



**T.C.  
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÖMÜRÜN AGLOMERASYON, FLOTASYON,  
AGLOFLOTASYON YÖNTEMLERİ İLE  
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Neriman TAŞDÖĞEN**

**(201492111071)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özlem KAYA**

**SIVAS  
HAZİRAN 2019**

**Neriman TAŞDÖĞEN**'in hazırladığı ve "**KÖMÜRÜN AGLOMERASYON, FLOTASYON, AGLOFLOTASYON YÖNTEMLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Özlem KAYA**  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Ünal AKDEMİR**  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Salih AYDOĞAN**  
Konya Teknik Üniversitesi


Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. İsmail ÇELİK**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.  
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Neriman TAŞDÖĞEN, 2019

## ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

14.05.2019

Neriman TAŞDÖĞEN

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Özlem KAYA'ya

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü Öğr. Görevlisi M.İbrahim KULAKSIZ 'a;

Yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans tez arkadaşım Şaban ÖZÜTÜRKER'e

Yüksek lisans boyunca desteğini esirgemeyen tezin her aşamasında yanımda olan Emrah CEBE'ye ve maddi manevi desteğini esirgemeyen kardeşim Sedat TAŞDÖĞEN' e çok teşekkür ederim.



## ÖZET

### KÖMÜRÜN AGLOMERASYON, FLOTASYON, AGLOFLOTASYON YÖNTEMLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Neriman TAŞDÖĞEN

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman. Dr. Öğr. Üyesi Özlem KAYA

2019, 98+xv sayfa

Bu çalışmada, Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömürlerinin aglomerasyon, flotasyon, agloflotasyon yöntemleri ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu, pülp pH'ı, katı oranı, aglomerasyon süresi ve tane boyutu gibi birçok proses parametresinin linyit kömürlerinin aglomerasyon performansına etkisi incelenmiş ve sonuçlar ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve kül açısından değerlendirilmiştir.

Sivas/Gemerek linyitinin optimum aglomerasyon koşulları; bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30), bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30, pülp pH'ı 2, katı oranı: %3.6, aglomerasyon süresi: 25 dakika ve tane boyutu: -500 µm olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %84.40 ağırlık verimi ve % 94.07 yanabilir kısım verimi ile %19.08'den %10.02'ye düşürülmüştür.

Samsun/Havza linyitinin optimum aglomerasyon koşulları; bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30), bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30, pülp pH'ı: pülpün ortam pH'ı 6.65, katı oranı: %3.6, aglomerasyon süresi: 15 dakika ve tane boyutu: -500 µm olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %86.80 ağırlık verimi ve %98.34 yanabilir kısım verimi ile %37.01'den %29.53'e düşürülmüştür.

Bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, toplayıcı (gazyağı) miktarı ve köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı, katı oranı, flotasyon süresi ve tane boyutu gibi birçok proses parametresinin linyit kömürlerinin flotasyon performansına etkisi incelenmiş ve sonuçlar ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve kül içeriği açısından değerlendirilmiştir.

Sivas/Gemerek linyitinin optimum flotasyon koşulları; 250 g/t bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, 250 g/t toplayıcı (gazyağı) miktarı, 100 g/t köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı 2, katı oranı %10, flotasyon süresi 5 dakika ve tane boyutu -500 µm olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %37.18 ağırlık verimi, %40.11 yanabilir kısım verimi ile %19.08'den %12.70'e düşürülmüştür.

Samsun/Havza linyitinin optimum flotasyon koşulları; 50 g/t bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, 750 g/t toplayıcı (gazyağı) miktarı ve 250 g/t köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı 2, katı oranı %10, flotasyon süresi 5 dakika ve tane boyutu -500  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %51.21 ağırlık verimi, %55.59 yanabilir kısım verimi ile %37.81'den %32.48'e düşürülmüştür.

Bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, toplayıcı (gazyağı) miktarı, köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı ve katı oranı gibi proses parametrelerinin linyit kömürlerinin agloflotasyon performansına etkisi incelenmiş ve sonuçlar ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve kül açısından değerlendirilmiştir.

Sivas/Gemerek linyitinin optimum agloflotasyon koşulları; 250 g/t bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, 250 g/t toplayıcı (gazyağı) miktarı ve 200 g/t köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı 4, katı oranı %10 olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %80.92 ağırlık verimi, %91.35 yanabilir kısım verimi ile %19.08'den %8.65'e düşürülmüştür.

Samsun/Havza linyiti optimum agloflotasyon koşulları; 250 g/t bastırıcı ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı, 250 g/t toplayıcı (gazyağı) miktarı ve 250 g/t köpürtücü (MIBC) miktarı, pülp pH'ı 2, katı oranı %10 olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda, linyit kömürünün kül içeriği %77.10 ağırlık verimi, %92.60 yanabilir kısım verimi ile %37.81'den %25.29'a düşürülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aglomerasyon, flotasyon, agloflotasyon, linyit, ağırlık verimi, kül, yanabilir kısım verimi.



## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF ENRICHMENT OF COAL WITH AGGLOMERATION, FLOTATION, AGGLOFLOTATION METHODS

**Neriman TAŞDÖĞEN**

**Master Of Science Thesis**

**Department of Mining Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özlem Kaya**

**2019, 98+xv pages**

In this study, enrichment of lignite coals which were obtained from Sivas/Gemerek and Samsun/Havza (in Turkey) with agglomeration, flotation and aggloflotation were investigated.

The effects of many process parameters such as bridging liquids type and concentration, pulp pH, solid ratio and agglomeration time were investigated on lignite coals agglomeration performance and the results were analyzed on terms of yield, combustible recovery and ash values.

For Sivas/Gemerek lignite; the optimum agglomeration conditions were determined to be bridging liquid type of engine oil (0w-30), bridging liquid concentration of 30%, pulp pH of 2, solid ratio of 3.6%, an agglomeration time of 25 minutes and particle size of -500 µm. Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 19.08% to 10.02%, at a yield and combustible recovery of 84.40% and 94.07%, respectively.

For Samsun/Havza lignite; the optimum agglomeration conditions were determined to be bridging liquid type of engine oil (0w-30), bridging liquid concentration of 30%, pulp pH of medium pH of 6.65, solid ratio of 3.6%, an agglomeration time of 15 minutes and particle size of -500 µm. Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 37.01% to 29.53%, at a yield and combustible recovery of 86.80% and 98.34%, respectively.

The effects of many process parameters such as depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, collector (kerosene) dosage, frother (MIBC) dosage, pulp pH, solid ratio and particle size were investigated on lignite coals flotation performance and the results were analyzed on terms of yield, combustible recovery and ash values.

For Sivas/Gemerek lignite; the optimum flotation conditions were determined to be 250 g/t of depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, 250 g/t of collector (kerosene) dosage, 100 g/t of frother (MIBC) dosage, pulp pH of 2, solid ratio of 10%, flotation time of 5 minutes and particle size of -500 µm.

Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 19.08% to 12.70%, at a yield and combustible recovery of 37.18% and 40.11%, respectively.

For Samsun/Havza lignite; the optimum flotation conditions were determined to be 50 g/t of depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, 250 g/t of collector (kerosene) dosage, 200 g/t of frother (MIBC) dosage, pulp pH of 2, solid ratio of 10, flotation time of 5 minutes and particle size of -500  $\mu\text{m}$ . Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 37.81% to 32.48%, at a yield and combustible recovery of 51.21% and 55.59%, respectively.

The effects of many process parameters such as depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, collector (kerosene) dosage, frother (MIBC) dosage, pulp pH and solid ratio were investigated on lignite coals agglomeration performance and the results were analyzed on terms of yield, combustible recovery and ash values.

For Sivas/Gemerek lignite; the optimum agglomeration conditions were determined to be 250 g/t of depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, 250 g/t of collector (kerosene) dosage, 200 g/t of frother (MIBC) dosage, pulp pH of 4 and solid ratio of 10%. Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 19.08% to 8.65%, at a yield and combustible recovery of 80.92% and 91.35%, respectively.

For Samsun/Havza lignite; the optimum agglomeration conditions were determined to be 250 g/t of depressant ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dosage, 250 g/t of collector (kerosene) dosage, 250 g/t of frother (MIBC) dosage, pulp pH of 2, solid ratio of 10%. Under these optimum conditions, the ash content of lignite coal was reduced from 37.81% to 25.29%, at a yield and combustible recovery of 77.10% and 92.60%, respectively.

**Keywords:** Agglomeration, flotation, agglomeration, lignite, yield, ash, combustible recovery.

## İÇİNDEKİLER

<b>KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>xi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xv</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. YAĞ AGLOMERASYONU.....</b>	<b>3</b>
2.1 Yağ Aglomerasyonun Tanımı, Önemi ve Amacı.....	3
2.2 Kömürün Yağ Aglomerasyonunu Etkileyen Faktörler .....	4
2.2.1 Bağlayıcı sıvı türü ve konsantrasyonu .....	4
2.2.2 Kömürün ıslanabilirlik özelliği.....	5
2.2.3 Karıştırma hızı.....	6
2.2.4 Pülpteki katı oranı .....	6
2.2.5 Pülp pH'ı.....	7
2.2.6 Tane Boyutu.....	7
2.3 Yağ Aglomerasyonun Avantaj ve Dezavantajları.....	7
2.4 Yağ Aglomerasyonu Proseslerinin Tarihsel Gelişimi .....	8
2.5 Yağ Aglomerasyonunda Yapılmış Çalışmalar .....	9
<b>3. FLOTASYON .....</b>	<b>11</b>
3.1. Flotasyonun Tanımı Önemi ve Amacı.....	11
3.2 Flotasyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları .....	12
3.3 Kömür Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler.....	12
3.4 Kömür Flotasyonunu Etkileyen Faktörler .....	13
3.4.1 Tane boyu dağılımının etkisi .....	13
3.4.2 Oksidasyonun etkisi .....	14
3.4.3 Pülp pH' ının etkisi .....	14
3.4.4 Katı oranının etkisi .....	14
3.4.5 Reaktiflerin etkisi.....	14
3.4.6 Temas açısının etkisi- ıslanabilirlik .....	15
3.6 Flotasyonda Yapılmış Çalışmalar .....	16
4.1 Agloflotasyonda Yapılmış Çalışmalar .....	18
<b>5. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>21</b>
5.1 Materyal .....	21
5.2 Metod .....	22
5.2.1 Numunelerin hazırlanması .....	22
5.3. Analizler .....	24

5.3.1 Elek analizleri.....	24
5.3.2 Minerolojik ve kimyasal analiz.....	26
5.4 Aglomerasyon deneylerin yapılışı.....	28
5.5 Flotasyon deneylerinin yapılışı.....	30
5.6 Agloflotasyon deneylerin yapılışı .....	31
5.7 Hesaplamalar .....	32
<b>6. AGLOMERASYON DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>33</b>
6.1 Bağlayıcı Sıvı Cinsi ve Konsantrasyonunun Etkisi .....	33
6.2 Pülp pH'ının Etkisi .....	38
6.3 Katı Oranının Etkisi .....	40
6.4 Aglomerasyon Süresinin Etkisi .....	42
6.5 Tane Boyutunun Etkisi .....	44
6.6 Aglomerasyon Deney Sonuçları .....	46
<b>7. FLOTASYON DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>48</b>
7.1 Bastırıcı (sodyum silikat) Miktarının Etkisi .....	48
7.2 Toplayıcı (gazyağı) Miktarının Etkisi .....	49
7.3 Köpürtücü (metil isobütül karbinol) Miktarının Etkisi .....	51
7.4 Pülp pH'ının Etkisi .....	53
7.5 Katı Oranının Etkisi .....	55
7.6 Flotasyon Süresinin Etkisi .....	56
7.7 Tane Boyutunun Etkisi .....	58
7.8 Flotasyon Deney Sonuçları .....	60
<b>8. AGLOFLOTASYON DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>62</b>
8.1 Bastırıcı (sodyum silikat) Miktarının Etkisi .....	62
8.3 Toplayıcı (gazyağı) Miktarının Etkisi .....	64
8.4 Köpürtücü (metil isobitül karbinol) Miktarının Etkisi .....	65
8.6 Katı Oranın Etkisi .....	68
8.7 Agloflotasyon Deney Sonuçları .....	70
<b>9.SONUÇLAR .....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>74</b>
EK-1. Aglomerasyon Deney Sonuçları .....	77
EK-2. Flotasyon Deney Sonuçları .....	86
EK-3. Agloflotasyon Deney Sonuçları .....	92
Ek 4. Aglomerasyon Deney Fotoğrafları .....	96
Ek 5.Flotaşyon Deney Fotoğrafları .....	97
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	<b>98</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil.2.1</b> Bağlayıcı sıvı tarafından kaplanan gözenek hacmine bağlı olarak aglomeratların boyutu ve yapısı .....	4
<b>Şekil 5.1</b> Numune hazırlama akım şeması.....	23
<b>Şekil 5.2</b> Sivas/Gemerek linyiti kümülatif elek altı (K.E.A) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri.....	25
<b>Şekil 5.3</b> Samsun/Havza linyiti kümülatif elek altı (K.E.A) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü ) eğrileri.....	25
<b>Şekil 5.4</b> Sivas/Gemerek linyit numunesi XRD analizi .....	27
<b>Şekil 5.5.</b> Samsun/Havza linyit numunesi XRD analizi.....	27
<b>Şekil 5.6</b> Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin aglomerasyon akım şeması.....	29
<b>Şekil 5.7</b> Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin flotasyon akım şeması.....	30
<b>Şekil 5.8</b> Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitleri agloflotasyon akım şeması.....	32
<b>Şekil 6.1</b> Sivas/Gemerek linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi .....	35
<b>Şekil 6.2</b> Samsun/Havza linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi .....	37
<b>Şekil 6.3</b> Sivas /Gemerek linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi .....	39
<b>Şekil 6.4</b> Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi.....	40
<b>Şekil 6.5</b> Sivas/Gemerek linyiti katı oranının aglomerasyon performansına etkisi.....	41
<b>Şekil 6.6</b> Samsun/Havza linyiti katı oranının aglomerasyon performansına etkisi.....	42
<b>Şekil 6.7</b> Sivas/Gemerek linyiti aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi...	43
<b>Şekil 6.8</b> Samsun/Havza linyiti aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi...	44
<b>Şekil 6.9.</b> Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi.....	45
<b>Şekil 6.10</b> Samsun/Havza linyiti tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi .....	46
<b>Şekil 7.1</b> Sivas/Gemerek linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi .....	48
<b>Şekil 7.2</b> Samsun/Havza linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi .....	49
<b>Şekil 7.3</b> Sivas/Gemerek linyiti gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi .....	50
<b>Şekil 7.4</b> Samsun/Havza linyiti gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi.....	51
<b>Şekil 7.5</b> Sivas/Gemerek linyiti metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisi .....	52
<b>Şekil 7.6</b> Samsun/Havza linyiti metil isobitül karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisi .....	53
<b>Şekil 7.7</b> Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi.....	54
<b>Şekil 7.8</b> Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi .....	54
<b>Şekil 7.9</b> Sivas/Gemerek linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi .....	55
<b>Şekil 7.10</b> Samsun /Havza linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi .....	56
<b>Şekil 7.11</b> Sivas/Gemerek linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi .....	57

<b>Şekil 7.12</b> Samsun/Havza linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi .....	58
<b>Şekil 7.13</b> Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi .....	59
<b>Şekil 7.14</b> Samsun/Havza linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi .....	60
<b>Şekil 8.1</b> Sivas/Gemerek sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi .....	62
<b>Şekil 8.2</b> Samsun/Havza linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi .....	63
<b>Şekil 8.3</b> Sivas/Gemerek linyiti gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi.....	64
<b>Şekil 8.4</b> Samsun/Havza linyiti gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi.....	65
<b>Şekil 8.5</b> Sivas/Gemerek linyiti metil isobitül karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi .....	65
<b>Şekil 8.6</b> Samsun/Havza linyiti metil isobitül karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi .....	66
<b>Şekil 8.7</b> Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi.....	67
<b>Şekil 8.8</b> Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi .....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b> Ticarileştirilen yağ aglomerasyonu proseslerinin tarihsel gelişimi (Aksay ve ark., 2010).....	8
<b>Çizelge 3.1.</b> Flotasyon gelişimi ve köşe taşları (Kaya ve Laplante 1986) .....	16
<b>Çizelge 5.1</b> Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneylerinde kullanılan bağlayıcı sıvılar, reaktifler ve kimyasal malzemeler ve yoğunlukları .....	21
<b>Çizelge 5.2</b> Kömür numunelerinin elek analizi sonuçları.....	24
<b>Çizelge 5.3</b> Kömür numunelerinin kimyasal analiz sonuçları .....	26
<b>Çizelge 5.4</b> Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit numunelerinin aglomerasyon ve flotasyondaki optimum koşulları .....	31



## 1.GİRİŞ

Kömür; nem, kül, kükürt ve inorganik maddeler içermektedir. Bu nedenle kullanım alanlarında (konut, termik santraller, sanayi, kazan fırınları) büyük ölçüde çevresel sorunlara neden olmaktadır. Kömür hazırlamanın amacı, kömürde bulunan kükürt, kül ve nemi uzaklaştırarak kömürün ısıl değerini arttırmak, çevresel kirliliği ve korozyonu önlemek, teknolojinin gereksinimlerine uygun gruplara ayırmaktır (Akabay Temel ve Bozkurt, 2008).

Artan madencilik maliyetleri, çevresel sorunlar, atık depolama problemleri, kömürün değerlendirilmesine artan talep, ülke ekonomisi ve gelecekteki enerji hammadde gereksinimleri, yüksek küllü toz kömürünün pazarının kısıtlı olması toz kömürün zenginleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Daha önceden herhangi bir temizleme işlemine tabi tutulmadan, doğrudan tuğla, çimento, sanayi ve termik santrallerde kullanılan toz kömürler, günümüzde çeşitli temizleme işlemlerinden geçirildikten sonra demir-çelik sanayisi gibi yüksek kalorifik değer gerektiren alanlarda kullanılmaktadır (Hacıfazlıoğlu ve ark., 2019).

Kömür zenginleştirme yöntemleri tane boyutu dağılımına göre yapılmaktadır. Kömürler; +25 mm iri kömür, -25+3 mm orta iri kömür, -3+0.15 mm ince kömür ve 0.15 mm çok ince kömür olarak sınıflandırılmaktadır. Kömür hazırlama tesislerinde genel olarak +3 mm aralığındaki kömür ağır ortam ayırıcılarıyla yıkanmakta, ağır ortama giremeyen -3 mm tane boyutundaki kömür ise -3+0.15 mm ve -0.15 mm boyutlarına ayrılmaktadır. -0.15 çok ince kömürlerden gravite ile kil ve piritin uzaklaştırılmadığı durumlarda flotasyon yöntemi tercih edilmektedir.

Flotasyonda ayırma işlemi; pülp içerisinde hava kabarcıklarının oluşturulması ve oluşan hava kabarcığı ile hidrofobik özellikte ki kömür tanelerinin temas etmesi sonucu yukarı yönlü hareketi, hava kabarcığı ile temas kuramayan hidrofilik özellikteki kömür tanelerinin aşağı yönlü hareketi ile sağlanır. Kömürlerin hidrofobik-hidrofilik özellikleri, katı-sıvı, katı-gaz ve sıvı-gaz ara yüzeylerindeki kuvvetlerin dengesine bağlıdır.

Kömür flotasyonu birçok fazın (katı tane, hava kabarcığı, yağ damlaları) etkileştiği karmaşık bir sistemdir. Bu fazlar birbirleriyle, su içerisindeki çeşitli reaktiflerle ve suda çözünmüş iyonlarla etkileşirler. Bu süreçte kolektörün veya suda bulunan reaktifin yapısı, elektriksel yükü, kömür yüzeyine yönelme durumu ve bağlanma şekli önemli parametrelerdir (Yeşilyurt, 2014).

Çok ince boyutlu -0.15 mm kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan flotasyon yöntemine alternatif olarak geliştirilen diğer bir yöntem ise yağ aglomerasyonu yöntemidir. Yağ aglomerasyonu, kömür içerisinde istenmeyen mineral maddelerin yüzey özellikleri farklılıklarından yararlanılarak seçimli ayırım yapabilen bir kömür temizleme yöntemidir (Şahinoğlu, 2018). Yağ aglomerasyonu yönteminde ayırma işlemi; bağlayıcı sıvı emülsiyonu içerisine çok ince kömür taneleri atıldığında, taneler bağlayıcı sıvı zerrecikleri etrafında toplanarak aglomerat oluştururlar ve dağınık durumda sulu faz içerisinde bulunan gang minerallerinden eleme veya flotasyon yöntemiyle ayrılmaktadır. Bağlayıcı sıvının su içerisinde dağıtılarak ince partiküller halinde emülsiyon durumuna getirilmesi karıştırıcılarla sağlanmaktadır (Akabay



Temel ve Bozkurt, 2008). Karıştırma hızının artmasıyla kömür taneleri birbirleriyle ve sistem içerisindeki bağlayıcı sıvı ile temasları artar. Sistem içerisindeki bağlayıcı sıvı kömür taneleri arasında köprü görevi görür.

Yağ aglomerasyonun da genellikle suda çözünemeyen hidrokarbonlar kullanılmaktadır. Hidrokarbon yağlarının kullanım amacı; kömür yüzeyinde hidrofobik bir yapı oluşturarak kömür tanesinin hidrofobitesini arttırmaktır. Bu bağlayıcı sıvılar genel olarak polar olmayan bir yapıya sahiptirler. Hekzan, kerosen, standart solvent, diesel fuel-oil, fuel-oil (No 2),fuel-oil (No 6), parafin 0-119, parafin 0-120, damıtılmış kömür zift karışımı gibi hafif ve ağır bağlayıcı sıvılar kullanılmaktadır. Gazyağı, pentan, heptan gibi hafif yağlar, dizel, kreosot, fuel-iol gibi orta ağırlıkta yağlar ayrı ayrı ya da karışımlar halinde kullanılmaktadır (Abakay Temel ve Bozkurt, 2008).

Aglomerasyon ve flotasyon yönteminin dezavantajını ortadan kaldırmak amacı ile geliştirilen agloflotasyon yöntemi; çok daha ince boyutlarda zenginleştirmeyi ve daha az miktarda yağ tüketimini mümkün kılmıştır. Agloflotasyon yöntemi ile yüksek miktarda kükürt uzaklaştırmak mümkündür (Canpolat, 2003).

Literatürde flotasyon, yağ aglomerasyonu ve agloflotasyonun birlikte çalışıldığı ve de çalışmalarda kullanılan tane boyutunun çok ince boyutta olduğu çalışma sayısı sınırlıdır. Şimdiye kadar yapılmış olan agloflotasyon çalışmaları laboratuvar ölçekli olup endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır. Agloflotasyon çalışmalarında elde edilecek sonuçların başarılı olması, düşük işletme maliyetinin bulunması, agloflotasyon cihazlarının tasarlanması agloflotasyonun endüstriyel ölçekte önünü açacağı düşünülmektedir (Şahinoğlu, 2018).

Bu çalışma da Samsun/Havza ve Sivas/Gemerek linyitlerine aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon uygulanarak bu yöntemlerin ağırlıklı verim, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içeriği üzerindeki performansları incelenmiştir.

## 2. YAĞ AGLOMERASYONU

### 2.1 Yağ Aglomerasyonun Tanımı, Önemi ve Amacı

Doğal hidrofobik olan veya uygun yüzey aktif maddelerle hidrofobik yapılan kömür-su süspansiyonundaki ince tanelerin, bağlayıcı sıvılar ile bir araya getirilmesi işlemine yağ aglomerasyonu denir. Oluşan aglomeratlar küresel yapı taşıdıklarından bu işleme küresel aglomerasyon da denir.

Yeni gelişen kömür zenginleştirme yöntemleri arasında yer alan yağ aglomerasyonu yöntemi kömürde bulunan organik ve inorganik minerallerin yüzey özellikleri farklılığından yararlanılarak seçimli ayırım yapabilen bir zenginleştirme yöntemidir (Hoşten ve Uçbaş, 1989) .

Yağ aglomerasyonu, ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan ve flotasyon yöntemine alternatif olarak geliştirilen bir zenginleştirme yöntemidir (Aksay ve ark.,2010).

