
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>32</b>
5.1. pH'ın Etkisi.....	32

5.2. Sodyum Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) Miktarının Etkisi .....	34
5.3. Yağ Miktarının Etkisi .....	37
5.4. Flok Büyüme Süresi Etkisi .....	41
5.5. Karıştırma Hızının Etkisi .....	44
5.6. Flokülasyon Süresinin Etkisi .....	47
5.7. Katı Oranı Etkisi .....	50
5.8. Aşamalı Hidrofobik Flokülasyon Çalışmaları .....	52
5.9. Temas Açılarının ( $\theta$ ) Değerlendirilmesi .....	56
5.10. Kalori Tayini Değerlendirmeleri .....	58
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>62</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>68</b>





## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kömürün oluşumu ve kömürleşme derecesi	3
Şekil 2.2. Dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi	7
Şekil 2.3. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları	9
Şekil 2.4. Önemli kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları	9
Şekil 2.5. Flotasyonun temel prensipleri	13
Şekil 2.6. Yağ aglomerasyonu için genel bir akım seması	14
Şekil 2.7. Hidrofobik flokülasyon oluşumu	15
Şekil 3.1. Toplanan bitkisel atık yağların miktarları	22
Şekil 3.2. Atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ miktarı toplamları	23
Şekil 3.3. Konya ili toplanan atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ	24
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ, motor atık yağ	26
Şekil 4.2. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı	27
Şekil 4.3. Zeta potansiyeli ölçüm değerleri	28
Şekil 4.4. Hidrofobik flokülasyon deney şeması	30
Şekil 5.1. pH'ın hidrofobik flokülasyonuna etkisi, bitkisel atık yağ	32
Şekil 5.2. pH'ın hidrofobik flokülasyonuna etkisi, hidrolik atık yağ	33
Şekil 5.3. pH'ın hidrofobik flokülasyonuna etkisi, motor atık yağ	34
Şekil 5.4. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, bitkisel atık yağ	35
Şekil 5.5. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, hidrolik atık yağ	36
Şekil 5.6. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, motor atık yağ	37
Şekil 5.7. Yağ miktarının etkisi, bitkisel atık yağ	38

<b>Şekil 5.8.</b> Yağ miktarının etkisi, hidrolik atık yağ	39
<b>Şekil 5.9.</b> Yağ miktarının etkisi, motor atık yağ	40
<b>Şekil 5.10.</b> Flok büyüme süresi etkisi, bitkisel atık yağ	41
<b>Şekil 5.11.</b> Flok büyüme süresi etkisi, hidrolik atık yağ	42
<b>Şekil 5.12.</b> Flok büyüme süresi etkisi, motor atık yağ	43
<b>Şekil 5.13.</b> Karıştırma hızının etkisi, bitkisel atık yağ	44
<b>Şekil 5.14.</b> Karıştırma hızının etkisi, hidrolik atık yağ	45
<b>Şekil 5.15.</b> Karıştırma hızının etkisi, motor atık yağ	46
<b>Şekil 5.16.</b> Flokülasyon süresinin etkisi, bitkisel atık yağ	47
<b>Şekil 5.17.</b> Flokülasyon süresinin etkisi, hidrolik atık yağ	48
<b>Şekil 5.18.</b> Flokülasyon süresinin etkisi, motor atık yağ	49
<b>Şekil 5.19.</b> Katı oranı etkisi, bitkisel atık yağ	50
<b>Şekil 5.20.</b> Katı oranı etkisi, hidrolik atık yağ	51
<b>Şekil 5.21.</b> Katı oranı etkisi, motor atık yağ	52
<b>Şekil 5.22.</b> Hidrofobik flokülasyon deneyi, 1.temizleme aşaması ve 2.temizleme aşaması sonuçları	55
<b>Şekil 5.23.</b> Sulu ortamda katı ve kabarcık arasındaki temas açısı	56
<b>Şekil.5.24.</b> Temas açılarının ( $\theta$ ) değerlendirilmesi	56
<b>Şekil 5.25.</b> Temas açısı ölçüm görüntüleri (Bitkisel, hidrolik ve motor atık yağ )	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1.</b> Uluslararası genel kömür sınıflandırması	5
<b>Çizelge 2.2.</b> Genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri	5
<b>Çizelge 2.3.</b> Dünyanın önemli linyit tüketici ülkeleri ve tüketim miktarları	7
<b>Çizelge 2.4.</b> Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları	8
<b>Çizelge 2.5.</b> Kömürün zenginleştirme yöntemleri	12
<b>Çizelge 3.1.</b> Konya ili toplanan atık bitkisel yağ miktarı	22
<b>Çizelge 5.1.</b> Optimum hidrofobik flokülasyon çalışma sonuçları	54
<b>Çizelge 5.2.</b> Hidrofobik flokülasyon deneyi,1.aşama ve 2.aşama temiz kömür sonrası kalori değerleri	58

## 1. GİRİŞ

Enerji günümüzün en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Ülkelerin gelecek politikalarını belirlemede enerji doğrudan etkilidir. Ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarını karşılaması ve artan enerji ihtiyacının giderilmesi için gerekli çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Kömür ülkemizin artan enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında çok uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Kömürün dünyada ve ülkemizde büyük öneme sahip olması kaliteli ve temiz kömür ihtiyacının günden güne artışına sebep olmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte çevresel sorunlarda göz önüne alındığında temiz bir çevre ve yaşanabilir bir dünya için, kaliteli ve temiz kömüre ihtiyaç vardır.

Türkiye'nin sahip olduğu linyit rezervlerinin kalitesinin düşük olması sebebiyle hem ekonomik hem de önemli bir değer kaybı yaşanmaktadır.

Son zamanlarda önemli kaynaklar arasında yer alan kömür, sanayinin gelişmesi ve ilerlemesinin gerçekleşmesinde en büyük ana faktör olmuştur (Topçu, 2007). Gelişen yeni enerji teknolojileri ve çevre ile ilgili artan kaygılar, kömürün daha temiz bir fosil yakıt olarak üretimini zorlaştırırken, klasik yöntemler ile zenginleşmesi düşük kaliteli kömürlerin de daha yüksek verim elde edebilmek ve ülke ekonomisine kazanımı için araştırmalar yapılmaktadır. Bütün bu bilgilerin ışığı altında, kömürün çevreye daha az zarar verecek yöntemlerle üretilmesi ve tüketimi sırasında çevreye daha az zararlı gaz çıkışı verecek şekilde hazırlanması önem arz etmiştir. Ayrıca kömür yanmasıyla oluşan külün de çevreye zarar etkilerinin en az düzeylere indirilmesi gerekmektedir (Güney ve ark., 1997).

Üretim süreçleri dikkate alındığında açığa çıkan belirli miktarda ince kömür tozlarının değerlendirilemediği bilinmektedir. (Tosun, 1997; Şahinoğlu, 2006). Toz kömürün standart metotlarla temizlenmesinde istenen verim ve düşük kül oranlarına ulaşılmasında yaşanan sıkıntılar birçok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Kemal ve Arslan, 1999).

Günümüzde, 0.5 mm tane boyutunun altı olarak nitelendirilen ve değerlendirilemeyen toz kömürler, stoklanmakta ve ekonomiye kazandırılmayan atıl bir yatırım olarak kalmaktadır (Kılınç, 2000). Toz kömürlerin yakıt olarak kullanılmadan atılı durumda olmasının yanı sıra, çevre duyarlılığının getirdiği yükümlülükler, toz kömürlerin atık olarak atılması konusunda engeller çıkarmaktadır (Şahinoğlu, 2006).

Flotasyon, flokülasyon ve yağ aglomerasyonu, toz kömürün temizlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Hidrofobik flokülasyon değerli ve değersiz minerallerin yüzey özelliklerindeki farklılıklar yardımıyla yapılan ayırma tekniğidir. Bu teknik süspansiyon içinde ince kömür taneciklerinin yağlar ile belirlenen devirlerde karıştırılmasına dayanır. Böylelikle hidrofobik özelliğine sahip kömür taneciklerinin kül yapıcı maddelerden ayrılması sağlanır (Ünal ve ark., 2000). Ayrıca önceki çalışmalardan da anlaşılacağı gibi elde edilen temiz kömürlerin yanabilir kısım verimlerinde artışlar kül değerlerinde ise azalmalar yaşandığı gözlemlenmiştir (Song ve Trass, 1997; Koca, 1998; Song ve Valdivieso, 1998; Song ve ark., 1999; Choung ve ark., 2000; Song ve Lu, 2000; Song ve ark., 2004; Ucbeyiay, 2013; Duzyol ve Sensogut, 2015; Düzyol, 2015).

Hidrofobik flokülasyon, alternatif yöntemler içinde belirgin üstünlüklere sahip olmasına rağmen, uygulama bulmakta zorluk yaşamaktadır. Atık yağlar (bitkisel, motor, hidrolik, vb.), hidrofobik flokülasyon yönteminde bağlayıcı yağ olarak kullanıldığı takdirde kömürün kalitesinde ve kömürün veriminde artış, kül oluşumuna sebep olan maddelerin gideriminde ve kömürün değerlendirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Günümüzde yüksek kül ve kükürt içerikli kömürün gerekli temizleme işlemlerine tabi edilmeden kullanıldığı için kıymet kaybına uğraması ve çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Ayrıca önemli sorun teşkil etmeye başlayan atık yağların da değerlendirilmesi temiz çevreye ve sıfır atık projesine katkı sağlayacaktır.

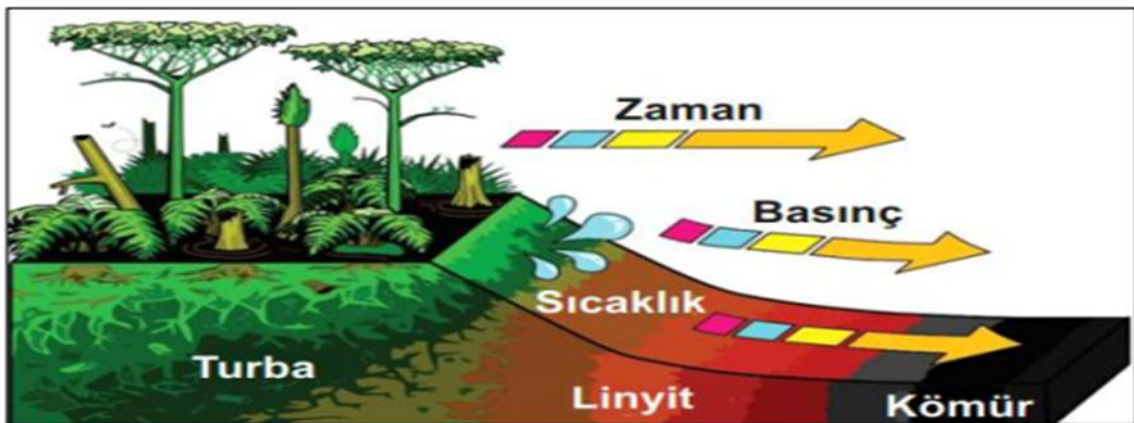
Bu çalışmada, kömürün hidrofobik flokülasyon ile temizlenmesinde atık yağların kullanım olanakların araştırılması ve zenginleştirme sonrasında elde edilen flokların çeşitli özelliklerinin yöntem parametreleri ile ilişkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kömür tanımı, oluşumu ve sınıflandırılması

Kömür, koyu griden kahverengi-siyaha kadar değişik renklerde parlak veya mat olarak bulunabilen tortul bir kayaç ve fosil yakıttır. Hacimsel ve ağırlıklı olarak kömürleşmiş bitki kalıntıları sonucu meydana gelmiştir. (Ünalın, 2013). Ana bileşeni karbon, hidrojen ve oksijen olan ve az miktarda kükürt ve nitrojen içeren kömür, bünyesinde kül yapıcı inorganik bileşikler ve mineraller de bulundurur (TTKGM, 2016).

Kömür, bitkilerin doğa olaylarının etkisiyle zaman içerisinde bozulup fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu oluşur (Şekil 2.1). Bitkilerde fiziksel ve kimyasal değişimlere yol açan doğa olayları arasında bakteri ve mantar hücrelerinin faaliyetleri, oksitlenme, redüklenme, hidroliz ve damıtım ile su ortamındaki ısı ve basıncın etkileri sayılabilir. Fiziksel değişimler başlıca rengin kararması, parlaklık, sertlik, sıklık ve kırılabilirliğin artmasıdır. Kimyasal değişimler ise esas olarak nemin, hidrojen ile oksijen bileşiklerinden oluşan uçucu maddelerin (karbon dioksit ve metan gazları gibi) kısmen kaybolarak azalması, geri kalan maddelerin molekül yapılarının değişmesi, sabit karbon ve kül oranlarının artması şeklindedir (Yaşar, 2018).



Şekil 2.1 Kömürün oluşumu ve kömürleşme derecesi (URL-1, 2018).

Turbaların oluşumu, üstündeki katmanların basıncı, dağ oluşumları ve tektonik olaylar ile oluşmaktadır. Yer kabuğundaki basılma ve yükselme gibi hareketler ile alt seviyelere inen turba yatakları, üzerinde biriken kil, kum ve marn gibi tabakaların altında sıkışır. Sıkışan turba yatakları yer kabuğu hareketleri, üst katmanlardan gelen basınç, kimyasal reaksiyonlar ve yeraltı kaynaklarından gelen ısıların etkisiyle kömüre

dönüşür (Ateşok, 2004). Kömürler, özellikleri bakımından çok farklılık gösterdiklerinden dolayı sınıflandırılması için kullanılabilir çok fazla değişken vardır. Bu değişkenlerin içinde genellikle ısı değeri, sabit karbon, uçucu madde, nem ve hidrojen yüzdeleri temel alınmıştır. Bu nedenle birbirine benzeyen ve çakışan birçok sınıflama sistemi vardır (Ateşok, 1986). Uluslararası ilk kömür sınıflaması, Uluslararası Kömür Kurulu tarafından ve Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) katkısıyla 1957 yılında oluşturulmuştur. Bu sınıflamada taş kömürü ve kahverengi kömürler olmak üzere iki ayrı gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır (TTKGM, 2018).

- ✓ Sert Kömürler (Taşkömürü-Hard Coal): Nem içeriğine sahip ve kül içeriği bulundurmeyen kalorifik değeri 5700 kcal/kg üzerinde bulunan kömür çeşididir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değeri ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılır.
- ✓ Kahverengi kömürler (Brown Coal): Nem içeriğine sahip ve kül içeriği bulundurmeyen kalorifik değeri 5700 kcal/kg altında bulunan kömür çeşididir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kömürlerin üretim aşamalarında ve kömürlerin ticaretinde IEA/OECD tarafından bu iki kategori kullanılmaktadır. IEA/OECD kömür istatistiklerinde 1978 yılından itibaren kömür pazar analizleri ve tahminlerinde bu iki kategori alt sınıflara bölünmektedir (TTKGM, 2018).

Taşkömürü: Koklaşabilir kömürler ve koklaşmayan kömürler olarak iki grupta incelenmektedir.

Koklaşabilir Kömür: Metalürjik kömür olarak da bilinen koklaşma özelliğine haiz olan yüksek fırınlarda kullanılabilmesi mümkündür.

Diğer bitümlü kömürler ve antrasit: Termal kömür olarak bilinen ve sınıflandırılmayan taş kömürüdür.

Kahverengi kömürler (Brown Coal): 4.165-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değere sahip olan yarı bitümlü kömür, 4165 kcal/kg altında kalorifik değere sahip linyit kömürleridir.

Uluslararası genel kömür sınıflandırması Çizelge 2.1'de genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıttıcı özellikleri ise Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Uluslararası genel kömür sınıflandırması. (IEA/OECD Coal Information Report, 1983).

<b>TAŞ KÖMÜRÜ (HARD COAL)</b>	KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanımına uygun kok üretimine izin veren kalitede)
	KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER -Bitümlü kömürler -Anrasit
<b>KAHVERENGİ KÖMÜRLER (BROWN COALS)</b>	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4.165-5.700 kcal/kg arasında kalıfrik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
	LİNYİT (4.165 kcal/kg'ın altında ısıl değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Çizelge 2.2. Genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (Mervit RD Coal Exploration, Mine Planning and Development).

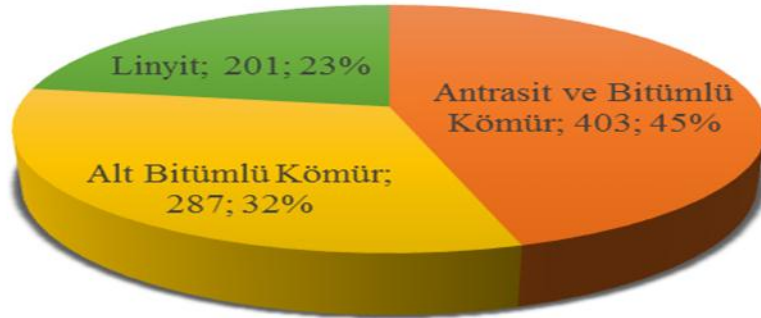
<b>KAHVERENGİ KÖMÜRLER</b>		<b>TAŞKÖMÜRÜ</b>	
<b>LİNYİT</b>	<b>ALT BİTÜMLÜ</b>	<b>BİTÜMLÜ</b>	<b>ANTRASİT</b>
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Blok şeklinde kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl Değer: 4610 kcal/kg altında	Isıl Değer: 4610-6390 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 5390-7700 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 7000 kcal/kg üstünde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde mik-tarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük
Düşük karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek



## 2.2. Kömürün önemi, rezervleri, üretimi ve tüketimi

Enerji ihtiyacı her alanda olduğu gibi ülkelerin ekonomik ve sosyal refahı için önemli bir faktördür. Gelişmiş ve gelişmekte olan bütün ülkelerinde üzerinde durduğu ve ülkemiz içinde enerji endüstrisi çok önemli bir konudur. Enerji konusunda, başka ülkelere bağımlı olan bir ülke, enerji endüstrisini ve gelişim planlarını oluştururken bağımsız bir şekilde planlama konusunda da sıkıntılar yaşamaktadır. Enerji üretimi, gıda ve maden üretim alanlarında mümkün olduğunca bağımsız olmayı hedefleyen ülkelerin ana amaçlarından birisi olmalıdır. Bu gayeler ışığı altında; ülkemiz enerji, maden, tarım ve gıda endüstrisine büyük önem vermesiyle gelecek politikasını bu çerçevede oluşturduğu takdirde, dünyadaki gelişmişlik seviyesinde bulunan ilk on ülke arasına girebilecek potansiyele sahiptir (Bilim, 2016). Elektrik enerjisi üretimlerini karşılamak için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde kömürün yakıt olarak kullanılmasıyla elektrik enerjisi elde edilmesi farklı kaynakların (rüzgâr, su, güneş) kullanılmasıyla elde edilen enerjilerin en başında gelmektedir. Dünyada geniş ve yaygın bir yeri olan kömür, enerji hammaddeleri içerisinde geniş bir tüketim alanına sahiptir. Ülkelerin enerjinin karşılanmasında kömürün önemini büyük arz etmektedir. Kömürün ülkemizin enerjideki dışa bağımlılığın azaltılmasında önemli bir rolü olduğu kadar dünya için de önemli bir hammadde kaynağıdır. Türkiye, önemli enerji kaynaklarından olan petrol ve doğal gaz açısından yeterli rezervlere sahip olmadığı ve buna karşın kömür üretim sahalarının bulunması açısından önemli durumda olduğu söylenebilir. Ülkemizde linyit rezervleri açısından önemli sayılabilecek derecelerde rezervlere sahiptir. Dünya kömür rezervlerine bakıldığında; (Avrupa-Avrasya ülkelerinde kömür rezervlerinin 323,6 milyar tonu, Asya-Pasifik ülkeleri kömür rezervlerinde 424,2 milyar tonu, Kuzey Amerika ülkelerinde kömür rezervi 258,7 milyar tonu, Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde kömür rezervi 14,4 milyar ton ve Orta ve Güney Amerika ülkelerinde kömür rezervleri 14,0 milyar tonu barındırmaktadır (Enerji Bakanlığı, 2020). Dünya Enerji Konseyi tarafından dünya üzerindeki ülkelerin yarısından fazlasında kömürün bulunduğu ayrıca 250,9 milyar ton olarak raporlanan kömür rezervlerinin en büyük kısmı ABD'de yer almaktadır. ABD'yi Rusya Federasyonu kömür rezervi 160.4 milyar ton ve Avustralya kömür rezervi 144,8 milyar ton şeklinde izlemektedir. Diğer kömür rezervleri zengini ülkeler arasında; Çin, Hindistan, Almanya, Ukrayna Polonya, Kazakistan ve Endonezya gibi ülkeler bulunmaktadır. Bu sebeple, dünya kömür rezervlerinin tamamına yakını bu ülkelerin topraklarında yer almaktadır.

Dünya Enerji Konseyi'nin kömür araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 892 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir (Enerji Bakanlığı, 2020).



Şekil 2.2.Dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi (Enerji Bakanlığı, 2020)

Küresel linyit tüketimi ise 2017 yılında 2016 yılına göre % 0.9 oranında bir düşüş göstermiş ve 7,0 milyon ton azalarak 820,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılının en büyük linyit üreticisi ve tüketicisi Almanya'nın linyit tüketimi 171,4 milyon ton olmuştur. Türkiye 71,7 milyon ton tüketim ile en büyük ikinci linyit tüketicisi ülke olurken Rusya ise 70,3 milyon ton tüketim ile üçüncü sıraya yerleşmiştir. Çizelge 2.3'te dünyanın önemli linyit tüketicisi ülkeleri ve tüketim miktarları verilmiştir (TTKGM, 2018).

Çizelge 2.3. Dünyanın önemli linyit tüketicisi ülkeleri ve tüketim miktarları (TTKGM, 2018).

Ülke	2015	2016	2017
Almanya	177,0	171,0	171,4
Türkiye	56,7	68,0	71,7
Rusya	72,2	69,4	70,3
ABD	67,9	67,2	64,3
Polonya	63,0	60,4	61,2
Avustralya	65,4	61,5	57,3
Hindistan	42,2	45,2	47,5
Sırbistan	38,4	39,0	40,2
Çekya	37,8	38,2	37,7
Yunanistan	44,3	34,2	37,7
Diğer	151,7	159,2	161,2
<b>Dünya</b>	<b>816,6</b>	<b>813,3</b>	<b>820,5</b>

Ülkemizde birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı; 41.93 mtep (milyon ton eşdeğeri petrol) ham petrol ve petrol ürünleri, 41.17 mtep doğalgaz ve 40.97 mtep

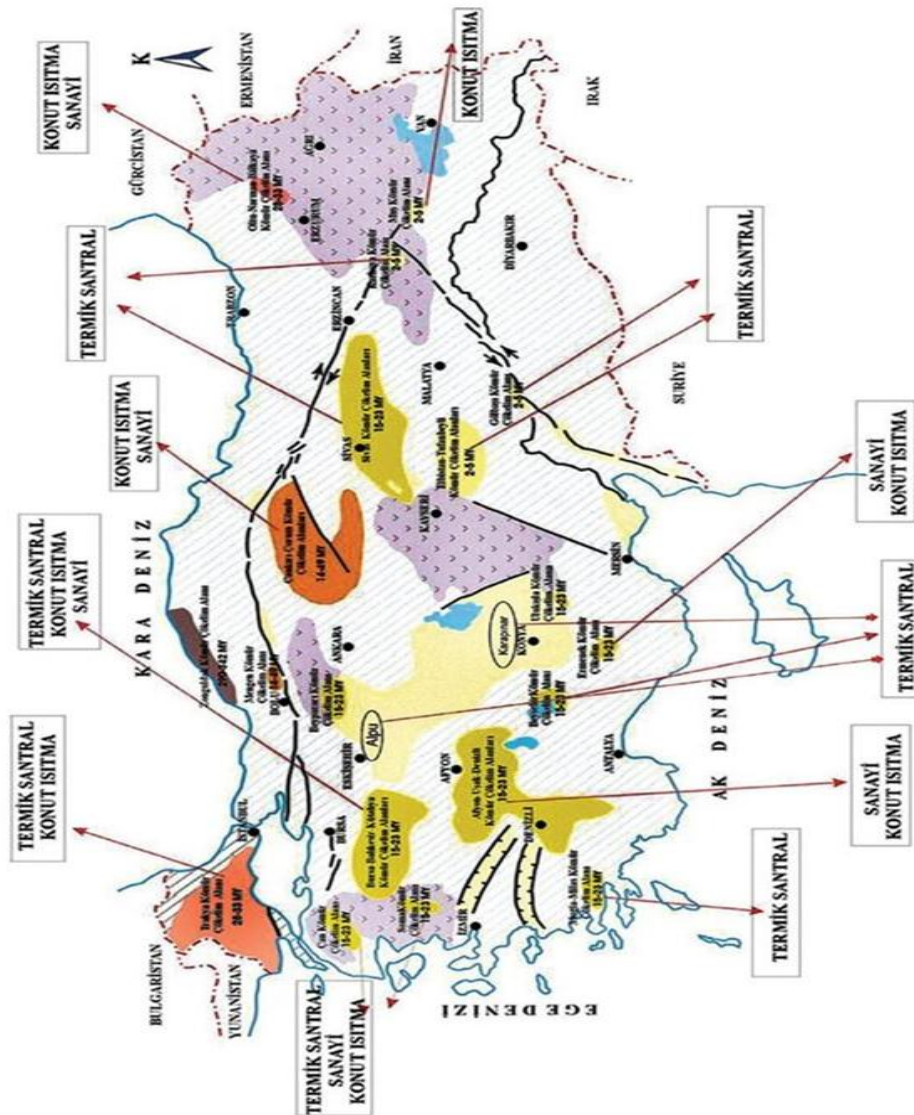
kömür (taş kömürü, linyit, asfaltit, kok) şeklindedir. 2017 yılında bu dağılım toplam 145.11 mtep düzeyindedir (EİGM, 2020). 2004 yılında Zonguldak havzasında rödavans karşılığı özel firmalara üretim başlatılması, özel firmalarda 2015 yılında toplam taş kömürü üretimleri %30.8 oranına çıkarmıştır (TTK, 2018). Ülkemiz linyit açısından dünyada önemli yere sahiptir ve dünya kömür rezervinin yaklaşık %2.1'ini karşılamaktadır. Bununla birlikte ülkemiz linyit kömürlerin %79'unun, 2500 kcal/kg ısı değerinin altında olması nedeniyle termik santrallerde kullanılmaktadır. Son zamanlarda gerçekleştirilen tahmini 70 milyon ton linyit üretimin tamamına yakını termik santraller aracılığı ile değerlendirilmektedir. Linyite dayalı termik santrallerinin kurulu gücü 8.515 MW olup bu güç, toplam kurulu gücün %23.6'sına karşılık gelmektedir. Rezervleri bilinen ve termik santral tesislerinin kurulabilmesine olanak sağlayacak özellikte olan linyit sahalarının büyük bir ivme ile işleme sokulması ve mevcut olanlara yeni ünitelerin ilavesi ile mevcut kurulu gücün 20.000 MW daha artırılması sağlanacaktır (MTA, 2020a). Türkiye'nin önemli linyit kömür havzaları ve sahaları Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları (MTA, 2020a).