Su içerisinde ince taneler halinde dağılmış olan kömür su süspansiyonuna bağlayıcı sıvı eklendiğinde hidrofobik olan kömür taneleri yüzeylerindeki bağlayıcı sıvının bağlayıcılık etkisiyle çarpışarak aglomerat oluştururlar. Hidrofilik olan mineral maddeler ise süspansiyon içerisinde dağınık halde kalırlar ve oluşan sağlam aglomeratlar, su ile ıslanabilen özellikteki kil ve piritten eleme alınırlar (Drzymala, 2007).

Yağ aglomerasyonun da genel olarak suda çözünemeyen hidrokarbonlar kullanılmakta olup bu tür bağlayıcı sıvılar çoğunlukla polar olmayan bir yapıya sahiptir. Bu tür bağlayıcı sıvıların kullanım amacı kömür yüzeyinde hidrofobik bir yapı oluşturarak kömürün doğal hidrofobitesini arttırmaktır. Hekzan, heptan, n-heptan, pentan, gazyağı, mazot,perkloretilen kreazon, standart solvent, diesel fuel-oil, fuel-oil (No 2,No 4, No 6),parafin 0-119, parafin0-120, dizel, damıtılmış kömür zift karışımı, kömürün soxhlet ekstraksiyonundan elde edilen kömür sıvıları (yağlar ve asfaltan), bitkisel yağlar,atık yağlar gibi hafif ve orta ağılıkta bağlayıcı sıvılar olup bunlar ayrı ayrı yada karışımlar halinde kullanılmaktadır (Ünal ve Erşan, 2007)

Yağ aglomerasyonu yönteminin yüksek verimi, oksitli ve killi kömürlere uygulanabilirliği gibi avantajları vardır. Yağ aglomerasyonun en önemli avantajı organik kısmın % 100' e yakın oranda kazanılmasıdır. Bu durum; kömür içeren bütün parçaların kazanılması sağlayarak seçimliliği azaltsa da yöntemin mikron boyutuna uygulanması yüksek verim ve düşük kül içeriği elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, tane boyutunun küçülmesi ile serbestleşme yüzey alanı artacağından aglomerasyon prosesinin en önemli dezavantajı olan yağ tüketiminin biraz daha artmasına neden olacaktır (Şahinoglu, 2018).

Yağ aglomerasyonu ile zenginleştirme işlemi üç aşamada gerçekleşir. Bunlar;

1. Aglomera edilen mineral tanelerinin, uygun karıştırma koşullarında, toplayıcı ile hidrofobik hale getirilmesi
2. Ortama bağlayıcı sıvı ilave edilerek, hidrofobik tanelerden aglomeratların oluşturulması

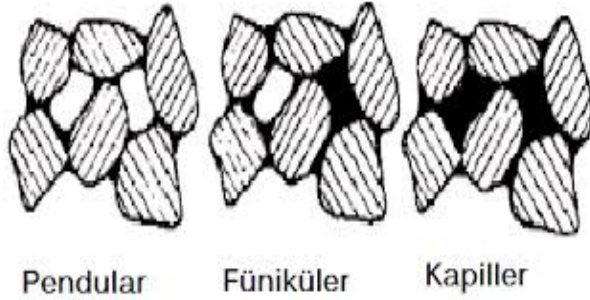
3. Süspansiyondaki aglomeratlar ile hidrofobik gang taneleri arasındaki boyut farklılığından yararlanılarak aglomeratların ayrılması (Düzyol, 2009).

## 2.2 Kömürün Yağ Aglomerasyonunu Etkileyen Faktörler

### 2.2.1 Bağlayıcı sıvı türü ve konsantrasyonu

Yağ aglomerasyonunda bağlayıcı sıvı türü ve konsantrasyonu eşit derecede önemlidir. Düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında partiküller ve birleşmemiş iki boyutlu flok yapı arasında çok gevşek yapıda köprüler oluşur. Bu durumda tanecikler arasında gözenek hacminin %20'si bağlayıcı sıvı ile kaplanmaktadır. Bağlayıcı sıvı partiküller arasında mercekler oluşturacak şekilde bir yapı meydana getirir. Bu kolayca dağılabilen bir yapı olan "pendular" yapısıdır. Bu aşamada oluşan aglomeratlar elek üzerinde süzme aşamasında kolaylıkla dağılabilmektedir. Bağlayıcı sıvı miktarının artırıldığı durumlarda gevşek yapı içerisinde sulu ortamın doldurduğu gözenekler giderek artan oranlarda bağlayıcı sıvı ile dolmakta, daha kompakt ve küresel aglomeratlar oluşmaktadır. Bu durumda "funicular" yapı oluşmaktadır. Bu aglomeratlar elek üzerine süzülüklerinde sağlam yapıda olduklarından dağılmamakta ve daha yüksek verim elde edilmektedir. Aşırı miktarda yağ kullanıldığında ise gözeneklerin hemen hemen tamamının bağlayıcı sıvı ile dolduğu "kapiler" yapısı oluşmaktadır. Bu durumda aglomeratların küreselliği bozulmakta ve daha iri boyutlarda salkımlar halinde aglomeratlar oluşmaktadır (Capes ve Jonasson, 1988).

Bağlayıcı sıvı tarafından kaplanan gözenek hacmine bağlı olarak aglomeratların boyutu ve yapısı Şekil 2.1 'de verilmiştir.



**Şekil.2.1.** Bağlayıcı sıvı tarafından kaplanan gözenek hacmine bağlı olarak aglomeratların boyutu ve yapısı

Düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında taneler arası boşluğun az miktarı bağlayıcı sıvı ile dolacağı, kalan boşluğun ise muhtemelen su ile dolacağı için aglomeratlar oluştuğunda ürünün nem içeriği bir hayli yüksek olacaktır. Yine yüksek yağ konsantrasyonlarında oluşacak kömür yağ karışımı yapıda, partiküller arasına giren az miktarda sudan dolayı çok az miktarda nem içerecektir (Sönmez, 2006).

Bağlayıcı sıvıların yoğunlukları ve verimlilikleri üzerindeki ilişkiyi belirlemek için yapılan detaylı çalışmalar sonucunda;

- 0.7-0.85 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip bağlayıcı sıvıların çok verimli
- 0.64 gr/cm<sup>3</sup> ' den küçük, 0.97 gr/cm<sup>3</sup> ' den büyük yoğunluğa sahip bağlayıcı sıvıların verimsiz olduğu görülmüştür.

Ağır bağlayıcı sıvıların viskozitelerinin çok yüksek olması nedeniyle pülp içerisinde yeterince dağılamamakta, yanabilir verimi düşük olmakta; hafif bağlayıcı sıvıların ise viskozitelerinin düşük olması nedeniyle yeterli sağlamlıkta aglomerat oluşturmamaktadır. Yapılan çalışmalar, orta derece de yüzey gerilimine sahip bağlayıcı sıvıların, yüksek ve düşük yüzey gerilimine sahip bağlayıcı sıvılardan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Sun ve McMorris III., 1959).

Hafif ve ağır bağlayıcı sıvıların performanslarına yönelik yapılan bazı çalışmalar da birbirleriyle çelişen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu farklılıkların nedeni olarak kömürün yüzey özelliklerinin farklılığı olduğu belirtilmiştir. Farklı çalışmalar da zift, ham petrol gibi ağır bağlayıcı sıvıların, yarı bitümlü ve linyit kömürlerinin aglomerasyonu için kullanılabilmesi belirtilirken, hafif yağların uygun bağlayıcı sıvı olmadıkları saptanmıştır (Mehrotra ve ark., 1983; Capes, 1991).

Düşük kaliteli kömürlerde düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonların da etkili bir ayırma olmadığı, oluşan aglomeratların daha küçük boyutta ve daha düşük kül içeriklerine sahip oldukları saptanmıştır. Bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak daha iyi sonuçlar alındığı, linyit ve yarı bitümlü kömürlerde bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun artmasıyla daha büyük aglomeratların elde edilebileceği belirtilmiştir (Hoşten ve Uçbaş, 1989).

Aglomerasyon yönteminde kullanılan bağlayıcı sıvıların su içerisinde çözünmeleri ve oldukça yüksek viskoziteye sahip olmaları kömür taneleri ile temasa geçmelerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kömür-su süspansiyonuna bağlayıcı sıvıların küçük damlalar halinde dağıtılmaları gerekmektedir. Kömür-su süspansiyonunda içerisindeki bağlayıcı sıvı damlacıklarının artmasıyla kömür-bağlayıcı sıvı teması artacaktır. Bu durumda sistem içerisinde iki temel olay olan; dağılma ve yapışma gerçekleşir. Mekanik karıştırıcının şiddetine bağlı olarak da bağlayıcı sıvı süspansiyon içerisinde dağılmaktadır (Şahinoğlu, 2006).

### **2.2.2 Kömürün ıslanabilirlik özelliği**

Kömürün ıslanabilirlik özelliği yağ aglomerasyonun da verimi etkileyen önemli parametredir. Bağlayıcı sıvıların özelliği ve kömür yüzeyinin durumu kömürün ıslanabilirliğini belirler. Kömürler kömürleşme derecelerine göre farklı ıslanabilirlik özelliği gösterirler. Birçok sub-bitümlü kömür düşük kül içeriğine sahipken, birçok bitümlü kömürde yüksek kül içeriğine sahiptir. Yüksek nem ve oksijen içeriği ile bilinen sub-bitümlü ve linyit kömürleri bu nedenle tamamen hidrofilik (inorganik) olmaya yönelirler ve bunların aglomerasyonu için daha fazla miktarda bağlayıcı sıvı kullanmak gereklidir (Osborne, 1990).

Kömür yüzeyinin ıslanabilirliğini belirlemek için bağlayıcı sıvının yanı sıra kimyasal reaktif kullanımı da etkili olabilir. Asitler, alkaliler, yağ asitleri, pH ayarlayıcılar gibi kimyasal reaktifler kullanılarak kömürün hidrofobik özelliği artırılabilir (Capes, 1991).

### 2.2.3 Karıştırma hızı

Yağ aglomerasyonun süreç kinetiğini etkileyen ve aynı zamanda en önemli maliyet unsuru olan en önemli iki parametresi; kullanılan bağlayıcı sıvı miktarı ve karıştırma hızıdır (Hoşten ve Uçbaş, 1989).

Bağlayıcı sıvı ile kömür taneleri arasında oluşan bağlar zayıf olup taşınması sırasında hemen dağılabilmektedir. Bu nedenle sağlam aglomerat elde etmek için kuvvetli mekanik enerji uygulanmalıdır. Karıştırma hızının artmasına bağlı olarak kömür taneciklerinin birbirleriyle ve sistem içerisindeki bağlayıcı sıvı ile temasları artar. Kömür sistemdeki karıştırma hızının etkisiyle çarpışarak iri boyutta sağlam aglomerat oluşturur. Oluşan bu aglomeratlar su ile ıslanabilen özelliğe sahip pirit ve kil minerallerinden eleme ve flotasyon yoluyla ayrılırlar. Bağlayıcı sıvının yoğunluğu ve viskozitesi arttıkça karıştırma süresinin de arttığı görülmüştür (Cebeci ve Sönmez, 2002).

Düşük karıştırma sürelerinde partikül-partikül ve karıştırıcı-partikül teması yeterli olmadığından verim azalır. Karıştırma süresinin (aglomerasyon süresi) artışının aglomerasyonda seçimliliği arttırdığı aynı zaman da verim, kül ve piritik kükürt azalmalarını arttırdığı görülmektedir. Bu durumun daha fazla karıştırma ile bağlayıcı sıvının pülp içerisinde daha iyi dağıldığını ve kömür tanelerinin bağlayıcı sıvı ile temas etmeleri için daha fazla şans bulduğunu göstermektedir. Aglomerasyon süresi arttıkça organik madde veriminin azalması, külün azalma oranındaki artış, oluşan aglomeratların birbirlerine çarparak dağılmaya başlaması ve bu çarpışmanın etkisiyle, sağlam kalan aglomeratlar aralarında ve yüzeylerindeki pirit ve diğer mineral madde tanelerinin koparak dibe çökmesi olarak açıklanabilir (Hoşten ve Uçbaş, 1989; Ünal ve Erşan, 2007).

### 2.2.4 Pülpteki katı oranı

Katı oranının artmasına bağlı olarak organik madde veriminde artışın olması yüksek kömür konsantrasyonlarında taneler arası mesafenin düşük kömür konsantrasyonlarındakine göre daha az olması ile açıklanabilir. Yani, kömürün bağlayıcı sıvı ile kaplanması sağlayan "kömür-bağlayıcı sıvı" temaslarının sayısı ve aglomeratların çoğalmasını sağlayan "bağlayıcı sıvı ile kaplı kömür-kömür temasları", katı oranın artmasına bağlı olarak artar. Birim hacimde artan kömür taneleri, seçimliliği azaltarak kül ve piritik kükürt azalmalarında düşüğe neden olur. Çünkü kömür taneleri üzerinde veya arasında pirit ve diğer mineral maddeler kömür taneleri arasında sıkışarak aglomeratlar arasında kalmışlardır Aktaş, 2002; Gürses ve ark., 2003; Şahinoğlu, 2006 bu konuda benzer sonuçları elde etmişlerdir.

Endüstriyel ölçekte %25-%45 katı oranlarında iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Katı oranına bağlı olarak aglomerat oluşumu için gerekli zamanda azalmaktadır. Yapılan araştırmalarda, katı oranının aglomeratların kül yüzdesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Yalnızca yanabilir verimin artan katı oranına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir (Capes, 1979).

### 2.2.5 Pülp pH'ı

Yüksek kaliteli kömürler, doğal olarak hidrofobik olmaya eğilimlidirler ancak linyit gibi düşük kaliteli kömürlerin yüzey hidrofobik özellikleri, bağlayıcı sıvı ve yüzey aktif maddeler gibi hidrofobik özelliğe sahip toplayıcı sıvıların eklenmesi ile artırılabilir. İyonik yapıya sahip yüzey aktif maddeler, kömür yüzeyinin özelliklerini değiştirerek, kömürün yüzey şarjını düşürmede etkilidirler.  $H^+$  ve  $OH^-$ , potansiyeli belirleyen iyonlardır. Diğer elektrolitlerin yokluğunda bu iyonlar baskındır. pH azaldığında da tüm  $H^+$  iyonları adsorblanır ve kömür yüzeyinin pozitif olmasına neden olur. pH arttığında ise kömür yüzeyine adsorplanan  $H^+$  iyonları  $OH^-$  iyonları ile yer değiştirerek yüzeyi negatif duruma getirir. Genellikle düşük kaliteli okside olmuş kömürler negatif yüzey özelliğine sahiptirler ve pH'ları 2-5 dir ( Aplan, 1989).

### 2.2.6 Tane Boyutu

Tane boyutu aglomerasyon için önemli bir parametredir. Kömürün yapısında bulunan ve homojen olarak dağılmayan mineral maddelerin kömürden uzaklaştırılabilmesi için yüzey alanlarının büyütülmesi yani tane boyutunun küçültülmesi gerekir. İnce boyutlarda öğütme minerallerin serbestleşme olasılığını arttırdığından tane boyutu küçüldükçe kalitenin düştüğü tespit edilmiştir (Ünal ve Erşan, 2007).

Tane boyutunun küçülmesi ile aglomeratlardan daha düşük kül elde etmek mümkündür ancak kullanılan bağlayıcı sıvı miktarı artmaktadır. Yağ tüketiminin artması aglomerasyon için dezavantaj oluşturacaktır (Sönmez, 2006; Capes, 1979).

## 2.3 Yağ Aglomerasyonunun Avantaj ve Dezavantajları

### Avantajları

1. Oksitlenmiş kömür ve kil şlamı ile kaplanmış kömürlerde verimlidir.
2. Çok ince boyutlara uygulanabilmektedir (-10 µm boyutlu cevherlere dahi)
3. Yüksek katı oranlarında çalışılması mümkündür. Endüstriyel ölçekte %25-45 katı oranlarında çalışılmaktadır.
4. Basit drenaj veya standart mekanik susuzlandırma ekipmanlarından birinin kullanımı ile kolaylıkla susuzlandırılabilir.
5. İnce kömürlerin atık sularından kazanılmasını sağlar
6. Organik kısmın %100' e yakın kısmının kazanılmasını sağlar

### Dezavantajı

Kullanılan toplayıcı ve bağlayıcı miktarının oldukça fazla olmasından dolayı pahalı bir yöntemdir.

## 2.4 Yağ Aglomerasyonu Proseslerinin Tarihsel Gelişimi

Yağ aglomerasyonu yüksek verim, düşük kül, basit uygulanabilirlik ve yüksek seçicilik gibi avantajlara sahip olan bir yöntem olmasına rağmen endüstriyel ölçekte çok fazla uygulama alanı bulamamıştır. Yağ aglomerasyonu ilk olarak 1920 yılında araştırılmış ve Trent prosesi olarak ticarileştirilmiştir. Daha sonra Convertol, NRCC (National Research Council of Canada), SPS (Shell Pelletizing Separator), Olifloc, CFRI (Central Fuel Research Institute) ve BHP (Broken Hill Proprietary), Agloflotherm, Likada gibi yağ aglomerasyonu yöntemleri geliştirilmiş ve bazıları ticarileştirilmiştir. Çizelge 2.1'de ticarileştirilen yağ aglomerasyonu yöntemlerinin tarihsel gelişimi gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Ticarileştirilen yağ aglomerasyonu proseslerinin tarihsel gelişimi (Aksay ve ark., 2010)

Proses	Yıl	Araştırmanın Özellikleri	Ticari Uygulaması
<b>Trent</b>	1920	%30 (ağırlıkça) yağ kullanımı, aglomeratların eleme ile ayırımı	600 ton/gün, ABD, 1922
<b>Convertol</b>	1952	%3-5 (ağırlıkça) yağ kullanımı, yağın karıştırılması için özel bir değirmen, yüksek katı oranı	Almanya, 1952-1965
<b>NRCC</b>	1960	Düşük katı oranı, döner tamburlar yardımı ile aglomerasyon, atıkta düşük nem içeriği, peletleme	Yok
<b>SPS</b>	1970	Shell peletleme ayırması, en fazla %30 katı oranında	10 ton/saat, Japonya, 1972-1975
<b>Olifloc</b>	1973	Çok ince ve yüksek kül içerikli kömürlerin deşlamajı, yağ aglomerasyonu için yüksek hızlı karıştırıcıların kullanılması	25 ton/saat, Almanya
<b>CFRI</b>	1976	%4-5 oranında katı, kolay yıkanabilme özelliği olmayan kömürlerin kullanımı	Yok
<b>BHP</b>	1976	Ağır yağların ön emülsifikasyonu (ısıtma ile)	5 ton/saat, (yarı ticari), Avusturalya, 1978

Trent yöntemi; en basit ve ilk ticarileştirilen yağ aglomerasyonu yöntemidir. Yüksek bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında (>20) kömürün yüksek sürelerde ve yüksek hızlarda karıştırılması esasına dayanır.

Convertal yöntemi; ağır yağlar kullanılarak, düşük karıştırma sürelerinde ve düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında yapılan bir yöntemdir. Ağır yağlar kullanıldığından daha sağlam topaklar elde edilmektedir. Kullanılan yağların %95'i geri kazanılabilmektedir.

NRCC yöntemi; 1960'lı yılların başlarında NRCC (Kanada Milli Araştırma Konseyi) tarafından farklı katılar içeren sıvı süspansiyonundan, katıyı seçici olarak ayırmak için geliştirilmiş küresel aglomerasyon yöntemidir.

SPS yöntemi; gazlaştırma prosesinin yıkama suyunda ince toz taneciklerini ayırmak için geliştirilmiş ve düşük yoğunluklu süspansiyonlardan 3-5 mm boyutlu peletlerin elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir.

Olifloc yöntemi; aglomerasyon işleminin flotasyon ve filtrasyon işlemleriyle birlikte uygulandığı bir yöntemdir. 45 µm boyutundaki kömür örnekleri kullanılarak yapılan yağ aglomerasyonunda verim büyük ölçüde arttırılmıştır.

CFRI yöntemi; yıkanması zor ve kok yapılamayan kömürlerin temizlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Aglomerasyon aşamasında ağır yağların karıştırılması zor olduğunda hafif ve ağır yağların karışımları kullanılmıştır.

BHP yöntemi; koklaştırılacak kömürlerin temizlenmesinde hidrokarbonların kazanılması amaçlanmıştır. Enerji tüketimini azaltmak için düşük viskoziteli yağların kullanılması ve ağır yağların ise ısıtılmasının gerektiği bulunmuştur.

Aglofloterm yöntemi; düşük ranklı kömürlerin temizlenmesi için geliştirilmiş olan ve aglomerasyona ısı müdahalesinin yapıldığı bir yöntemdir. 350 °C de ağır yağlarla, yarı bitümlü kömürlerin zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. En önemli avantajı kükürdün büyük bir kısmının kömürden uzaklaştırılmasıdır.

Likada yöntemi; bağlayıcı sıvı olarak karbondioksitin kullanıldığı yöntemdir. Sıvı halde bulunan karbondioksit kömür tanelerini aglomera ettikten sonra aglomeratlardan geri kazanılmaktadır. Ancak bu yöntemde karbondioksitin sıvı hale getirilmesi için yüksek basınç altında çalışma zorunluluğu önemli bir maliyet oluşturmaktadır.

## 2.5 Yağ Aglomerasyonunda Yapılmış Çalışmalar

**Arı (2017)** çalışmasında Amasya Eski Çeltik ve Bursa Orhaneli-Gümüşpınar linyit kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilebilirliğini araştırmıştır. Amasya Eski Çeltik linyit numunenesi belirlenen optimum koşullarda; %40 LIX 84-I+%60 gazyağı karışımı bağlayıcı sıvı,% 20 bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, pülpün ortam pH'ı 9, katı oranı %3.6 ve 15 dakika aglomerasyon süresinde aglomera edilmiş ve kül içeriği %32.80 verim, %58.36 yanabilir verimle %49.60'dan %10.33'e düşürmüştür. Bursa Orhaneli-Gümüşpınar linyit numunesi belirlenen optimum koşullarda; %60 kalyak+%40 mazot karışımı bağlayıcı sıvı,%20 bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, ortam pH'ı 2,katı oranı %2 ve 20 dakika aglomerasyon süresinde aglomera edilmiş ve kül içeriği %70.22 verim,%77.65 yanabilir verimle %18.61'den %9.99'a düşürmüştür.

**Cebeci ve Canpolat (2001)** çalışmalarında Ukrayna kömürünün yağ aglomerasyonu ile karakteristik eğrisini belirlemişlerdir. Öncelikli olarak aglomerasyonu etkileyen parametreler olan tane boyutu, aglomerasyon süresi, karıştırma hızı, bağlayıcı sıvı konsantrasyonu ve oksidasyonun etkilerini incelemişlerdir. Daha sonra aglomeratların kümülatif elek altı eğrilerinden  $d_{50}$  değerleri tespit edilmiş ve aglomerasyonu etkileyen parametrelere bağlı olarak değişimlerini yorumlamışlardır. Deney bulgularının boyutsuz formda ifade edilmesinden, kümülatif elek altı eğrilerinin şeklinde değişme olmadığını bu durum aglomeratların boyut dağılımının kendini koruyan davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Aglomeratların bu



özelliğinden yararlanılarak, genel karakteristik eğrisini belirlemişler ve bu eğrinin eşitliğini vermişlerdir. Karakteristik eğri şeklinin, karıştırma hızı, bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, aglomerasyon süresine bağlı olarak değişmediğine fakat oksidasyondan etkilendiği ortaya konulmuştur.

**Şahinoğlu, (2006)** Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenebilirliğini incelemiştir. Müzret kömürü, gazyağı ile aglomerasyona tabi tutulmuş ve kömür oranı, aglomerasyon süresi, yıkama suyu miktarı, karıştırma hızı, pülp pH' ı, bağlayıcı sıvı tipi, tane boyutu ve aglomerat kazanım eleği boyutu parametrelerinin aglomerasyona ve aglomerasyon sonrası elde edilen kömürün kalitesine etkileri incelenmiştir. Müzret kömürünün yağ aglomerasyonu ile önemli ölçüde temizlendiği belirtilmiştir. Kül içeriği %21.49, piritik kükürt içeriği %5.26 olan Müzret kömüründen aglomerasyon sonucunda %58.66 verim değeri, %8.92 kül ve %0.78 kükürt içerikli konsantre elde edilmiştir.

**Ünal ve ark.(2000)** çalışmalarında %18.47 kül içeriğine sahip Zonguldak kömürüne yağ aglomerasyonu uygulayarak mineral maddelerin uzaklaştırılma olasılığını incelemişlerdir. Yağ aglomerasyonunda elde ettikleri sonuçları ağır ortam ayırmasında elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Gazyağı miktarı, kullanılan toplam kömürün %15' i olarak belirlenmiş ve Zonguldak kömürünün aglomerasyonun da en iyi bağlayıcı sıvı olduğu ve bağlayıcı sıvı miktarının aglomerasyonda en önemli parametre olduğunu saptamışlardır.

**Ünal ve Erşan (2007)** Sivas-Divriği Uluçayır linyitlerinin aglomerasyonunda gaz yağı, diesel yağı, fuel oil, haşhaş yağı ve ayçiçeği yağını denemişlerdir. Maksimum kazanma veriminin haşhaş yağı ile sağlandığını bulmuşlardır. En iyi aglomerasyon şartlarının düşük pH ortamında sağlandığını belirlemişlerdir. Noniyonik yüzey aktif madde (Igepal-CA 630) kullanımı ile aglomerat tenörünün arttığı ancak kazanma veriminin azaldığını belirlemişlerdir.

### 3. FLOTASYON

#### 3.1. Flotasyonun Tanımı Önemi ve Amacı

Kömür flotasyonu, uygun reaktiflerle muamele ettikten sonra kömürdeki karbonlu mineral yüzeylerinin farklılığından yararlanılarak, hidrofobik (organik) mineral yüzeylerinin hava kabarcığına yapışması, hidrofilik (inorganik) tanelerin yerçekimi kuvvetinin etkisiyle çökmesi esasına dayanan (selektif yaklaşmalarından yararlanılarak) yapılan bir fizikokimyasal zenginleştirme yöntemidir. Köpük yüzeyinde biriken hidrofobik taneler köpük tabakası hücrelerinden taşarak yada pedallerle sıyrılarak alınırken, hidrofilik taneler ise süspansiyon içerisinde kalır ( Tan ve ark.,2015; Yılmazel, 2010).

Flotasyonda ayırma işlemini sağlayan organik-inorganik minerallerin özelliği katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-gaz ara yüzeylerindeki kuvvetlerin dengesiyle sağlanır. Kömür flotasyonu; katı tane, hava kabarcığı ve yağ kabarcığının temas kurduğu kompleks bir sistemdir. Bu fazlar birbirleriyle, su içerisindeki reaktiflerle ve suda çözülmüş iyonlarla temas kurarlar. Bu süreçte kollektörün yapısı, elektriksel yükü, kömür yüzeyine yönelme durumu, bağlanma şekli önemli parametrelerdir (Yeşilyurt, 2014).

Kömür flotasyonu yöntemi, gravite yöntemiyle zenginleştirilemeyen bu nedenle kıymetsiz kabul edilen, -500 µm tane boyutundaki kompleks yapıları ve düşük dereceli cevher yataklarının işletilmesine olanak sağlayarak maden endüstrisinin gelişmesine yol açmaktadır (Şahinoğlu, 2018).

Kömürler doğal hidrofobik olduklarından reaktif kullanılmadan da yüzelebilmektedirler ancak flotasyon yetenekleri, kömürleşme derecesine, yüzey oksidasyonu durumuna, petrografik yapısına, içerdiği mineral maddelerin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. %86-90 arasında karbon içeren bitümlü kömürler kolay yüzmektedir. Kömürde füzitten vitrite gidildikçe flotasyon yeteneği artar, kül oranı ve yüzey oksidasyonu arttıkça kömürün yüzebilirliği azalır (Kemal ve Arslan, 2010; Laskowski, 2001).

Linyit kömürü, düşük kalorifik değer, yüksek kül ve nem içeriğine, yüksek ucucu madde içeren düşük dereceli bir kömürlerdir Bu nedenle flotasyon yetenekleri düşük ve zenginleştirilmeli zordur. Yüzebilirliklerinin düşük olması bu kömürlerin yüksek oksijen içeriğine ve yüzeylerindeki hidrofilik fonksiyonel grupların fazlalığına dayandırılmaktadır. Bu nedenle linyitlerin hidrofobik özellikleri ya flotasyondan önce kömür yüzeyindeki oksijen içeren fonksiyonel grupların sayısı azaltılarak yada uygun kimyasal reaktif kullanılarak artırılabilir (Laskowski 2001; Önal ve ark., 2014).

#### **Kömür flotasyonun amacı;**

1. Tüvenan kömürün ince kısmını zenginleştirerek kömürdeki değerli bileşeni kazanmak, değersiz olan kül oluşturucu minerallerden ayırmak.
2. Yıkama suyu içerisinde kalan toz kömürü kazanmak.

3. Kömürün pirit içeriğini ve herhangi bir kömür ürünündeki kül oluşturuucu mineral maddeleri azaltmak.
4. Kömür yıkama ünitelerinden çıkan yıkama suyundan ince kömürleri (-0.5 mm) kazanmak.
5. Kömür hazırlama tesislerinden dışarıya atılan, atık sularından ince kömür tanelerini kazanmak ve çevre kirliliğini önlemek.
6. Gravite yöntemle kazanılamayan (-0.5 mm) boyutunda ki kömürlerin geri kazanımını sağlamak.
7. Son yıllarda kömür-su süspansiyonları halinde bir yakıt hazırlamak.

### **3.2 Flotasyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları**

#### **Avantajları;**

1. İnce boyutta serbestleşen cevhere kolaylıkla uygulanabilmektedir (mineraller için -0.2+0.01 mm, kömür için -0.5 mm).
2. Kompleks ve düşük tenörlü cevherler flotasyonla zenginleştirilebilir (örneğin bakır, kurşun, çinko, altın, antimon gibi).
3. Flotasyon ile zenginleştirmede özgül ağırlığın etkisi yoktur (örneğin 1.2 g/cm<sup>3</sup> olan kömür veya 19 gr/cm<sup>3</sup> olan altın yüzdürülebilir).
4. Yüksek kapasitelerde, düşük yatırım ve işletme masraflarına müsaade eden bir yöntemdir. Kapasite 50 yıl önce 500-600 ton/gün iken bu gün 20000-150000 ton/gün 'e kadar çıkmıştır.
5. Yeni ve son ürünün kalitesinin artırılmasına yardımcı olmaktadır (örneğin seramik sanayi veya HF asit üretimi için, florit cevherinden %95 CaF<sub>2</sub> tenörü sadece flotasyon yöntemi ile üretilebilmektedir).

#### **Dezavantajları;**

1. Enerji kullanımı fazla olan bir yöntemdir.
2. Flotasyon reaktifleri pahalıdır ve ithal edilmektedir.
3. Flotasyon yöntemi, tasarım ve cevher yapısı değişikliğine çok hassastır.
4. Su tüketimi fazladır bu nedenle su kalitesi çoğu zaman önemlidir.

### **3.3 Kömür Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler**

Flotasyonda kömürün davranışını sadece kömürün yüzebilirlik özelliği değil flotasyon reaktiflerinin kullanımı da önemli ölçüde etkiler.

**Toplayıcılar:** Kömürün hidrofobitesini (Parçacık-hava kabarcığı temasını) arttırmak için kullanılır. Kullanılacak olan toplayıcının kömür yüzeyine seçimli olarak absorbe özelliği taşıması

gerekir. Genellikle suda çözünmeyen hidrokarbon kökenli yağlar toplayıcı olarak kullanılmaktadır (Cebeci, 2002). Kömür flotasyonun da hidrokarbon olarak, gazyağı, fuel-oil, mazot, dizel yağlar; potasyum amil ksenat, dithiofosfat gibi iyonik toplayıcılar kullanılır (Ateşok, 2009).

Yüksek ranklı kömürlerde kömürlerin doğal yüzebilirliği nedeni ile reaktif tüketimleri çok düşüktür. Düşük ranklı kömürlerde ise orta derecede yüzdürebilmek için büyük miktarda reaktif kullanılır ( Laskowski, 2001; Cebeci, 2002).

**Köpürtüler:** Flotasyonda kabarcıkların daha uzun süre stabil kalması için kullanılır. Köpürtücüler suyun yüzey gerilimini azaltır, kabarcık-tanecik temas olasılığını arttırarak flotasyon hızını ve kabarcık-tane tutunmasından sonraki bağlanma verimini arttırırlar. Aynı zamanda, yağ-su yüzeyine absorbe olarak yağ-su ara yüzey gerilimini düşürürler.

Kömür flotasyonunda fenol tipi; kresilik asit, çamyacı, alkol tipi; metil isobütil karbinol (MIBC), izooktonal, alkoller olarak; amil, heksil, heptil ve oktil köpürtücü olarak kullanılırlar (Ateşok,2009).

**Düzenleyiciler:** Flotasyonda toplayıcıların etkisini değiştirmek, minerallerin yüzeyini hidrofobik veya hidrofilik hale getirmek için kullanılan reaktiflerdir. Bunlar aktifleştirciler, bastırıcılar ve pH düzenleyicilerdir. Köpüğe sürüklenme ile gelen özellikle kil minerallerini ve inorganik bileşenleri bastırmak için suda iyonlaşabilen reaktifler kullanılır. Kömür doğal hidrofob olduğundan ancak yüzeyi hidrofilik yapılarak bastırılabilir (Laskowski,2001).

Kömür flotasyonunda, piriti bastırmak için kireç ve sodyum siyanür ( $\text{NaCN}$ ), kil ve şisti bastırmak için sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) kullanılır (Ateşok, 2009; Şahinoğlu, 2006).

### 3.4 Kömür Flotasyonunu Etkileyen Faktörler

Birçok araştırmacı kömür flotasyonunda mekanik gang taşınmasını en aza indirmek için; beslemenin tane boyut dağılımı, kömürün yoğunluğu, petrografik yapısı, pH, reaktif kullanımı, yüzeyin oksidasyon derecesi, katı oranı, suyun iyonik kompozisyonu, sıcaklık, hava miktarı, karıştırma hızı, flotasyon selül dizaynı, pülp seviyesi, köpük yüksekliği ve stabilitesi, kilin oluşturduğu şlam miktarı, köpürtücü cinsi ve miktarı, kömürleşme derecesi gibi parametrelerin etkilerini incelemişlerdir (Sönmez, 2006).

#### 3.4.1 Tane boyu dağılımının etkisi

Yapılan araştırmalar serbestleşme derecesinin kömürün seçimli olarak zenginleştirilmesini etkilediğini göstermiştir. Elektroforetik hareket teorisine göre, parçacık-kabarcık çarpışması belirli bir kritik boyut altında sıfır olur ve 10  $\mu\text{m}$  boyutunun altındaki bütün parçalar eşit olarak yüzerler (Canpolat,2003).

Parçacıkların yüzey ve elektrokimyasal özellikleri, tane boyutu küçüldükçe değişebilir. Tane boyutu küçüldükçe spesifik yüzey enerjileri artar ve hem parçacığın daha fazla reaktif tüketimine

hem de reaktiflerin seçimli olmayan adsorpsiyonlarına neden olur. Oluşan yüksek yüzey enerjileri nedeniyle parçacıkların çözünürlüğü, hidrasyonu ve oksidasyonları artar( Osborne, 1990).

#### **3.4.2 Oksidasyonun etkisi**

Kömürün yüzebilirliğini etkileyen en önemli parametlerden biridir. Yeni çıkarılan bir kömür ocaktan daha önce çıkarılarak bekletilen kömüre göre daha iyi yüzebilmektedir bunun nedeni olarak kömürün yüzeyindeki  $COOH^-$ ,  $OH^-$  oksidasyon yüzeylerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla oksitlenmiş kömür polar yüzey kazanmakta ve kömürün ıslanabilirliğini arttırmaktadır (Ateşok, 2009; Yılmazel, 2010).

#### **3.4.3 Pülp pH' ının etkisi**

Pülp pH' ının kontrolü genellikle  $H^+$  iyonu konsantrasyonunun kontrol altında tutulması ile sağlanır. Flotasyon pülpünde her mineralin kendi karakteristiğine bağlı yüzme koşulları vardır. Bu koşullardan biride pH dır. Su içerisinde  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonlarının varlığı asit ve bazik ortam olarak kabul edilir. Ortama herhangi bir madde ilave edilmezse  $H^+$  ve  $OH^-$  iyon konsantrasyonları birbirine eşittir ve nötr (pH=7) ortamdır. pH>7' de ortam bazik, pH<7 'de ortam asidiktir ancak ortamın aşırı asidik ya da aşırı bazik olması durumunda kömürün yüzebilme yeteneği azalacaktır. Ortamı asidik yapmak için  $H_2SO_4$ , HCl, HF gibi asitler, ortamı bazik yapmak için de NaOH,  $Na_2O$ , CaO kullanılır (Yılmazel, 2010).

#### **3.4.4 Katı oranının etkisi**

Temiz kömür konsantrelerini elde etmek için katı oranının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekir. Yüksek katı oranlarında yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen verim düşük katı oranlarında yapılmış flotasyon deneylerinden daha yüksektir. Katı oranına bağlı olarak verim artar, ancak seçimlilik azalır (Canpolat, 2003).

#### **3.4.5 Reaktiflerin etkisi**

Kömür doğal hidrofobik bir madde olmasına rağmen flotasyonda köpürtücü ile birlikte flotasyonu kolaylaştırıcı bir takım organik bileşiklerin kullanılması gerekebilir. Bu tür bileşikler genellikle nötr yağlar yani toplayıcı reaktiflerdir. Köpürtücü miktarına bağlı olarak köpüğün birleşme olasılığı azalır ve artar. Belirli bir miktardan sonra köpürtücünün köpük boyutuna herhangi bir etkisi olmaz (Yeşilyurt, 2014). Çok ince boyutlarda hidrofob tanelerin sıvı filmler arasında köprü kurarak birleşmeye neden olduğu ve bunun sonucunda stabilitenin düştüğü gözlenmiştir. Kollektör miktarına bağlı olarak kömür tanelerinin hidrofobitesi değişir. Bu nedenle kolektörün türü ve miktarı flotasyonda köpüğün stabilitesini ve gangın taşınmasını etkiler (Boylu ve Laskowski, 2007). Yağın köpürtücü reaktif veya diğer yüzey aktif maddelerle reaksiyona sokularak daha olumlu sonuçlar alınmaktadır. Değişik araştırmalar sonucunda önerilen reaktif miktarları;

- Kresilik asit 50-100 mg/lt ilave edildiğinde flotasyon verimi en üst noktalara ulaşmaktadır.
- Köpürtücüler genellikle 0.05-0.25 kg/ton ve toplayıcılar 0.25-1 kg/ton arasında kullanılmaktadır (Ateşok,2009).

#### **3.4.6 Temas açısının etkisi- ıslanabilirlik**

Kömür flotasyonunun olabilirliğini etkileyen en önemli parametrelerden biri de temas açısıdır. Temas açısı kömürün karbon içeriğine yani kömürleşme derecesine göre değişir. Orta derecede ucucu madde içeren bitümlü kömürlerde kömürün doğal yüzebilirliğini belirten  $60^{\circ}$  nin üzerinde temas açısı ölçülmüştür. Karbon içeriği düşük linyit kömürlerinde temas açısı hızla düşmektedir (Yeşilyurt, 2014).

#### **3.5 Flotasyon Prosesinin Tarihsel Gelişimi**

Köpük flotasyonu, 1920'li yıllardan beri bitümlü kömür tozlarının zenginleştirilmesinde uygulanmaktadır. Flotasyon işleminin gerçekleştirildiği ilk makineler kendi kendine havalandırmalı mekanik flotasyon hücreleri ve pnömatik makinelerdir. Flotasyon makinelerinde türbülansın minimum düzeyde olması istenir. Bu nedenle klasik flotasyon makineleri yerine modern ve yüksek verimli sistemler geliştirilmiştir. Geliştirilen flotasyon hücrelerine rağmen mekanik flotasyon hücreleri hala yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mekanik hücrelerde oluşan yoğun türbülans, köpük derinliğinin sığ olması gibi olumsuz koşullar nedeniyle ince boyutlu kömür flotasyonda yeterli verim alınamamaktadır. Bu yüzden, 1960'lı yıllarda çok ince ve daha fazla temiz kömürlerin elde edilebilmesi için türbülansın oluşmadığı, daha yüksek köpük kalınlıklarının elde edilebildiği ve köpüğün su ile yıkanabildiği flotasyon kolonları geliştirilmiştir. Mekanik hücrelerden farklı olarak mekanik karıştırma sistemi olmayan flotasyon kolonlarında hava kabarcıkları özel bir kabarcık üretme sistemi (sparger) ile kompresörden sağlanmaktadır. Flotasyon kolonlarının en büyük sakıncası havalandırma maliyetinin yüksek olması ve sparger sistemlerinin sık sık tıkanmasıdır. Çok ince boyutlu tanelerin temizlenmesinde kullanılan jet flotasyonu 1985 yılında Berlin Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. 20 mikron altındaki boyutlarda dahi zenginleştirme yapabilmelidir. Bunlardan öne çıkan jet flotasyon hücrelerinde pülpün jet hareketiyle kabarcık oluşumu sağlanır. Jameson hücresi, LM hücresi, hidrojet hücresi örnek verilebilir. Jameson hücresi, 1989 yılında Profesör G.Jameson tarafından kolon flotasyonuna alternatif olarak geliştirilmiş olan yeni teknoloji bir flotasyon hücresidir. Özellikle şlam kömür flotasyonu için Avustralya'da hemen hemen her kömür hazırlama tesisinde başarı ile uygulanmaktadır. Flotasyon prosesinin gelişimine katkıda bulunan ve araştırmaları ile flotasyon tarihini oluşturan çalışmalar Çizelge 3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Flotasyon gelişimi ve köşe taşları (Kaya ve Laplante 1986)

Tarih	Bilim Adamları	Yapılan Keşif
1860	Haynes	Su ve yağla minerallerin farklı ıslanabilirliği
1886	Everson	Asitli suyun kullanımı
1902	Potter, Froment	Taşıyıcı ortam olarak gaz kullanımı
1906	Potter, Sulman, Picard	Karıştırmayla giren hava sayesinde yağ miktarının azaltılması
1913	Bradford	Sfalerit için canlandırıcı olarak CuSO <sub>4</sub> kullanımı
1917	Corliss	α- Naphthylamine (ilk yağ olmayan toplayıcı)
1922	Sheridan ve Griswold	Pirit ve sfalerit bastırıcı olarak siyanür kullanımı
1924	Sulman ve Edser	Yağ asidi sabunları kullanımı
1925	Keller	Toplayıcı olarak ksantat kullanımı
1926	Whitworth	Toplayıcı olarak organik ditifosfatların kullanımı
1952	Harris ve Fischback	Toplayıcı olarak dialkylthionocarbamate kullanımı
1966	Frommer	Silis flotasyonunu takiben taconite cevheri seçimli flokülasyon
1978	Klimpel	Flotasyon yönteminin matematik modellemesi
1979	Hassen ve Meyer	Oksitli kömür flotasyon toplayıcısı
1980	Dobby-Finch	Kolon flotasyonu
1985-1989	Greame Jameson	Jet flotasyonu ve Jameson flotasyon hücresi

### 3.6 Flotasyonda Yapılmış Çalışmalar

**Hacıfazlıoğlu (2006)** çalışmasında Zonguldak yöresine ait kömür şlamı için dizayn ettiği 52 cm çapındaki bir Jameson hücresi için en uygun downcomer çapını 15 cm hesaplamıştır. Köpürtücü miktarı için 800 g/t' da optimum koşulları elde etmiştir. 1000 g/t köpürtücü miktarında yanabilir verimin çok fazla değişmediğini ancak temiz kömürün kül içeriğinin arttığını, gazyağı miktarının ise 2000 g/t üzerinde kullanıldığında temiz kömürün kül içeriğini arttırdığını belirtmiştir. Jameson hücresinde köpürtücünün flotasyona etkisinin gazyağına göre daha fazla olduğunu saptamıştır. Jameson hücresinin dizayn ve çalışma performansı parametreleri kullanılarak yapılan çalışmanın sonucunda % 45.30 kül içeren Zonguldak kömür şlamından tek kademede %12.52 küllü temiz kömür, % 59.86 yanabilir verimle kazanılmıştır.

**Uçurum ve ark., (2006)** çalışmalarında kireç kalsinasyon tesisinde kullanılan petrokok atıklarından yanmamış karbonun flotasyonla geri kazanabilirliğini incelemiştir. Deney sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilip çalışmalarının optimum koşulları belirlenmiştir. 2<sup>3</sup> faktöriyel tasarım yöntemi kullanılarak gazyağı, MIBC, mazot ve çamyağının flotasyon performansına etkileri incelenmiştir. Yates yönteminin uygulandığı deney sonuçlarına göre pH 7, gazyağı miktarı 2780 gr/ton (kolektör), çamyağı miktarı 2620 gr/ton (köpürtücü), kondüsyon

süresi 2.5 dakika ve katı oranı %34 optimum flotasyon koşulları olarak belirlenmiştir. Yanmamış karbon ise %93.07 yanabilir verimle kazanılmıştır.

**Yeşilyurt, (2014)** çalışmasında, Zonguldak bölgesine ait bitümlü şlam kömürünün flotasyon performansı ile birlikte flotasyon sırasındaki gang taşıma davranışını araştırmıştır. Flotasyon ürünleri daha sonra vakum filtrasyon işlemine tabi tutmuş ve filtrasyon performanslarını değerlendirmiştir. Çalışmada Hidrofil-Lipofil denge değeri 4.8' den 18,4'e kadar değişen Triton X-15, X-45, X-114, X-100, X-102, X-165, X-305 ve X-705 non-iyonik sürfaktanları ile konvansiyonel yağlı kollektörler olan motorin ve kerosenin flotasyon+filtrasyon karakteristiklerini kıyaslamıştır. Çalışmasında köpürtücü olarak MIBC kullanmıştır. 50 g/t sürfaktanla birlikte 75-100 g/t MIBC miktarın optimum köpürtücü olarak belirlenmiş. Sürfaktanlar arasında en lipofilik olan X-15 %42 olan şlam külünü %15'e, %55 ayırma etkinliği ve %75 yanabilir verimle indirmiştir. Bununla birlikte yağlı kollektörler olan motorin ve kerosen kullanıldığında Triton-X tipi non-iyonik sürfaktanlardan daha yüksek ayırma etkinliklerine ulaşmıştır. Konsantreye taşınan su miktarı arttıkça flotasyon performansın da artış görülmüştür. Tüm sürfaktanlarla elde edilen %17 küllü konsantre ile birlikte en çok su X-15 reaktif ile taşınmıştır. Tüm sürfaktanlarla elde edilen %17 küllü ürünler eşit şartlarda filtrasyona tabi tutulduğunda en düşük spesifik kek direnci veren X-15 hem diğer sürfaktanlara hem de yağlı kolektörlere daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

**Yılmazel, (2010)** çalışmasında Çatalağzı termik santraline beslenen lavuar atıklarının optimum flotasyon şartlarında zenginleştirilebilirliğini araştırmıştır. 1 L' lik flotasyon selülünde yapılan deneylerde katı oranı, toplayıcı ve köpürtücü miktarını ve devir sayısı parametrelerini incelemiştir. Optimum şartlar olarak pH 6.5-7, katı oranı %10-30, toplayıcı miktarı olarak 300-3375 gr/ton, köpürtücü miktarı 30-3375 gr/ton, devir sayısı 1300-1500 arasında seçilmiştir. Yapılan çalışmada optimum flotasyon şartlarında %96.91 verim elde etmiştir ve elde edilen deney sonuçları Yates yöntemini kullanarak düzenlemiş ve yorumlamıştır. Sonuç olarak Çatalağzı Termik Santrali' inde kullanılan kömürün flotasyonla kok derecesinde kalorifik değere ulaştığını belirtmiştir.