Kömür Sahaları	Toplam Rezerv (Ton)	Kömür Sahaları	Toplam Rezerv (Ton)
Afşin- Elbistan	4.642.340.000	Tekirdağ –Saray	141.175.000
Afşin -Elbistan (MTA)	515.000.000	Amasya-Yeniçeltek	19.791.000
Manisa-Soma	861.450.000	Yozgat –Sorgun	13.206.000
Adana-Tufanbeyli	429.549.000	Bolu –Göynük	43.454.000
Adıyaman-Gölbası	57.142.000	Çorum-Dodurga	38.500.000
Bingöl –Karlıova	88.884.000	Konya-Karapınar	1.832.000.000
Ankara-Beypazarı	498.000.000	Konya (Beyşehir-Seydişehir)	348.000.000
Afyon-Dinar-Dombayova	941.000.000	Bolu (salıp-Merkez)	98.000.000
Bolu-Mengen	142.757.000	İstanbul (Silivri)	180.000.000
Muğla-Milas	750.214.000	Eskişehir (Alpu)	1.453.000.000
Çankırı-Orta	123.165.000	Eskişehir (Koyunağlı)	57.430.000
Çanakkale-Çan	92.483.000	Edirne	90.000.000
Kütahya-Tunçbilek	317.732.000	Bursa (Keleş - Orhaneli)	85.000.000
Kütahya-Seyitömer	198.666.000	Balıkesir	34.000.000
Sivas-Kangal	202.607.000	Ankara (Gölbası)	48.000.000
Kütahya-Gediz	23.945.000	Diğerleri	1.928.810.000
Tekirdağ-Çerkezköy	573.600.000	Tekirdağ -Saray	141.175.000
Tekirdağ-Malkara	618.000.000	Amasya-Yeniçeltek	19.791.000
<b>TOPLAM</b>	<b>17.478.900.000</b>		



Şekil 2.3. Türkiye'nin önemli linyit havzaları ve sahaları (MTA, 2020b).



Şekil 2.4. Önemli kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları (MTA, 2020c).

### 2.3. Kömür temizlemenin amacı

Yeraltından ya da açık ocaktan çıkarılan kömürün, içinde kömür olmayan tabakalar ve mineraller içermesinden dolayı heterojen bir yapısı ve oldukça değişken bir kalitesi vardır (Gouri Charan, 2016).

Kömürün kullanıma sunulmadan önce kül oranını düşürmek ve ısı değerini yükseltmek, kömürün içindeki yapının uzaklaştırılması için yapılan işlemlerdir. Kömürün içerdiği safsızlıklar mineral madde içeriği ve nem içeriğidir. Temizleme işlemleri sırasında mineral madde içeriği azaltılmaya çalışılırken, nem içeriği ise temizleme işlemlerinin son adımında stoklama veya termik kurutma yolu ile uzaklaştırılabilir (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

Ülkemizdeki kömürler genelde düşük ısıl değere sahip linyit kömürler olduğundan, elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmeleri daha uygundur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 ve sonraki yıllara hitap eden uzun vadeli planlamaları arasında, enerjide dışa bağımlı olmamızdan kaynaklı cari açığımızın azaltılmasına yönelik çeşitli planlamalar mevcuttur. Bu planlamaların en önemli ayaklarından birisini de petrol ve doğal gaz yönünden yoksun ülkemizin yerli linyit kaynaklarını temiz kömür teknolojilerini kullanarak elektrik üretimi amaçlı değerlendirmek oluşturmaktadır (Bayrak ve Aktan, 2017).

Ülkemizin de içinde bulunduğu enerji politikaları kapsamında kömürden enerji elde etmek ve bu alanda gerekli çalışma ve araştırmaların yapılması ülkemizin dışa bağımlılıktan kurtulmasına ayrıca mevcut bulunan rezervlerimizin etkili ve ekonomik şekilde kullanmamıza olanak sağlamaktadır. Temiz kömür elde etmek ekonomik alanda kazanılmış bir itibarın dışında çevre ve insan sağlığına verilen önemin derecesini göstermektedir.

Temizlenmiş kömür aşağıdaki avantajları sunmaktadır (Rao ve Gouricharan, 2016);

- ✓ Verimli yanma ve daha yüksek ısı miktarı (birim başına),
- ✓ Maksimum ısının kullanılması,
- ✓ Nakliye ve taşıma giderlerinde düşüş,
- ✓ Az kül, iyi temizleme

Kömürün yapısında istenmeyen madde olarak adlandırılan mineral içeriği değişik miktarlarda bulunmaktadır. Kömür, içerdiği istenmeyen maddeler yüzünden tam olarak yanmaz. Kömürün içerdiği safsızlıkların kalitesi ve yapısı genel olarak birkaç faktör ile ilişkilidir (Yaşar, 2018).

Kömürün beraberinde bulunan istenmeyen mineral maddenin olumsuz etkileri şunlardır (Rao ve Gouricharan, 2016);

- ✓ Belirlenen limitlerin üzerindeki mineral madde içeriği kömür temizleme verimliliği etkilemektedir.
- ✓ Mineral maddenin kömürle birlikte taşınması maliyeti arttırmaktadır ve ısı değerini düşmesine sebep olmaktadır.
- ✓ Termik santrallerde, beslenen kömürdeki fazla miktardaki kül miktarı yatırım miktarını arttırmaktadır aynı zamanda bakım ve işletme ile ilgili zararlara sebep olmaktadır.
- ✓ Demir çelik endüstrisinde, kok kömürünün kül içeriğindeki %1'lik artış üretimi %3-6 azaltmaktadır ayrıca kömür tüketimini %4-5 arttırmaktadır.
- ✓ Kömür ile çalışan buharlı lokomotiflerin yüksek kül içeriği çalışma maliyetini arttırmaktadır.

Temiz kömürün elde edilebilmesinin sebepleri ve amaçlarıyla doğrudan orantılıdır. Temiz kömürün, ülkemizde çevre ve insan sağlığı açısından dikkate alınması, ekonomiye etkisi, fizyolojik ve doğrudan ihtiyaçlarımızın karşılanmasında etkisi büyüktür.

#### **2.4. Kömür temizleme ve zenginleştirme yöntemleri**

Kömür temizleme ve zenginleştirme işlemleri kömürün kül, nem ve kükürdünü azaltmak ve bunların giderimini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Temizlenmiş ve zenginleştirilmiş kömürün ısı değeri artar, çevre ve insan sağlığına zararları minimum düzeye iner, ekonomiye gereken desteği sağlamasında yardımcı olur. Kömürün temizleme ve zenginleştirme işlemlerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Kömürün temizlenmesinde genellikle fiziksel yöntemler uygulanmaktadır.

Çizelge 2.5.Kömür zenginleştirme yöntemleri ( Hacifazlıoğlu, 2015)

<b>Yaş Yöntemler</b>
Ağır ortam cihazları Jigler (Harz, Baum, Batac) Spiraller Hidrolik Ayırıcılar (TBS) Modern Gravite Ayırıcılar (MGS, Falcon, Knelson, Kelsey Jig) Köpük Flotasyonu (Klasik, Kolon, Jet Flotasyonu) Yağ aglomerasyonu, Flotasyon, Flokülasyon Kimyasal ve Biyolojik Yöntemler
<b>Kuru Yöntemler</b>
Elle Ayıklama Bradford Kırıcısı FGX, FX cihazları Havalı Jig (Allair Jig) Manyetik Ayırma (dar boyut aralığı) Elektrostatik Ayırma Optik Zenginleştirme

İnce kömürlerin zenginleştirme ve temizlenme işlemleri, iri boyutlu kömürlerin temizlenmesine göre daha kolay bir işlemdir. Sebebi malzeme boyutu küçüldükçe serbestleşme arttığı için temizlenme olanağı artmaktadır. Genellikle üründe kabul edilebilir nem değerine ulaşamaması, ince kömür fraksiyonlarının geri kazanım kabiliyetini sınırlar. Genel olarak, ayırma verimliliği açısından yaş prosesler daha etkindir (Honaker ve ark., 2013).

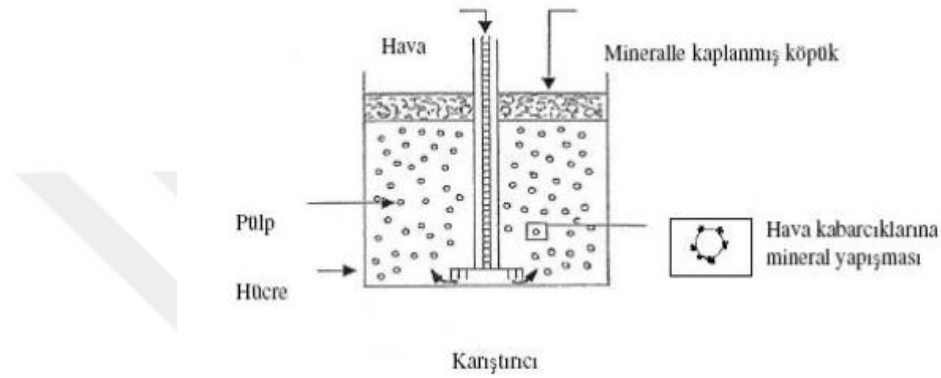
Bir kömür yıkama tesisinde (lavvar) kömürün tane boyutuna bağlı olarak Çizelge 2.5’de verilen yöntemlerden birkaç tanesi bir arada kullanılmaktadır. Yüzey özeliğine dayalı yöntemlerden belli bir boyutun altındaki ince kömür tanelerinin ekonomik olarak zenginleştirilmesi için uygulanan yöntemler flotasyon, yağ aglomerasyonu ve flokülasyon yöntemi olarak sayılabilir.

#### **2.4.1. Flotasyon**

Flotasyon yöntemi; minerallerin yüzey özelliklerinin reaktiflerle değişimi ile bazılarının hidrofobik özellik kazanması, minerallerin yüzmesi, bazı minerallerin de çökmesi ilkesine dayanan bir ayırma yöntemidir (Atak, 1990).

Flotasyonun oluşmasında, hava kabarcığının kendisini mineral taneciğine bağlaması ve onu yüzeye taşıyabilmesi gerekmektedir. Hava kabarcıklarının mineral parçacıklarına ancak su tabaksının uzaklaşmasıyla yapışması mümkündür. Bu olay da minerallerin hidrofobik özellikleri ile alakalıdır (Yavuz, 2010).

Hava kabarcıkları yüzeye doğru çıkarken, mineral taneciklerini kavramaya devam etmelidir. Aksi takdirde kabarcıkların parçalanmasıyla mineral tanelerinin düşmesine neden olacaktır. Bunun için çeşitli kimyasal maddeler kullanılması gereklidir. Böylece mineral hava kabarcığı yükselecek ve su yüzeyinde köpük oluşumuna neden olacaktır. Pülpün üzerindeki köpük sıyrılarak uzaklaştırılıp, konsantrte elde edilir (Şekil 2.5).



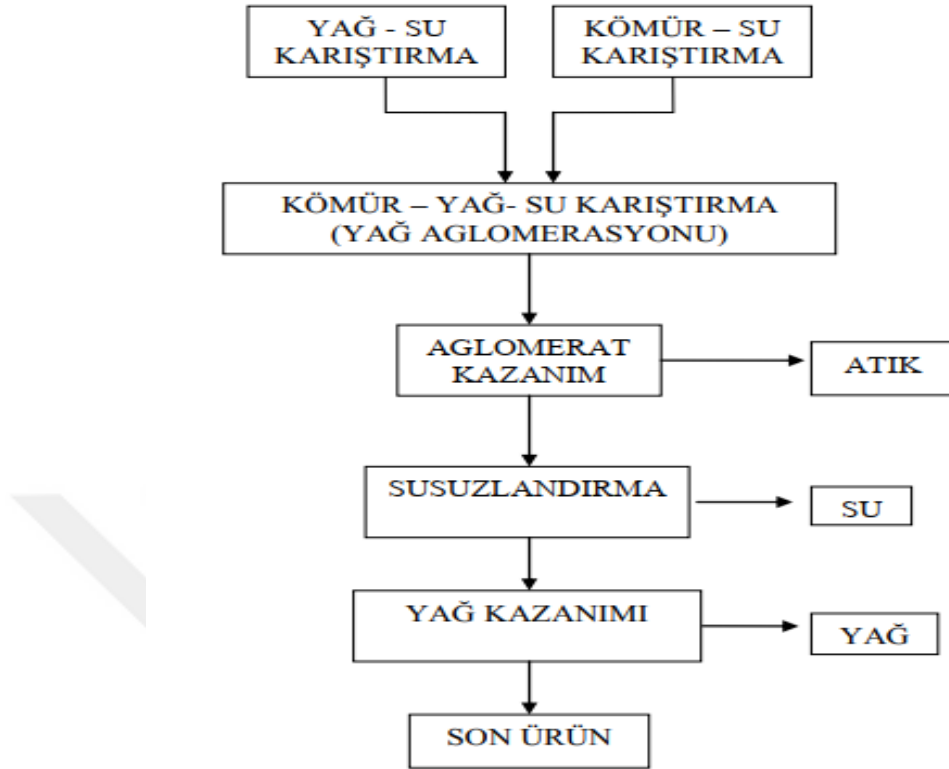
Şekil 2.5. Flotasyonun temel prensipleri (Oruç, 1996).

#### 2.4.2. Yağ Aglomerasyonu

Yağ aglomerasyonu, kömürlerin ve içindeki mineral maddelerin yüzey özelliklerindeki farklılardan faydalanarak seçimli ayırma yapılan bir yöntemdir (Uçbaş ve Hoşten, 1989). Bilindiği üzere kömür, içerisinde bulunan diğer mineral maddelere göre hidrofobik bir yapıya sahiptir. Toz kömürün sudaki süspansiyonuna yağ türevleri eklenerek karıştırılmasıyla, kömür taneleri çarpışarak yüzeylerinde bulunan yağın da bağlayıcı özelliği ile birbirine bağlanarak aglomeratları oluştururlar. Hidrofilik özellikteki diğer maddeler ise dağılmış halde süspansiyon içinde kalırlar (Şahinoğlu, 2006).

Aglomeratların, sistem içerisinde büyümesi, birbirleriyle çarpışma ile yüzeylerinin çok ince kömür tanecikleri ile kaplanması ve karıştırma esnasında parçalanmış zayıf aglomeratların sağlam aglomeratlara yapışması ile olmaktadır (Kılınç, 2000). Şekil 2.6'da bir örneği olduğu gibi yağ aglomerasyon metodlarının gelişme aşamalarında elde edilen birden fazla farklı türde akım şemaları vardır (Şahinoğlu, 2006).





Şekil 2.6. Yağ aglomerasyonu için genel bir akım seması (Şahinoğlu, 2006).

### 2.4.3. Flokülasyon

Flokülasyon işlemi, doğal ya da sentetik yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak seçimli olarak istenilen tanelerin bir araya getirilerek salkımlaştırma işlemiyle çöktürülmesidir (Panda ve ark., 2010). Flokülasyonda kullanılan doğal flokülantlar reçine, nişasta, bitki ve sebze tohumlarından elde edilen doğal organik maddelerdir. Fakat doğal flokülantlar sentetik flokülantlara nazaran daha zayıf flokülasyon yeteneğine sahip ve daha düşük molekül ağırlıklıdır. Sentetik flokülantlar ise katı, sıvı veya emülsiyon gibi üç farklı şekilde üretilmektedir. Anyonik, katyonik ve iyonik olmayan polimerler olarak üç gruba ayrılmaktadır (Demiral, 2013).

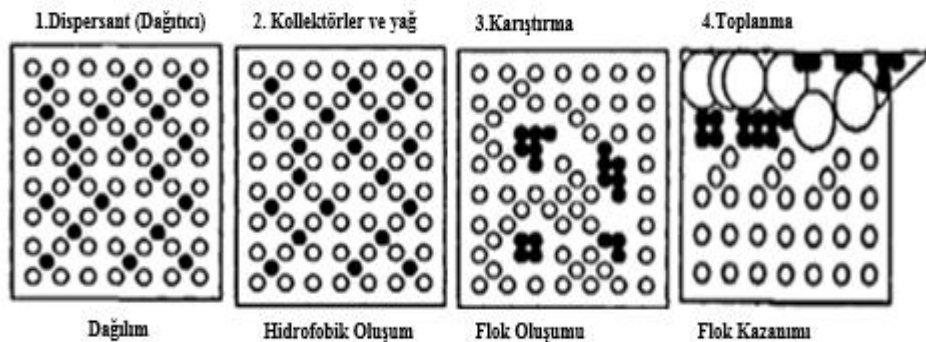
Flokülasyon yöntemi, flotasyon yönteminin uygun olmadığı çok küçük tane boyutundaki kömürlerin temizlenmesinde araştırmalarda kayda değer bir ilgi görmektedir. Genellikle yapılan çalışmalarda kömürdeki piritin uzaklaştırılmasından çok polimerik flokülantlar ile kül azaltma üzerine odaklanmış çalışmalar bulunmaktadır (Kawatra ve Eisele, 2001).

Kömürün flokülasyonu aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- ✓ Su içerisinde kömürün, minerallerin ve maddelerin karışımı ile dağıtılmasıdır. Su içerisinde tanelerin dağıtımı yapılmasıdır.
- ✓ Kömür yüzeyine flokülantların adsorplandığı flokülasyon aşamasıdır. Kullanılan flokülant tipine bağlı olarak, kül yapıcı minerallerin ya da kömürün floküle edilmesi sağlanabilir.
- ✓ Flokları şartlandırmaktadır. İstenmeyen parçaların floklardan uzaklaştırma ve süspansiyondan uzaklaştırılması esnasında yeterli dayanıma sahip olmalarıdır.
- ✓ Son olarak flokların süspansiyondan ayırma işlemidir. Flokların bozulmadan süspansiyondan ayırma işlemi gerekmektedir. Bu amaç için kullanılan yöntemler flotasyon, gravite dekantasyonu ve süzerek ayırmadır (Kawatra ve Eisele, 2001).

#### 2.4.3.1. Hidrofobik flokülasyon

Hidrofobik flokülasyon tekniği, sulu süspansiyondaki ince partiküllerin hidrofobik flokülasyonu temelinde tüm ayırma yöntemleri için bir terimdir. Hidrofobik flokların oluşumu ve flokların diğer maddelerden ayrılması olmak üzere iki aşamaya ayrılabilir. Birincisi sadece hidrofobik flokülasyondur ve ikincisi, geri kazanılacak flokların özellikleri için uygun olan standart ayırma yöntemlerinden biri olabilir (Song, ve ark., 1999).



Şekil 2.7. Hidrofobik flokülasyon oluşumu (Song, ve ark., 1999)

**Dispersant (Dağıtıcı):** Bu adım, ayırma verimliliği üzerinde zararlı bir etkiye sahip olacak hetero koagülasyonu önlemek için ince partikülleri dengelemek için gereklidir. Dispersantlar, daha hidrofilik hale getirmek için gang yüzeyine özellikle

adsorbe olmalıdır. İnce parçacıklar üretilirken öğütme sırasında dağıtıcıların eklenmesi tavsiye edilir. Yaygın dağıtıcılar sodyum silikat, sodyum heksametafosfat, sodyum florosilikat, sodyum tripolifosfat, tannik asit ve lignosülfonatlar kullanılır (Song, ve ark., 1999).

**Dispersiyon (Dağılıma):** Dispersiyon aşamasını takiben, özel olarak adsorbe edilmiş yüzey aktif maddeler (toplayıcılar) mineralleri hidrofobik hale getirmek için sisteme eklenir. Hidrofobiklik, hidrofobik parçacıkların yüzeyine yayılan polar olmayan yağ ilavesiyle artmıştır (Song, ve ark., 1999).

**Hidrofobik flokülasyon:** Bu aşama ince parçacıkların yüksek bir kesme hızında (yüksek karıştırma hızı ve uzun süre) koşullandırılmasını içerir. İnce hidrofobik parçacıklar bu aşamada hidrofobik etkileşim ve yeterli büyüklükte mekanik enerji girişi ile toplanır (Song ve ark., 1999).

**Flok kazanımı:** Bu son aşama hidrofobik flokları hava kabarcıkları yardımıyla bir köpüğü meydana getirir. Daha sonra köpük sistemden çıkarılır ve olağan yüzdürme işleminde olduğu gibi bir konsantrite üretmek için kullanılır. hidrofobik flokülasyon flotasyonunun (HFF) oluşumunun başarısı, istenen ince tozların seçici hidrofobik flokülasyonuna ve dolayısıyla hidrofobik flokülasyon sistemindeki ana parametreler arasındaki etkileşim etkilere bağlıdır. Aşama iki de gösterildiği gibi parçacıkların hidrofobikliği, yüksek karıştırma hızı ve polar olmayan yağ ile bağlantılıdır (Song, ve ark., 1999).

#### 2.4.3.2. Hidrofobik flokülasyon yöntemi ile yapılan çalışmalar

Song ve Trass (1997), ince kömür temizliği hidrofobik flokülasyon-flotasyon işlemini basitleştirmek ince öğütme ile seçici hidrofobik flokülasyonu bir araya getiren yeni bir fikir sunmuştur. Bu eşzamanlı öğütme ve hidrofobik flokülasyon-flotasyon işleminde, öğütmede harcanan fazla mekanik enerji, kömür süspansiyonun karıştırılması için kullanılması ve bu da değirmende hidrofobik kömür floklarının oluşumuyla sonuçlanacağını belirtmiştir. Prens kömüründen kül ve piritik sülfürün uzaklaştırılması için deneyler yapılmıştır. Dört aşamalı temizlik flotasyonundan sonra % 92.8 kül ve % 65.8 pirit kömürden % 81.6 yanabilirlik kısım verimi elde edilmiştir.

Koca, (1998), %61,44 kül içerikli Zonguldak kömürleri ile 4 kg/ton flükolant ve 2 kg/sodyum heksametafosfat (kalgon) ile gerçekleştirdiği hidrofobik flokülasyon

çalışmaları neticesinde %80,36 yanabilir kısım verimi ile %15,12 küllü kömür elde etmiştir.