#### 4. AGLOFLOTASYON

Agloflotasyon yöntemi, flotasyon ve aglomerasyon yöntemlerinin eksikliklerini gidermek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bilindiği gibi flotasyon endüstriyel ölçekte -0.5 mm ince kömürlerin zenginleştirilmesi için en yaygın kullanılan metottur. Ancak flotasyonun başarısı, çok ince kömürlerin zenginleştirilmesinde, oksitlenmiş kömürün ve killi şlamın varlığında azalmaktadır. İnce parçacıkların büyük yüzey alanı ve düşük kütlesi (konumu koruma durumu ) flotasyon işleminde selektivite ve verimi etkilemektedir. Flotasyon hız sabiti (k), bu değişkenlerden etkilenmektedir. Flotasyon hız sabiti (k), partikül ve kabarcık çapıyla ilişkilidir. Flotasyon hız sabitini arttırmak için ya partikül boyutunu arttırmak ya da kabarcık çapını düşürmek gerekir. Bundan dolayı, ince kömürlerin flotasyon hızlarını iyileştirmek için iki yaklaşım belirtilmektedir. Bunlar;

- Daha ince kabarcıklar halinde flotasyon gazını (havayı) dağıtma,
- Çözünmüş hava flotasyonu, elektro-flotasyon gibi veya daha büyük kümeler halinde ince partikülleri salkımlaştırma (aglomera etme) işlemleridir.

Agloflotasyon yönteminde ilk aşama kömür partiküllerinin tanecik sayısını azaltmayı hedeflemektedir. Aglomeratların boyut ve direnci işlem esnasındaki hidrodinamik koşullara ve kullanılan bağlayıcı sıvının cinsine ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

Agloflotasyon yöntemin amacı; bitümlü kömürlerden pirit ve diğer mineral maddeleri, kömür hazırlama tesislerinde ince malzemelerden kömürün kazanımı, atık barajlarından ve kömür yığınlarından ince kömürlerin temizlenmesi ve kazanımıdır.

Yağ aglomerasyonu sonrasında flotasyonun yapılması, geleneksel flotasyon uygulamalarından en önemli farkı, mineral taneleri yerine, mineral tanelerinin bir araya gelerek oluşturdukları aglomeratların yüzdürülmesidir.

Aglomerasyon sonrası flotasyonun yapılması flotasyonu iyileştirdiği gözlenmiştir (Hoşten ve Uçbaş,1989)

##### 4.1 Agloflotasyonda Yapılmış Çalışmalar

**Abakay Temel ve Bozkurt, (2008)** çalışmalarında %29.47 kül ve %2.78 kükürt içeren Adıyaman Gölbaşı linyitine flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemlerini uygulamışlardır. Yüzdürme batırma deneylerinin sonucunda linyit numunesinin yıkanabilirliğinin iyi olmadığı belirlenmiştir. Flotasyon sonucunda %15.04 kül, %1.19 kükürt, %27.59 yanabilir verim; aglomerasyon sonucunda %14.89 kül, %1.45 kükürt, %80.59 yanabilir verim; agloflotasyon sonucunda %14.23 kül, %1.71 kükürt ve %86.59 yanabilir verim elde edilmiştir.

**Canpolat, (2003)** çalışmasında taş kömürünün agloflotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi için yağ aglomerasyonu ve flotasyon deneylerinde değişik parametreler denenerek optimum koşullar belirlenmiş ve bu koşullarda agloflotasyon deneylerini yapmıştır. Aglomerasyon sonucunda %97.44 yanabilir verim, %30.06 kül atımı ve %27.50 verim indeksi değerlerini;

flotasyon sonucunda %92.06 yanabilir verim,%45.27 kül atımı ve %37.33 verim indeksi; agloflotasyonla %96.44 yanabilir verim, %24.74 kül atımı, %21.18 verim indeksini elde etmiştir.

**Gence, (2006)**, Zonguldak bitümlü kömürlerinden topladığı örneklerden, yağ aglo-flotasyonu yöntemi ile kömür kazanımı gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada 2 yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde her bir örneğe aglomerasyon uygulanmıştır. Bu çalışmada 400 ml' lik damıtılmış suya 16 g'lık kömür eklenerek magnetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Atıktan ayrılan bu ürünler ve kül kurumaya bırakılmış ve kuruduktan sonra yağ tipi, yağ dozajı, uygulama zamanı, karıştırma hızı, aglomerasyon zamanı ve hızı, sıcaklık, pH, kül içerisindeki  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve yanıcı kısım miktarı incelenmiştir. İkinci çalışmada ise aglo-flotasyon prosesi uygulanmıştır. Bu test çalışmasında ise, pülp olarak hazırlanan karışım bir flotasyon hücreğine transfer edilmiştir. Flotasyon işlemi sonrasında aglomerat ürünleri köpüklü ürün olarak elde edilmiştir. Buradaki parametreler ise, pülp yoğunluğu, yağ dozajı, kondüsyon zamanı, flotasyon zamanı, pH, kül içerisindeki  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve pülp sıcaklığıdır. Bu iki deneyde petrol ürünü olarak hekzan, heptan, toluen, pentan bağlayıcı ve ayırıcı olarak kullanılmıştır.

**Hacıfazlıoğlu ve ark., (2019)** yapmış oldukları çalışmada Zonguldak'ta faaliyet gösteren bir kömürün yıkama tesisinin %33.75 kül içeriğine sahip -500  $\mu\text{m}$  boyutundaki atıklarına agloflotasyon uygulamış, %33.75 kül içeren atıklar soya yağı ile karıştırılıp aglomera edildikten sonra direk flotasyon selülüne beslemiş ve temiz kömür yüzdürülerek alınmıştır. Agloflotasyon işlemi sonucunda %14.80 kül içeren kömür elde edilmiştir. Fosil yakıt olan ve flotasyonda sıklıkla kullanılan gazyağı ve bitkisel soya yağı ile deneyler yapılmış sonuçlar karşılaştırılmıştır. Soya yağının verim ve seçicilik açısından gazyağının verim ve seçiciliğine göre %20 daha düşük performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

**Pawlak ve ark., (1985-1986-1987)** çeşitli kalitedeki kömürler üzerinde kazanma verimini arttırmak, kül ve piritik kükürt oranını düşürmek için birçok araştırma yapmışlardır. -0.6  $\mu\text{m}$  tane boyutundaki bitümlü kömürlere, selektif aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemlerini denemişlerdir. Çalışmalarında bitümen, kerosen, fuel-oil ve bunların karışımları gibi ağır bağlayıcı sıvılarla birlikte bazı hafif bağlayıcı sıvılar da kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda yüksek kaliteli kömürler için hafif bağlayıcı sıvıların, düşük kaliteli kömürler içinde yüksek viskoziteli ağır bağlayıcı sıvıların kullanılmasının yağ aglomerasyonu için uygun olduğunu belirtmişlerdir. %21 bağlayıcı sıvı kullanarak, %17.8 kül ve %4.4 kükürt içeriğine sahip kömürden aglomerasyon sonucunda %90 civarında kazanma verimi elde etmişlerdir. Kül yaklaşık olarak %11, kükürt içeriği yaklaşık olarak %8 oranında düşürülmüştür. Daha sonra aynı özellikteki kömür ile agloflotasyon deneyleri yapılmış ve %5 bağlayıcı sıvı ilavesi ile konsantre külünü %1.16 kadar düşürmüşlerdir. Yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise %25.3 kül içeriğine sahip linyit kömürüne yağ aglomerasyonunu direk uygulamışlar ve %80-90 kazanma verimi elde etmişlerdir. Konsantre külünü de %20 uzaklaştırılmışlardır. Atığa kaçan temiz kömür miktarının yağ miktarına bağlı olduğunu ve yüksek yağ konsantrasyonların da, atığın kül oranının yükseldiğini saptamışlardır.

**Sönmez, (2006)** Zonguldak kömüründen düşük küllü kömürün üretilebilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla yeterli serbestleşmenin sağlanabilmesi için kömür örneğini -600, -250,-125, -63, -28 µm tane boyutlarına öğütmüştür. Her boyut grubu ile aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneyleri yapılmış ve her boyut için optimum aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon şartları belirlenmiştir. Aglomerasyon sonucunda %9.25 kül ve flotasyonla %10.47 kül içerikli kömür elde edilmiştir. -125, -63, -28 µm boyutlarına öğütülmüş olan ve önceki deneylerde belirlenen optimum şartlarda agloflotasyon yapılmıştır. Bu yöntemle -125 µm boyutundaki yüzdürme-batırma ürününden aşamalı agloflotasyon ile %39.75 yanabilir verim,%89.44 kül atımı ve %3.95 kül içerikli kömür konsantresi elde etmiştir.

**Şahinoğlu, (2018)** çalışmasında  $d_{50}=43.47$  µm tane boyutunda, %35.65 kül ve %7.91 kükürt içeriğine sahip Artvin Müzret kömürünün flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemleri ile temizlenebilirliğini incelemiştir. En yüksek verime (%93.45) agloflotasyon ile en fazla verim indeksi değerine (%41.68) flotasyonla ulaşmıştır. Yağ aglomerasyonu deneylerinde ise %10 atık yağ miktarında en yüksek yanabilir verim (%87.15), agloflotasyonda %1 atık yağ miktarında (%92.18) yanabilir verim sağlandığını belirtmiştir.

## 5. MATERYAL VE METOD

### 5.1 Materyal

Kömürün aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon ile zenginleştirme çalışmalarında iki farklı linyit kömür numunesi kullanılmıştır. Kömür numuneleri Sivas/Gemerek Akifoğulları Mad.San.Tic A.Ş ve Samsun/Havza Baykallar Mad.San.Tic.A.Ş linyit işletmelerinden standart numune alma yöntemleri ile temin edilmiştir. Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneylerinde kullanılan bağlayıcı sıvılar, reaktifler ve kimyasal malzemelerin yoğunluk analizleri yapılmış olup Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon deneylerinde kullanılan bağlayıcı sıvılar, reaktifler ve kimyasal malzemeler ve yoğunlukları

Reaktif	Kullanım yeri ve amacı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Fuel-oil (no:4)	Aglomerasyonda bağlayıcı sıvı	0.99
Mazot	Aglomerasyonda bağlayıcı sıvı	0.81
Motor yağı (5w-30)	Aglomerasyonda bağlayıcı sıvı	0.88
Motor yağı (20w-50)	Aglomerasyonda bağlayıcı sıvı	0.88
Motor yağı (0w-30)	Aglomerasyon ve agloflotasyonda bağlayıcı sıvı	0.78
Gazyağı	Aglomerasyonda bağlayıcı sıvı, flotasyon ve agloflotasyonda toplayıcı	0.77
MIBC	Flotasyon ve agloflotasyonda köpürtücü	0.80
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Flotasyon ve agloflotasyonda bastırıcı	2.40
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyonda pH ayarlayıcı	1.84
NaOH	Aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyonda pH ayarlayıcı	2.13
Aseton	Aglomerasyonda oluşan aglomeratlardan yağların yıkanarak arındırılması	0.79

**Fuel oil (no:4):** Diğer bir adıyla kalyak, kükürt değeri maksimum %1.5 olup viskozite değeri ise maksimum SSU 50 C’de 250 olan bir kalorifer yakıtıdır.

**Mazot:** Akaryakıt olarak kullanılan ham petrolün damıtma tortusu olarak elde edilen sıvı yakıttır.

**Motor yağı (5w-30):**Düşük viskoziteli, hidroktrat motor yağıdır. Hidroktrat motor yağları %70-80 mineral yağa %20-30 sentetik yağın karıştırıldığı, ayrıntılı metodlarla rafineride işlenmiş madeni bazlı yağlardır.

**Motor yağı (20w-50):** Yüksek ve düşük sıcaklıklarda aşınmaya karşı koruyan madeni bir motor yağıdır.

**Motor yağı (0w-30):**Yüksek devirli motorların ihtiyaç duyduğu, düşük viskoziteli, tam sentetik bir motor yağıdır. Sentetik yağlar, laboratuar ortamında tamamen kimyasal işlemler sonucu üretilen yağlardır.

**Gazyağı:** Düşük viskozite ve yüzey gerilimine sahip, saf parafin içeren ticari bir yağdır.

**Metil isobütil karbinol (MIBC):** Renksiz, stabil, hafif kokulu alifatik bir alkoldür. Mineral flotasyonunda kullanılan, kırılan köpük oluşturan, köpürtücüdür. Nötral bir köpürtücü olduğundan hem asidik hem de bazik pülpte kullanılır.

**Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ):** Sulu çözelti içinde veya bir katı olarak kullanılabilen saf bileşimleri renksiz veya beyaz renkli olan kimyasal bir bileşiktir.

**Sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ):** Güçlü ve aşındırıcı bir mineral asididir. Hafif viskozite ve keskin kokuya sahip olup su ve diğer çözücülerde kolaylıkla çözünür.

**Sodyum hidroksit (NaOH):** Diğer bir adıyla kostik, beyaz renkte nem çekici bir maddedir. Suda kolaylıkla çözünür ve yumuşak, kaygan ve sabun hissi veren bir çözelti oluşturur.

**Aseton ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ):** Kireçle doyrulmuş odun asidinin kuru damıtılmasıyla elde edilen, renksiz, kolay alev alan bir sıvıdır.

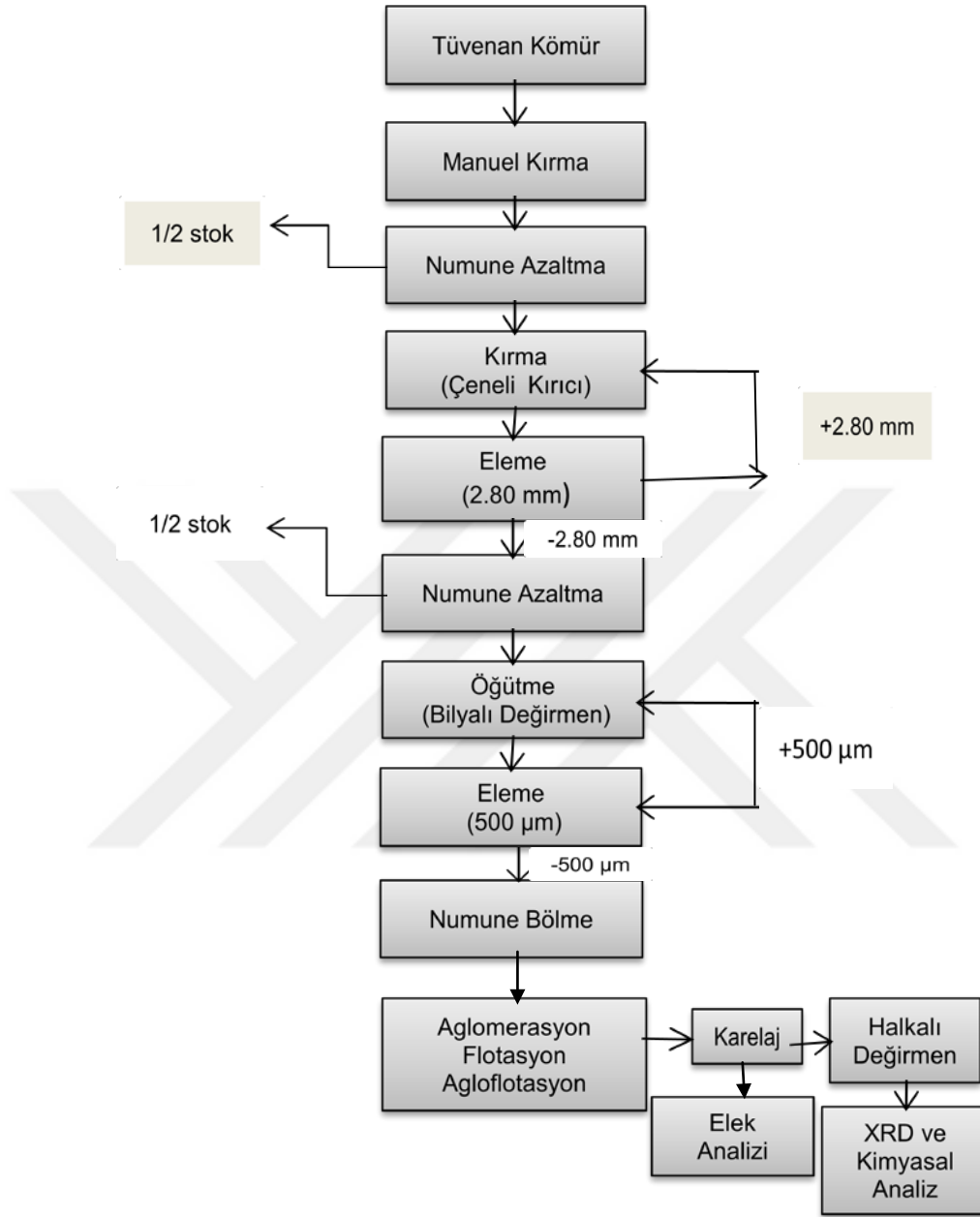
## 5.2 Metod

### 5.2.1 Numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalar için iki farklı linyit kömür numunesi kullanılmıştır. Sivas/Gemerek ve Samsun /Havza linyit kömür numuneleri önce manuel olarak kırılmış, daha sonra konileme dörtlleme yöntemi ile azaltılmış ve  $\frac{1}{2}$ ' si stoklanmıştır. Çeneli kırıcıda -2.80 mm'nin altına kırılan numuneler Jones ızgarası ile homojen olarak bölünmüştür ve  $\frac{1}{2}$ ' si stoklanmıştır.

Kömür numunelerinin optimum öğütme süresini belirlemek için 20 cm çapında, 21 cm boyunda laboratuvar tipli bilyalı değirmende; 77 dv/dk kritik hızda, 6.72 kg bilya şarj oranında kuru olarak öğütme analizleri yapılmıştır. Sivas/Gemerek linyit numunesi için belirlenen optimum öğütme süresi 9 dakika, Samsun/Havza linyit numunesi için belirlenen optimum öğütme süresi 7 dakika olarak tespit edilmiştir.

Belirlenen optimum öğütme sürelerinde kömür numunelerinin tamamı -500  $\mu\text{m}$  boyutuna öğütülmüş ve otomatik numune bölme cihazında bölünerek 250 gr'lık numuneler halinde torbalanmış ve deneylerde kullanılmak üzere stoklanmıştır. Şekil 5.1'de deneylerde kullanılan kömür numunelerinin hazırlama akım şeması verilmiştir.



Şekil 5.1 Numune hazırlama akım şeması

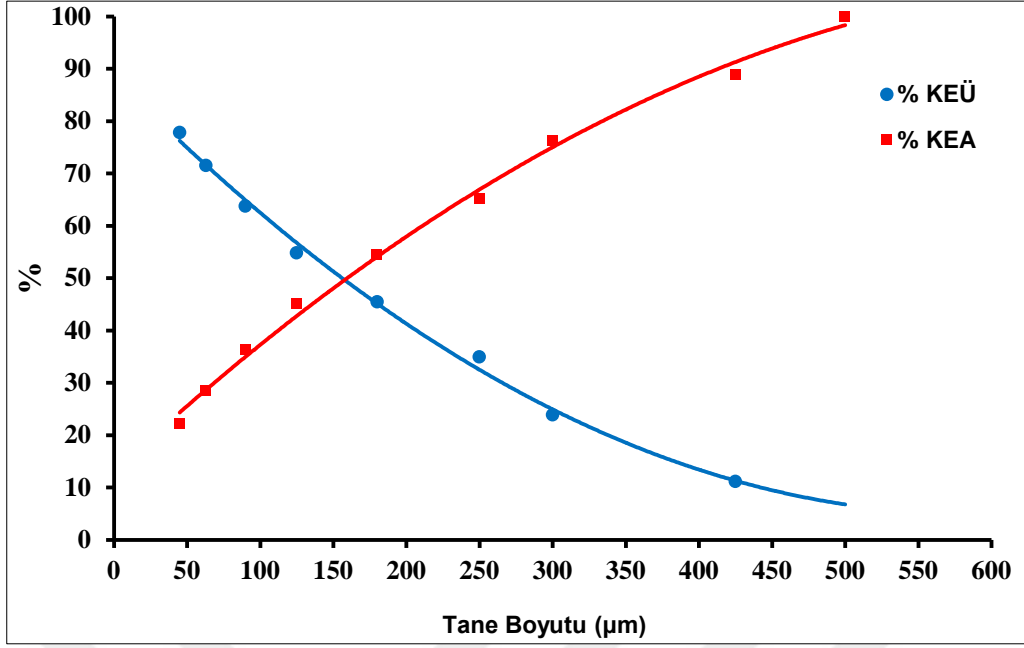
### 5.3. Analizler

#### 5.3.1 Elek analizleri

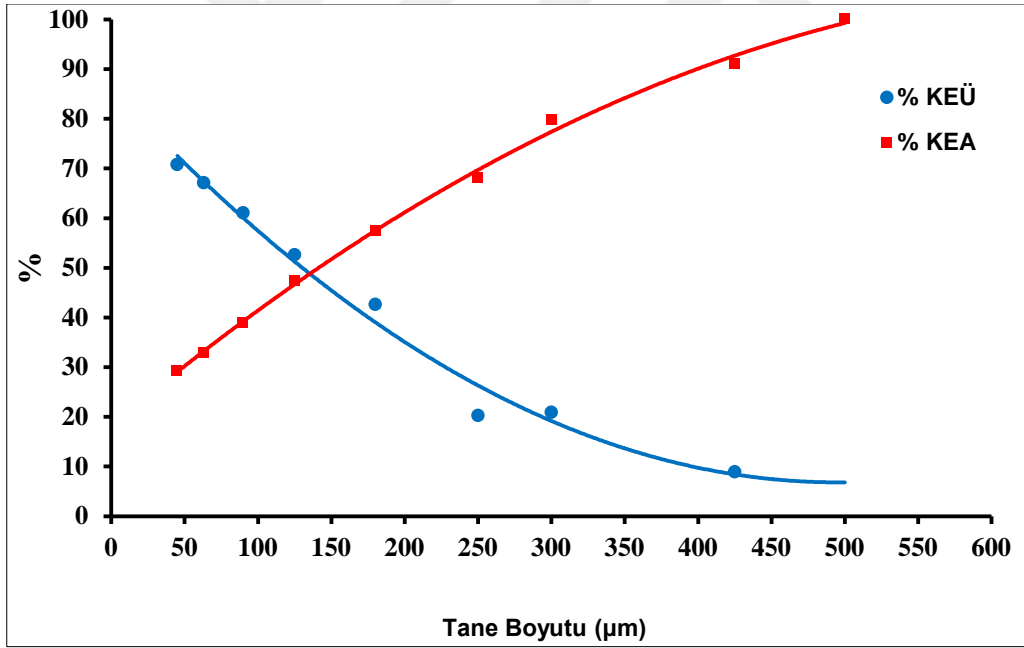
Deneyleerde kullanılacak kömür numunelerinin tane boyut dağılımını belirlemek amacıyla karelej yöntemi ile temsili örnekler alınarak yaş elek analizleri yapılmıştır; Çizelge 5.2'de elek analizi sonuçları, Şekil 5.2'de Sivas/Gemerek linyiti kümülatif elek altı (K.E.A ) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri, Şekil 5.3'de Samsun/Havza linyiti kümülatif elek altı (K.E.A ) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri verilmiştir.

**Çizelge 5.2** Kömür numunelerinin elek analizi sonuçları

Tane İriliği ( $\mu\text{m}$ )	Sivas/Gemerek linyit Numunesi		Samsun/Havza linyit Numunesi	
	K.E.A (%)	K.E.Ü (%)	K.E.A (%)	K.E.Ü (%)
500	100	100	0.00	100
425	88.85	11.15	91.11	8.89
300	76.15	23.85	79.73	20.87
250	65.08	34.92	68.08	20.27
180	54.54	45.46	57.42	42.58
125	45.16	54.84	47.40	52.60
90	36.24	63.76	38.99	61.01
63	28.49	71.51	32.92	67.08
45	22.17	77.83	29.20	70.80



Şekil 5.2 Sivas/Gemerek linyiti kümülatif elek altı (K.E.A) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri



Şekil 5.3 Samsun/Havza linyiti kümülatif elek altı (K.E.A) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri



### 5.3.2 Minerolojik ve kimyasal analiz

-500 µm boyutundaki kömür numuneleri halkalı değirmende öğütülerek kimyasal ve minerolojik analizleri yapılmıştır. Nem analizleri M5040 elektro-magnetik etüvde, kül analizleri Lenton-Termal-Desing fırınında, kalori değerleri IKA C4000 Adiahatic kalorimetrede yapılmıştır. Çizelge 5.3' de kömür numunelerinin kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

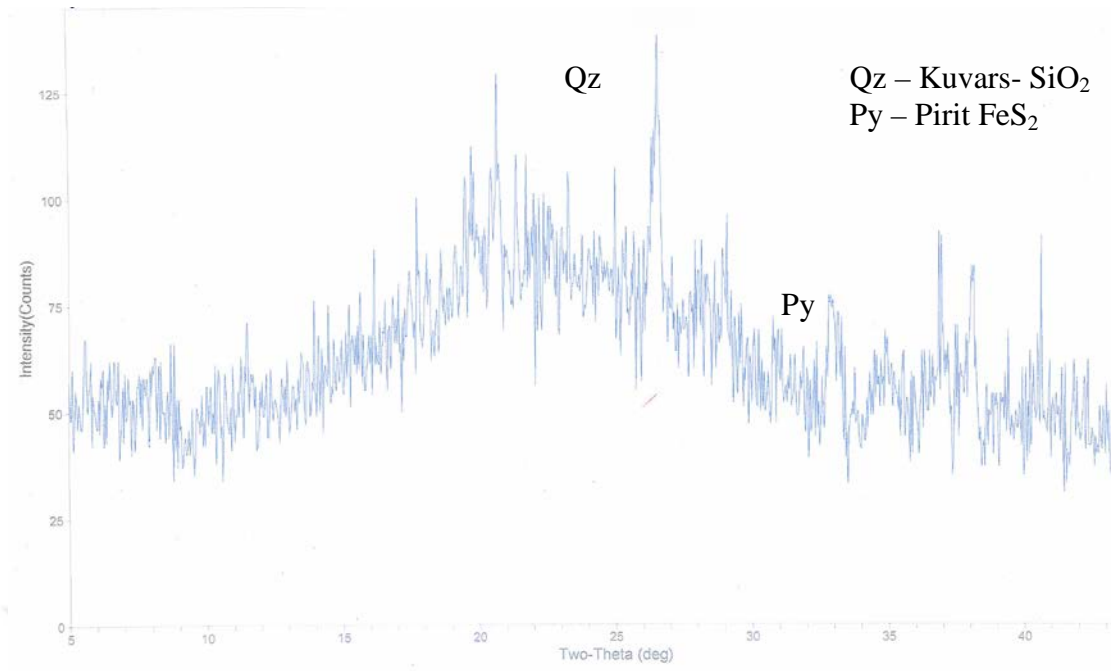
**Çizelge 5.3** Kömür numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

<b>Numune</b>	<b>Orijinal Kömürde Nem (%)</b>	<b>Havada Kuru Kömürde Nem (%)</b>	<b>Kuru Kömürde Kül (%)</b>	<b>Kuru Kömürde Üst Kalori (kcal/kg)</b>
<b>Sivas/Gemerek</b>	23.79	19.49	19.08	3555
<b>Samsun/Havza</b>	40.72	10.97	37.81	2768

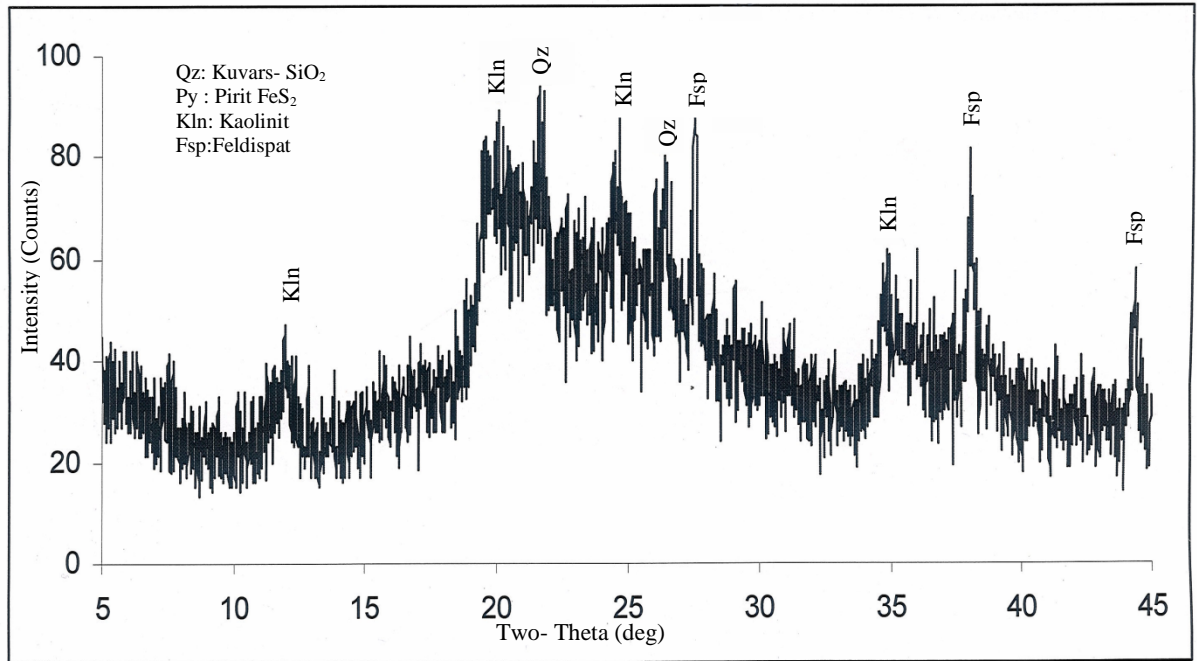
Kömür numunelerinin X ışınları difraksiyonu (XRD) analizleri Sivas C.Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh.'de yapılmıştır. XRD analizlerinde, Rigaku DMAX III model x-ray diffractometer (XRD) ile Cu Ka' radition 35 kV ve 15 mV koşullarında yapılmıştır. Şekil 5.4'de Sivas/Gemerek linyit numunesi XRD analiz sonuçları, Şekil 5.5'de Samsun /Havza linyit numunesi XRD analiz sonuçları verilmiştir.

Sivas/Gemerek linyit kömür numunesinin XRD analizinde belirlenen başlıca mineraller; sülfür minerallerinden pirit ( $FeS_2$ ) ve silikat minerallerinden kuvars ( $SiO_2$ ),

Samsun/Havza linyiti kömür numunesinin XRD analizinde belirlenen başlıca mineraller; kil minerallerinden kaolinit, sülfür minerallerinden pirit ( $FeS_2$ ), silikat minerallerinden kuvars ( $SiO_2$ ), ve feldispatdır.



**Şekil 5.4** Sivas/Gemerek limonite numunesi XRD analizi



**Şekil 5.5.** Samsun/Havza limonite numunesi XRD analizi

#### 5.4 Aglomerasyon deneylerin yapılışı

Yağ aglomerasyonu deneyleri; -500 µm boyutundaki Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömür numuneleri kullanılarak yapılmıştır.

Deneyle; 1000 ml'lik behere üçayaklı türbilans oluşturucu metal aparat yerleştirilerek Heidolph RZR 2051 tipi hızı ayarlanabilen dijital göstergeli mekanik karıştırıcıda saf su kullanılarak yapılmıştır. Aglomerasyonda uygulanan metot aynı olmakla birlikte, değişik proses parametrelerinin aglomerasyon performansına etkileri araştırılmıştır. Deneyle:

Numune miktarı: 15 gr

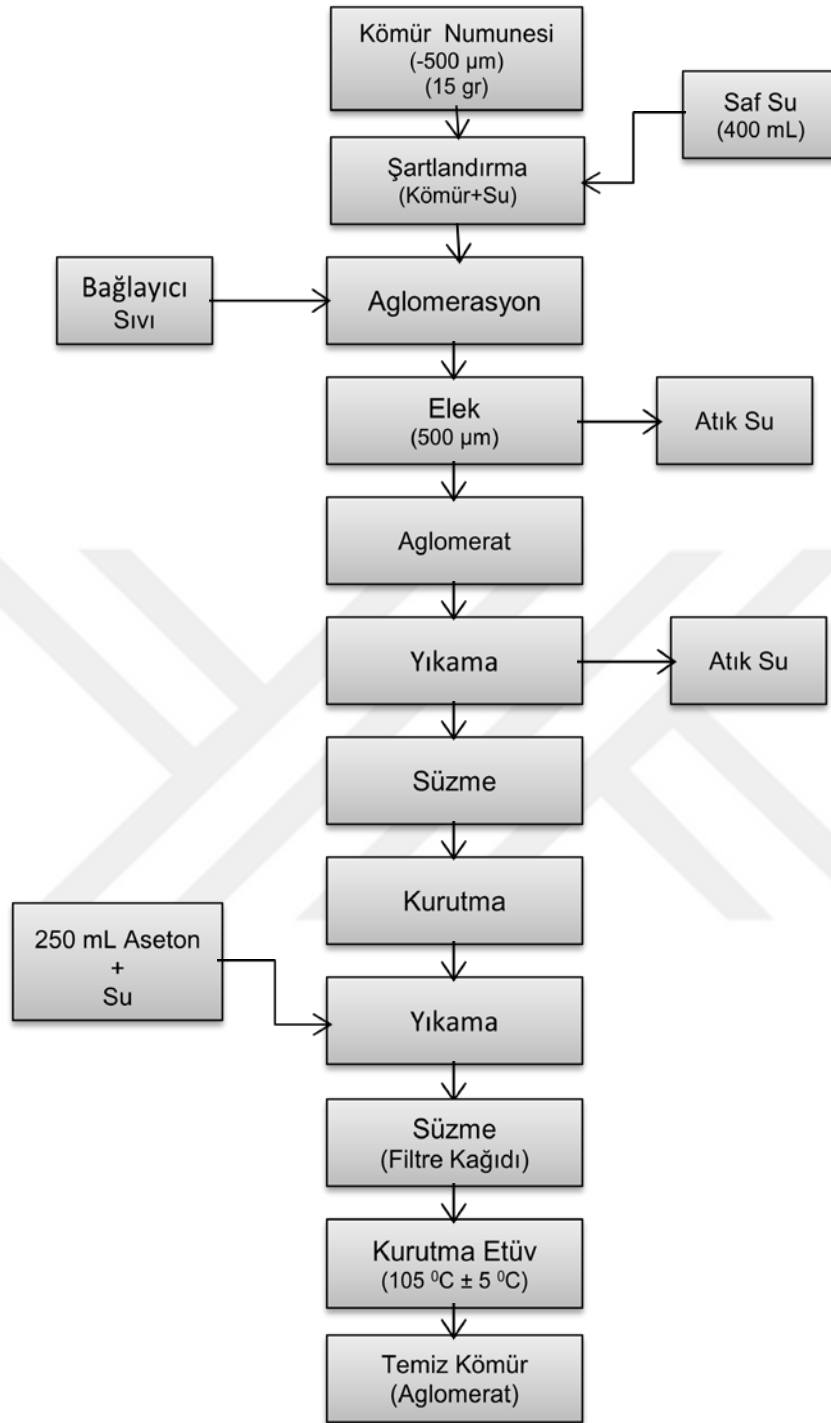
Su miktarı: 400 mL

Karıştırma hızı: 500 dev/dk

Kondüsyon süresi: 15 dk

Aglomerasyon hızı: 400 dev/dk koşullarında yapılmıştır.

Aglomerasyon işlemleri tamamlandıktan sonra pülp 500 µm'lik elek üzerine alınmış ve 250 mL saf su ile yıkanmıştır. Elek üstünde kalan aglomeratlar, üzerindeki bağlayıcı sıvının uzaklaştırılması için 250 mL aseton ile yıkanmış ve sonra tekrar 250 mL saf su ile yıkanmıştır. Susuzlandırılmış olan aglomeratlar etüvde 105 °C ± 5 °C de kurutulmuş nem ve ağırlık verimi değerleri hesaplanmıştır. Temiz kömür aglomeratlarının kül ve yanabilir kısım verimi değerleri ise 950 °C' de kül analizi yapılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6'de Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin aglomerasyon akım şeması verilmiştir.



**Şekil 5.6** Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin aglomerasyon akım şeması

## 5.5 Flotasyon deneylerinin yapılışı

Flotasyon deneyleri; -500  $\mu\text{m}$  boyutundaki Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömür numuneleri kullanılarak yapılmıştır.

Deneyle; Denver tipi hızı ayarlanabilen dijital göstergeli flotasyon makinesinde 1.5 L hacimli flotasyon selülünde saf su kullanılarak yapılmıştır. Flotasyonda uygulanan metot aynı olmakla birlikte, değişik proses parametrelerinin flotasyon performansına etkileri araştırılmıştır. Deneyle:

Numune miktarı: 125 gr (%10 katı oranı)

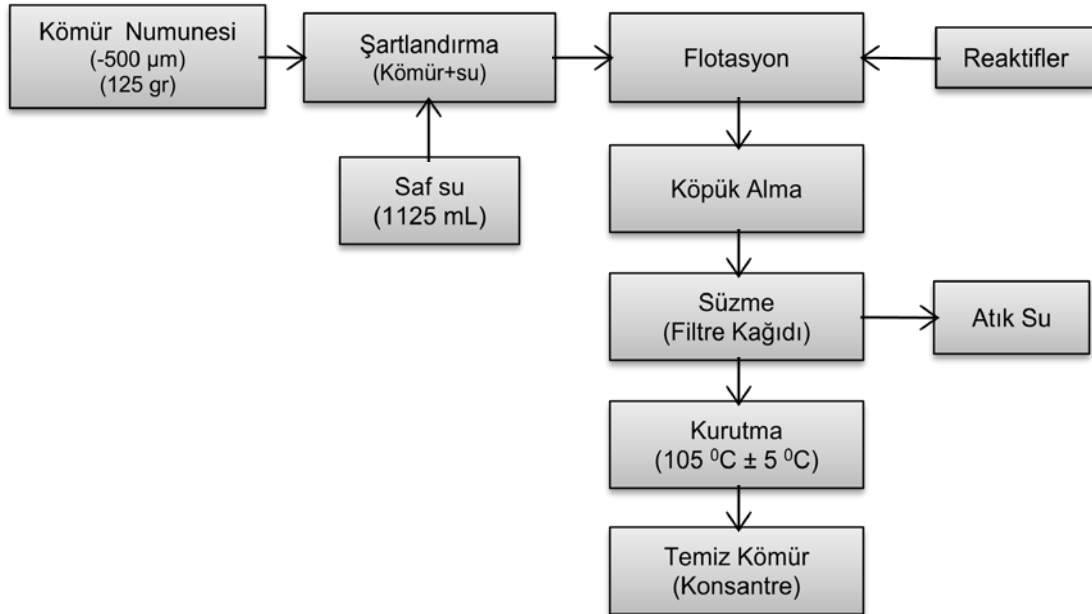
Su miktarı: 1125 mL

Kondüsyon süresi: 1100 dev/dk

Karıştırıcı çapı: 9.5 cm 4 delikli

Karıştırma süresi: 5 dakika koşullarında yapılmıştır.

Deneylede; bastırıcı olarak sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak metil isobütil karbinol (MIBC) kullanılmıştır. Her bir reaktif ilave edildikten sonra 5 dakika kondisyon süresi verilmiştir. Flotasyon işleminden sonra temiz kömür (konsantre) ve batan ürünler susuzlandırılmıştır. Elde edilen flotasyon konsantreleri  $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulmuş, nem ve ağırlık verimi değerleri hesaplanmıştır. Flotasyon konsantrelerinin  $950^\circ\text{C}$ 'de kül analizi yapılarak kül ve yanabilir kısım verimi değerleri hesaplanmıştır. Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin flotasyon akım şeması Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin flotasyon akım şeması

## 5.6 Agloflotasyon deneylerin yapılışı

-500 µm tane boyutundaki Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömür numunelerine aglomerasyon ve flotasyon uygulanmış; daha sonra aglomerasyon ve flotasyonda belirlenen optimum koşullarda agloflotasyon yapılmıştır.

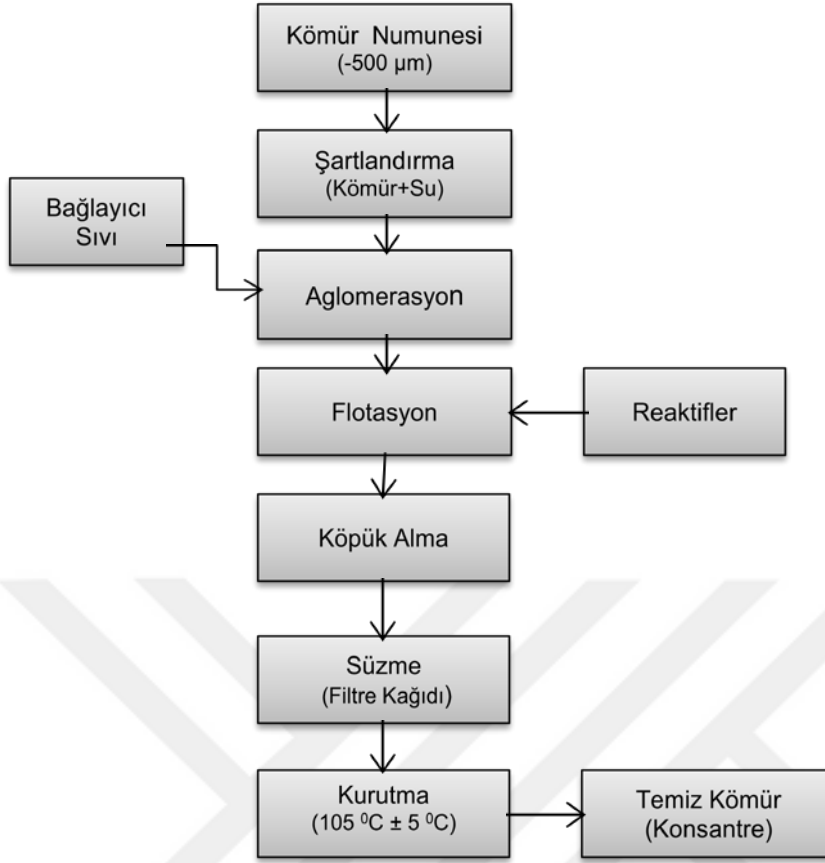
Linyit kömürü numuneleri önce optimum aglomerasyon koşullarında aglomera edildikten sonra hiçbir işleme (eleme, ayırma vb.) tabi tutulmadan beher içerisindeki malzeme direk flotasyon selülüne beslenmiştir ve flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Agloflotasyon deneylerinde aglomerasyon ve flotasyon deneylerinde kullanılan ekipman ve metod kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde gang minerallerini bastırmak amacıyla kullanılan sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) agloflotasyon deneylerinde aglomerasyon aşamasında eklenmiştir.

Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit numunelerinin aglomerasyon ve flotasyondaki optimum sonuçları Çizelge 5.4'de, agloflotasyon akım şeması Şekil 5.8'de verilmiştir.

**Çizelge 5.4** Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit numunelerinin aglomerasyon ve flotasyondaki optimum koşulları

<b>Sivas/Gemerek linyiti</b>	
<b>Aglomerasyon optimum koşulları</b>	<b>Flotasyon optimum koşulları</b>
Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu: Motor yağı (0w30),%30 Pülp pH'ı 2 Katı oranı: %3.6 Aglomerasyon süresi: 25 dakika Tane boyutu: -500 µm	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ miktarı: 250 g/t Gazyağı miktarı: 250 g/t MIBC miktarı: 100 g/t Pülp pH'ı 2 Katı oranı: %10 Flotasyon süresi: 5 dakika Tane boyutu: -500 µm
<b>Samsun/Havza linyiti</b>	
<b>Aglomerasyonun optimum koşulları</b>	<b>Flotasyonun optimum koşulları</b>
Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu: Motor yağı (0w30),%30 Pülpün ortam pH'ı 6.65 Katı oranı: %3.6 Aglomerasyon süresi: 15 dakika Tane boyutu: -500 µm	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ miktarı: 50 g/t MIBC miktarı: 250 g/t Gazyağı miktarı: 750 g/t Pülp pH'ı 2 Katı oranı: %10 Flotasyon süresi: 5 dakika Tane boyutu: -500 µm



**Şekil 5.8** Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitleri agloflotasyon akım şeması

### 5.7 Hesaplamalar

Aglomerasyon ve agloflotasyonda elde edilen aglomeratlar, flotasyonda elde edilen konsantreler (yüzen ürün) 105 °C' de etüvde kurutulmuş ve ağırlık verimi değerleri hesaplanmıştır. Aglomeratların ve temiz kömür konsantrelerinin kül değerleri ise kül analizi yapılarak hesaplanmıştır. Ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır:

$$\% \text{ Ağırlık Verimi} = \frac{\text{Temiz kömür ağırlığı (g)}}{\text{Beslenen kömür ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Kül} = \frac{\text{Kül analizi sonrası kalan artığın ağırlığı (g)}}{\text{Beslenen kömür ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Yanabilir Kısım Verim} = \frac{\% \text{ Ağırlık Verimi} \times (100 - \text{Temiz kömürün külü})}{100 \times (100 - \text{Beslenen kömürün külü})} \times 100$$

## 6. AGLOMERASYON DENEY SONUÇLARI

Bu bölüm Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde; bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu, pülp pH'ı, katı oranı, aglomerasyon süresi ve tane boyutunun aglomerasyona etkisi deneysel çalışmalarının sonuçlarını ve yorumlarını içermektedir.

### 6.1 Bağlayıcı Sıvı Cinsi ve Konsantrasyonunun Etkisi

Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu, aglomerasyonda verim ve maliyeti etkileyen en önemli parametrelerdir. Bağlayıcı sıvıların kullanım amacı, kömür yüzeyinde hidrofobik bir tabaka oluşturarak tanenin hidrofobik özelliğini arttırmaktır. Bağlayıcı sıvı konsantrasyonu ise meydana gelen aglomeratların şeklini ve yapısını belirler. Kullanılan bağlayıcı sıvıların su içerisinde çözünmemeleri ve yüksek viskozitelerin dolayı kömür tanecikleri ile temasa geçmeleri oldukça zordur. Bu nedenle bu tür bağlayıcı sıvıların çok küçük damlalar halinde dağıtılmaları gerekmektedir.