Song ve Valdivieso (1998), hidrofobik flokülasyon flotasyonunun (HFF), ince öğütülmüş cevherleri, şamları, kömür ve mineral değerlerini ince bir boyut aralığında konsantre etmek için etkili bir işlem olduğu gösterdiği çalışmasında; ilk önce ince parçacıkların süspansiyonda dağıtılmasına, ardından özel olarak adsorbe edilmiş yüzey aktif maddelerin (toplayıcılar) oluşturduğu veya doğal olarak hidrofobik partiküllerin süspansiyonunda yeterli büyüklükte kesme alanı ile koşullandırılmasında hidrofobik yüzeyler şeklinde ince mineral değerlerinin veya kömürün flokülasyonuna dayanmaktadır. Flokülasyon işlemi, az miktarda polar olmayan yağ ilave edilerek, ince öğütülmüş kömürler, ilmenit şamları ve bir cüruf içinde ince bir şekilde bulunan altına uygulanmıştır. Sonuçlar, düşük kül ve kükürt kalıntısı ve yüksek yanabilir kısım verimi geri kazanımı ile temizlenmiş kömürün elde edilebileceğini, ilmenit şamlarının ve altın içeren cürufun refrakter cevherlerinin makul bir şekilde konsantre edilebileceğini ve diğer ayırma tekniklerinden daha iyi sonuçların yol alınabileceğini göstermiş olup, HFF sürecini etkileyen ana çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Song ve ark., (1999), az miktarda kerosen ilavesinin, oleat iyonlarının adsorpsiyonu ile hidrofobik hale getirilen hematit ve manganez karbonat ( $MnCO_3$ ) ince taneciklerinin hidrofobik flokülasyonunu büyük ölçüde arttırdığı gösterilmiştir. Bu etki sadece gazyağı konsantrasyonuyla değil, aynı zamanda mineral parçacıklarının hidrofobikliğiyle de ilgilidir. Yüzey kaplama tekniği kullanılarak, mineral taneciklerinin hidrofobik yapışma kuvveti belirlendi, bu da kerosen ilavesinin, kerosensize kıyasla kuvveti yaklaşık 280 kat arttırdığını ve bu kuvvetin parçacık temas açısının üstel bir fonksiyonu olduğunu gösterir. Flokülasyon kinetiği çalışmaları, hidrofobik yapışma kuvveti ölçümleriyle birlikte, kerosenin hidrofobik flokülasyon üzerindeki olumlu etkisinin esas olarak flokların mukavemetindeki bir artıştan kaynaklandığını ve dolayısıyla flokların türbülanslı akışlardan daha büyük flok-kopma kuvveti alanını destekleyebildiğini ortaya koymaktadır.

Choung, ve ark., (2000), üç farklı mekanizma (yani hidrofobik ekstraksiyon, koagülasyon ve flokülasyon) içeren entegre bir süreç üzerinde ayrıntılı bir çalışma sunulmuştur. Bu işlemde, atık akışındaki ince kömürler hidrofobik ekstraksiyon yoluyla bir mineral yağ içine ilave edilirken, koagülasyon ve flokülasyon, koagülasyon / flokülasyon yoluyla atık temizlemesine yardımcı olmak için kullanılmıştır. Tek aşamalı bir işlemle, geri dönüşüm için suyu arıtırken, potansiyel bir yakıt olarak kömür içinde

yağ karışımı üretilmiştir. Kömürün hidrofobikliğinin kömür çıkarılmasında önemli bir parametre olduğu bulunmuştur. Flokülasyon ve koagülasyondan önce, özellikle ince killer varlığında mineral yağın eklenmesi, zayıf hidrofobik ince kömürlerin geri kazanılması için fayda sağlamıştır. İnce killer kömür bakımından zengin yağ damlacıklarını stabilize ederek kömür geri kazanımını azaltmaktadır. Hidrofobik kömürün varlığı damlacık birleşmesini artırır ve proses performansını artırır. OBED kömür hazırlama tesisinden bir atık akışı kullanan bir çalışmada, hidrofobik yüzeylerin ortaya çıkarılması için orijinal atıkların yeniden öğütülmesinin gerekli olduğu bulunmuştur. Bu tek aşamalı ünite operasyonunun % 52 kül içeren atıklara uygulanmasıyla, ağırlıkça % 14'ten az ürün kül içeriğinde % 85'ten daha fazla kömür içinde yağ karışımı formunda yanabilir kısım verimi elde edilmiştir

Song ve Lu (2000), ince mineraller ve kömürlerin zenginleştirilmesine uygulanan hidrofobik flokülasyon teknolojisi, üç önemli faktörü, yani parçacık hidrofobikliği, kinetik enerji girişi ve polar olmayan yağ teorik olarak belirlenmiştir. Hematit, sülfid mineralleri ve kömürün ince ebat aralığında zenginleştirilmesine uygulanan bu işlemin deneysel sonuçları, hidrofobik flokülasyon teknolojisinin, değerli mineralleri ince yayma şeklinde verimli bir şekilde geri kazanmak için umut verici bir araç olduğunu gösterdiğini belirtmektedir.

Song ve ark., (2004), kömür ince tanelerinin, kömür inceltmelerinden ince mineral maddelerini atmak için flok flotasyon olarak adlandırılan hidrofobik floklar biçimindeki yüzdürülmesi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, Çin'den iki kömür şlamı, yani Taixi antrasit ve Tongshan koklaşabilir taş kömürü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar flok flotasyonunun yanabilir kısım verimi sadece güçlü bir şekilde arttırmakla kalmayıp aynı reaktif ilavelerindeki konvansiyonel flotasyona kıyasla temizlenmiş kömürlerde kalan külü büyük ölçüde azalttığını belirtilmiştir. Bu etki floklaşmanın organik maddenin büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Floklar ne kadar büyük olursa, etki o kadar güçlü olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, floklaşmış kömür ince tanelerinin, dağılmış ince tanelere göre çok daha yüksek bir yüzdürme oranına sahip olduğu bulunmuştur. Ek olarak flok flotasyon işleminin ana parametreleri, yani polar olmayan yağ ilavesi ve hidrofobik flokülasyon aşamasında süspansiyon şartlandırma deneysel olarak incelendiği belirtilmiştir.

Ucbeyiyay, (2013), bu çalışmanın amacı iki yönlüdür: birincisi, kömürün hidrofobik flokülasyonu için uygun köprüleme sıvısı, pH, karıştırma hızı ve dağıtıcıyı belirlemek. Köprüleme sıvıları olarak gazyağı, n-heptan, benzol ve n-heksan kullanıldı.

Kömür süspansiyonu, kömürün doğal pH değerindeki diğer köprüleme sıvılarına kıyasla gazyağı ile daha iyi topaklanabildiği ve karıştırma hızının, kömür süspansiyonunun hidrofobik topaklaşması üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerden, topaklanmış kömür parçacıklarının maksimum yanabilirlik kısım verimi ve minimum kül içeriği değerlerini elde etmek için 750 rpm'lik bir karıştırma hızının gerekli olduğu bulunmuştur. İnorganik dağıtıcılar olarak kullanılan sodyum silikat, sodyum heksametafosfat, sodyum fosfat ve sodyum pirofosfatın kömürün hidrofobik topaklanması üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Sodyum silikat, kerosen varlığında diğer dağıtıcılardan daha etkiliydi. En iyi sonuçlar, 1 g / dm<sup>3</sup> sodyum silikat ve 4 g / dm<sup>3</sup> konsantrasyonun da kerosen konsantrasyonu ile elde edildi. % 10,33'lük bir kül içeriğine sahip olan temiz bir kömürün, % 89,54'lük yanabilirlik kısım verimi olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması Box-Wilson deneysel tasarım yöntemidir ve köprüleme sıvısı konsantrasyonu (kerosen), dağıtıcı (sodyum silikat) konsantrasyonu ve karıştırma hızı gibi önemli değişkenlerin kömürün hidrofobik topaklanması üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Tepki fonksiyon katsayıları deneysel verilerin regresyon analizi ile belirlenmiş ve tahminlerin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmaların ilk katının sonuçlarına benzer şekilde, yanabilir kısım verimi ve kül içeriği göz önüne alındığında, optimum gazyağı konsantrasyonu, sodyum silikat konsantrasyonu ve karıştırma hızı sırasıyla 4 g / dm<sup>3</sup>, 1 g / dm<sup>3</sup> ve 750 dev/dak olarak belirlenmiştir

Duzyol ve Sensogut, (2015), Ermenek bölgesinden elde edilen linyitin kömürü üzerinde hidrofobik flokülasyon araştırması yapılmıştır. Mevcut çalışmada pH, sodyum silikat konsantrasyonu ve kerosen konsantrasyonu gibi farklı çalışma parametreleri altında araştırılmıştır. Hidrofobik flokülasyon davranışını anlamak için yanabilir kısım verimi, kül içeriği ve zeta potansiyel değerlerinin belirlenmesi kullanılmıştır. Kömürün hidrofobiklik derecesini dolaylı olarak belirlemek için, deneylerden elde edilen peletler üzerinde temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termogravi-metrik analiz (DTGA), tutuşma sıcaklığı ve pik sıcaklık gibi kömürün yanma özellikleri analiz edilmiş ve hidrofobik flokülasyon ile korelasyon göstermiştir. Sonuç olarak, optimum pH değeri 4 olarak belirlenmiştir; optimum sodyum silikat ve gazyağı konsantrasyonu da sırasıyla 1 kg / t ve 16 kg / t olarak belirlenmiştir. Deney koşulları en uygun şekilde kurulduğunda, %90 yanabilir kısım verimi ve %9.8 kül içeriği elde edildi. Hidrofobik flokülasyon sonuçları ile tutuşma sıcaklıkları ve DTGA eğrilerinden elde edilen pik sıcaklıkları arasında yanlış

korelasyon gözlenmiştir. Bununla birlikte, çözeltinin yüzey gerilimi, dikkate değer bir değişiklik göstermemiştir. Temas açısı değerlerinin  $114^{\circ}$  ila  $130^{\circ}$  arasında olduğu ve yüzeylerin yüksek derecede hidrofobik olduğu doğrulanmıştır.

Düzyol (2015), Ermenek bölgesinden temin edilen linyit kömürünün hidrofobik flokülasyonuna, pH, dağıtıcı (sodyum silikat) miktarı ve bağlayıcı sıvı (gazyağı) miktarı gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Bu parametrelerin kömürün hidrofobik flokülasyonuna etkileri, yanabilir kısım verimi ve kül içeriğinin belirlenmesiyle tespit edilmiştir. Ayrıca süspansiyonun yüzey gerilimi ve zeta potansiyeli değerleri de ölçülerek hidrofobik flokülasyon ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. İlâveten, kömürün hidrofobisitesinin dolaylı olarak belirlenmesi için deney sonrası elde edilen floklar üzerinde temas açısı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde uygun pH değerinin 4, sodyum silikat ve gazyağı miktarlarının ise sırasıyla 1 kg/ton ve 16 kg/ton olduğu belirlenmiştir. Uygun şartlar altında yapılan hidrofobik flokülasyon deneyleri sonucunda %90 YKV ile elde edilen flokların kül içeriği % 9,8 olmuştur. Deneylerde yüzey geriliminin çok fazla değişme göstermediği, temas açısının ise  $114^{\circ}$  ila  $130^{\circ}$  arasında değiştiği ve yüzeylerin oldukça hidrofobik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

### 3. ATIK YAĞLAR, TÜRLERİ, MİKTARLARI

#### 3.1. Bitkisel atık yağ

Bitkisel yağlar ayçiçeği, soya, pamuk, mısır, zeytin ve fındık gibi yağlık bitki tohumları ile elde edilen endüstriyel ürünlerdir. Bitkisel atık yağ ise, bitkisel yağların rafinerisinden çıkan yağlı topraklara, tortulu bitkisel yağlara ve kızartma yağlarına verilen genel adıdır. Ev, toplu yemek yapan şirketler ve bazı iş yerlerinde gıdaların kızartılması işlemi sonucu ile tekrardan kullanım alanı olmayan durumlarda ortaya çıkan atık yağlara bitkisel atık yağ adı verilir.

“Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmelik” kapsamında, “20 01 26\* -20 01 25 dışındaki sıvı ve katı yağlar (A)” kodu kapsamında değerlendirilen kullanılmış kızartmalık yağlar ile “20 01 25 -Yenilebilir sıvı ve katı yağlar” kodu kapsamında değerlendirilen diğer bitkisel atık yağlar yer almaktadır. Bitkisel atık yağlar, çevre lisanslı geri kazanım tesisleri ile bitkisel atık yağ ara depolama tesisleri tarafından toplanmaktadır. Bunun dışındaki gerçek ve tüzel kişiler tarafından bitkisel atık yağlar toplanamaz. Bitkisel atık yağlar, ilgili teknik düzenlemelere uygun olarak sadece biyodizel ve biyogaz üretiminde kullanılabilir (Konya Çevre Durum Raporu, 2018; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015).

Bitkisel atık yağlar, bitkisel atık yağ geri kazanma tesisleri ve bitkisel atık yağ ara depolama tesisleri tarafından biyodizel veya biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu kullanımların için yetkililer tarafından toplanan atık bitkisel yağ miktarları yıllara göre durumunu aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.1).





Şekil 3.1. Toplanan bitkisel atık yağların miktarları (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Konya ilinde, bitkisel atık yağların Belediye ve Çevre Şehircilik Bakanlığının izin vermiş olduğu lisanslı toplayıcılar tarafından toplanmasıyla elde edilen miktarlar Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Konya ili toplanan atık bitkisel yağ miktarı (Konya Çevre Durum Raporu, 2018).

Bitkisel Atık Yağ Ara Depolama Lisansı Verilen Tesis		Toplanan Bitkisel Atık Yağ Miktarı (kg/yıl) <sup>2</sup>	
Sayısı	Kapasitesi (ton)	Kullanılmış Kızartmalık Yağ (20 01 26*)	Kullanım Ömrü Dolmuş Yağlar (20 01 25)
2	5174 sayılı TOBB Kanun 5.Maddesi ve bu kanun uyarınca Oda Muamelat Yönetmeliğinin 41.Maddesine göre 'Kapasite Raporu Düzenlenmeyecek İşyerleri' grubunda yer almaktadır.	254.997	696

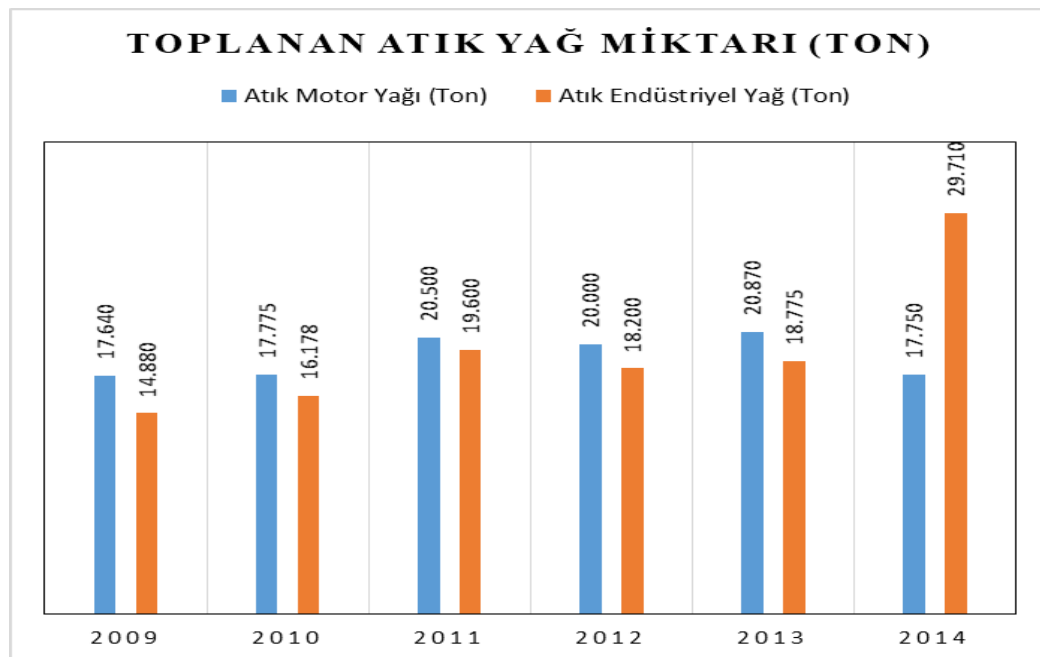
Bitkisel atık yağlar ülkemizde biyodizel veya biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kömürün hidrofobik flokülasyon ile temizlenmesinde atık yağların kullanımın olanaklarının araştırılması hedeflenmiştir. Bitkisel atık yağında bu çalışmalar ile değerlendirilmesi farklı bir yön verebilir. Dünyada her yıl oldukça fazla miktarda bitkisel atık yağ açığa çıkmasıyla beraber bitkisel atık yağlar bedelsiz olarak veya oldukça düşük bir maliyetle temin edilip

kömürün hidrofobik flokülasyon yöntemiyle temizlenmesinde ve ülke ekonomisine katkı sağlayacak şekilde kullanılabilir.

### 3.2. Atık madeni yağ

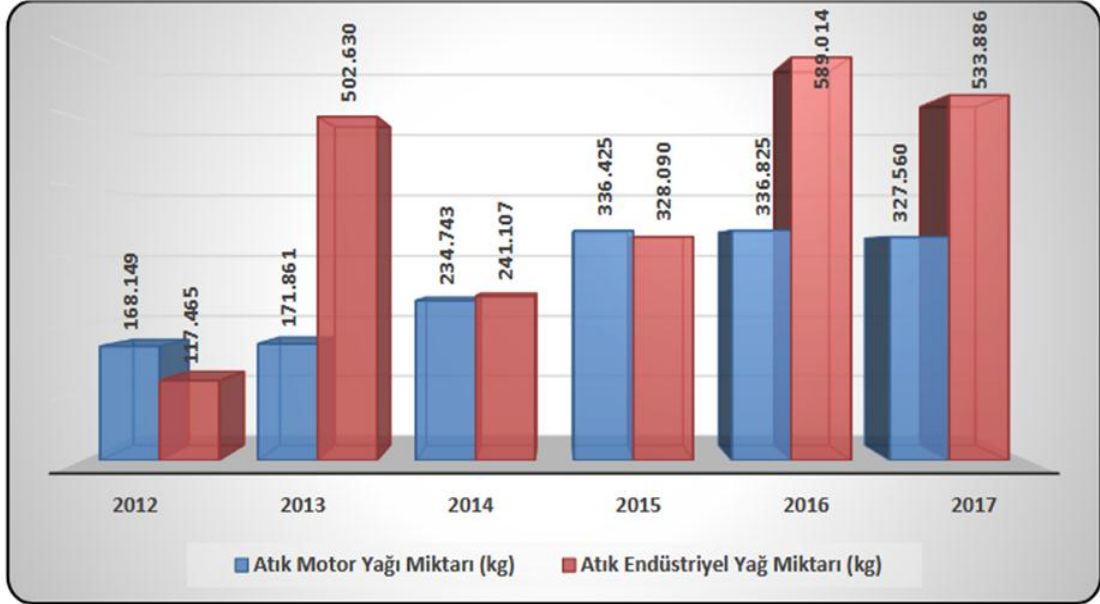
Madeni yağ, Baz yağına veya kimyasal sentezleme işlemleri ile işlenen maddelere, belirli katkı maddelerin ilavesi sonucu, hareket halinde ve temas içinde olan iki yüzey arasındaki sürtünme ve aşınmayı indirgeme veya soğutabilme özelliklerini barındıran işlenmiş haline getirilen doğal ya da yapay maddelere denilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019). Herhangi bir madeni yağ veya herhangi sentetik yağ kullanımına göre sanayide yada sanayi dışı kullanım alanlarında yağlama amacı ile belli bir süre kullanım sonrasında kimyasal ve fiziksel olarak kirlenerek orijinalliğini kaybeder. Madeni yağ, içinde barındırmış olduğu katkı maddelerinin azalması, normal kullanım esnasında kir, metal sürtünmeleri, su veya kimyasallarla karışarak kirlenir ve renginde koyulaşmalar meydana gelmesiyle kullanılamaz duruma gelir. Bu durumda madeni atık yağ denir. Atık motor yağları dâhil olmak üzere diğer atık yağlar ile bu yağların işlenmesi sonucu çıkan atıkların insan ve çevreye zarar verecek şekilde sahaya dökülmesi veya yenilenmesi, depolanması, doğrudan veya dolaylı bir şekilde tehlike arz etmektedir.

2009-2014 yılları arasında ülkemiz genelinde toplanan atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ toplam miktarı 231,878 tondur. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016)



Şekil 3.2. Atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ miktarı toplamları (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016)

Konya ilinde, atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ Çevre Şehircilik Bakanlığının izin vermiş olduğu lisanslı toplayıcılar tarafından toplanmasıyla elde edilen miktarlar Şekil 3.3 'te verilmiştir. Çalışmalar esnasında kullanılan atık hidrolik yağın toplanması ile ilgili miktarlar Şekil 3.3'te atık endüstriyel yağlar kategorisi içerisinde belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Konya ili toplanan atık motor yağ ve atık endüstriyel yağ (Konya Çevre Durum Raporu, 2018)

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

Bu bölümde kullanılan numune, yağlar, kimyasallar ve kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda detaylı olarak tanımlanmıştır.

#### 4.1.1. Kömürün kısa analizi

Kömürün hidrofobik flokülasyon ile temizlenmesinde atık yağların kullanım olanakların araştırılması çalışmalarında, Konya ili, Beyşehir ilçesi, Bayavşar mahallesi sınırlarında bulunan maden ocağından temin edilen tüvenan linyit kömürü kullanılmıştır.

Konya ili, Beyşehir ilçesi, Bayavşar mahallesi sınırları içerisinde bulunan maden sahasından alınan kömür numunesinin kül içeriğinin %36.40 olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.2. Deneylerde kullanılan kimyasallar

Hidrofobik flokülasyon deneylerinde bağlayıcı sıvılar önem arz etmektedir. Çalışmalar esnasında atık bitkisel yağ, atık motor yağ, atık hidrolik yağ olmak üzere 3 farklı yağ kullanılmıştır.

Bitkisel atık yağ olarak ise ev ortamında kullanılan ve ayda en az 3-4 kez patates kızartılmış olan atık yağ kullanılmıştır. Kızartma sonucu oluşan atık yağların fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler göz alınarak yoğunluğu ve viskozitesi için gerekli ölçümler yapılmıştır.

Bitkisel atık yağın laboratuvar ortamında yoğunluğu  $0.9131 \text{ gr/cm}^3$  ve vizkositesi de  $54.3804 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılmak üzere Castrol CRB Turbomax 15/40 markasına ait tek çeşit markadan çıkan motor atık yağı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Laboratuvar ortamında yoğunluğu  $0.8824 \text{ gr/cm}^3$  ve vizkositesi de  $90.9756 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılmak üzere Castrol Hyspin HLP-Z 46 markasına ait tek çeşit markadan çıkan hidrolik atık yağı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Laboratuvar ortamında yoğunluğu  $0.8895 \text{ gr/cm}^3$  ve vizkositesi de  $143.6349 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ, motor atık yağ

#### 4.1.3. Deneylerde kullanılan diğer kimyasallar

Deneyler sırasında hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak süspansiyonun pH'ı, ayarlanmıştır. Çalışmalar esnasında dağıtıcı olarak ise sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılmıştır. Ayrıca flokların temizlemesi esnasında Aseton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) ve tüm deneylerde monodistile su kullanılmıştır.

#### 4.2. Yöntem

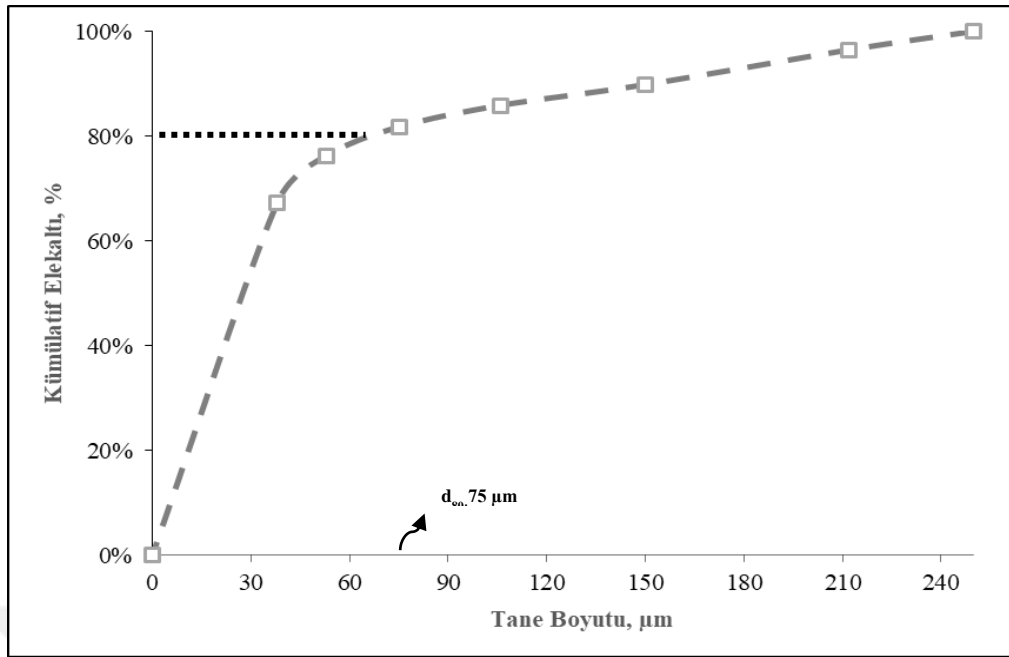
Bu bölümde kömür numunesi üzerinde gerçekleştirilen ölçümler, analizler ve çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

##### 4.2.1. Numune hazırlama

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kömürün hidrofobik flokülasyon ile temizlenmesinde atık yağların kullanım olanaklarının araştırılmasında tüvenan linyit kömürü kullanılmıştır. Numunenin önce çene açıklıkları farklı olan 2 adet çeneli kırıcı ile belli işlemler ile boyut küçültme işlemlerinin yapılmasıyla boyutu küçültülmüş daha sonra kömür numunesinin konileme-dörtleme yöntemi ile miktarı azaltılmıştır. Çubuklu değirmen vasıtasıyla kömür numunesi  $-212 \mu\text{m}$  tane boyutuna öğütülerek deneylerde kullanılması planlanan ince tane boyutta homojen bir hale getirilmiştir.

##### 4.2.2. Elek analizi

Kömür numunesi farklı elek açıklığına sahip eleklerden elenmiştir. Elek üstünde kalan malzemeler tartılarak elek üstü ve elek altı yüzdeleri hesaplanmıştır. Kömür Numunesinin tane boyut dağılımı elek analizi ile belirlenmiştir. Kömür numunesinin tane boyut  $d_{80}$  değerinin  $75 \mu\text{m}$  olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kömür numunesinin tane boyut dağılımı

#### 4.2.3. Nem analizi

Nem analizi, ASTM D 3173–03 ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Nem Tayini için Standart Test Metodu’na göre yapılmıştır. Kömür numunesi hassas terazî yardımı ile tartılarak, 105 °C’lik sıcaklığa sahip etüve konulmuş ve 1 saat sonra etüvden çıkarılıp oda sıcaklığında soğutma işleminden sonra tartılarak ağırlığı not edilmiştir. Kömür numunesi tekrar etüve konularak belirlenen zaman aralıklarında tartım işlemleri tekrarlanmış ve bu işleme tartım değeri sabitleninceye devam edilmiştir. İşlemler sonucunda kütle kaybından kömür numunesi için nem miktarı %37.49 olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.4. Kül analizi

Kül analizi, ASTM D 3174–04 ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Kül Tayini için Standart Test Metodu’na göre gerçekleştirilmiştir. Hassas terazide tartılan numuneler darası alınmış porselen krozelere konulmuş ve kül fırınında 4 saat süreyle (750 °C’de) yakılmıştır. Kül fırınından alınan numunelerin tekrar tartımları alınmış ve kül değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%Kül = [M_2/M_1] \times 100 \quad (4.3)$$

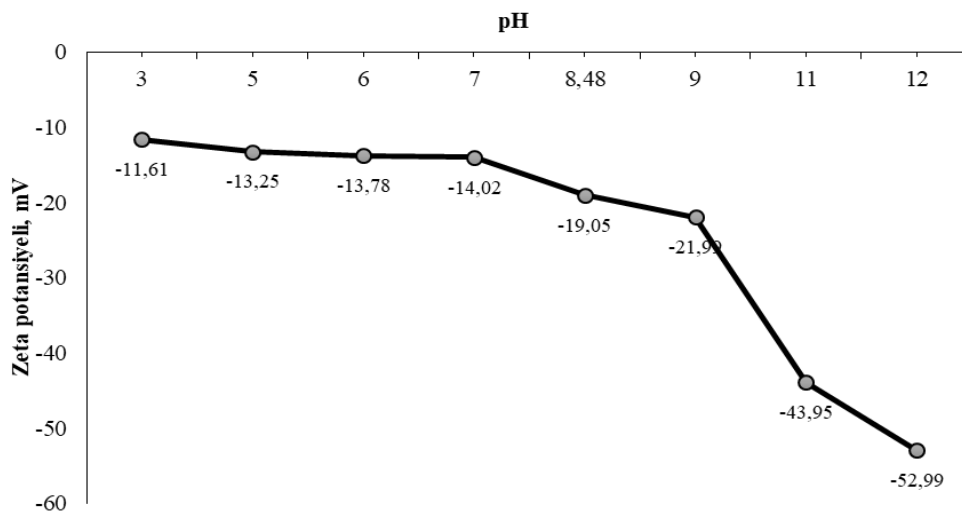
Burada;  $M_1$  ve  $M_2$  sırasıyla yakma öncesi ve sonrası kroze içerisindeki numune ağırlığıdır (g). Numunenin kül değerleri dört adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak %36.40 olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.5. Kalori tayini analizi

Kalori tayini, ASTM D 5865–10a ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Brüt ve Net Kalorifik Değeri Tayini için Standart Test Metodu’na göre yapılmıştır. Kömür numunenin kalorisi, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan Leco AC-350 marka cihaz ile dört adet ölçüm yapılmış ve ortalaması alınarak ölçülerek üst ısıl değerinin 2529 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.2.6. Zeta potansiyeli ölçümleri

Zeta potansiyeli ölçümlerinde, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan Brookhaven Zeta Plus markasına ait cihaz ile birbirinden bağımsız 4 adet ölçümün ortalaması alınmıştır. Zeta potansiyeli değerleri süspansiyonun doğal pH değerinde ve pH’a bağlı olarak ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 4.3). Süspansiyonun doğal pH’taki zeta potansiyeli değeri (-19.05) mV’tur.



Şekil 4.3. Zeta potansiyeli ölçüm değerleri, mV.

#### 4.2.7. Temas açısı ölçümleri

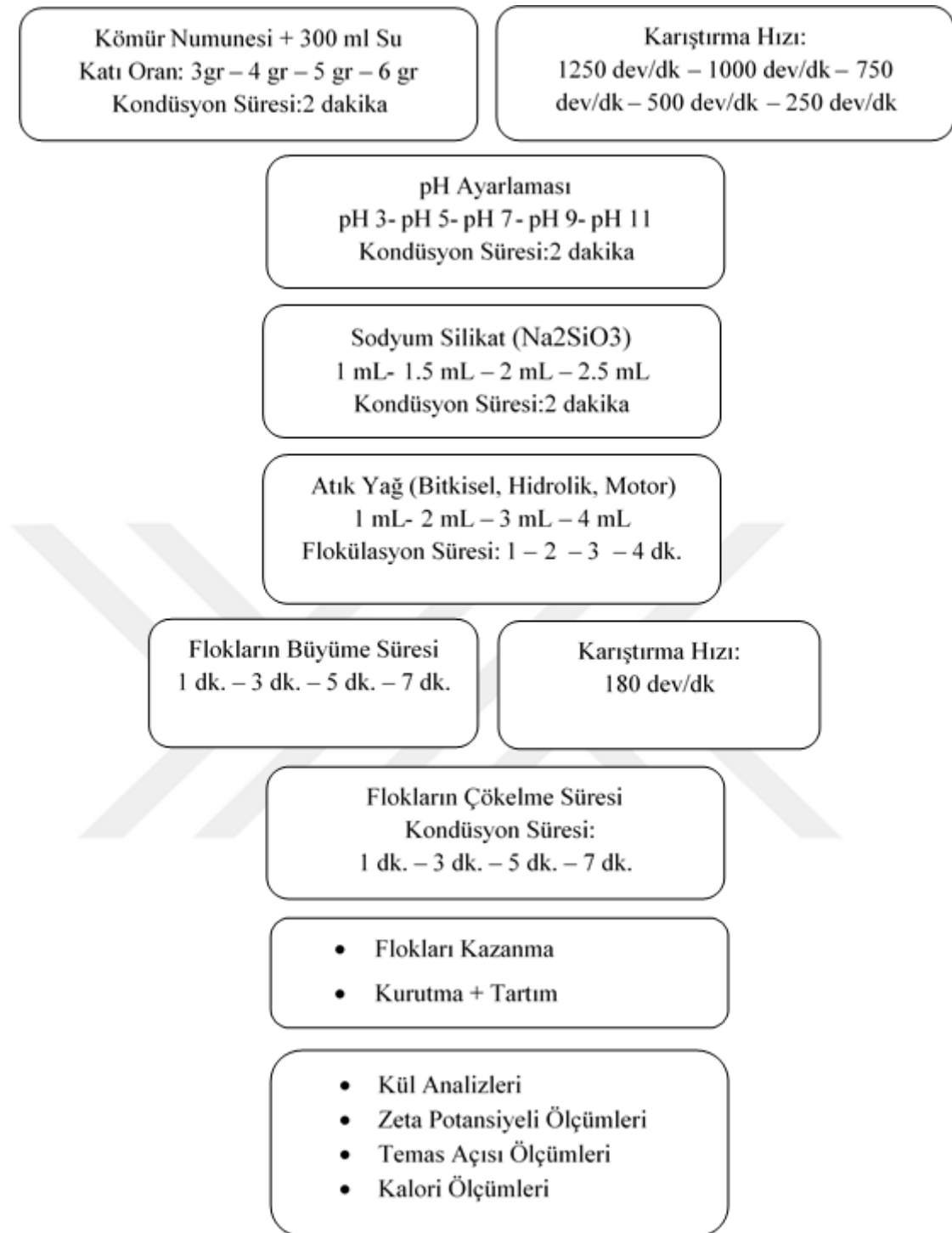
Temas açısı ölçümlerinde Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan KSV CAM 101 gonyometresi ile preslenmiş ya da sıkıştırılmış kömür numunesi üzerinde asılı damla yöntemi ile çalışmalar yapılmış olup, orijinal kömür numunesinin temas açısı ( $\theta$ ) 44.3° olarak tespit edilmiştir.

#### 4.2.8. Hidrofobik flokülasyon deneyleri

Hidrofobik flokülasyon deneylerinde 400 cm<sup>3</sup> hacminde silindirik cam beher kullanılmıştır. Çarpışma olasılıklarının artırılması için beherin iç yüzeylerine birbirine eşit mesafede olacak şekilde 4 adet cam bariyer yapıştırılmıştır.

Deneylerin başlangıcında kömür numunelerinin süspansiyonda homojen olarak dağılmasının sağlanması için tarafımızdan belirlenen miktarlarda (3 gr, 4 gr, 5 gr, 6 gr) kömür numunesi ile 300 cm<sup>3</sup> su, mekanik karıştırıcı ile belirlenen hızlarda (1250 dev/dk, 1000 dev/dk, 750 dev/dk, 500 dev/dk, 250 dev/dk, ) sabit 2 dakika boyunca karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra belirlenecek pH değerine göre süspansiyonun pH'ı hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek ayarlanmış ve ölçülen pH değeri sabit olana kadar 2 dakika karıştırmaya devam edilmiştir. Süspansiyondaki pH ayarlanmasıyla birlikte süspansiyona belirtilen miktarda sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ilave edilerek 2 dakika boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hidrofobik flokülasyon işlemlerine atık bitkisel yağ, atık mazot yağ, atık hidrolik yağ olmak üzere üç farklı yağ ayrı ayrı eklenmiş ve flokülasyon süreleri belirlenen zamanlarda karıştırma işlemine devam etmiştir.





Şekil 4.4.Hidrofobik flokülasyon deney şeması

Belirlenen flokülasyon süresinin bitmesiyle birlikte karıştırma hızı sabit 180 dev/dk indirilmiş ve farklı zamanlar ile flokların büyümesi sağlanmıştır. Farklı sürelerde flok büyümesi işlemleri tamamlandığında sistem kapatılmış, flokların çökelme süreleri göz önünde bulundurulmuştur. Flok çökelme süresinin sona ermesi ile sistemde hazır olan özel bir sistem ile disperse halde bulunan istenmeyen malzemelerin atımı sağlanmıştır.

Beher içinde kalan malzemeler filtre kâğıdında süzöldükten sonra 105 °C'lik sıcaklıktaki etövde 2 saat kurutulup tartılarak flokların ağırlığı belirlenmiş ve yüzde flok kazanımları ile birlikte flokların kül içeriklerinin tespit edildikten sonra yanabilir kısım verimleri (YKV, %) Eşitlik 4.4 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$YKV, \% = \frac{F(100 - F_{kül})}{B(100 - B_{kül})} \quad (4.4)$$

F :Flok yüzdesi

$F_{kül}$  :Flokların kül içeriği

B :Besleme yüzdesi

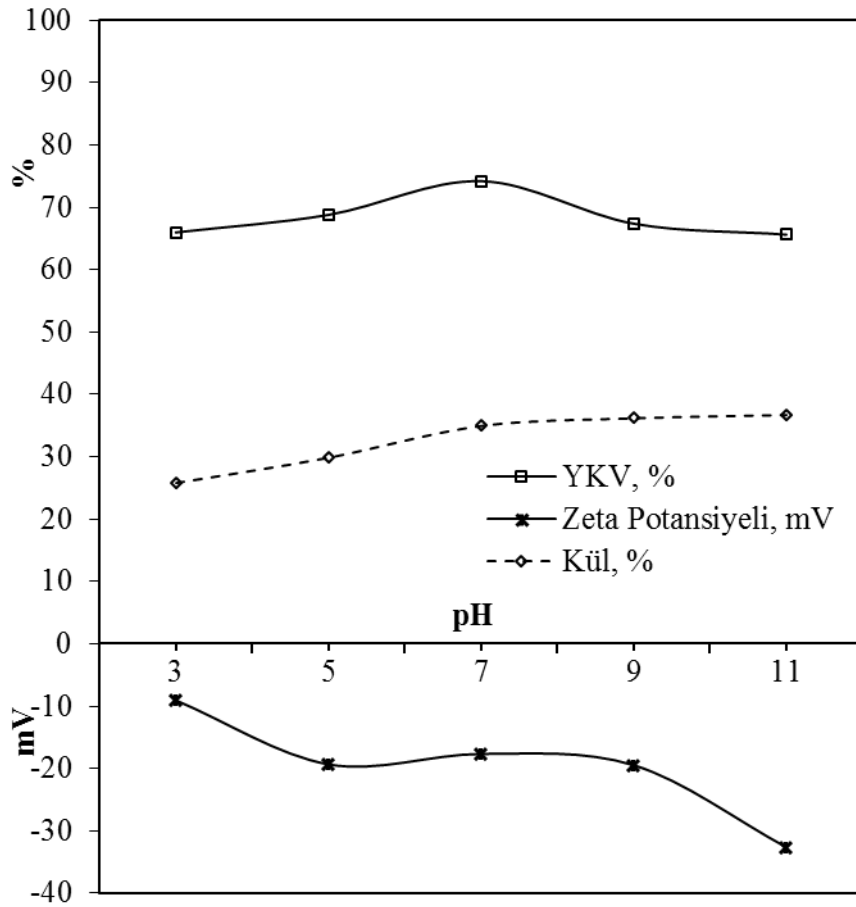
$B_{kül}$  :Beslemenin kül içeriği



## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

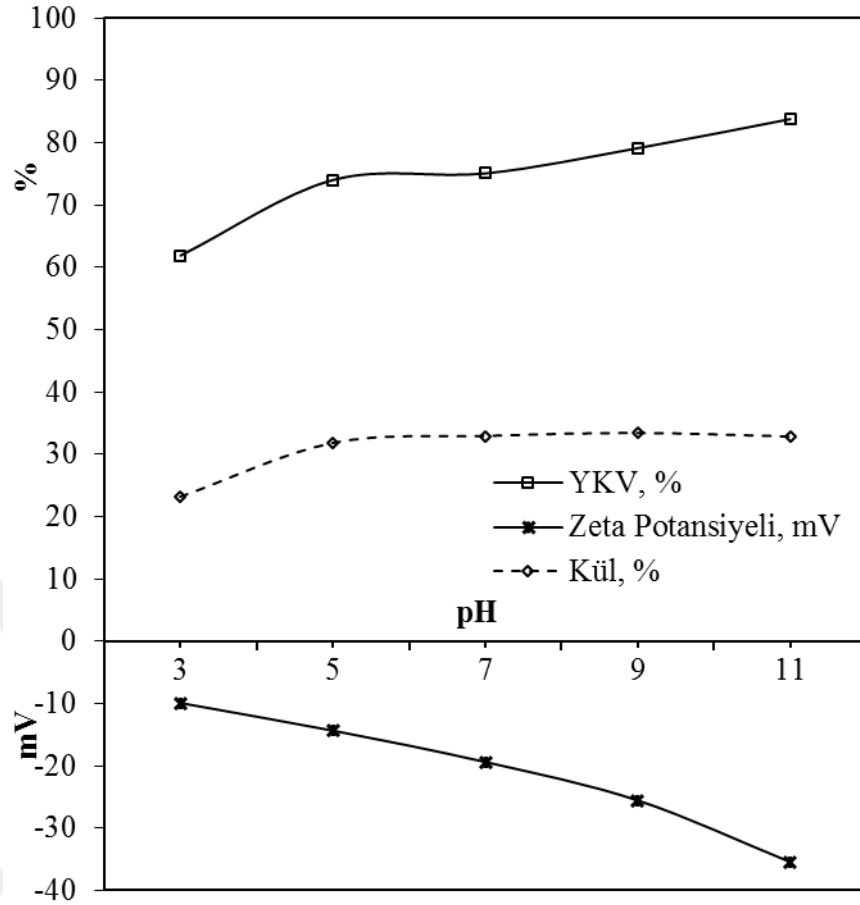
### 5.1. pH'ın Etkisi

Tez çalışmasının bu sürecinde pH'ın kömür numunesinin hidrofobik flokülasyonuna etkisini belirlemek amacıyla farklı pH değerlerinde (pH 3, pH 5, pH 7, pH 9 ve pH 11) hidrofobik flokülasyonuna deneyleri gerçekleştirilmiştir.



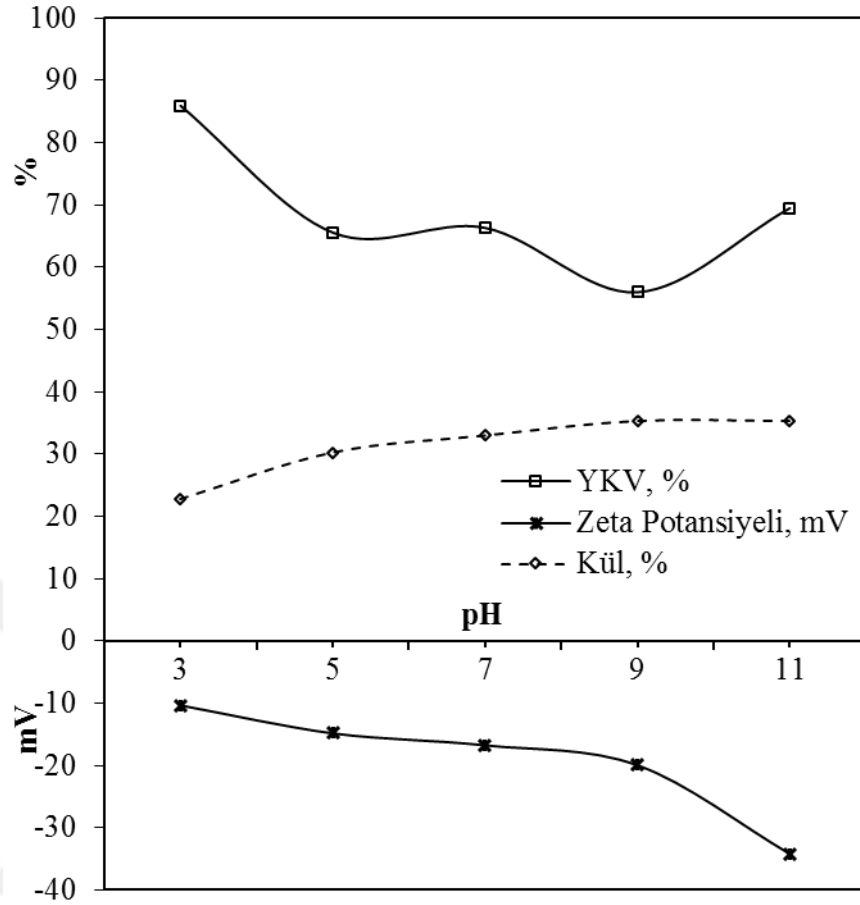
Şekil 5.1. pH'ın hidrofobik flokülasyonuna etkisi, bitkisel atık yağ

pH flokülasyon davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Şekil 5.1.'de görüleceği gibi bitkisel atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde pH 3'te düşük küllü floklar (%25.82) ortaya çıkmıştır pH yükseldikçe kül oranında artışlar yaşanmış ve yanabilirlik verimlerinde büyük farklar ortaya çıkmamıştır.



Şekil 5.2. pH'ın hidrofobik flokülasyonuna etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağı ile yapılan flokülasyon deneyi şekil 5.2'de görüleceği gibi pH'ın etkisi düşük pH'larda gözlemlenmiştir. Düşük pH ile yapılan çalışmalarda kül oranında düşüklük yaşanmıştır. Lakin YKV'de azalma gözükmemiştir. Düşük pH'larda yanabilir verimdeki düşüşler, kömür yüzeyindeki fonksiyonel grupların iyonlaşmasının azalmasıyla, yağ damlacıklarının polar kısmıyla kömür yüzeyi arasındaki etkileşimin azalmasına dayandırılabilir (Şimşek, 2007).



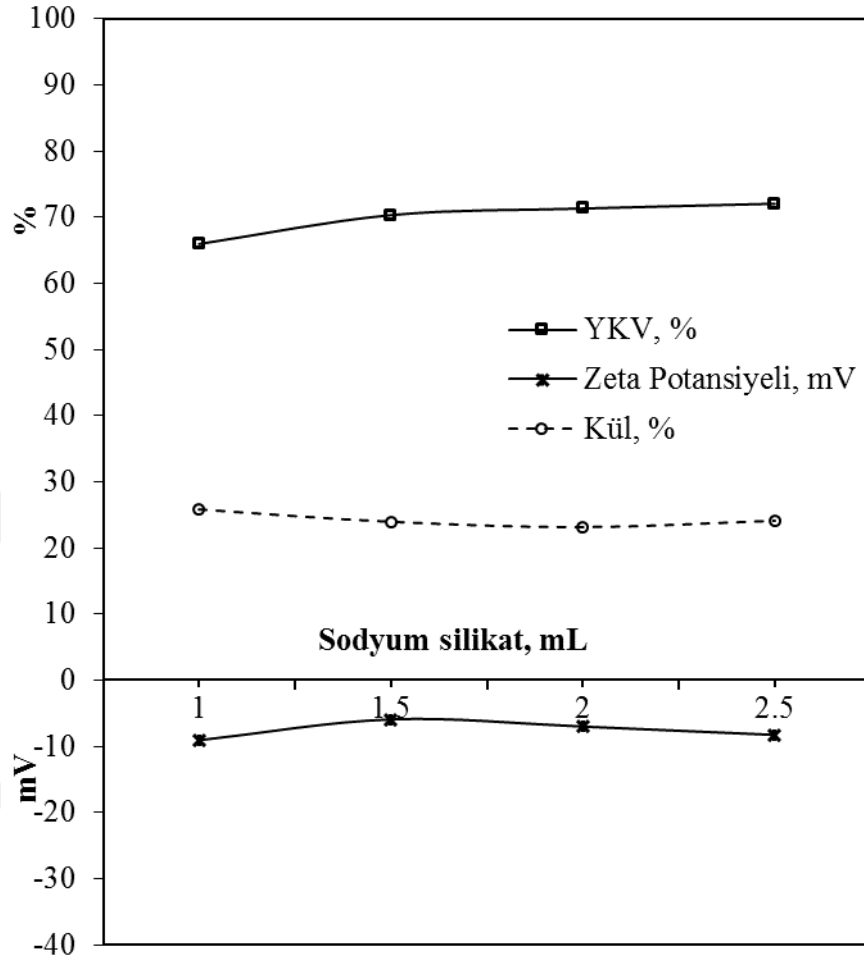
Şekil 5.3. pH'nin hidrofobik flokülasyonuna etkisi, motor atık yağ

Motor atık yağı ile yapılan flokülasyon deneyi şekil 5.3'de görüleceği gibi düşük pH değerlerinde flokların kül içerikleride düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Yanabilir kısım veriminin de düşük pH'ta yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Zeta potansiyeli ölçümleri tanelerin yüzey yüklerinin ölçülen tüm pH aralığında negatif olduğunu ve düşük değerlerinde bu değerlerin mutlak değerini azalttığını göstermektedir (Düzyol, 2015).