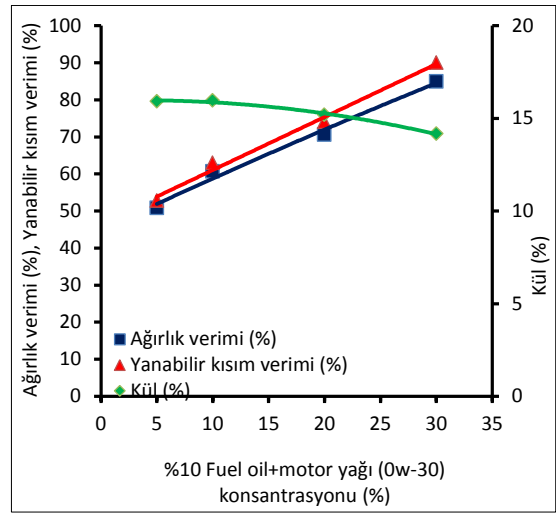
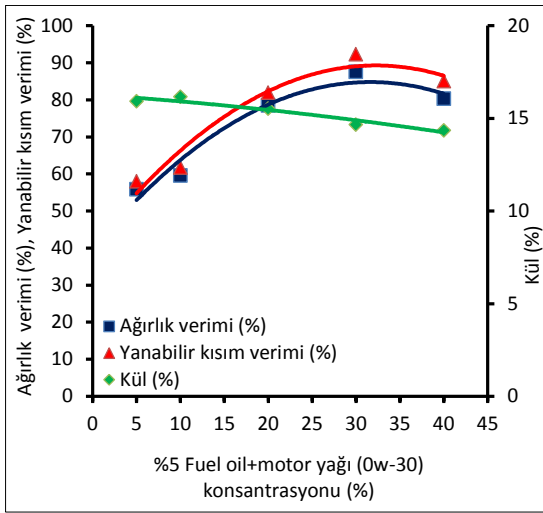
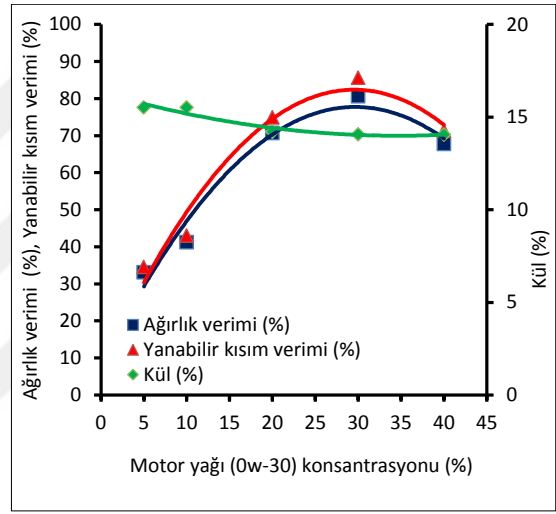
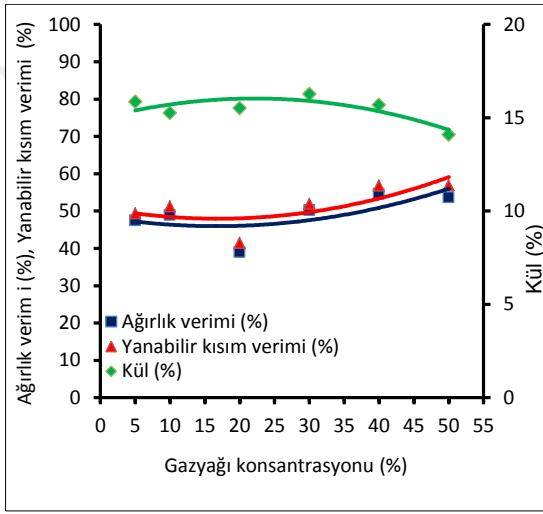
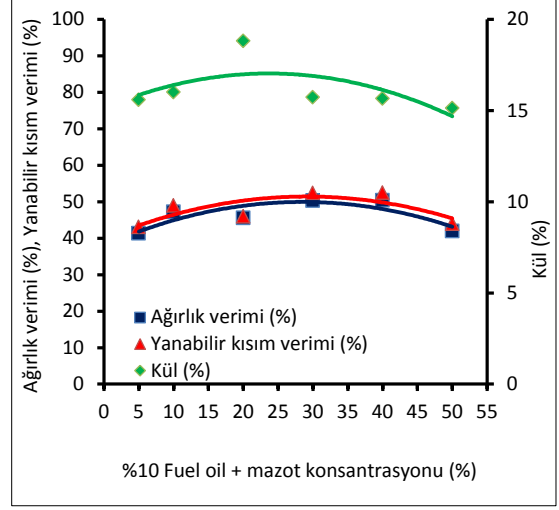
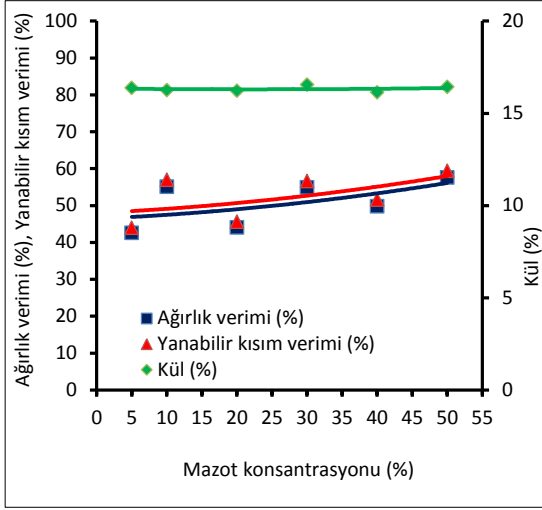
Pülpe eklenen bağlayıcı sıvının özellikleri, aglomerasyon için çok önemlidir. İnce kömürlerin kazanılması için genellikle orta yoğunlukta bağlayıcı sıvılar tercih edilmektedir. Düşük yoğunlukta bağlayıcı sıvıların viskoziteleri düşük olduğu için, kömür taneciklerini bir araya getirip sağlam aglomeratları oluşturmada yetersiz kalmaktadır. Yüksek viskoziteye sahip bağlayıcı sıvılar ise pülpün içerisinde yeterince dağılmamakta bu da aglomerasyon için gerekli olan taneciklerin yüzeylerinin ıslanmamasına neden olmaktadır (Capes, 1979).

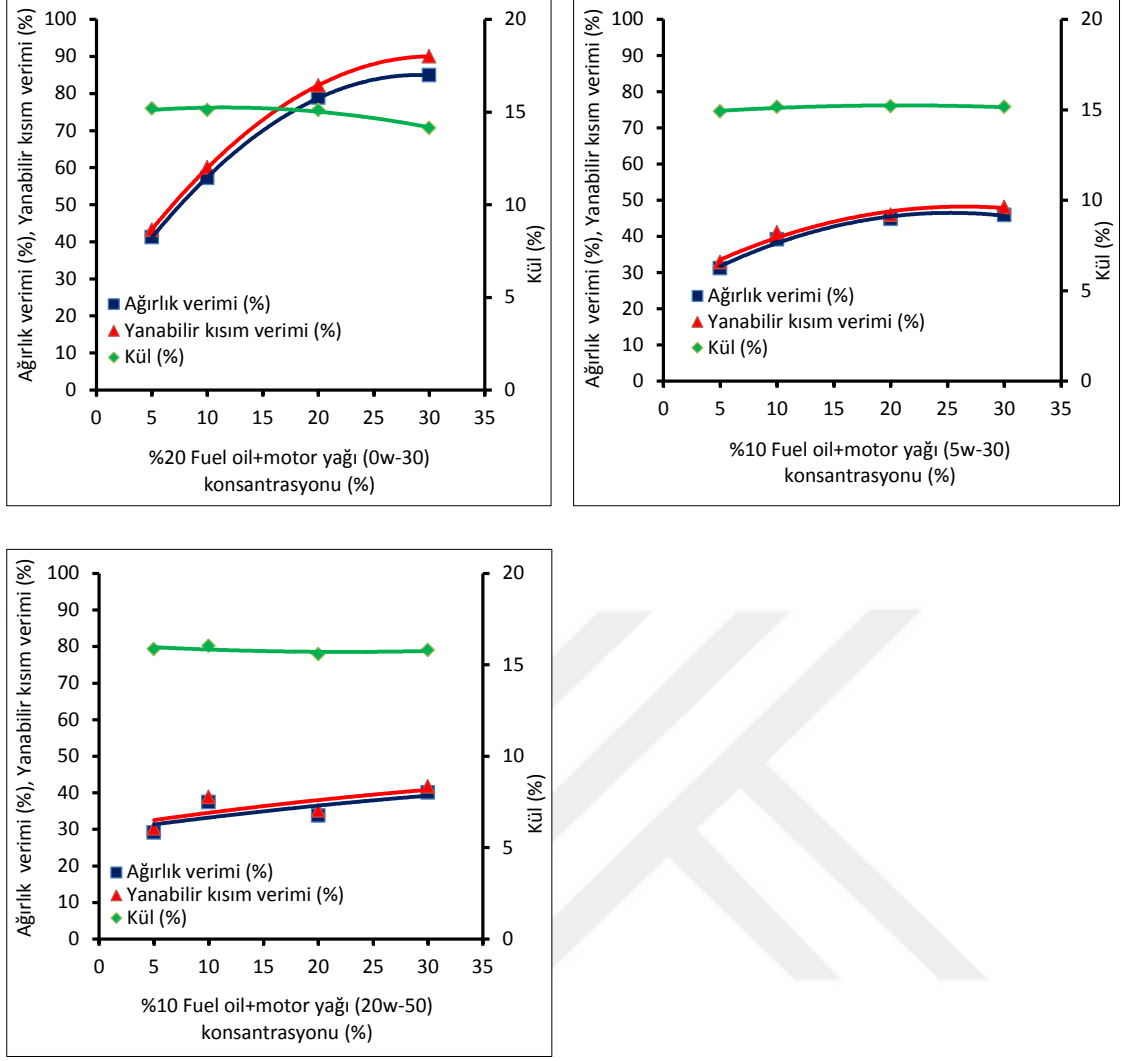
Bağlayıcı sıvının karakteristiklerine ilave olarak, kömür yüzeyinin durumu yağ aglomerasyonun da önemli bir etkiye sahiptir. Birçok sub-bitümlü kömür düşük kül içeriğine sahip iken, birçok bitümlü kömür yüksek kül içeriğine sahiptir. Daha yüksek nem ve oksijen içeriği ile karakterize edilen sub-bitümlü kömürler ve linyit kömürü doğal olarak tamamen hidrofilik olmaya yönelir ve onların aglomera olması için çok fazla miktarda bağlayıcı sıvı gereklidir (Osborne, 1990).

Sivas/Gemerek linyiti;

Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyona etkisinin belirlenmesi amacıyla; mazot, (%10 fuel-oil)+mazot, gazyağı, motor yağı (0w-30), (%5, %10, %20 fuel-oil)+motor yağı (0w-30), (%10 fuel-oil)+motor yağı (5w-30), (%10 fuel-oil)+motor yağı (20w-50), karışımları kullanılmıştır. Şekil 6.1'de Sivas/Gemerek linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi verilmiştir.



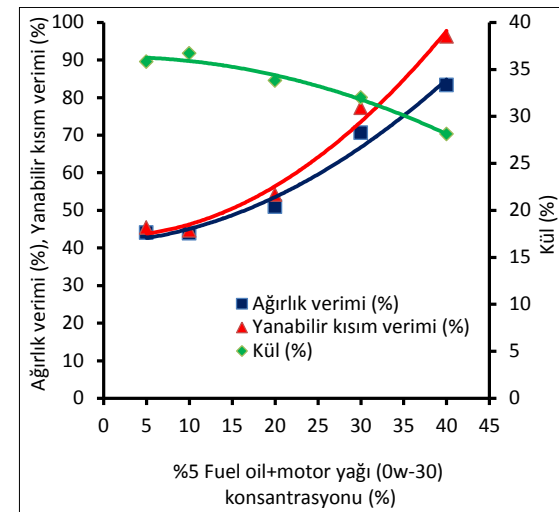
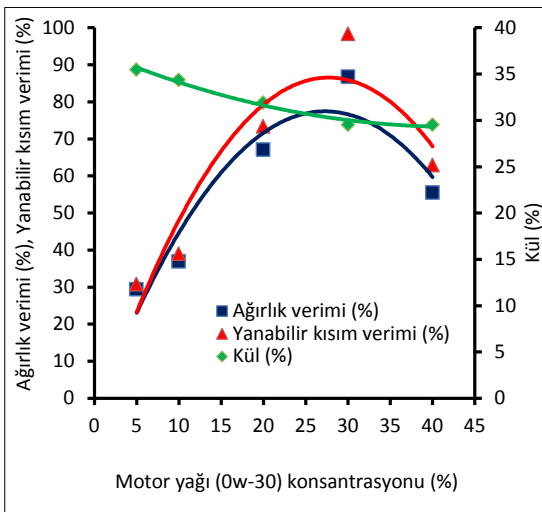
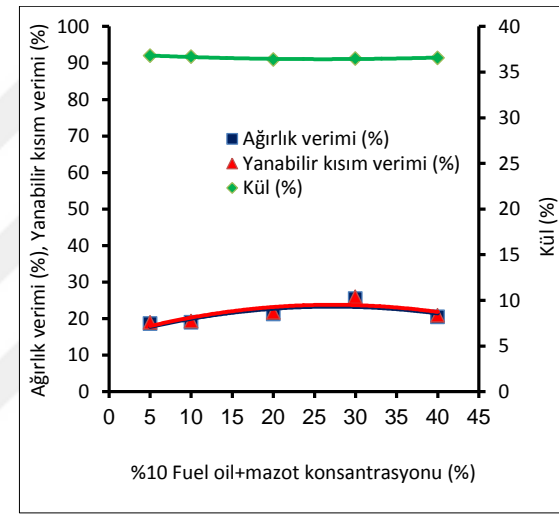
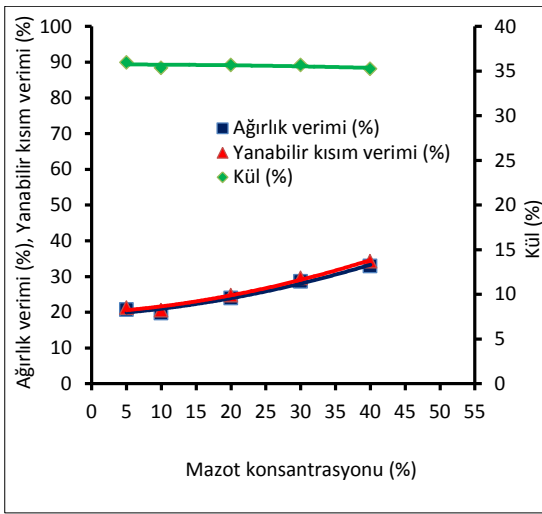
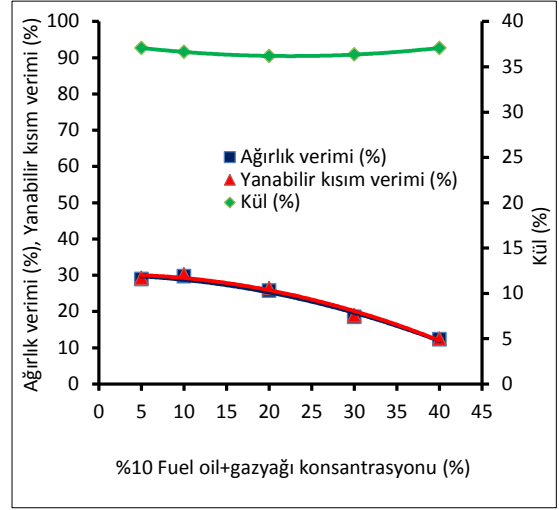
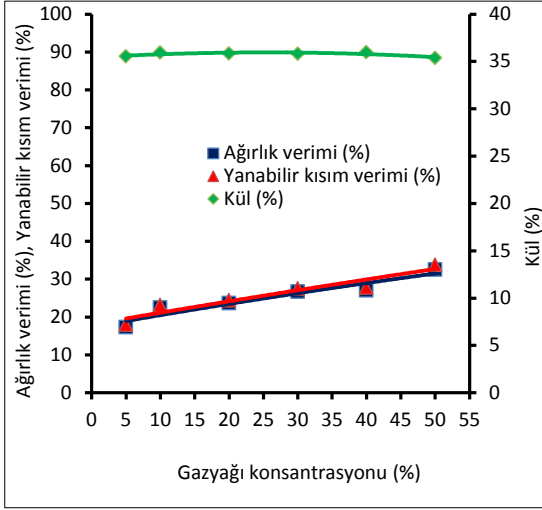


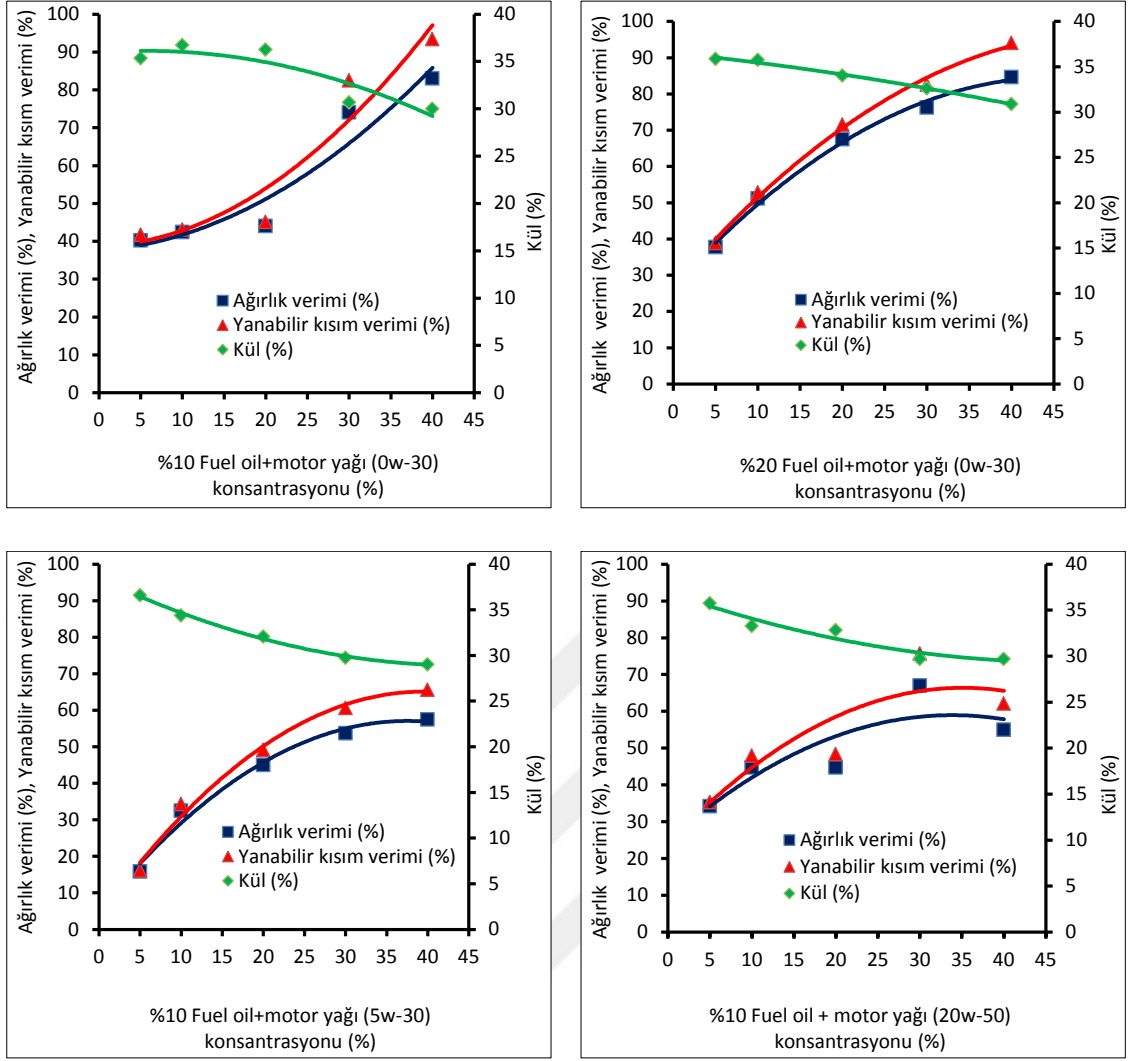


**Şekil 6.1** Sivas/Gemerek linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi (Pülp pH'ı 5.50; katı oranı :%3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

Samsun/Havza linyitinde;

Bağlayıcı sıvı türünün aglomerasyondaki etkisinin belirlenmesi amacıyla; mazot, (%10 fuel-oil)+mazot, gazyağı, (%10 fuel-oil)+gazyağı, motor yağı (0w-30), (%5, %10, %20 fuel-oil)+motor yağı (0w-30), (%10 fuel-oil)+motor yağı (5w-30), (%10 fuel-oil)+motor yağı (20w-50), karışımları kullanılmıştır. Samsun/Havza linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi Şekil 6.2' de verilmiştir.





**Şekil 6.2** Samsun/Havza linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi (Pülp pH'ı 6.65, katı oranı :%3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de bağlayıcı sıvı cinsinin ağırlık verimi, kül ve yanabilir kısım verimi üzerindeki etkileri incelendiğinde; literatürde de belirtildiği gibi gazyağı, mazot gibi bağlayıcı sıvıların aglomerasyonda etkili olmadığı görülmüştür. Bu bağlayıcı sıvılar düşük viskoziteleri nedeniyle kömür tanecikleri arasında zayıf hidrokarbon bağları oluşturmakta ve aglomerasyonda ağırlık verimi değerleri düşük, kül içerikleri ise yüksek olmaktadır. (%10 fuel-oil)+gazyağı ve (%10 fuel-oil)+mazot karışımları kullanıldığında ağırlık verimi değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Fuel-oil+motor yağları kullanıldığında ise ağırlık verimi ve yanabilir kısım verim değerlerinin diğer bağlayıcı sıvılara göre daha yüksek, kül içeriklerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de bağlayıcı sıvı konsantrasyonunun etkisi, %5 den %50 ye kadar değişen konsantrasyonlarda incelendiğinde; çok düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında (%5 ve %10), gözenek hacminin küçük bir kısmı bağlayıcı sıvı ile kaplanmakta, partiküller arasında

kolaylıkla dağılılabilen yumuşak floküle bir yapı oluşmaktadır. Oluşan aglomeratlar elek üzerine alındıklarında mekanik kuvvetlere dayanımları düşük olduğundan kolayca dağıldıkları görülmektedir. Dolayısıyla ağırlık verimi değerleri düşük olmaktadır. Artan bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında kömür tanecikleri bağlayıcı sıvı ile kaplanmakta ve daha sağlam küresel aglomeratların oluşumu artmaktadır. Elek üzerinde süzme işlemlerinde dağılmadıklarından ağırlık verimi değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. %40, %50 bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında kullanılan bağlayıcı sıvı miktarının fazla olması nedeni ile aglomeratlar yağ çamuru haline gelmiştir. Oluşan aglomeratlarda minimum su bulunması nedeniyle beher çevresine yapışma ve eleğe alındığında çok fazla su tüketimine neden olmaktadır (Capes ve Jonasson,1988).

%5, %10, %20 bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında elde edilen aglomeratlardan bağlayıcı sıvıyı uzaklaştırmak için yıkama işleminde 100 ml aseton, %30, %40, %50 bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında 250 ml aseton kullanılmıştır.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' de verilen sonuçlara göre en uygun bağlayıcı sıvı cinsi her iki linyit numunesi içinde motor yağı (0w-30) olarak seçilmiştir. Sivas/Gemerek linyitinde %80.66 ağırlık verimi, %85.64 yanabilir kısım verimi ve %14.08 kül içeriği; Samsun/Havza linyitinde %86.80 ağırlıklı verimi, %98.34 yanabilir kısım verimi ve %29.53 kül içeriği ile optimum bağlayıcı sıvı konsantrasyonu %30 olarak belirlenmiştir.

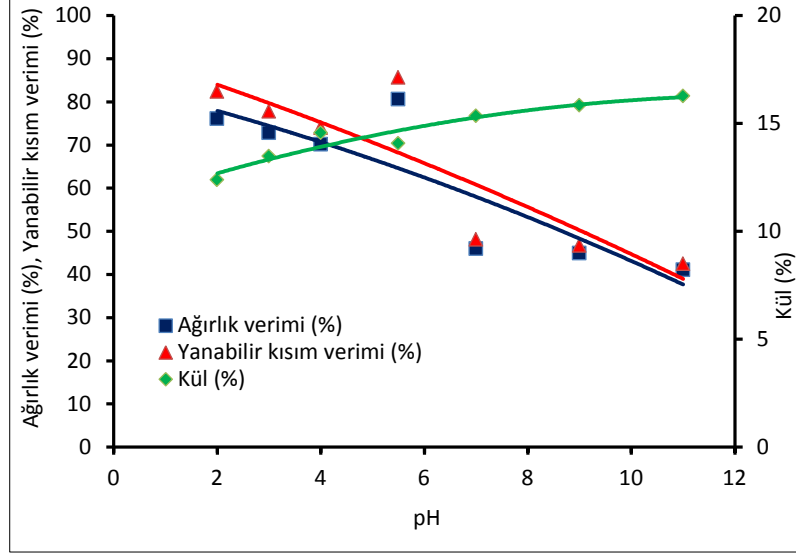
Düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında kömür yüzeyleri yeterince bağlayıcı sıvı ile ıslanmadığından aglomerasyonda ağırlık verimi düşük olmaktadır. Bağlayıcı sıvı konsantrasyonu arttıkça kömür tanecikleri arasında yeterli sıvı köprüsü oluşmakta ve küresel aglomeratlar elde edilmektedir. Çok yüksek bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında ise kömür tanecikleri bağlayıcı sıvıda kısmen dağıldığından aglomerasyon ağırlık verimi düşmektedir. Düşük bağlayıcı sıvı konsantrasyonlarında kül içeriğinin yüksek olmasının nedeni ise kömürün büyük bir kısmının aglomera olmadan elek altına geçmesidir.

## 6.2 Pülp pH'ının Etkisi

Pülp pH'ı kömür taneciklerinin yüzey şarjını kontrol eden en önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir.

Sivas/Gemerek linyiti;

Pülp pH'ının etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda 2, 3, 4, 7, 9 ve 11 'e kadar değişen pH aralıklarında araştırılmıştır. Pülp pH'ını ayarlamak için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (düşürmek) ve NaOH (yükseltmek) kullanılmıştır. Pülpün ortam pH'ı 5.50 olarak ölçülmüştür. Pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi Şekil 6.3' de verilmiştir.