## 5.2. Sodyum Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) Miktarının Etkisi

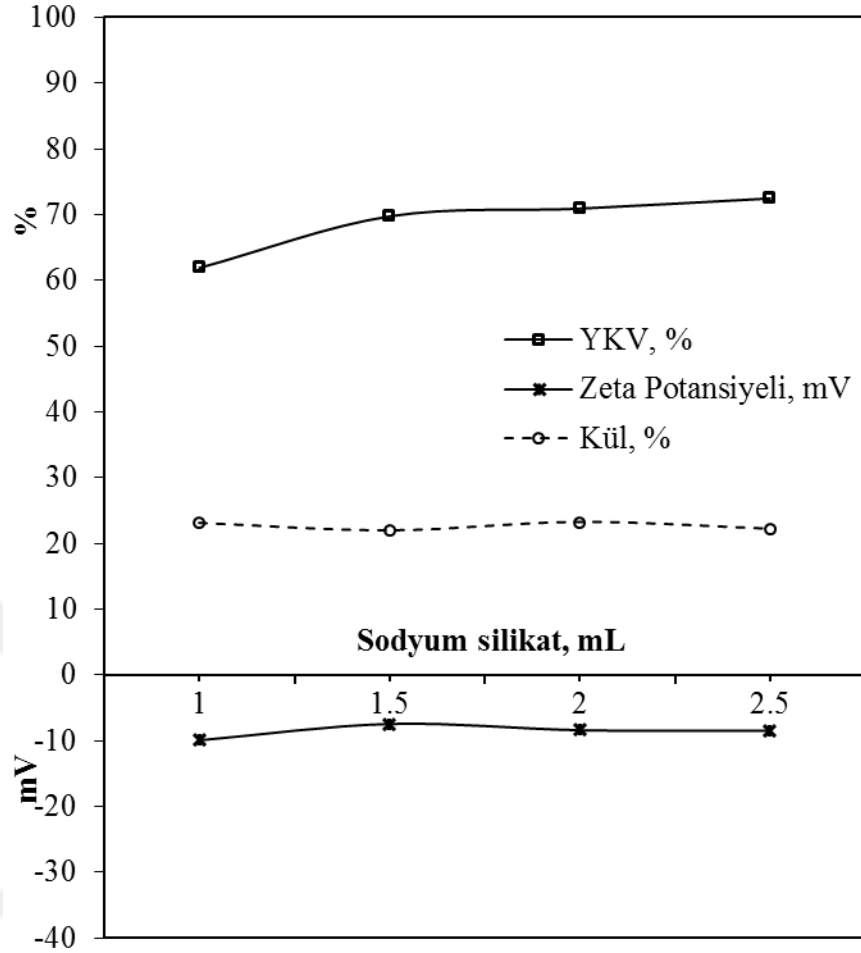
Kömürün hidrofobik flokülasyonunda sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi çalışmanın başında belirlenmiş olan uygun pH değeri (pH 3) altında sodyum silikat ilavesi, pH ayarlamasından sonra sisteme dâhil edilmiştir. Sodyum silikat çözeltiye 1 ml olarak ilave edilerek sistem içerisinde 2 dakika karıştırma süresi ile flokülasyon başarısına etkileri üç farklı atık yağ tipinde de incelenmiş ve ilave sodyum silikat

( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarları (1 mL, 1.5 mL, 2 mL, 2.5 mL) ile elde edilen flokların YKV değerleri ve kül içerikleriyle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



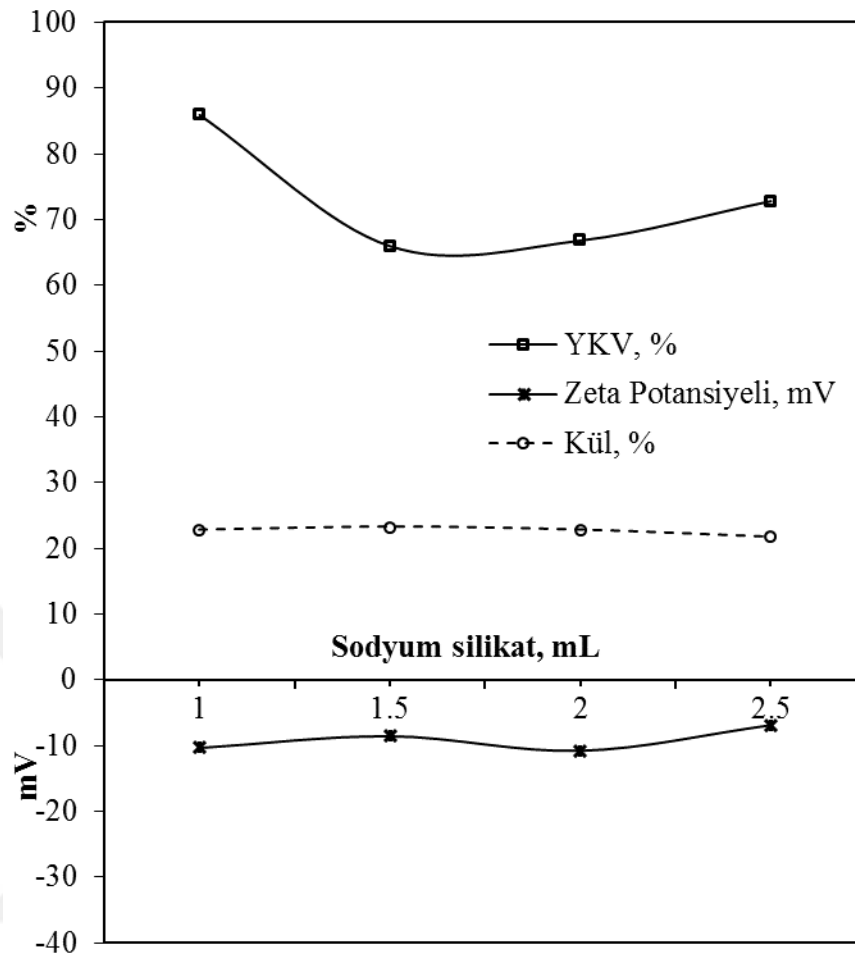
Şekil 5.4. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, bitkisel atık yağ

Bitkisel atık yağ kullanımı ile gerçekleştiren hidrofobik flokülasyon deneylerinde sırasıyla eklenen sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının artışı ile yanabilir kısım veriminde artış sağlanmış ve kül içeriğide azalma göstermiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.5. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağ kullanımı ile gerçekleştiren hidrofobik flokülasyon deneylerinde pH'ın (pH 3) sabit tutulmasıyla artarak eklenen sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının artışı ile yanabilir kısım veriminde artış sağlanmış ve %72.47 ve kül içeriği %22.24 olarak gözlemlenmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.6. Hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) etkisi, motor atık yağ

Motor atık yağ kullanımı ile gerçekleştiren hidrofobik flokülasyon deneylerinde sırasıyla eklenen sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının artışı ile yanabilir kısım veriminde düşüş gözlemlenmiştir ve kül içeriğide değişim olmamıştır. Deney sonuçlarına göre sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının başlangıçta kullanılan değerleri göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 5.6).

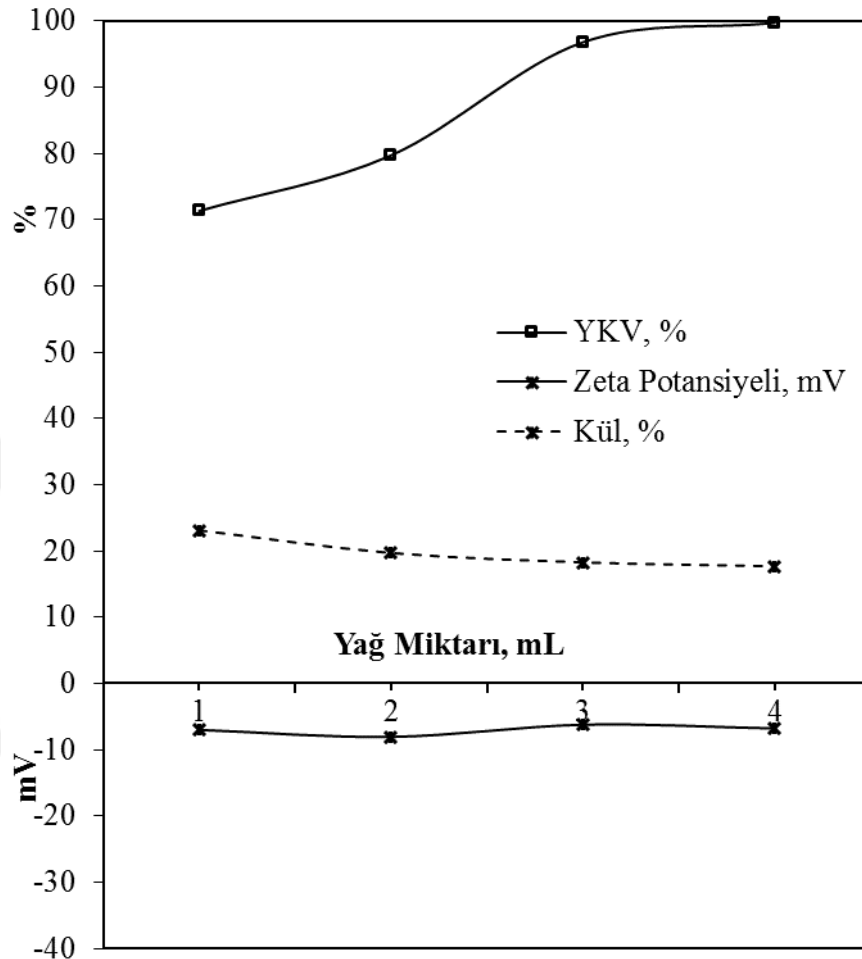
Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının artmasıyla birlikte Zeta potansiyeli ölçümlerinde görüleceği üzere taneciklerin yüzey yüklerindeki artışı gözlemlenmiştir fakat söz konusu ölçümlerin artışları hidrofobik flokülasyon deneylerine olumsuz etkisi olmamıştır (Düzyol, 2015).

### 5.3. Yağ Miktarının Etkisi

Farklı miktarlardaki bitkisel atık yağı, hidrolik ve motor atık yağın numunelerinin hidrofobik flokülasyona etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Deneylerde



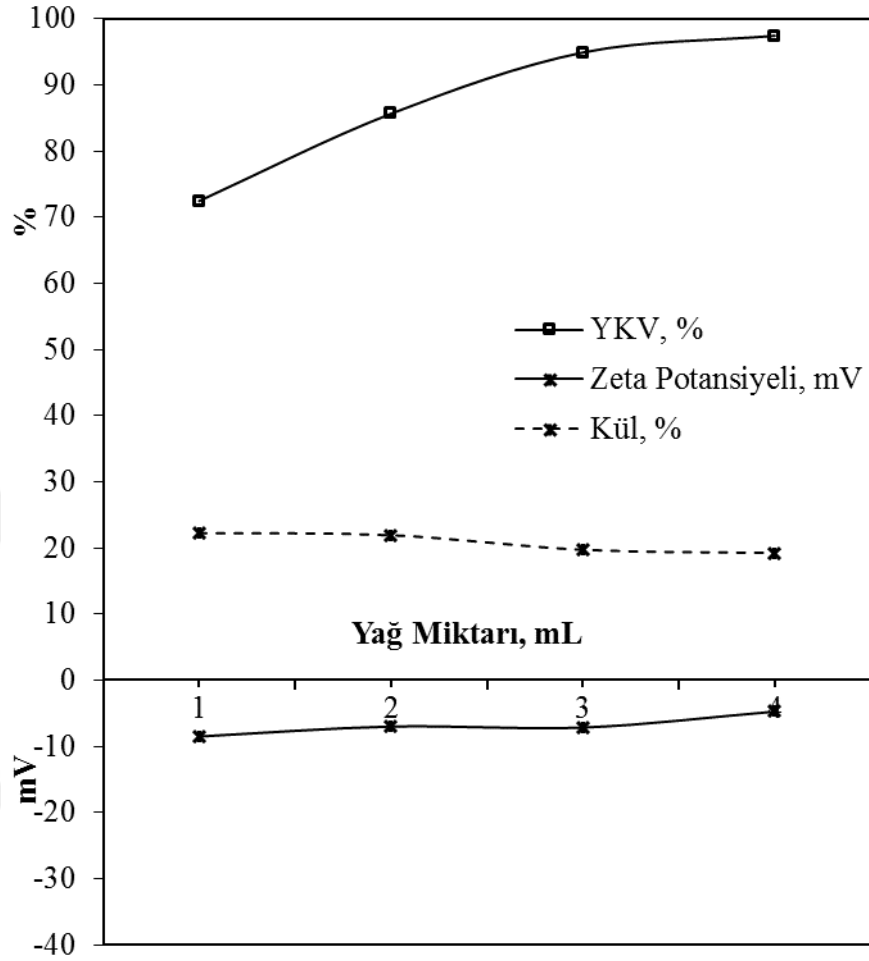
süspansiyonun pH'ı (pH 3) sabit tutulmak şartı ile 4 dakika karıştırma süresi ve karıştırma hızı 1000 dev/dk olarak belirlenmiştir. Süspansiyon içerisine sodyum silikat ilave edilmesi ile (2 mL, 2.5 mL, 1 mL) sisteme dâhil edilmiştir.



Şekil 5.7. Yağ miktarının etkisi, bitkisel atık yağ

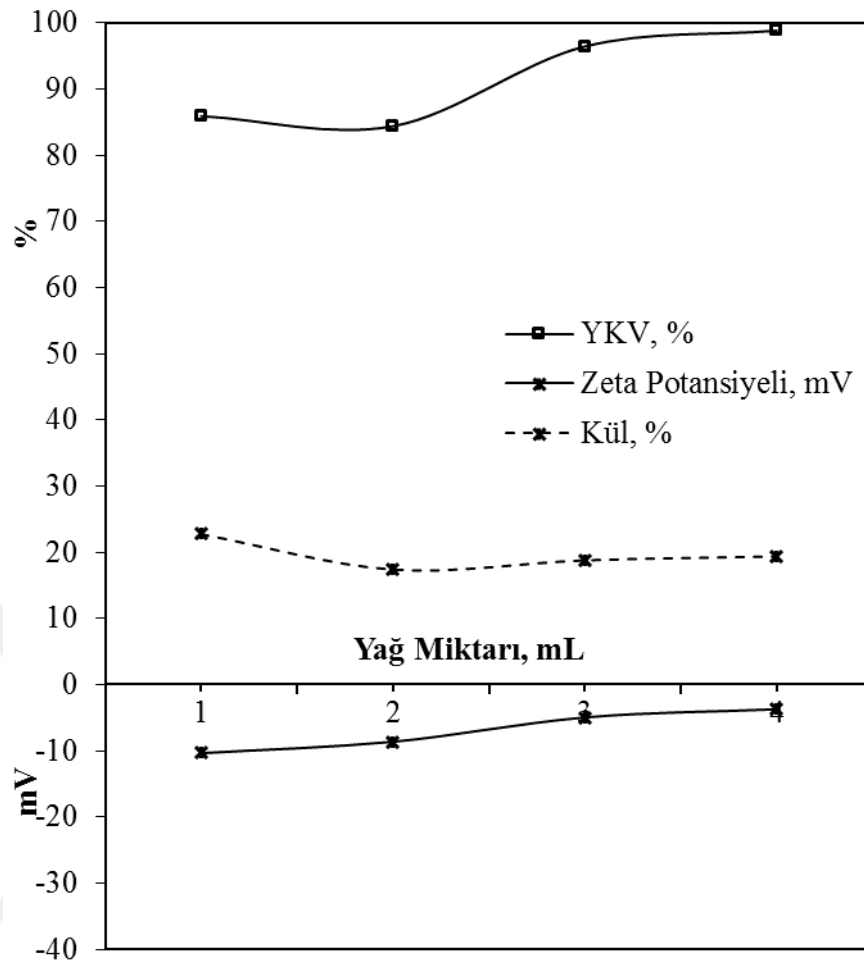
Bitkisel atık yağ miktarının etkileri Şekil 5.7'de sunulmuştur. Bitkisel atık yağın miktarının artması ile birlikte, kömürün tane yüzeylerinin bitkisel atık yağ ile kaplanmış olması ile açıklanabilir. Düşük miktarlarda yağ ilavesi oluşan flokların tane boyutları, bitkisel atık yağ miktarının artmasıyla daha büyük flokların elde edilmesine yarar sağlamıştır. Bu sebeple miktarı artan bitkisel atık yağ, kömür yüzeylerinde gerektiğince dağılmış ve kömür tanelerinin bir araya gelmesi yani floklaşmayı sağlayarak flokların kül içeriklerinde azalmasına sebep olmuştur. Kül içeriği %17.66 olarak gözlemlenirken aynı zamanda floklardaki artış YKV (%99.61) de artmasına neden olmuştur. Benzer bir çalışmada atık zeytinyağını kullanarak yağ konsantrasyon oranının artışına bağlı olarak

yanabilir verimin arttığını ve kül oranının azaldığından söz edilmiştir (Valdes ve Garcia, 2006).



Şekil 5.8. Yağ miktarının etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağ konsantrasyonu etkileri Şekil 5.8’de sunulmuş olup hidrolik atık yağ konsantrasyonunun artışının kül giderimi ve yanabilirlik veriminde olumlu artışları olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak YKV değerleri %97.45’e artış gösterirken, kül içeriği %19.19’a düşüş sağlamıştır. Bu olayın en önemli nedeni hidrolik atık yağ miktarının artmasıyla kömür tanecikleri ile hidrolik atık yağ damlacıkları arasındaki temas sayısındaki artışla birlikte daha fazla flok oluşmasından kaynaklanmaktadır.



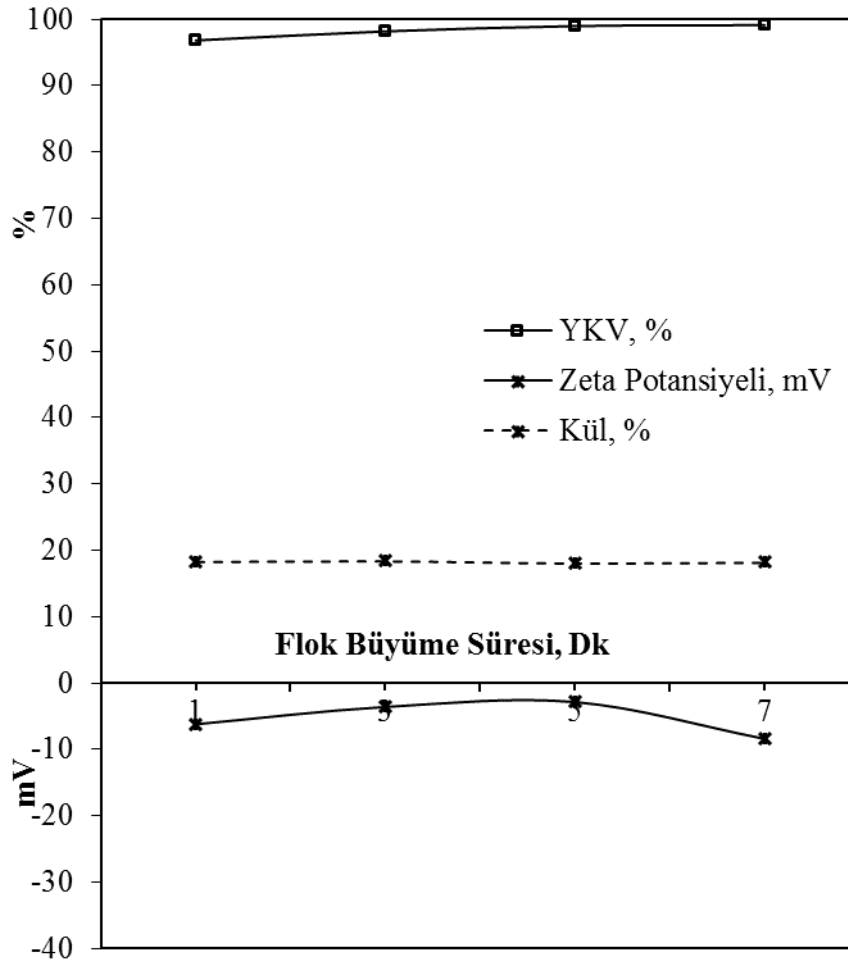
Şekil 5.9. Yağ miktarının etkisi, motor atık yağ

YKV değerleri başlangıçta motor atık yağ miktarının artmasıyla artış gösterirken yağ miktarının belli bir miktardan sonra kül içeriğinde de artış gösterdiği gözlemlenmiş olup, Şekil 5.9'da sunulmuştur. Bunun sebebinin, belirli yağ oranından sonra yapının kararsız yağ topaklarına dönüştüğü ve bu topaklanmaların parçalanması sebebiyle olduğu gösterilmiştir (Şahinoğlu ve Uslu, 2008). Motor atık yağ miktarı optimum değerinde YKV değeri %96.45 ve kül oranı %18.85 olarak belirlenmiştir. Ortamdaki yağ taneciklerinin sayısının fazlaşmasıyla, motor atık yağ damlacıklarının hidrofobluğu daha düşük inorganik malzemeleri de oluşturan flokların bünyesine almasına sebep olmuştur. Ayrıca, motor atık yağ miktarının artmasıyla daha büyük ve gevşek yapıda oluşan flokların iç boşluklarına mineral maddelerin girmesi daha kolay hale gelmiştir (Yaşar, 2018).

Zeta potansiyeli ölçümlerinde görüleceği üzere yağ konsantrasyon değerlerinin artmasıyla taneciklerin yüzey yüklerinde artışı gözlemlenmiştir (Şekil 5.9)

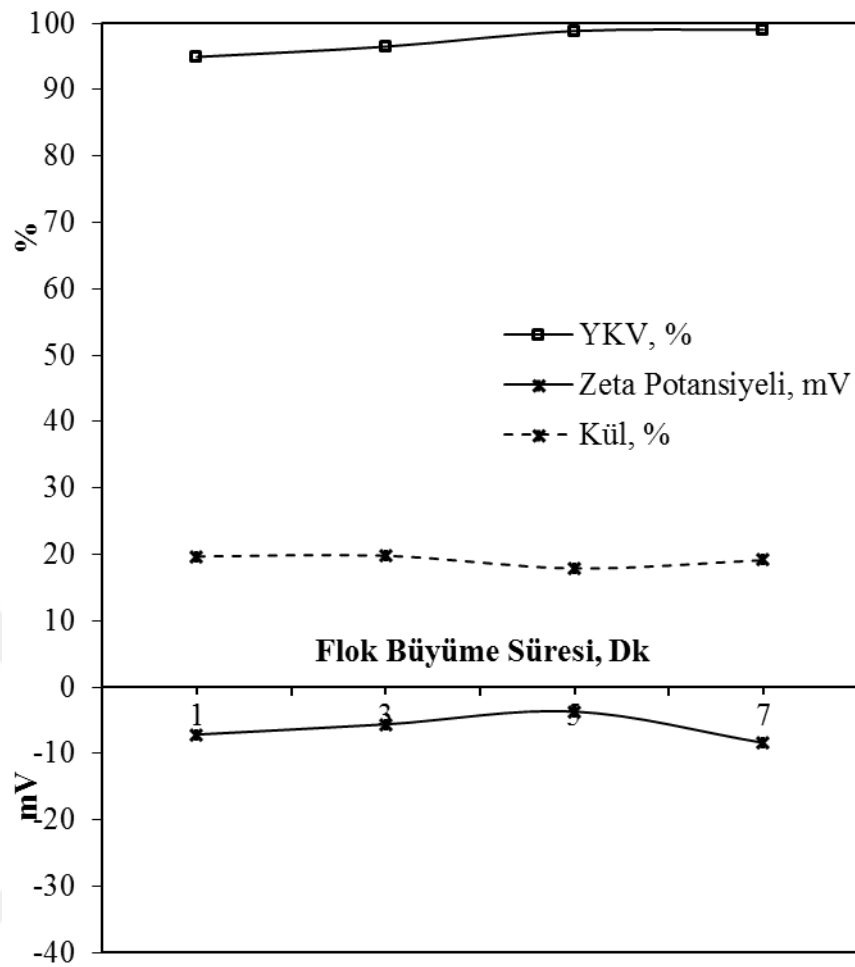
#### 5.4. Flok Büyüme Süresi Etkisi

Farklı konsantrasyonlardaki bitkisel atık yağı, hidrolik ve motor atık yağın numunelerinin hidrofobik flokülasyon deneylerinde karıştırma hızının 180 dev/dk indirilmesi ile flokların büyümesi sağlanmış ve flokların büyümeleri için farklı sürelerdeki (1 dk, 3 dk, 5 dk, 7 dk) etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.