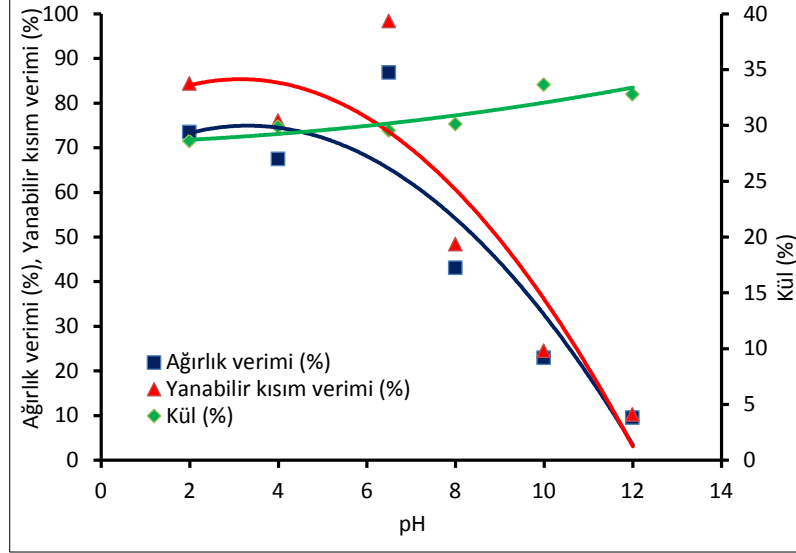
**Şekil 6.3** Sivas /Gemerek linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; katı oranı:%3.6; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Pülp pH'ına bağlı olarak ağırlık verimi, kül ve yanabilir kısım verim değerleri incelendiğinde; pH arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin düştüğü, kül içeriğinin ise arttığı görülmektedir. Yani ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri asidik ortam pH değerlerinde yüksek, bazik ortam pH değerlerinde düşüktür. Düşük kaliteli veya okside olmuş kömürler negatif yüzey özelliklerine sahiptirler ve pH'ları genellikle 2-5 aralığındadır (Aplan,1989). En yüksek %80.66 ağırlık verimi, %76.12 yanabilir kısım verimi değerinin ve en düşük %12.39 kül içeriğinin olduğu optimum pH değeri pH 2 olarak belirlenmiştir.

Yüksek pH'larda yanabilir kısım verimin düşmesinin nedeni bağlayıcı sıvı damlaları ile kömür tanecikleri arasında elektrostatik itme kuvvetlerin oluşmasına dayandırılmıştır (Cebeci ve ark. 2002).

Samsun/Havza linyiti;

Pülp pH'ının etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, 2, 4, 8, 10 ve 12' ye kadar değişen pH aralıklarında araştırılmıştır. Pülp pH'ını ayarlamak için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (düşürmek) ve NaOH (yükseltmek) kullanılmıştır. Pülpün ortam pH'ı 6.65 olarak ölçülmüştür. Pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi Şekil 6.4' de verilmiştir.



**Şekil 6.4** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; katı oranı:%3.6; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Pülp pH'ına bağlı olarak ağırılık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin asidik ortam pH değerlerinde yüksek, bazik ortam pH değerlerinde ise düşük olduğu görülmektedir. Benzer sonuç, Chary ve Dastidar (2013)'in yaptığı çalışmada da, pH'a bağlı olarak maksimum ağırılık verimi değerine nötr pH 7'de ulaşılmış, bu pH değerinden sonra alkali ortamda ağırılık veriminin azaldığı görülmüştür. pH değeri arttıkça, negatif yüklü kömür tanecikleri ile bağlayıcı sıvı damlacıkları arasında elektrostatik itme kuvvetleri artmakta ve dolayısıyla ağırılık verimi değerleri azalmaktadır. pH'a bağlı olarak kül değerleri ise bazik ortam pH'larında daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek %86.80 ağırılık verimi ve %98.35 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %29.53 kül içeriğinin elde edildiği en uygun pH değeri pülpün ortam pH'ı 6.65 olarak seçilmiştir.

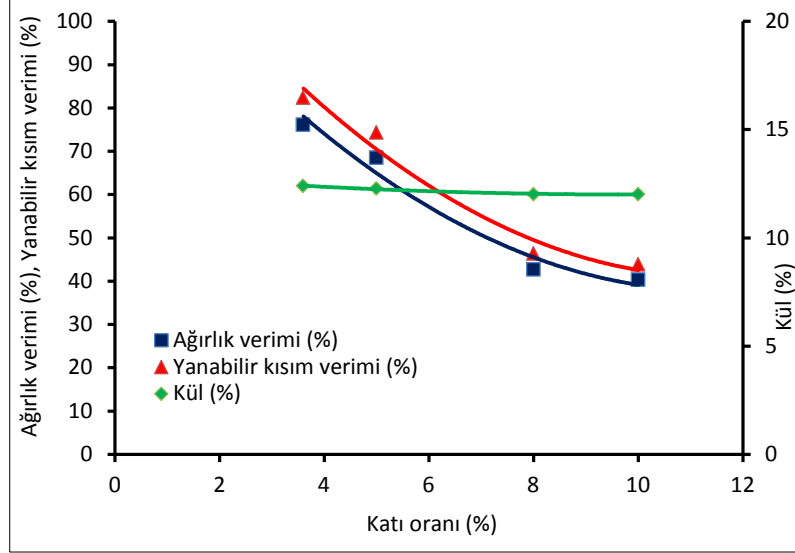
Benzer şekilde, Yaşar ve ark. (2018)'de yaptıkları çalışmada maksimum kül içeriği değerine pülpün doğal pH'ı 6.34' de ulaşımlar ve aglomerasyonda en uygun pH olarak seçmişlerdir.

### 6.3 Katı Oranının Etkisi

Yağ aglomerasyonunda katı oranı, kömür tanecikleri ve bağlayıcı sıvı damlacıkları arasındaki kohezyon ve adhezyonu direkt olarak etkilediği için önemli bir parametredir.

Sivas/Gemerek linyiti;

Katı oranının etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda ve pülp pH'ı 2'de, %3.6, %5, %8 ve %10 katı oranlarında araştırılmıştır. Katı oranının aglomerasyon performansına etkisi Şekil 6.5' de verilmiştir.



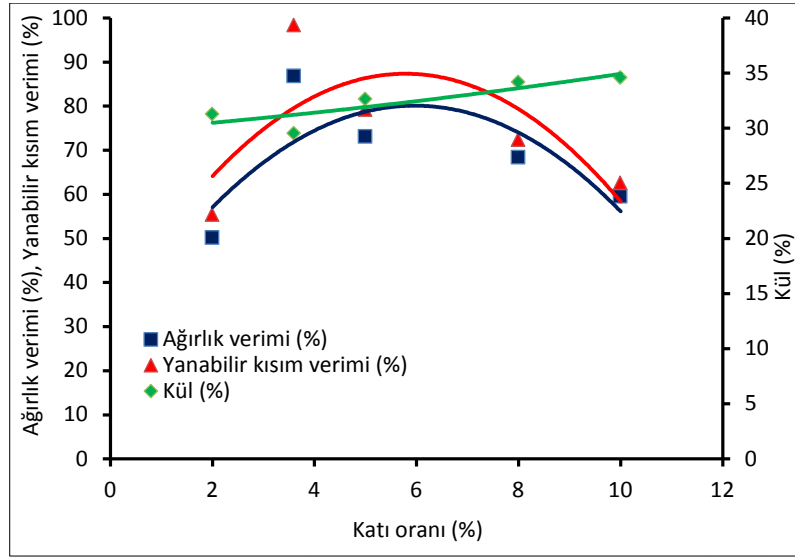
**Şekil 6.5** Sivas/Gemerek linyiti katı oranının aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30 pülp pH 2; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Katı oranına bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; katı oranı %3.6' da ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin yüksek olduğu bu değerden sonra düştüğü görülmektedir. Süspansiyondaki katı oranı arttıkça karıştırma esnasında katı taneciklerinin, bağlayıcı sıvıyla ve birbirleriyle olan çarpışma olasılıkları artmaktadır. Bu durum da ağırlık veriminin artmasına neden olmaktadır. Ancak katı oranının artmasıyla birlikte kullanılan bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, kömür-bağlayıcı sıvı teması için yetersiz kalmakta ve aglomerat oluşmamaktadır. Bu da ağırlık veriminin düşmesine neden olmaktadır. Katı miktarının artmasıyla taneciklerin birbirlerine yaklaşması arttığından seçimlilik düşmektedir yani aglomeratlar arasında sıkışan çok sayıda şist kül içeriğini arttırmaktadır. Aynı zamanda katı oranının artmasıyla elek üzerine alınan aglomeratların yıkanmasının düşük katı oranlarına göre daha zor olması da kül içeriğinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle %76.13 ağırlık verimi, %82.42 yanabilir kısım verimi değerleri ve %12.39 kül içeriği ile en uygun katı oranı değeri %3.6 olarak belirlenmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Yağ aglomerasyonun da katı oranının etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda ve pülpün ortam pH'ı 6.65 de, %3.6, %5, %8 ve %10 katı oranlarında, araştırılmıştır. Katı oranının aglomerasyon performansına etkisi Şekil 6.6 'da verilmiştir.





**Şekil 6.6** Samsun/Havza linyiti katı oranının aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Katı oranına bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; katı oranı %3.6 değerine kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı kül içeriğinin ise azaldığı, bu değerden sonra ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerinin azaldığı ve kül içeriğinin arttığı görülmüştür. Yüksek katı oranlarında, kömür tanecikleri arasında istenmeyen emrütelerin yer alması kül içeriğinin artmasına neden olmaktadır. En yüksek %86.80 ağırlık verimi, %98.34 yanabilir kısım verimi ve en düşük %29.53 kül içeriği ile optimum koşul %3.6 katı oranında elde edilmiştir.

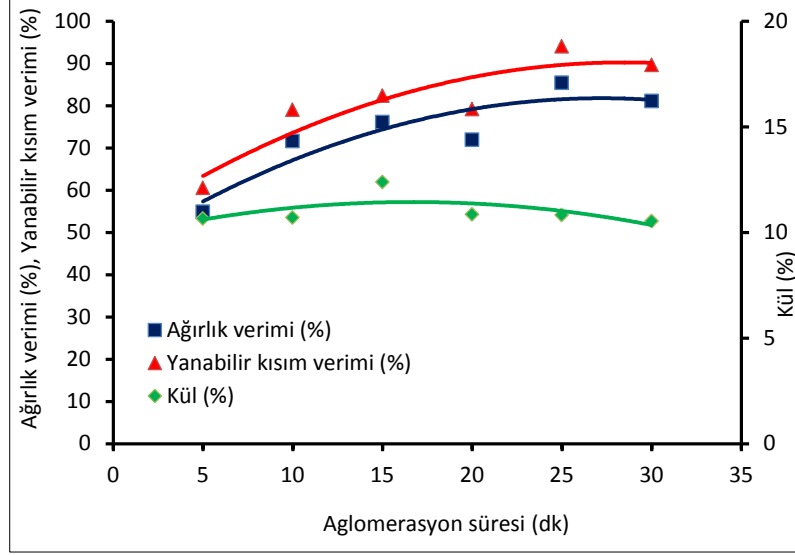
Benzer şekilde Şahinoğlu, (2006), çalışmasında katı oranı arttıkça seçimliliğin azaldığını ve kül içeriğini arttığını; bunun nedeni olarak kömür taneleri üzerinde ve arasında mineraller maddelerin sıkışarak kalmasına bağlı olduğunu açıklamıştır.

#### 6.4 Aglomerasyon Süresinin Etkisi

Aglomerasyon süresi, kömür yüzeyinin bağlayıcı sıvı ile kaplanması, tanecik-tanecik ve tanecik-aglomerat temasının sağlanmasında önemli bir faktördür.

Sivas/Gemerek linyiti;

Aglomerasyon süresinin etkisi; motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, pülp pH'ı 2 de ve %3.6 katı oranında 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakika aglomerasyon sürelerinde incelenmiştir. Şekil 6.7' de aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi verilmiştir.

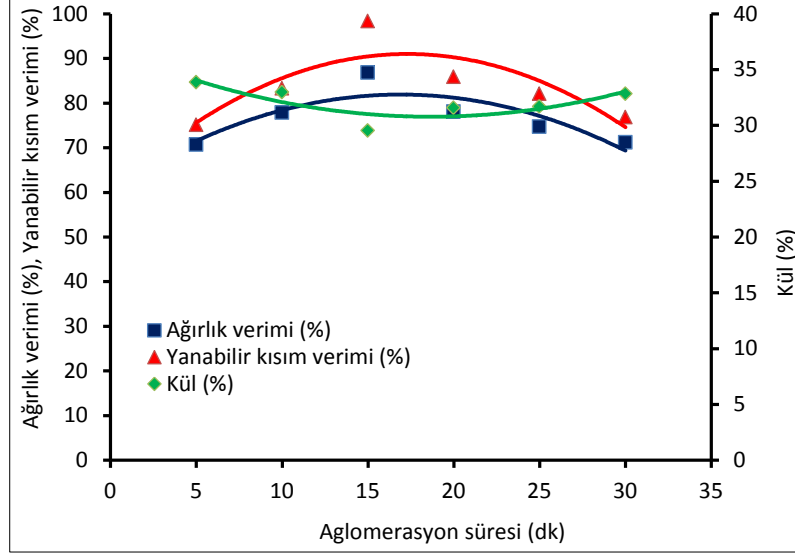


**Şekil 6.7** Sivas/Gemerek linyiti aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; tane boyutu: -500 µm)

Aglomerasyon süresine bağlı olarak; ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve kül içerikleri incelendiğinde; aglomerasyon süresi arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri artmakta daha sonra azalmaktadır. Düşük aglomerasyon sürelerinde (5 ve 10 dk), kömür tanecikleri ve bağlayıcı sıvı damlacıkları arasında ve kömür taneciklerinin kendi aralarında çarpışmaları yetersiz olduğundan ağırlık verimi değerleri düşüktür. Aglomerasyon süresindeki artışın (25 dk) aglomerasyonda seçimliliği arttırdığı görülmektedir. Bu durum, daha fazla karıştırma ile bağlayıcı sıvının pülp içerisinde daha iyi dağıldığını ve kömür tanelerinin bağlayıcı sıvı ile temas etmeleri için daha fazla şans bulunduğunu göstermektedir. Ancak yüksek aglomerasyon sürelerinde (30 dk) aglomeratların bir kısmının birbirlerine ve aglomerasyon kabının çeperlerine çarparak dağılmalarına ve bu çarpışmanın etkisiyle sağlam kalan aglomeratlar aralarındaki ve yüzeylerindeki mineral madde tanelerinin koparak dibe çökmelerine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak ağırlık verimi değerleri düşmektedir. Bu nedenle en uygun aglomerasyon süresi olarak %85.40 ağırlık verimi, %94.07 yanabilir kısım verimi ve %10.82 kül içeriği ile 25 dakika seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Aglomerasyon süresinin etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, pülpün ortam pH'ı 6.65 de ve %3.6 katı oranında 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakikada aglomerasyon sürelerinde incelenmiştir. Şekil 6.8'de aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi verilmiştir.



**Şekil 6.8** Samsun/Havza linyiti aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı türü: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; tane boyutu: -500 µm)

Aglomerasyon süresine bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içeriği incelendiğinde; aglomerasyon süresi arttıkça ( 5, 10, 15 dakika) ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri artmakta, 15 dakikadan sonra ise azalmaktadır. En yüksek %86.80 ağırlık verimi ve %98.34 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %29.53 kül içeriği 15 dakika aglomerasyon süresinde elde edilmiştir. Düşük karıştırma sürelerinde tanecik-tanecik ve tanecik-aglomerat temas olasılığı daha düşük olduğundan verimde düşük olmaktadır.

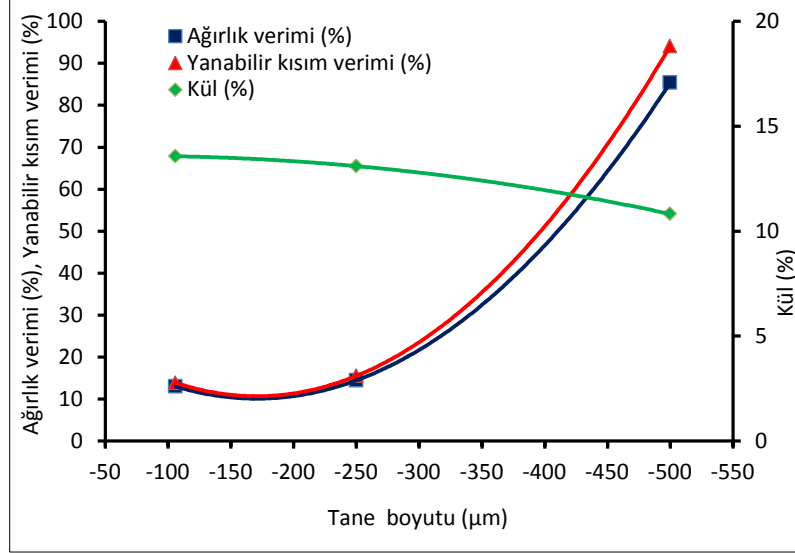
Benzer şekilde Arı (2017), çalışmasında bağlayıcı sıvı olarak %40 LIX 84-I+%60 gazyağı karışımını kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmıştır. Aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin 15 dakika aglomerasyon süresinden sonra azaldığını, kül içeriğinin ise arttığını belirtmiştir.

### 6.5 Tane Boyutunun Etkisi

Tane boyutu, aglomerasyon performansında önemli bir parametredir. Kömürün yapısında bulunan ve homojen olarak dağılmayan mineral maddelerin kömürden uzaklaştırılabilmesi için serbest yüzey alanlarının büyütülmesi gerekir. Çok ince boyutlara öğütülmüş minerallerin serbestleşme olasılığı artar.

Sivas/Gemerek linyiti;

Tane boyutunun aglomerasyona etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, pülp pH'ı 2 de, %3.6 katı oranında ve 25 dk aglomerasyon süresinde yapılmıştır. Tane boyutunun etkisi -500, -250, -106 µm boyutlarında araştırılmıştır. Şekil 6.9' da tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi verilmiştir.



**Şekil 6.9.** Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika)

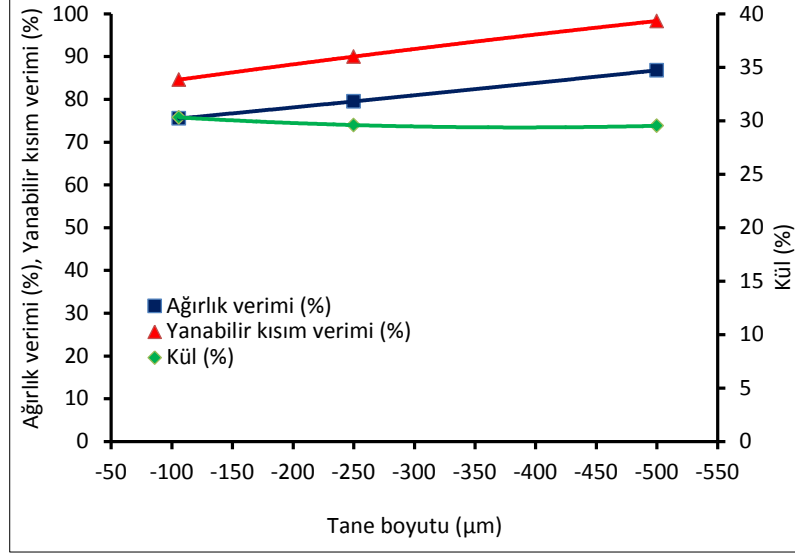
Tane boyutuna bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; tane boyutu küçüldükçe ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı, kül içeriğinin ise arttığı görülmektedir.

Küçük tane boyutlarında (-106 ve 250 µm) yüzey alanı fazla olduğundan kullanılan bağlayıcı sıvı konsantrasyonu yetersiz kalmakta ve aglomerat oluşmamaktadır. Bu nedenle ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri düşmektedir. Tane boyutu küçüldükçe ağırlık veriminin düşmesinin bir diğer nedeni ise elek boyutunun (-500 µm) en yüksek kömür boyutu ile aynı olmasıdır. En yüksek %85.40 ağırlık verimi, %94.11 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %10.82 kül içeriği -500 µm tane boyutunda elde edilmiştir.

Aglomerasyona tabi tutulan tanecik boyutunun küçülmesi ile yüzey alanı artacağından, aglomerasyon için gereken bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda artacaktır bu da aglomerasyon işleminin en önemli dezavantajı olan bağlayıcı sıvı tüketiminin biraz daha artmasına neden olacaktır (Capes, 1979).

Samsun/ Havza linyiti;

Tane boyutunun aglomerasyona etkisi, motor yağı (0w-30) kullanılarak, %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonunda, pülpün ortam pH'ı 6.65 de, %3.6 katı oranında ve 15 dk aglomerasyon süresinde yapılmıştır. Tane boyutunun etkisi -500, -250, -106 µm boyutlarında araştırılmıştır. Şekil 6.10'da tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi verilmiştir.



**Şekil 6.10** Samsun/Havza linyiti tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika)

Tane boyutuna bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; tane boyutu küçüldükçe ağırlık verim ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı ve kül içeriğinin arttığı görülmektedir. Optimum koşullar %86.80 ağırlık verimi, %98.34 yanabilir kısım verimi değerleri ve %29.53 kül içeriği ile -500 µm tane boyunda elde edilmiştir.

## 6.6 Aglomerasyon Deney Sonuçları

Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitleri üzerinde yapılan aglomerasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar

1. Bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyona etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en uygun bağlayıcı sıvı olarak motor yağı (0w-30) seçilmiştir. En yüksek %80.66 ağırlık verimi ve %85.64 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %14.08 kül içeriği ile bağlayıcı sıvı konsantrasyonu %30 olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyitinde; uygun bağlayıcı sıvı cinsi olarak motor yağı (0w-30) seçilmiştir. En yüksek %86.80 ağırlık verimi ve %98.35 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %29.53 kül içeriği ile bağlayıcı sıvı konsantrasyonu %30 olarak seçilmiştir.

2. Pülp pH'ının aglomerasyona etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek % 76.12 ağırlık verimi ve %82.39 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %12.39 kül içeriği pülp pH'ı 2 de

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %86.80 ağırlık verimi ve % 98.35 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %29.52 kül içeriği pülpün ortam pH'ı 6.65 de elde edilmiştir.

3. Katı oranının aglomerasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek %76.13 ağırlık verimi ve %82.42 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %12.39 kül içeriği %3.6 katı oranında,

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %86.80 ağırlık verimi ve %98.34 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %29.53 kül içeriği %3.6 katı oranında elde edilmiştir.

4. Aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; optimum sonuçlar %85.40 ağırlık verimi, %94.07 yanabilir kısım verimi değerleri ve %10.8 kül içeriği 25 dakikada,

Samsun/Havza linyitinde; optimum sonuçlar %86.80 ağırlık verimi, %98.34 yanabilir kısım verimi değerleri ve %29.53 kül içeriği 15 dakikada elde edilmiştir.

5. Tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; optimum sonuçlar %85.40 ağırlık verimi, %94.07 yanabilir kısım verimi değerleri ve %10.82 kül içeriği -500 µm tane boyutunda

Samsun/Havza linyitinde; optimum sonuçlar %86.80 ağırlık verimi, %98.34 yanabilir kısım verimi değerleri ve %29.53 kül içeriği -500 µm tane boyutunda elde edilmiştir.

## 7. FLOTASYON DENEY SONUÇLARI

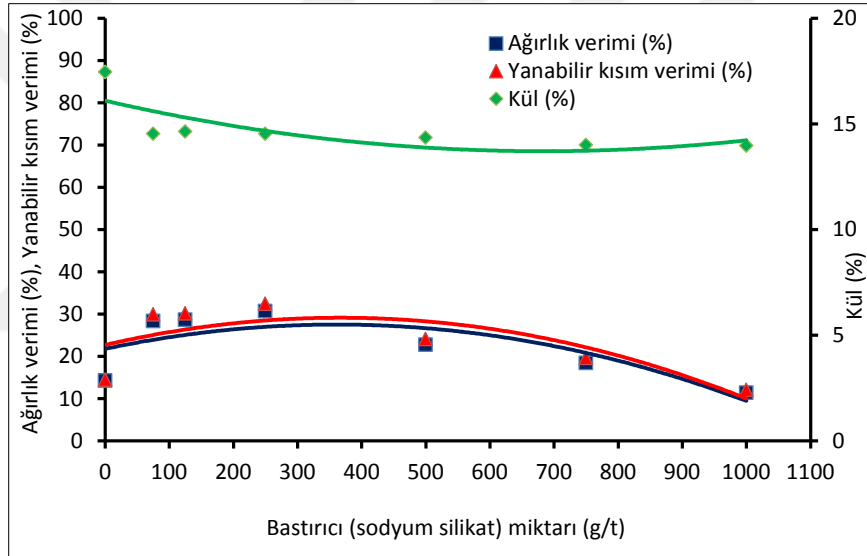
Bu bölümde Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömürlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde; bastırıcı olarak sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak (MIBC) miktarının, pülp pH'ı, katı oranı, flotasyon süresi ve tane boyutunun flotasyon performansına etkisi incelenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

### 7.1 Bastırıcı (sodyum silikat) Miktarının Etkisi

Kül oluşturan mineral maddeleri kömürden uzaklaştırmak (seçimliliği arttırmak) için deneylerde bastırıcı olarak sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılmıştır.