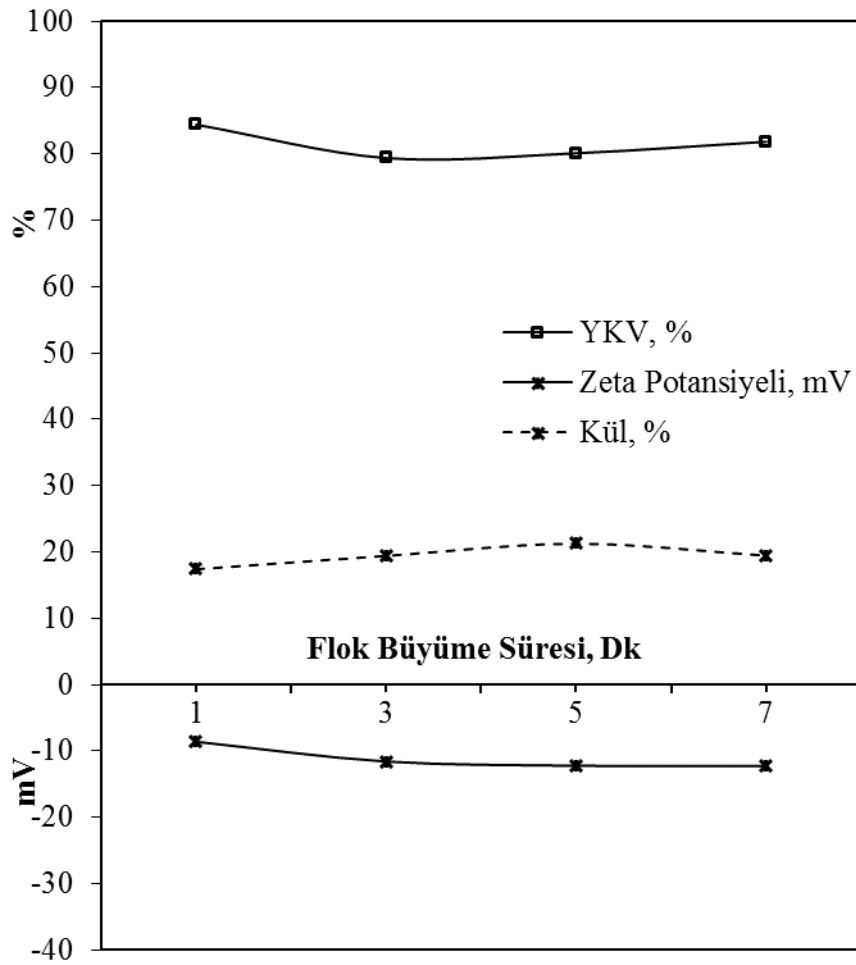
Şekil 5.10. Flok büyüme süresi etkisi, bitkisel atık yağ

Bitkisel atık yağ için yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde, süspansiyon pH 3 sabit tutulmuş, başlangıç karıştırma hızı 1000 dev/dk, 2 mL sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ilavesi, bitkisel atık yağ miktarı 4 mL olarak belirlenmiş ve sistemin karıştırma hızı 180 dev/dk olarak farklı flok büyüme sürelerinde etkileri incelenmiş ve sonuçları Şekil 5.10'da sunulmuştur. Flok büyüme süresinin etkileri hidrofobik flokülasyon deneylerinde yanabilir kısım verimlerinde ve kül giderim oranlarında gözle görülür bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11. Flok büyüme süresi etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağ için yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde, süspansiyon pH 3 sabit tutulmuş, başlangıç karıştırma hızı 1000 dev/dk, 2.5 mL sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ilavesi, hidrolik atık yağ miktarı 4 mL olarak belirlenmiş ve sistemin karıştırma hızı 180 dev/dk olarak flok büyüme sürelerinde etkileri incelenmiş ve sonuçları Şekil 5.11’ de sunulmuştur. Flok büyüme süresinin etkileri hidrofobik flokülasyon deneylerinde yanabilir kısım verimlerinde ve kül giderim oranlarında gözle görülür bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12. Flok büyüme süresi etkisi, motor atık yağ

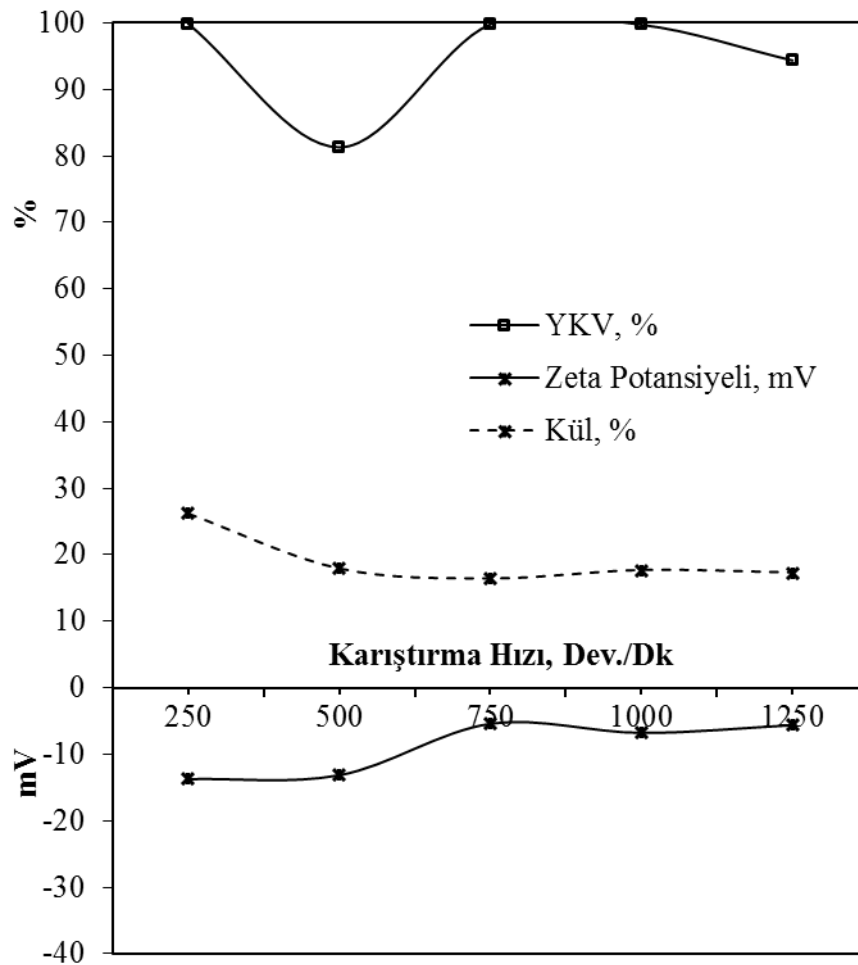
Motor atık yağ için yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde, süspansiyon pH 3 sabit tutulmuş, başlangıç karıştırma hızı 1000 dev/dk, 1 mL sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ilavesi, hidrolik atık yağ miktarı 3 mL olarak belirlenmiş ve sistemin karıştırma hızı 180 dev/dk olarak flok büyüme sürelerinde etkileri incelenmiş ve sonuçları Şekil 5.12’de sunulmuştur. Flok büyüme süresinin etkileri hidrofobik flokülasyon deneylerinde yanabilir kısım verimlerinde ve kül giderim oranlarında gözle görülür bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

Atık bitkisel yağ, atık hidrolik yağ ve atık motor yağ için yapılan deney sonuçlarının incelenmesinde flok büyüme etkisinin yanabilir kısım verimine ve kül giderim oranlarına etkisinin az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca zeta potansiyeli ölçümlerinde tanelerinde yüzey yüklerinde azalmaya sebep olmuştur. Flok büyümesi için geçen zamanın ekonomik açıdan değerlendirildiğinde minimum sürede

çalışmasının daha etkili olduğu ve fazla sürelerde etkisinin az olmasından tercih edilmiştir.

### 5.5. Karıştırma Hızının Etkisi

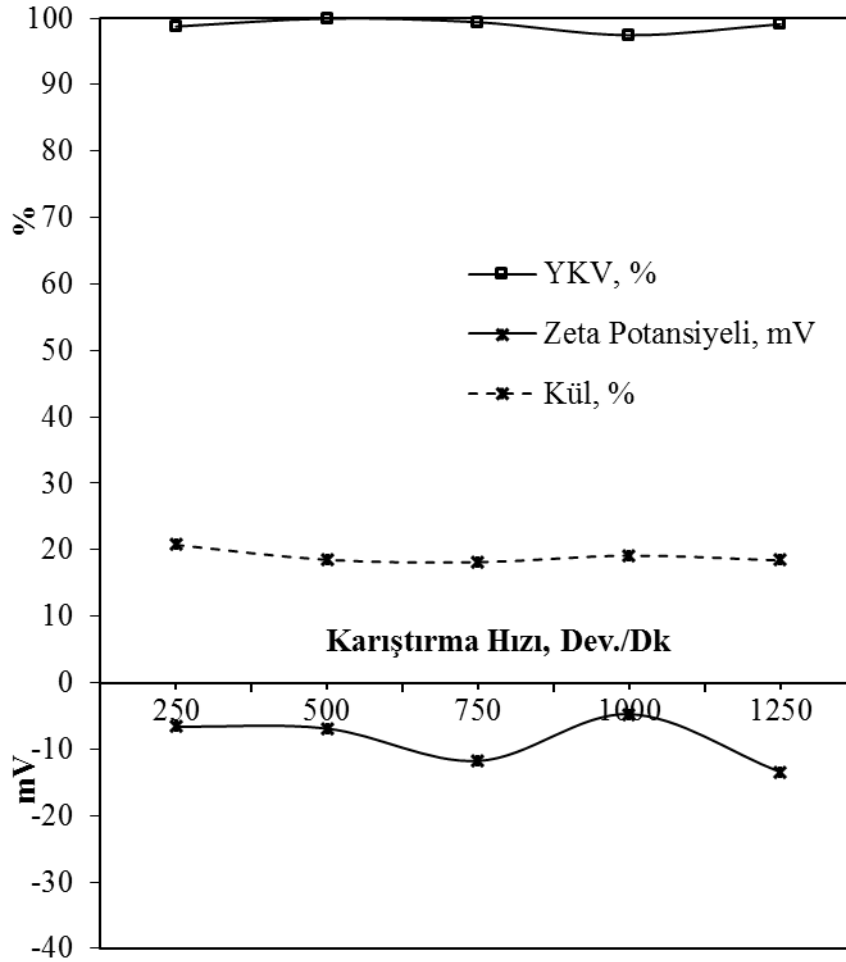
Karıştırma hızının hidrofobik flokülasyon deneylerine etkisini belirlemek amacıyla farklı hızlarda (1250 dev/dk, 1000 dev/dk, 750 dev/dk, 500 dev/dk, 250 dev/dk) deneyler yapılmıştır.



Şekil 5.13. Karıştırma hızının etkisi, bitkisel atık yağ

Bitkisel atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde karıştırma hızının bulguları Şekil 5.13'te sunulmuştur. Farklı devir hızları ile yapılan deneylerin sonuçlarında devir hızının artmasıyla yanabilir kısım verimlerinde düşüş yaşanırken kül giderimi oranında artışlar gözlemlenmiştir. Düşük devir hız seviyesinde aynı durumlar

gözlemlenmiştir. Yüksek hız devirlerinde floklaşmaların artmasıyla flok yapılarında belirli devir hızlarını geçtiği zamanda ise bu yapının bozulduğu ve etkisinin kül oranına ve yanabilirlik veriminide etkilemiştir. Bazı araştırmacılar karıştırma hızının artışıyla floklaşma ve aglomerasyon etkisinin arttığını ancak kritik değerinden sonra azaldığı konusunda hem fikir olmuşlardır ( Cebeci ve Sönmez, 2006; Aslan ve Ünal, 2011).

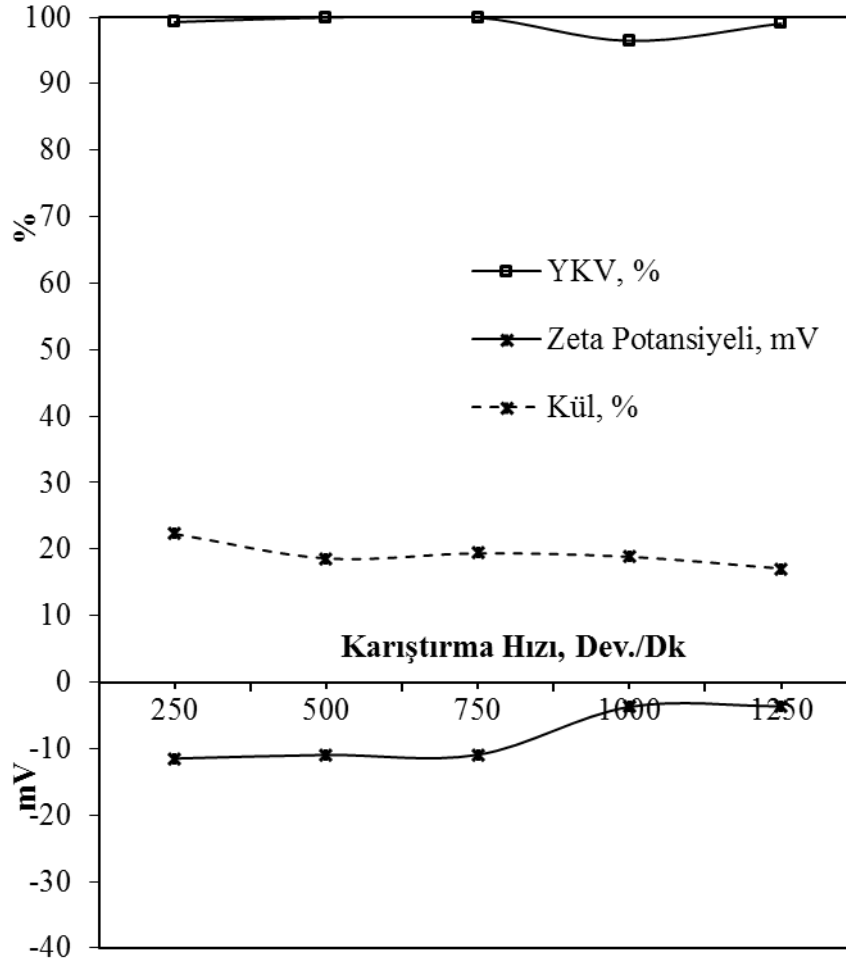


Şekil 5.14. Karıştırma hızının etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde karıştırma hızının bulguları Şekil 5.14'te sunulmuştur. Karıştırma hızının artması ve azalmasıyla %YKV değerlerinde önemli ölçüde değişiklik göstermemiştir, fakat aynı durum kül giderimi için geçerli olmamış oranlarda artış göstermiştir. Bu durumda yüksek hız ve düşük hız devirlerinde floklaşmanın istenilen kritik noktaya ulaşamadığını ve flokların parçalanmasıyla kül oranlarında artışların yaşanması ile yanabilir kısım verimlerine olumsuz etkilerine sebep olmuştur. Karıştırma hızının, kömür süspansiyonunun hidrofobik topaklaşması üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerden,



topaklanmış kömür parçacıklarının yanabilir kısım verimi ve minimum kül içeriği değerlerini elde etmek için 750 rpm'lik bir karıştırma hızının gerekli olduğu bulunmuştur (Ucbeyiay, 2013). Benzer bir çalışmada dizel atık yağ kullanımı ile karıştırma hızının değişiminin kömürün geri kazanım ve kalitesini dikkate değer ölçüde etkilemediğini belirlemiştir (Güleç, 1999).

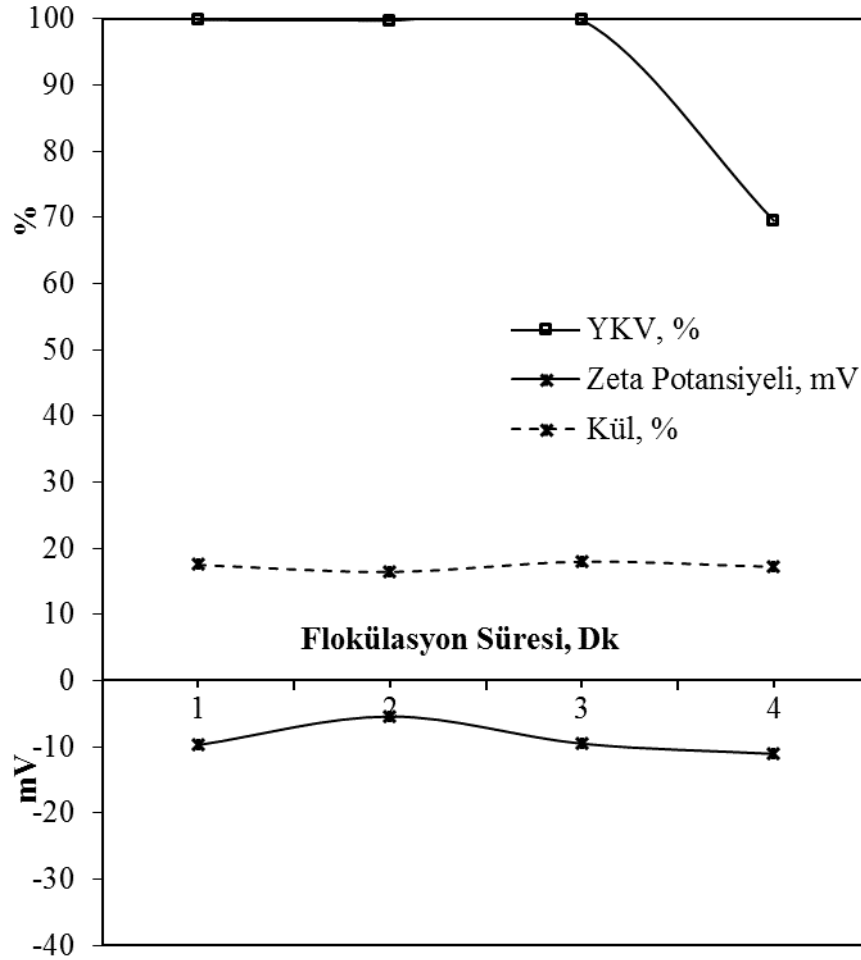


Şekil 5.15. Karıştırma hızının etkisi, motor atık yağ

Motor atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneyinde karıştırma hızının bulguları Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Yüksek hız devirlerinde kömür tanelerin motor atık yağ ile kaplanmasını tanelerin bir araya gelerek flok yapısını oluşturma konusunda etkisini arttırmıştır. Karıştırma devir hızının artması yağların süspansiyonda daha iyi dağılmasını ve taneciklerin birbirleri ile çarpışma olasılığını arttıracığından yanabilir verim artmıştır (Şahinoğlu, 2006). Ayrıca kül oranında önemli bir derecede düşüş sağlamıştır.

## 5.6. Flokülasyon Süresinin Etkisi

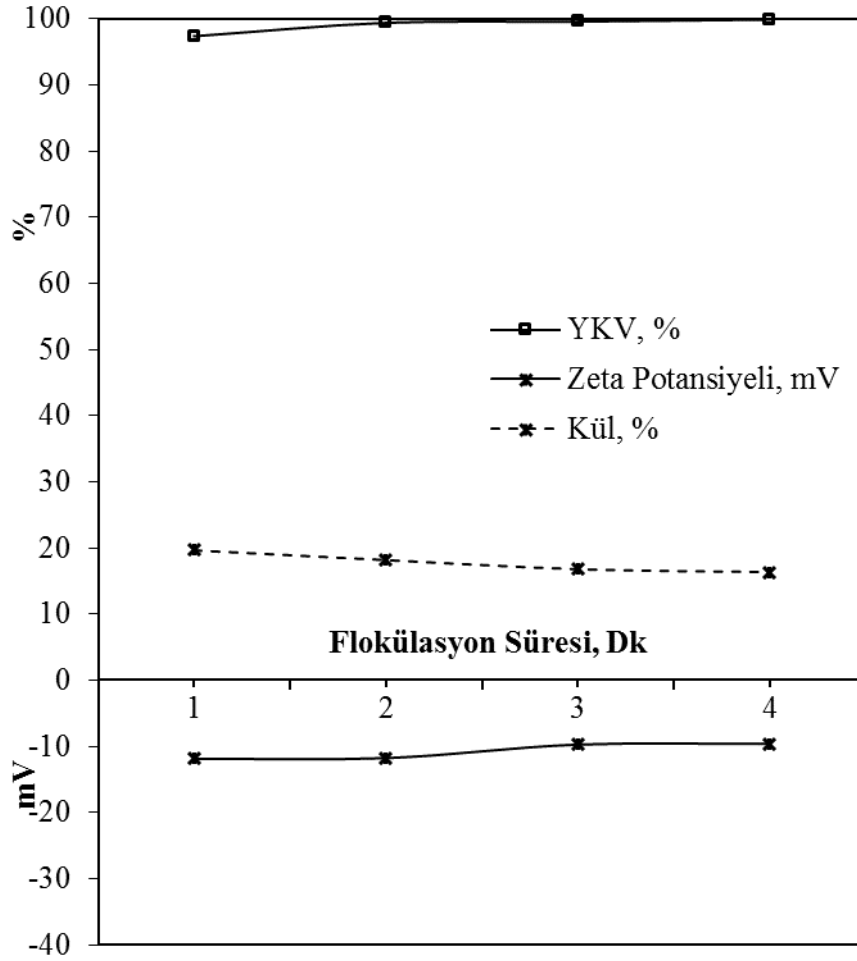
Karıştırma hızına benzer olarak flokülasyon süresi de hidrofobik flokülasyonu etkileyen parametrelerden biri olması sebebiyle çalışmada flokülasyon süresinin etkisine bakılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 5.16. Flokülasyon süresinin etkisi, bitkisel atık yağ

Bitkisel atık yağ ile yapılan deneylerde flokülasyon süresinin artması ile elde edilen flokların kül içeriklerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. YKV değerlerinde ise sürenin artmasıyla birlikte azalma göstermiştir. Flokülasyon süresinin artması ile taneciklerin bitkisel atık yağ ile bir araya gelme olasılığı artmaktadır ancak bu sürenin artmasıyla oluşan flok yapısına kül yapıcı maddelerin de girmesi ihtimalini gözlemlenmiştir. Bu nedenle uygun sürenin deneylerle belirlenmesi önem arz etmektedir. (Shukla ve Venugopal, 2019). Şekil 5.16'da gözükeceği gibi flokülasyon

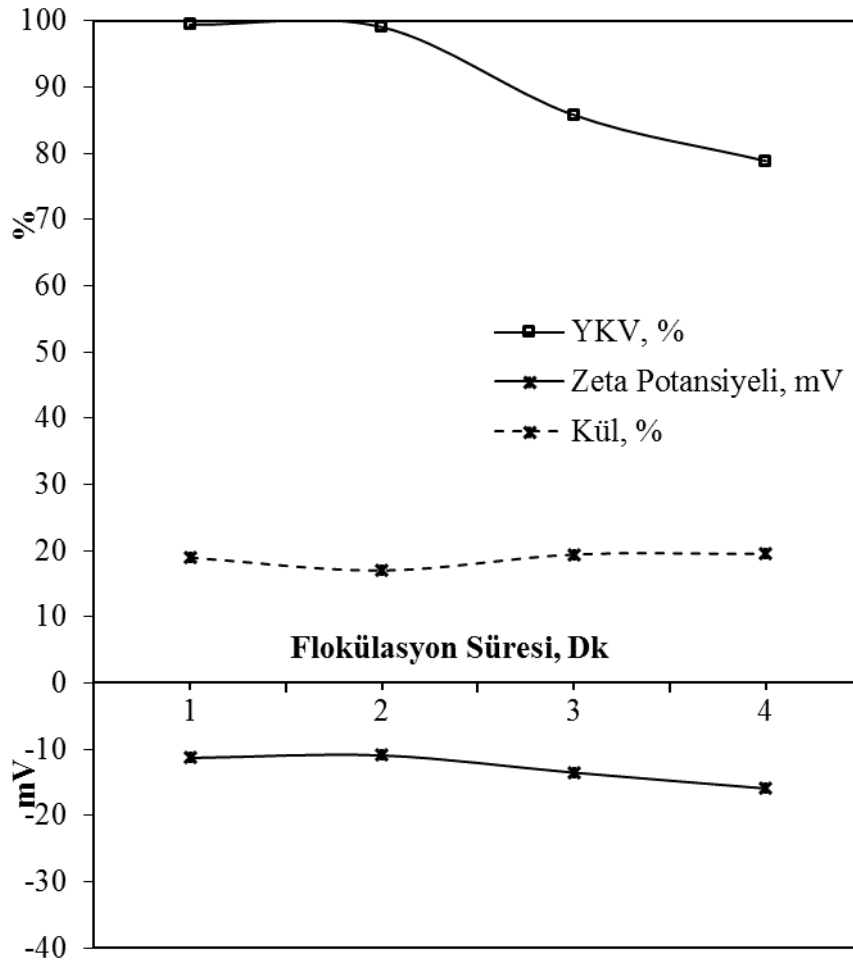
süresinin 2 dakika olarak belirlendiği zaman aralığında kül içeriğinin %16.38, YKV %99.77 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.17. Flokülasyon süresinin etkisi, hidrolik atık yağ

Şekil 5.17 de sunulan hidrolik atık yağ ile yapılan deneylerde flokülasyon süresinin artması ile elde edilen flokların kül içerikleri( %16.33) azalma gözlemlenmiş ve YKV (%99.90) değerlerinde ise sürenin artmasıyla birlikte artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, flokülasyon süresinin artmasıyla floklar daha da kompaktlaşarak içlerindeki hidrolik atık yağ damlacıklarının bir kısmını süspansiyona geçmiş ve bu hidrolik atık yağ damlacıkları süspansiyondaki hidrofob kömür taneciklerini ve oluşan flokların bir araya getirerek floklaşma verimin artmasına da neden olduğu gözlemlenmiştir. Yağların artış gösteren vizkoziteleri atık yağların sıvı içerisinde dağılmamasından ve küçük damlacıklar haline bürünmesinden oluşan zorluklar nedeniyle kömür yüzeyinde istenilen yayılımını azaltması, kömürdeki gözeneklere etki edemeği ve taneciklerin

birbirine bağlanamayıp flokların oluşumuna engel olabilmesinden dolayı hidrolik atık yağın flokülasyon süresinin artması mümkündür (Kılınç, 2000).



Şekil 5.18. Flokülasyon süresinin etkisi motor atık yağ

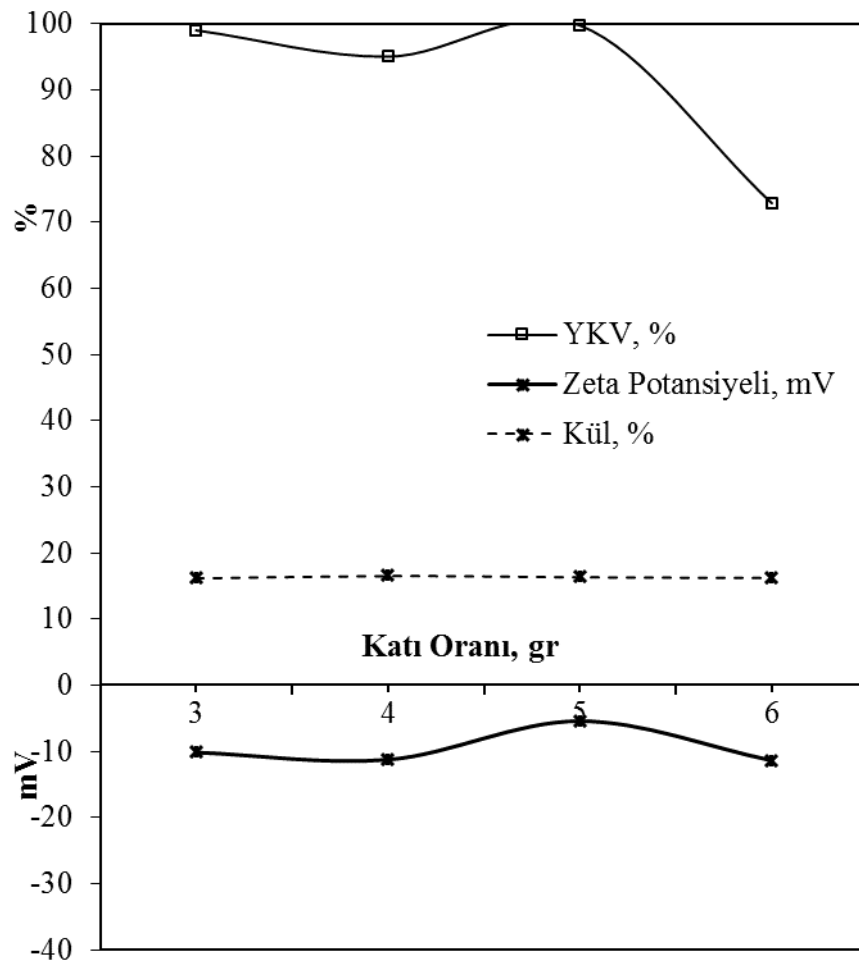
Şekil 5.18’de gözükeceği gibi flokülasyon süresinin 2 dakika olarak belirlendiği zaman aralığında Kül içeriğinin %17.03, YKV %99.06 olarak belirlenmiştir. Zeta potansiyeli ölçümlerinde yüzey yükleri arasında azalma gözükmemektedir lakin bu durum hidrofobik flokülasyon deneylerine olumsuz etkileri gözlemlenmemiştir. Flokülasyon süresinin artması süspansiyon içerisinde oluşmuş ve büyüyen flokların uygun boyutlara gelmiştir. Bu sürenin belirli bir zamandan sonra oluşan flokların beher içerisinde çarpışma süresinin artmasına ve flokların zamanla parçalanmasına neden olmuştur.

Benzer çalışmada bağlayıcı sıvı olarak petrol türevi karışımı kullanarak deneyler yapmış ve süresinin artışına bağlı olarak yanabilir kısım verimi değerlerinin belli bir süresinden sonra azaldığını, kül içeriğinin ise arttığını belirtmiştir (Arı, 2017).

### 5.7. Katı Oranı Etkisi

Flokülasyon süresine benzer olarak katı oranı etkisi de hidrofobik flokülasyonu etkileyen parametrelerden biri olması sebebiyle çalışmada katı oranı etkisine bakılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Katı oranı, kömür taneciklerinin ve bağlayıcı olarak kullanılan sıvı damlacıkları arasındaki kohezyon ve adhezyonu direk olarak etkilediği için önemli bir parametredir. (Taşdöğen, 2019).

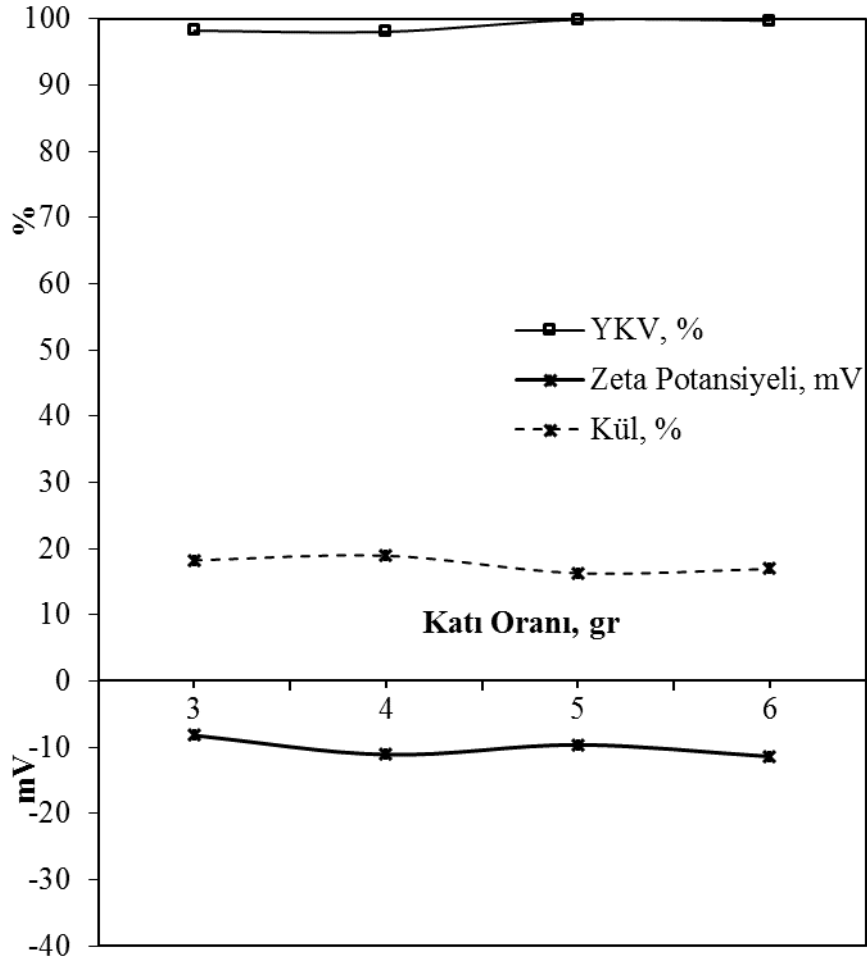
Hidrofobik flokülasyon deneylerinde katı oranının etkisi incelemesinde farklı miktarlarda kullanılan kömür numunelerinin (3 gr,4 gr,5 gr,6 gr) kullanılması ile sonuçlar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.19. Katı oranı etkisi, bitkisel atık yağ

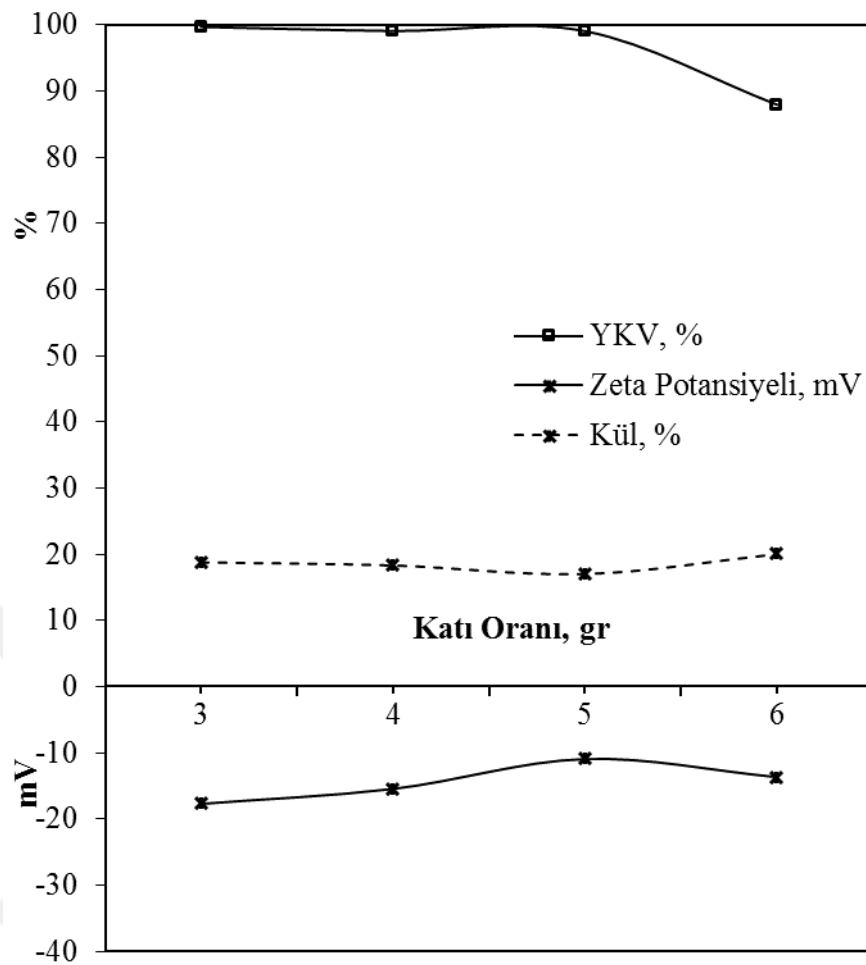
Bitkisel atık yağ kullanımı ile gerçekleştirilen hidrofobik flokülasyon deneylerinde katı oranının etkisi Şekil 5.19'da sunulmuş olup söz konusu katı oranında artış ve azalmalar sonucunda belirgin bir şekilde yanabilir kısım veriminde azalma ve

flokların kül oranında ise değişiklik olmamıştır. En uygun çalışmaların kömür numunesinin 5 gr olduğu kabul edilmiştir. YKV % 99.77,Kül %16.38



Şekil 5.20. Kati oranı etkisi, hidrolik atık yağ

Hidrolik atık yağ kullanımı ile gerçekleştirilen hidrofobik flokülasyon deneylerinde kati oranının etkisi Şekil 5.20’de sunulmuş olup söz konusu kati oranında artış ve azalmalar sonucunda belirgin bir şekilde yanabilir kısım verimi ve flokların kül oranında değişiklik olmamıştır. Hidrolik atık yağ ile yapılan en uygun çalışmaların kömür numunesinin 5 gr olduğu kabul edilmiştir. YKV % 99.90,Kül %16.33



Şekil 5.21. Katı oranı etkisi, motor atık yağ

Motor atık yağ kullanımı ile gerçekleştirilen hidrofobik flokülasyon deneylerinde katı oranının etkisi Şekil 5.20'de sunulmuş olup söz konusu katı oranında artış ve azalmalar sonucunda belirgin bir şekilde yanabilir kısım verimi ve flokların kül oranında değişiklik olmamıştır. Motor atık yağ ile yapılan en uygun çalışmaların kömür numunesinin 5 gr olduğu kabul edilmiştir. YKV % 99.06, Kül %17.03

### 5.8. Aşamalı Hidrofobik Flokülasyon Çalışmaları

Hidrofobik flokülasyon deneylerinde kullanılan üç farklı atık yağ tipi (Bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ ve motor atık yağ) ile yapılan çalışmaların sonucunda etken olan parametreler çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Çalışmalar süresince belirlenen uygun parametreler ile aşamalı olarak hidrofobik flokülasyon çalışmaları yapılmıştır. Hidrofobik flokülasyon çalışması sonucunda elde edilen kömür numunesi aseton yardımıyla temizlenerek tekrardan sisteme dahil edilmiştir. İlk aşama sonrasında ortaya

çıkan kömür numunesinin aseton ile temizlenmesi sonucunda tekrardan aynı işlemlere tabii tutularak hidrofobik flokülasyon çalışmaları yapılmıştır.

- ✓ pH etkisi,
- ✓ Sodyum silikatın etkisi, ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )
- ✓ Yağ miktarının etkisi, (Bitkisel, hidrolik ve motor atık yağ)
- ✓ Flok büyüme süresi etkisi,
- ✓ Karıştırma hızı etkisi
- ✓ Flokülasyon süresi
- ✓ Katı oranı etkisi

Bitkisel atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneylerinde en uygun parametreler ile sisteme tekrardan dâhil edilerek temiz kömür elde edilmesi amaçlanmıştır. Bitkisel atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı: 750 dev/dk, flokülasyon süresi: 2 dakika, katı oranı: 5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.77, Kül Değeri % 16.38

Hidrolik atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2.5 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı: 750 dev/dk, flokülasyon süresi: 4 dakika, katı oranı: 5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.90, Kül Değeri % 16.33

Motor atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 1 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 3 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı: 1250 dev/dk, flokülasyon süresi: 2 dakika, katı oranı: 5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.06, Kül Değeri % 17.03



Çizelge 5.1.Optimum hidrofobik flokülasyon çalışma sonuçları

Parametreler	Bitkisel Atık Yağ	Hidrolik Atık Yağ	Motor Atık Yağ
pH etkisi	pH 3	pH 3	pH 3
Sodyum silikatın etkisi	2 mL	2.5 mL	1 mL
Yağ miktarının etkisi	4 mL	4 mL	3 mL
Flok büyüme süresi etkisi	1 Dk	1 Dk	1 Dk
Karıştırma hızı etkisi	750 Dev/Dk.	750 Dev/Dk.	1250 Dev/Dk.
Flokülasyon süresi	2 Dk	4 Dk	2 Dk
Katı oranı etkisi	5 gr	5 gr	5 gr
Yanabilir kısım verim	99.77%	99.90%	99.06%
Kül	16.38%	16.33%	17.03%
Üst ısıl değeri	5128.1 kcal/kg	5558.4 kcal/kg	5447.1 kcal/kg
Temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ )	110.6°	131.7°	117.58°
Zeta potansiyeli ölçüm değeri	(-) 5.42 mV	(-) 9.63 mV	(-) 10.93 mV

**Birinci Aşama** :Bu sonuçların parametre şartları altında katı oranı 15 gr, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve atık yağ miktarlarını da numunenin katı oranı oranında artırılmasıyla (üç kat) üç tip atık yağ üzerinde tekrardan deneyler yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen flokların kurutulmasından sonra gram başına 25 mL olarak şekilde aseton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) yardımıyla temizlenmesi sağlanmıştır (Duzyol, 2015b).

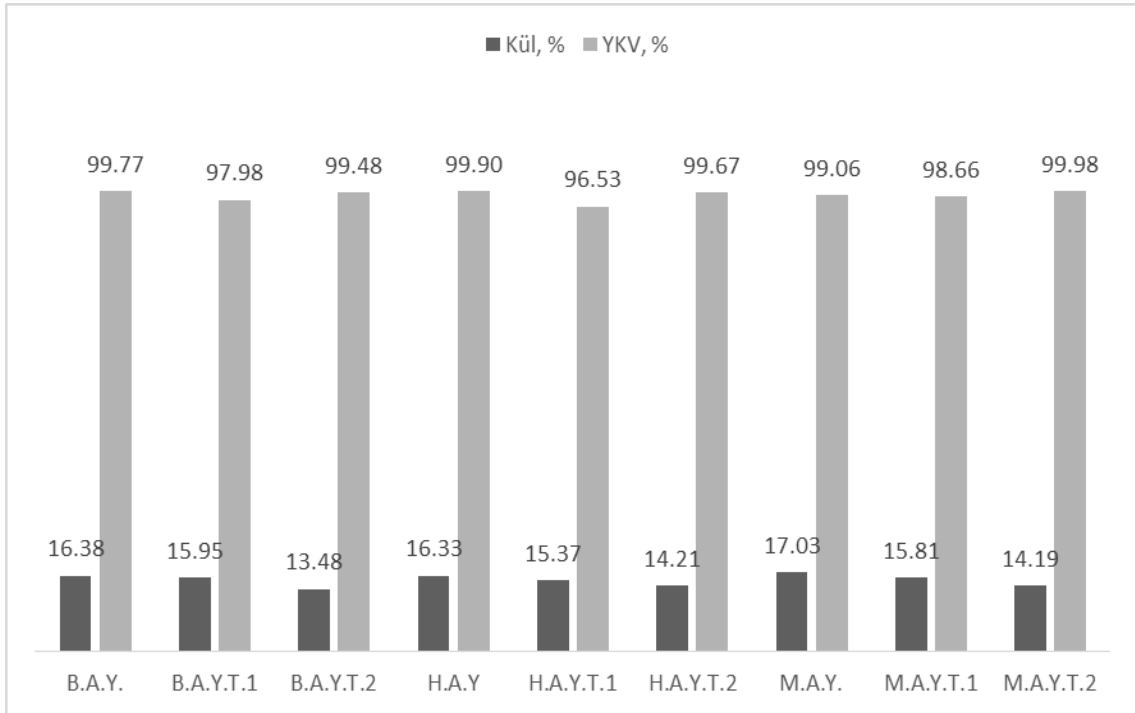
Aseton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) ile temizlenmiş ve oda sıcaklığında kurutulmasından sonra tekrardan deney sistemine dâhil edilip, çıkan flokların filitre kâğıdında süzülmesi ve kurutulma işlemlerinden sonra kül analizleri hesaplamaları yapılmıştır.

Bitkisel atık yağın pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:750 dev/dk, flokülasyon süresi:2 dakika, parametleri ile birinci temizleme sonucunda, YKV %97.98, Kül Değeri % 15.95 olarak belirlenmiştir.

Hidrolik atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2.5 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:750 dev/dk, flokülasyon süresi:4 dakika, parametleri ile birinci temizleme sonucunda, YKV %99.53, Kül Değeri % 15.37 olarak belirlenmiştir.

Motor atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 1 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 3 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:1250 dev/dk, flokülasyon süresi:2 dakika, parametleri ile birinci temizleme sonucunda, YKV %98.66, Kül Değeri % 15.81 olarak belirlenmiştir.

**İkinci Aşama** :Atık yağ çeşitleri ve belirlenen uygun parametreler altında hidrofobik flokülasyon deneyi birinci aşamadan sonra ortaya çıkan malzemeler ile tekrar edilmiştir. Hidrofobik flokülasyon, 1.aşama temizleme işlemleri ve 2.aşama temizleme sonuçları Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Hidrofobik flokülasyon deneyi, 1.temizleme aşaması ve 2.temizleme aşaması sonuçları (B:Bitkisel, H:Hidrolik, M:Motor, A:Atık, Y:Yağ, T:Temizleme).

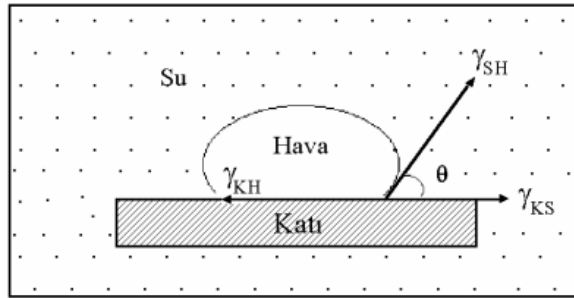
İkinci temizleme işlemleri için bitkisel atık yağın pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:750 dev/dk, flokülasyon süresi:2 dakika, parametleri ile ikinci temizleme sonucunda, YKV %99.48, Kül Değeri % 13.48 olarak belirlenmiştir.

Hidrolik atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2.5 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:750 dev/dk, flokülasyon süresi:4 dakika, parametleri ile ikinci temizleme sonucunda, YKV %99.67, Kül Değeri % 14.21 olarak belirlenmiştir.

Motor atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3,sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 1 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 3 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı:1250 dev/dk, flokülasyon süresi:2 dakika, parametleri ile ikinci temizleme sonucunda, YKV %99.98, Kül Değeri % 14.19 olarak belirlenmiştir.

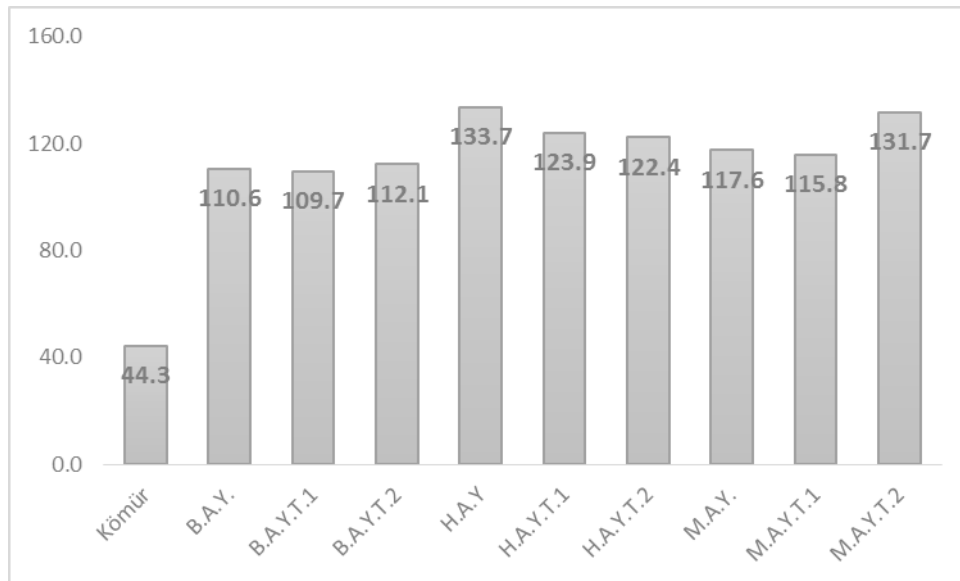
### 5.9. Temas Açılarının ( $\theta$ ) Değerlendirilmesi

Katı, sıvı ve hava üçlü faz sisteminde, sıvının katı veya mineral yüzeyinde oluşturduğu statik haldeki açı, temas açısı ( $\theta$ ) olarak tanımlanır (Şekil 5.23). Üç fazın dengede olduğu durum Young eşitliği ile ifade edilmektedir. Sıvının katı yüzeyinde yayılmadan durması ve bir temas açısı ( $\theta$ ) oluşturması, katının sıvı tarafından ıslatılmadığı göstermekte olup bu açının büyüklüğü katının ıslanabilirlik derecesine göre değişir. Yani temas açısı ne kadar büyük olursa, hidrofobisitesi ve yüzebilirliği o derece arttığı bilinmektedir (Düzyol, 2009).



Şekil 5.23. Sulu ortamda katı ve kabarcık arasındaki temas açısı (Düzyol,2009;Young, 1805).

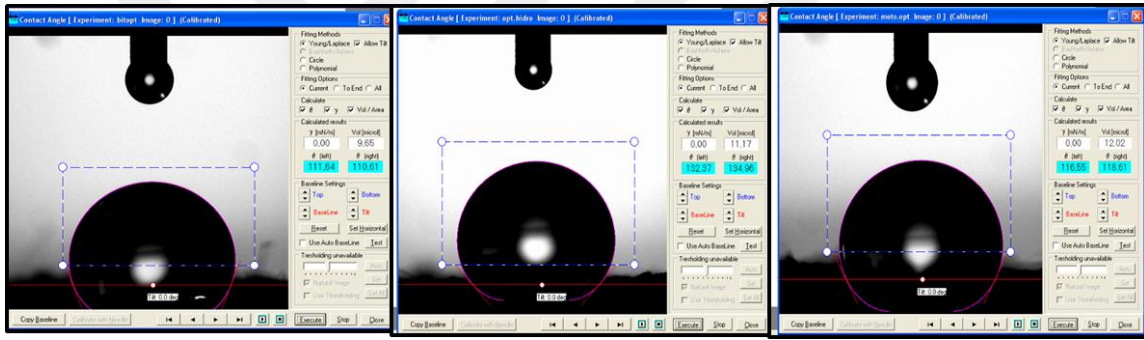
Hidrofobik flokülasyon deneylerinde kullanılan üç farklı atık yağ tipi (Bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ ve motor atık yağ) ile belirlenmiş parametreler ile yapılan çalışmaların sonucunda KSV CAM 101 gonyometresi ile preslenmiş numuneler üzerinde asılı damla yöntemi ile ölçümler yapılmış olup, sonuçlar Şekil 5.24'te sunulmuştur.



Şekil.5.24. Temas açılarının ( $\theta$ ) değerlendirilmesi

Tez çalışmasında kullanılan kömür numunesinin temas açısı ölçümleri yapılmış ve temas açısı ( $\theta$ )  $44.3^\circ$  olarak tespit edilmiştir.

Bitkisel atık yağ kullanımı ile gerçekleştirilen hidrofobik flokülasyon deneylerin sonucunda yapılan temas açısı ölçümlerinde  $110.6^\circ$  olarak bulunmuş olup (Şekil 5.25), hidrofobisite bir katının hava-severliğinin ölçüsü belirlediğinden, temas açısının artması, katının daha hidrofobik olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi ise süspansiyon içerisinde kömür taneciklerinin yağ damlacıkları ile kaplanmasıyla beraber oluşan flokların hidrofobisitesinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca kül yapıcı unsurlar kömürün ıslanma özelliğini etkileyebilir. Kömürün kül oranı arttıkça doğal yüzebilme yeteğini zayıf. Kömürün kül yapıcı malzeme içeriğinin tipi de önemlidir. Talk, kil gibi kolay yüzebilir malzeme bulunduğu, seçimli ayırma güçleşebilir (Yavuz, 2010). Kömürün birinci temizleme aşaması ve ikinci temizleme aşaması sonrasında ölçülen temas açısı ( $\theta$ ) değerleri sırasıyla,  $109.7^\circ$  ve  $112.1^\circ$ dir (bitkisel atık yağ).



Şekil 5.25. Temas açısı ölçüm görüntüleri (Bitkisel, hidrolik ve motor atık yağ).

Hidrolik atık yağ kullanımı ile gerçekleştirilen hidrofobik flokülasyon deneylerin sonucunda yapılan temas açısı ölçümlerinde  $133.7^\circ$  olarak bulunmuş olup, Kömürün birinci temizleme aşaması ve ikinci temizleme aşaması sonrasında ölçülen temas açısı ( $\theta$ ) değerleri sırasıyla,  $123.9^\circ$  ve  $122.4^\circ$ dir.

Motor atık yağ kullanımıyla elde edilen deneylerin sonucunda yapılan temas açısı ölçümlerinde  $117.6^\circ$  olarak bulunmuş olup, Kömürün birinci temizleme aşaması ve ikinci temizleme aşaması sonrasında ölçülen temas açısı ( $\theta$ ) değerleri sırasıyla,  $115.8^\circ$  ve  $131.7^\circ$ dir.

Karbon yüzdesine göre değişimi orta derecede uçucu içeren bitümlü kömürlerde, doğal yüzebilirliğe işaret eden,  $60^\circ$ 'nin üstünde temas açısı ölçülmüştür. Temas açısı düşük karbonlu (linyitik) kömürlerde hızla, yüksek karbon içeren (semi-antrasit, antrasit) kömürlerde yavaşça azalmaktadır (Kural, 1991).

### 5.10. Kalori Tayini Değerlendirmeleri

Kalori tayini, ASTM D 5865–10a ‘Kömür ve Kok Analiz Numunesinin Brüt ve Net Kalorifik Değeri Tayini için Standart Test Metodu’na göre yapılmıştır. Çalışmaların sonrasında elde edilen kömür numunenin kalorisi, Leco AC-350 marka cihaz ile kuru numune yüksek basınç altında saf oksijen ile yakılarak kalori değerlerinin dört adet ölçüm yapılmış ve ortalaması alınarak hidrofobik flokülasyon deneyleri sonuçları, 1. aşama temiz kömür ve 2. aşama temiz kömür deneylerinin ısıl değeri tespit edilmiş, sonuçlar Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Hidrofobik flokülasyon deneyi, 1. aşama ve 2. aşama temiz kömür sonrası kalori değerleri.

Yağ Cinsi	Hidrofobik Flokülasyon Deneyi	1. Aşama Temiz Kömür	2. Aşama Temiz Kömür
Orijinal Kömür	2529 (kcal/kg)	-	-
Bitkisel Atık Yağ	5128 (kcal/kg)	5408 (kcal/kg)	5772 (kcal/kg)
Hidrolik Atık Yağ	5558 (kcal/kg)	6201 (kcal/kg)	6304 (kcal/kg)
Motor Atık Yağ	5447 (kcal/kg)	5548 (kcal/kg)	5732 (kcal/kg)

## 6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Konya ili, Beyşehir bölgesine ait linyit kömürün hidrofobik flokülasyon ile temizlenmesinde atık yağların kullanım olanaklarının araştırılması hedeflenmiştir.

Deneyler esnasında atık yağ olarak kullanılan bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ ve motor atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneylerinde pH etkisi, sodyum silikatın etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), yağ miktarı etkisi, flok büyüme süresi etkisi, karıştırma hızı etkisi, flokülasyon süresi ve katı oranı etkisi gibi parametrelerin sonuçları araştırılmıştır.

Yapılan deneylerin ışığı altında kömürün temizlenmesine için yapılan çalışmaların etkileri ve araştırmaları aşağıda verilmiştir.

Kömürün nemi %37.49, ısı değeri 2529 kcal/kg ve kül içeriği %36.40 -212  $\mu\text{m}$ 'nin altına öğütülen numunenin  $d_{80}$  değeri 75  $\mu\text{m}$ 'dir. Hidrofobik flokülasyon deneylerinde kullanılan atık yağların (bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ, motor atık yağ) vizkozitesi ve yoğunlukları sırasıyla, 54.3804  $\text{mm}^2/\text{s}$ , 143.6349  $\text{mm}^2/\text{s}$ , 90.9756  $\text{mm}^2/\text{s}$  ve 0.9131  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , 0.8895  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , 0.8824  $\text{gr}/\text{cm}^3$ 'tür.

Bitkisel atık yağ, hidrolik atık yağ, motor atık yağ ile en uygun %YKV ve kül değerleri için uygun pH 3 olarak tespit edilmiştir. Motor atık yağının pH etkisinin araştırmasında diğer atık yağların motor atık yağı kadar etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Motor atık yağın pH 3 te ki etkisi yanabilir kısım verimi %85.92 olurken, kül değeri %22.78 olarak belirlenmiştir.

Sodyum silikatın etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) hidrofobik flokülasyon deneylerinde motor atık yağ üzerinde etkisinin olmadığı gözlemlenmiş olup bitkisel atık yağ ve hidrolik atık yağlarının sodyum silikatın miktarının etkisinin yanabilir kısım verimine (bitkisel atık yağ %71.33, hidrolik atık yağ: %72.47) ve kül değerlerine (bitkisel atık yağ %23.11, hidrolik atık yağ: %22.24) doğrudan etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı miktarlardaki bitkisel atık yağı, hidrolik ve motor atık yağların hidrofobik flokülasyona deneylerine etkilerinde bitkisel atık yağ ve hidrolik atık yağlarının miktarı arttıkça etkilerinin artması ve floklaşmalara olanak sağladığı motor atık yağın miktarının artmasıyla belirli bir noktadan sonra etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bitkisel ve hidrolik atık yağların 4 mL deki kül değerleri sırasıyla %17.66 ve %19.99 olurken, motor atık yağın 3 mL'de ki kül değeri %18.85 olmuştur.

Hidrofobik flokülasyon deneylerinde flokların büyümeleri için farklı sürelerdeki etkileri araştırılmış ve sürelerdeki farkların üç farklı atık yağ tipinde önemli derecede

bir etkisine rastlanmamıştır. Bu yüzden atık yağlar için flok büyüme süreleri minimum seçilmiş zaman ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Karıştırma hızının hidrofobik flokülasyon deneylerine etkisini belirlemek amacıyla farklı hızlarda (1250 dev/dk, 1000 dev/dk, 750 dev/dk, 500 dev/dk, 250 dev/dk) araştırmalar sonucunda bitkisel ve hidrolik atık yağların 750 dev/dk karıştırma hızları YKV (%99.77, %99.41) ve kül giderimine (%16.38, %18.20) etkisi olurken, motor atık yağı için 1250 dev/dk YKV (%99.06) ve kül giderimi (%17.03) olarak tespit edilmiştir.

Karıştırma hızına benzer olarak flokülasyon süresi de hidrofobik flokülasyonu etkileyen parametrelerden biri olması sebebiyle çalışmada flokülasyon süresinin etkisi sonuçlarına bakıldığında bitkisel ve motor atık yağlarının flokülasyon sürelerinin artmasıyla oluşan flokların daha sonradan beher içerisinde çarpışmalarına neden olmasıyla sürenin hidrolik atık yağda gösterdiği etkiler ile karşılaşılmamıştır. Hidrolik atık yağın flokülasyon süresinin artmasıyla yanabilir kısım veriminde (%99.90) artış ve kül değeri (%16.33) oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Hidrofobik flokülasyon deneylerinde katı oranının etkisi incelemesinde farklı miktarlarda kullanılan kömür numunelerinin deneyler aşamasında etkisinin çok fazla gözlemlenmediği belirlenmiştir.

Deney esnasında uygulanan parametrelerin belirlenmesiyle optimum deney şartları belirlenmiştir. Bu optimum değerler üç farklı tipteki atık yağ için farklılıklar göstermiş olup bunların sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Bitkisel atık yağ ile yapılan hidrofobik flokülasyon deneylerinde en uygun parametreler ile sisteme tekrardan dâhil edilerek temiz kömür elde edilmesi amaçlanmıştır. Bitkisel atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2 mL, atık bitkisel yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı: 750 dev/dk, flokülasyon süresi: 2 dakika, katı oranı: 5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.77, kül değeri % 16.38, ısı değeri 5128 kcal/kg, zeta potansiyeli ölçüm değeri -5.42 mv, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ )  $110.6^\circ$  dir.

Hidrolik atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 2.5 mL, atık hidrolik yağ miktarı: 4 mL, flok büyüme süresi: 1 dakika, karıştırma hızı: 750 dev/dk, flokülasyon süresi: 4 dakika, katı oranı: 5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.90, kül değeri % 16.33, ısı değeri 5558 kcal/kg, zeta potansiyeli ölçüm değeri -9.63 mv, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ )  $133.7^\circ$  dir.

Motor atık yağ ile yapılan deneyleri için uygun bulunan parametreler; pH 3, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) : 1 mL, atık motor yağ miktarı: 3 mL, flok büyüme süresi: 1

dakika, karıştırma hızı:1250 dev/dk, flokülasyon süresi:2 dakika, katı oranı:5 gr olarak belirlenmiştir. YKV %99.06, kül değeri % 17.03, ısı değeri 5447 kcal/kg, zeta potansiyeli ölçüm değeri -10.93 mv, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 117.6°'dir.

Temiz kömürün elde edilebilmesi için uygun parametrelerdeki deney şartları ile sisteme tekrar tekrar dâhil edilerek iki aşamalı deneyler yapılmış ve bunların da sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Hidrofobik flokülasyon ile yapılan birinci aşama deney sonuçları; Bitkisel atık yağın, YKV %97.98, kül değeri % 15.95, ısı değeri 5408 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 109.7°'dir. Hidrolik atık yağ YKV %96.53, kül değeri % 15.37 ve ısı değeri 6201 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 123.9°'dir. Motor atık yağ için YKV %98.66, kül değeri % 15.81 ve ısı değeri 5548 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 115.8° olarak belirlenmiştir.

Hidrofobik flokülasyon ile yapılan ikinci aşama deney sonuçları; Bitkisel atık yağın, YKV %99.48, kül değeri % 13.48 ve ısı değeri 5772 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 112.1°'dir. Hidrolik atık yağın, YKV %99.67, kül değeri % 14.21 ve ısı değeri 6304 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 122.4°'dir. Motor atık yağ için YKV %99.98, kül değeri % 14.19 ve ısı değeri 5732 kcal/kg, temas açısı ölçüm değeri ( $\theta$ ) 131.7° olarak belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- Abakay, H., Ayhan, F.D. , Kahraman, F., 2004. Selective Oil Agglomeration in Şırnak Asphaltite Beneficiation, Fuel, 83, 14-15, 2081-2086. Ankara.
- Arı, M., 2017. Farklı bağlayıcı sıvı karışımları ile kömürün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi), 89 s, Sivas.
- Aslan, N. and Ünal, İ., 2011, Multi-response optimization of oil agglomeration with multiple performance characteristics. Fuel Processing Technology, 92 (6), 1157–1163.
- ASTM D 3173–03, 2010, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, 3.
- ASTM D 3174–04, 2010, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, 5.
- ASTM D 5865–10a, 2010, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, 14.
- ASTM, 1981, ASTM Annual Book of Standards, Philadelphia.
- Atak, S., 1990. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayını, Kitap No: 34, İstanbul
- Ateşok, G., 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, 1. Baskı, Berail Yayıncılık Matbacılık Ltd. Şti., İstanbul
- Bajor, O. and 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
- Bayrak Ö, ve Aktan M. 2017. Türkiye'nin Kömür Potansiyeli ve Hedefler. TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştayı ve Paneli. TÜBA, Ankara.
- Bilim, N. 2016. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Dışa Bağımlılığın Azaltılması İçin Uygulanması Gereken Politikalar, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 2, s. 145-154.
- Capes, C.E., Coleman, R.D. , 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. and Sönmez, İ., 2006, Application of the Box-Wilson experimental design method for the spherical oil agglomeration of coal. Fuel, 85 (3), 289–297
- Cebeci, Y. and Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77, 5, 419-424.

- Cebeci, Y. and 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. and Sönmez, İ., 2005. Application of the Box-Wilson Experimental Design Method for the Spherical Oil Agglomeration of Coal, *Fuel*, 85, 3, 289-297.
- Cebeci, Y., Ulusoy, U. and 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.
- Choung, J., Xu, Z. and Szymanski, J. 2000. An integrated approach for coal tailings management. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 78(4), 780–784.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016; <https://ced.csb.gov.tr/turkiye-cevre-durum-raporu-i-82673>, [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019, Resmi Gazete Tarihi: 21.12.2019 Resmi Gazete Sayısı: 30985, [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 06.06.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29378, [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- Demiral, A., 2013. Killerin Elektrokinetik Özellikleri ve Flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Düzyol, S., 2015a. Kömürün Hidrofobik Flokülasyonu ve Bazı Parametrelerin Etkisi, *Hydrophobic Flocculation of Coal and the Effect of Some Parameters*.
- Düzyol, S., 2015b. Investigation of oil agglomeration behaviour of Tuncbilek clean coal and separation of artificial mixture of coal–clay by oil agglomeration. *Powder Technology*, 274, 1–4.
- Düzyol, S. and Sensogut, C 2015. The relation between hydrophobic flocculation and combustion characteristics of coal. *Fuel Processing Technology*, 137, 333–338.
- Düzyol, S., 2009, Cevher Hazırlamada Islanabilirliğe Dayanan İşlemlerde Hidrofobisite ve Yüzey Geriliminin Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
- EİGM, 2020, EİGM Denge Tabloları. 2018 Yılı Sonu Denge Tablosu. [online], Ankara, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2020].
- Enerji Bakanlığı, 2020, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>. [Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2020].

- Gouri Charan, T., 2016. Coal Beneficiation, Coal Production and Processing Technology, M.R. Riazi, R. Gupta, Eds., CRC Press, 231-262
- Guntupalli, H.V.C.C. , 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.
- Güleç, C., 1999. Küresel Yağ Aglomerasyon Tekniği ile Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., ve Atak, S., 1997. Türkiye Linyitlerine Uygulanması Gereken İyileştirme Yöntemi, Ed: Önal, G. ve Ateşok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı, 4, 14-15 Kasım, 85 – 106.
- Hacifazlıoğlu, H., 2015, Tüvenan Kömür Zenginleştirme Yöntemleri, Kömür Hazırlama Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- IEA/OECD Coal Information Report, 1983 (DPT 2001, VIII. Beşyillik Kalkınma Planı Kömür ÖİK Raporu
- Kawatra, S.K. , Eisele, T.C., 2001. Coal Desulfurization: High-Efficiency Preparation Methods, Taylor & Francis, 360 s.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 1999. Kömür Teknolojisi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, No:33, İzmir, 370
- Kılınç, E., 2000. Toz Kömürlerin Yağ Aglomerasyon İle Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Koca, H. 1998. Zonguldak lavuarı ince kömürlerinin selektif flokülasyon ile zenginleştirilmesi.
- Konya Çevre Durum Raporu 2018; <https://ced.csb.gov.tr/2018-yili-il-cevre-durum-raporlari-i-91886>, [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- Kural, O., 1991. Kömür, Kurtiş Matbaası, İzmir.
- Laskowski, J.S. and 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.
- Mervit RD., Coal Exploration, Mine Planning and Development (DPT 2001, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Kömür ÖİK Raporu
- MTA, 2020a, Kömür arama araştırmaları. [online], Ankara, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari> [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].

- MTA, 2020b, Kömür arama araştırmaları. [online], Ankara, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/araştırmalar/komur-arama-araştırmaları> [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- MTA, 2020c, Kömür arama araştırmaları. [online], Ankara, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/araştırmalar/komur-arama-araştırmaları> [Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2020].
- Oruç, M., 1996. Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Önemli Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özbayoğlu, G. ve Kemal, M., 2014. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri, Cevher Hazırlama El Kitabı, G. Önal, G. Ateşok ve K.T. Perek, Eds., Yurt Madencilik Geliřtirme Vakfı, 285-301
- Panda, L, Biswal, S.K. and Tathavadkar, V., 2010. Benefication of Synthetic Iron Ore Kaolinite Mixture Using Selective Flocculation, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9, 11, 973-983
- Rao, D.V. and Gouricharan, T., 2016. *Coal Processing and Utilization*, CRC Press, London.
- Rao, T.C. and Vanangamudi M., 1984. Quantitative Studies on the Coal-Oil Agglomeration Process, *Powder Technology*, 40, 1-3, 195-205.
- Rao, T.C., Vanangamudi, M. and Rao, K.H., 1982. Characteristic Curve for the Coal-Oil Agglomeration Process, *International Journal of Mineral Processing*, 9, 3, 235-243.
- Shrauti, S.M. and Arnold, D.W., 1995. Recovery of Waste Fine Coal by Oil Agglomeration, *Fuel*, 74, 3, 459-465
- Shukla, D., Venugopal, R., 2019. Optimization of the process parameters for fine coal–oil agglomeration process using waste mustard oil, *Powder Technology*, 346, 316-325.
- Song, S., and Lu, S. 2000. Theory and applications of hydrophobic flocculation technology. In *Developments in mineral processing, proceedings of the XXI international mineral processing congress*.
- Song, S., and Trass, O. 1997. Floc flotation of Prince coal with simultaneous grinding and hydrophobic flocculation in a Szego mill. *Fuel*, 76(9), 839–844.
- Song, S., and Valdivieso, A. L. (1998). Hydrophobic Flocculation Flotation for Beneficiating Fine Coal and Minerals. *Separation Science and Technology*, 33(8), 1195–1212.

- Song, S., Lopez-Valdivieso, A. and Reyes-Bahena, J. L. (1999). Hydrophobic Flocculation Applied to Fine Mineral and Coal Processing. XXIII Congress AIMMGM, Acapulco, Gro., Mexico, 20-23 October, 1999
- Song, S., Lopez-Valdivieso, A., and Ding, Y. (1999). Effects of nonpolar oil on hydrophobic flocculation of hematite and rhodochrosite fines. Powder Technology, 101(1), 73–80
- Song, S., Zhang, Y., Wu, K., Lopez-Valdivieso, A., and Lu, S. (2004). Flotation of Coal Fines as Hydrophobic Floccs for Ash Rejection. Journal of Dispersion Science and Technology, 25(1), 75–81
- Swanson, A.R., Bensley, C.N. and 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. and Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, Energy Conversion and Management, 49, 12, 3684-3690.
- Şahinoğlu, E., 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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.
- Taşdöğen, N. 2019. Kömürün Aglomerasyon, Flotasyon, Agloflotasyon Yöntemleri ile Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- 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
- Topçu, U., 2007. Kireç Fabrikası Baca Tozundan Yanmamış Karbonun Flotasyon ile Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Tosun, Y. İ., 1997. Kömür Briketleme Teknolojisinde Silikatlı Bağlama Yöntemi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 6-9 Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 389-93.
- TTKGM, 2016. Taşkömürü Sektör Raporu, Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara, 50 s.

- TTKGM, 2018. Taşkömürü Sektör Raporu, Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara, 43 s.
- Ucbeyiay, H. 2013. Hydrophobic flocculation and Box–Wilson experimental design for beneficiating fine coal. *Fuel Processing Technology*, 106, 1–8.
- Uçbaşı, Y. ve Hoştun, Ç., 1989. Zonguldak Taş Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 24-28 Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı, 355 – 366.
- URL-1, <http://www.uky.edu/KGS/coal/images/download/?C=N;O=D>, [Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2020].
- Ünal, İ. and Aktaş, Z., 2001. Effect of Various Bridging Liquids on Coal Fines Agglomeration Performance, *Fuel Processing Technology*, 69, 2, 141-155.
- Ünal, İ. And 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
- Valdes, A.F. and Garcia, A.B., 2006. 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.
- Vanangamudi, M. and Rao, T.C., 1984. Kinetic Study of Agglomerate Growth in Coal-Oil Agglomeration Process, *Fuel*, 63, 6, 738-743.
- Yaşar, Ö. 2018. Tunçbilek Lavvarı İnce Atıklarından Yağ Aglomerasyonu Yöntemiyle Kömür Kazanımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Young, T. 1805. An Essay on the Cohesion of Fluids, *Phil. Trans R. Soc.*, 95, 65-87 London.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : OSMAN AĞCA  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : REFAHİYE / 20.01.1985  
**Telefon** : 0 507 459 25 98  
**Faks** : -  
**E-Posta** : osmanagca @ gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı / İlçe / İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Lisesi / Selçuklu / Konya	2003
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi / Selçuklu / Konya	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi / Selçuklu / Konya	Halen
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2020	Akhel İnş.Ltd.Şti	Maden Mühendisi

### YABANCI DİLLER

İngilizce