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerde, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının etkisi 0, 75, 125, 250, 500, 750 ve 1000 g/t miktarlarında incelenmiştir. Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.1'de verilmiştir.



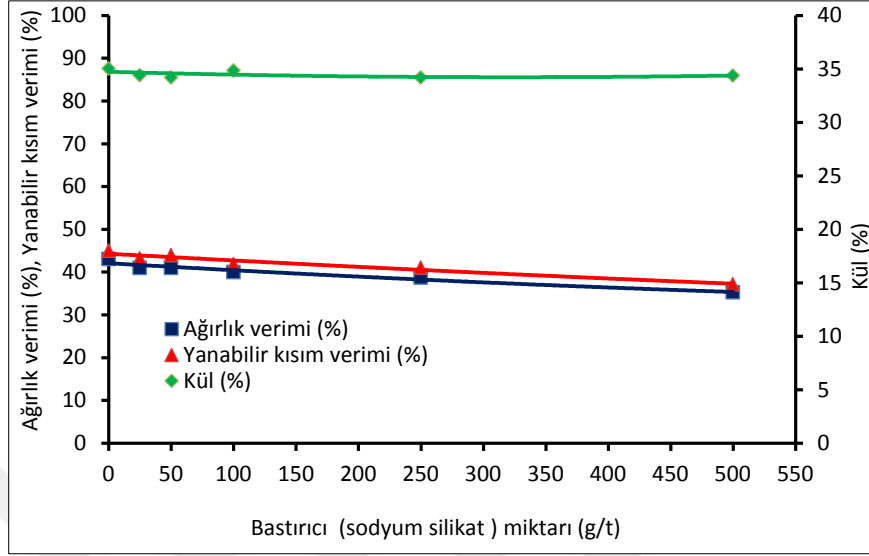
**Şekil 7.1** Sivas/Gemerek linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi

(Gazyağı miktarı: 500 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 5.50; katı oranı: %10; flotasyon süresi:5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; 250 g/t miktarına kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı bu değerden sonra azaldığı görülmektedir. Kül içeriğinin ise sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek %30.75 ağırlık verimi ve %32.47 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %14.53 kül içeriği 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarında elde edilmiştir.

Samsun/Havza linyitinde:

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının etkisi 0, 25, 50, 100, 250 ve 500 g/t miktarlarında incelenmiştir. Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.2’de verilmiştir.



**Şekil 7.2** Samsun/Havza linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının flotasyon performansına etkisi

(Gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 6.65; katı oranı: %10; flotasyon süresi:5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kül içerikleri incelendiğinde; 50 g/t değerine kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı bu değerden sonra azaldığı görülmektedir. Kül içeriğinin ise sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarına bağlı olarak pek fazla değişmediği ve 50 g/t miktarında kullanıldığında en düşük %34.20 değerinde olduğu görülmektedir. En yüksek %41.00 ağırlık verimi, %43.96 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %34.20 kül içeriği 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarında elde edilmiştir.

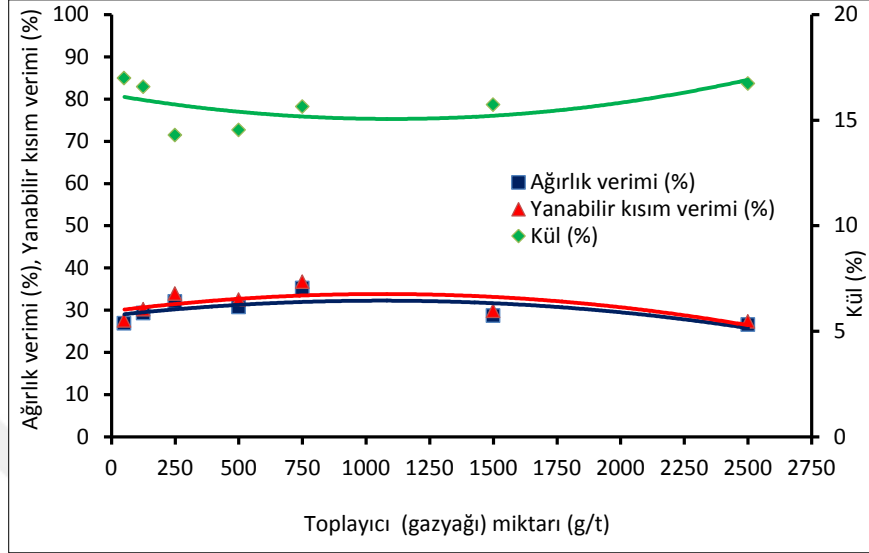
## 7.2 Toplayıcı (gazyağı) Miktarının Etkisi

Toplayıcı reaktifler; mineral yüzeyine bağlanarak yüzeyi hidrokarbon tabakası ile kaplayan ve mineralin hava kabarcığına yapışmasını sağlayan kimyasal maddelerdir. Linyit kömürü flotasyon deneylerinde toplayıcı reaktif olarak; düşük viskozite ve yüzey gerilimine sahip, saf parafin içeren ticari bir yağ olan gazyağı kullanılmıştır.



Sivas/Gemerek linyiti:

Deneyleerde, gazyağı miktarının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılarak 50, 125, 250, 500, 750, 1500 ve 2500 gr/t miktarlarında incelenmiştir. Gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.3'de verilmiştir.

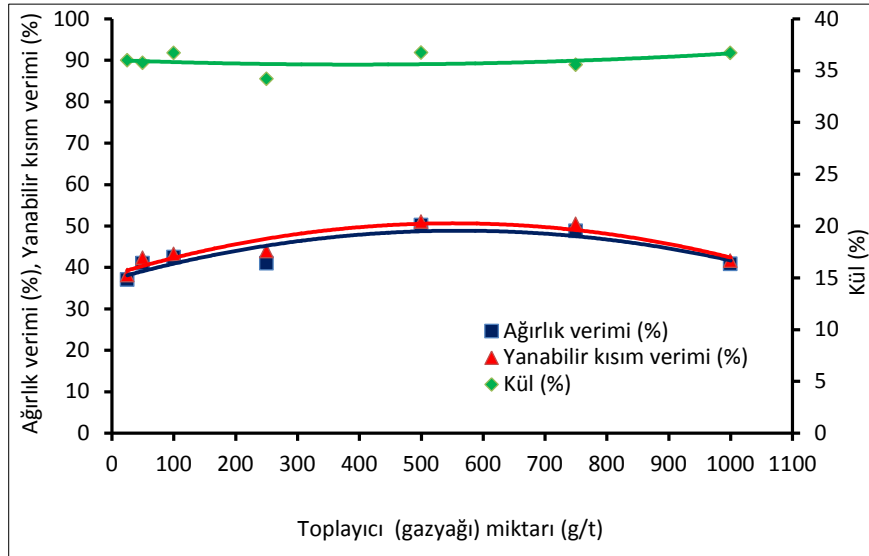


**Şekil 7.3** Sivas/Gemerek linyiti gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı:100 g/t; pülp pH'ı 5.50; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Gazyağı miktarına bağlı olarak ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerleri ve kl içerikleri incelendiğinde; 250 g/t miktarında ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi değerlerinin ve kl içeriğinin en uygun olduğu gözlenmiştir. %32.06 ağırlık verimi ve %33.95 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %14.29 kül içeriği 250 g/t gazyağı miktarında elde edilmiştir.

Samsun/Havza linyiti:

Deneyleerde, gazyağı miktarının etkisi 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılarak 25, 50, 100, 250, 500, 750 ve 1000 g/t miktarlarında incelenmiştir. Gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.4' de verilmiştir.



**Şekil 7.4** Samsun/Havza linyiti gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; MIBC miktarı:100 g/t; pülp pH'ı 6.65; katı oranı:%10; flotasyon süresi:5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Gazyağı miktarının ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi üzerindeki etkisi incelendiğinde; 750 g/t miktarına kadar ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı 1500 g/t değerinde azaldığı görülmektedir. Gazyağı miktarı arttıkça ağırılık verimindeki artış kömür tanecik yüzeylerinin hidrofobitesinin artmasıyla açıklanabilir. Kül içeriğine etkisi incelendiğinde 50 g/t miktarına kadar azaldığı bu değerden sonra arttığı,750 g/t değerinde en düşük kül içeriğine ulaştığı gözlenmiştir. 750 g/t gazyağı miktarında %48.78 ağırılık verimi, %50.53 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %35.57 kül içeriği elde edilmiştir.

### 7.3 Köpürtücü (metil isobütil karbinol) Miktarının Etkisi

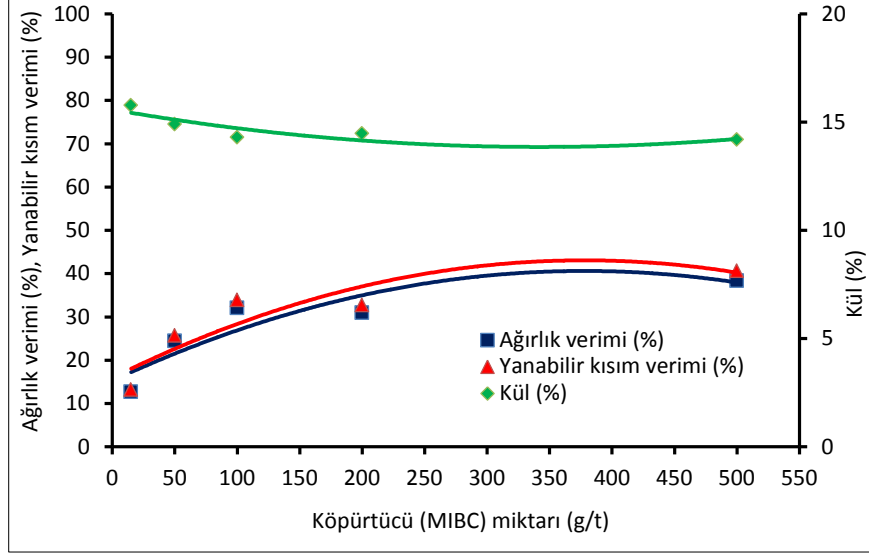
Köpürtücüler hidrokarbon grup ve bir polar gruptan oluşan nötral moleküllerdir. Bu özellikleri nedeniyle köpürtücü molekülleri hem havaya hem de suya ilgi duyar. Köpürtücülerin flotasyondaki görevi köpük oluşturarak hava-su ara yüzey gerilimini azaltmak ve kabarcıkların birleşmesini engellemektir.

Flotasyon da, ince kabarcıkların oluşmasını sağlamak, köpüğü stabil tutmak ve tanecik-kabarcık temasını arttırmak için köpürtücü kullanılır.

Deneylerde, köpük oluşturmak, köpüğün direncini ve tanecik-kabarcık temasını arttırmak, bazı minerallere hava kabarcığına ilişecek yüzey özelliğinin kazandırılması ile köpükte taşınabilmesini sağlamak için inorganik kimyasal olan metil isobütil karbinol (MIBC) kullanılmıştır.

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerde, metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının etkisi, 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve 250 g/t gazyağı kullanılarak 15, 50, 100, 200 ve 500 g/t miktarlarında incelenmiştir. Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.5'de verilmiştir.



**Şekil 7.5** Sivas/Gemerek linyiti metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisi

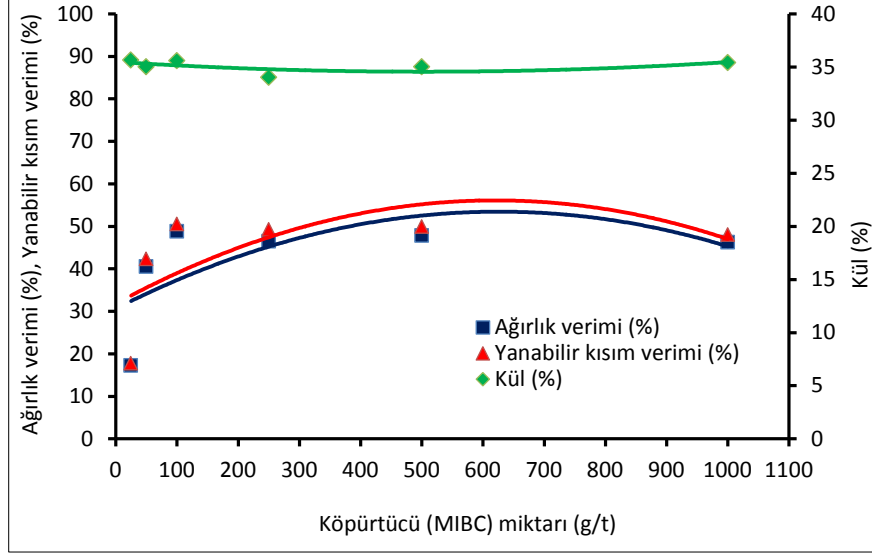
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı:250 g/t; pülp pH'ı 5.50; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; 100 g/t miktarına kadar ağırlık verim ve yanabilir kısım veriminin arttığı bu değerden sonra azaldığı görülmektedir. Kül içeriğinin metil isobütil karbinol (MIBC) miktarına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Kül içeriği 500 g/t miktarın da en fazla düşüş göstermiş olsa da ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin bu aralıkta azaldığı göz önüne alınarak optimum sonuç 100 g/t olarak belirlenmiştir. 100 g/t gazyağı miktarında %32.06 ağırlık verimi ve %33.95 yanabilir kısım verimi değerleri, %14.29 kül içeriği elde edilmiştir.

Yeşilyurt (2014) optimum köpürtücü miktarını belirlemek için 0, 12.5, 25, 50, 75, 100 g/t miktarlarında MIBC ile flotasyon deneyleri yapmıştır. 75 g/t ve daha düşük köpürtücü miktarlarında stabil köpük elde edilemediğini, birleşme ve kabarcık patlaması nedeniyle konsantrenin toplanamadığını saptamıştır.100 g/t MIBC miktarının optimum koşulu sağladığını ve %78 yanabilir kısım veriminin elde edildiğini belirtmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneylerde, metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının etkisi, 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve 750 g/t gazyağı kullanılarak 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 g/t miktarlarında incelenmiştir. MIBC miktarının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.6' da verilmiştir.



**Şekil 7.6** Samsun/Havza linyiti metil isobütül karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisi

( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı:750 g/t; pülp pH'ı 6.65; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Metil isobütül karbinol (MIBC) miktarına bağlı olarak kül içeriği incelendiğinde; en düşük kül içeriğinin %34.01 değeri ile 250 g/t MIBC kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. 250 g/t MIBC miktarında %46.44 ağırlık verimi ve %49.27 yanabilir kısım verimi değerleri elde edilmiştir.

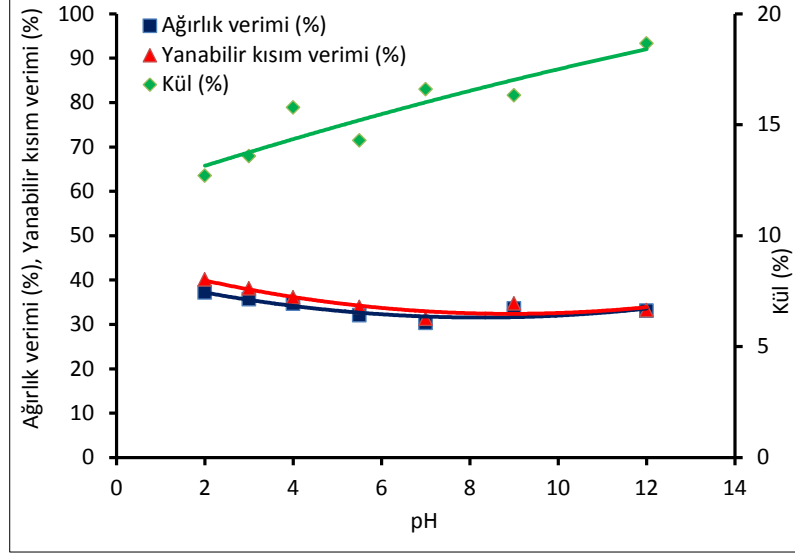
Naik ve ark. (2005), yaptıkları çalışma sonucunda köpürtücü miktarı arttıkça kabarcıkların birleşmesinde azalma olduğunu daha küçük boyutlarda kabarcıkların oluştuğunu belirtmişlerdir.

#### 7.4 Pülp pH'ının Etkisi

Flotasyonda pülp pH'ı, seçimliliği arttıran önemli parametrelerdendir. pH değerlerini ayarlamak için %5 lik çözeltiler halinde hazırlanmış sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ve sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılmıştır.

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerinde; pülp pH'ının etkisi, 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı ve 100 g/t metil isobütül karbinol (MIBC) kullanılarak 2, 3, 4, 7, 9 ve 12 de incelenmiştir. Pülpün ortam pH'ı 5.50 olarak ölçülmüştür. Pülp pH'ın flotasyon performansına etkisi Şekil 7.7' de verilmiştir.

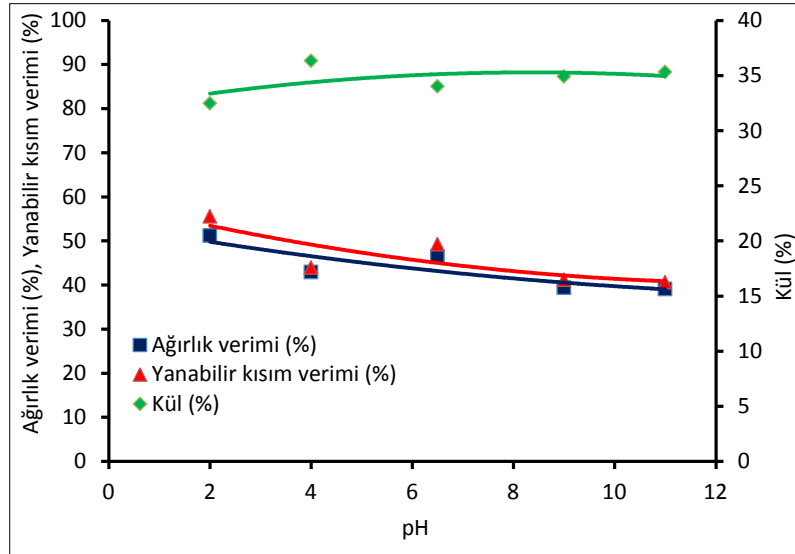


**Şekil 7.7** Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı:250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; katı oranı:%10; flotasyon süresi:5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Pülp pH' ına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; pH arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı, kül içeriğinin ise arttığı görülmüştür. pH 2'de en yüksek %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %12.70 kül içeriği elde edilmiştir. En uygun pülp pH'ı değeri pH 2 olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneylerde, pülp pH' ının etkisi, 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 750 g/t gazyağı ve 250 g/t metil isobütül karbinol (MIBC) kullanılarak, 2, 4, 9 ve 11 de incelenmiştir. Pülpün ortam pH'ı 6.65 olarak ölçülmüştür. Pülp pH' ının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.8' de verilmiştir.



**Şekil 7.8** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50g/t; gazyağı miktarı:750 g/t; MIBC miktarı 250 g/t; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Pülp pH' ına bağılı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; pH arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin düştüğü, kül içeriğinin ise arttığı görülmüştür. pH 2'de en yüksek %51.21 ağırlık verim ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %32.48 kül içeriği elde edilmiştir. En uygun pülp pH değeri, pH 2 olarak seçilmiştir.

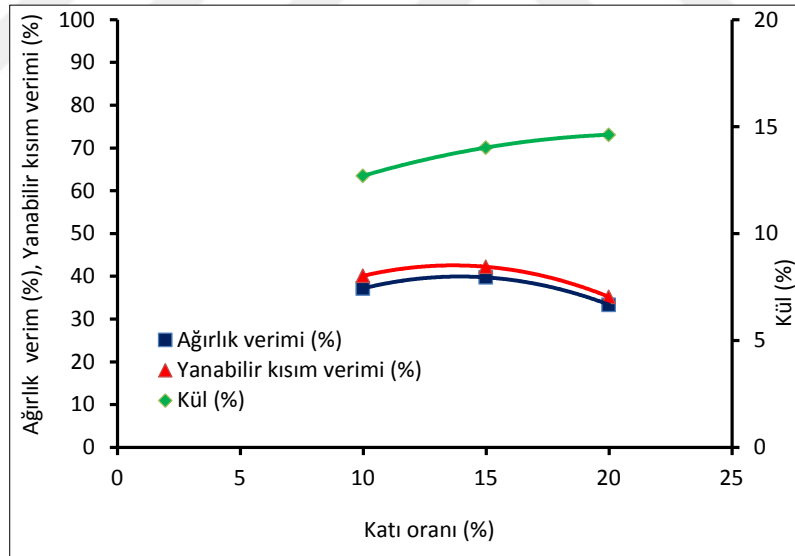
Yüksek pH'larda ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin düşmesinin nedeni gazyağı damlacıkları ile kömür tanecikleri arasında elektrostatik itme kuvvetleri sonucu gazyağı adsorpsiyonunun azalmasına dayandırılmıştır. Genellikle yüksek pH'larda gazyağı damlacıkları negatif elektrik yüküne sahiptir (Osborne, 1990).

### 7.5 Katı Oranının Etkisi

Katı oranı tanelerin birbirleriyle ve hava kabarcıklarıyla çarpışmalarını etkilediğinden flotasyonda verim ve seçimliliği etkileyen, flotasyon selüllerinin hacmini ve sayılarını belirleyen önemli parametrelerden biridir.

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerde, katı oranının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı, 100 g/t metil isobütül karbinol (MIBC) kullanılarak pülp pH'ı 2 de %10, %15 ve %20 katı oranlarında incelenmiştir. Katı oranının flotasyon performansına etkisi Şekil 7.9' da verilmiştir.

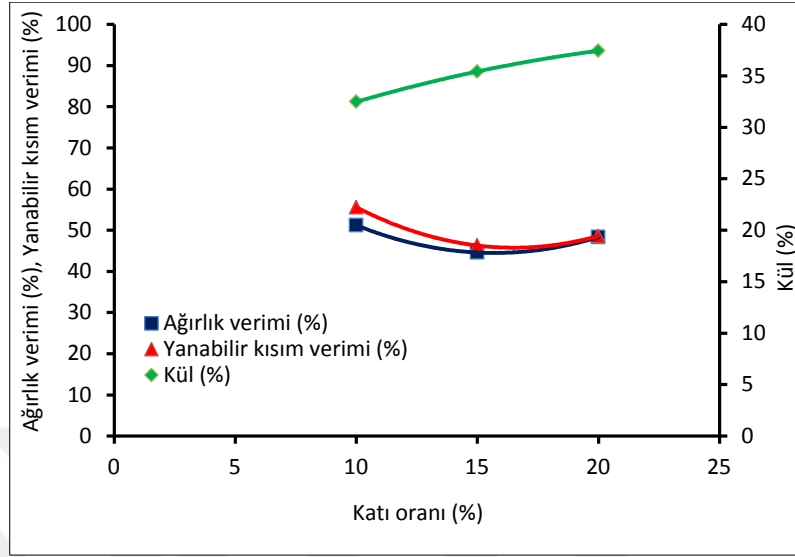


**Şekil 7.9** Sivas/Gemerek linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Katı oranına bağılı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; katı oranı arttıkça ağırlık verimi değerleri azalmakta, yanabilir kısım verimi değerleri %15 katı oranına kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır. Kül içeriği incelendiğinde, %10 katı oranından sonra artmaktadır. Bu nedenle %10 katı oranı, %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri, %12.70 kül içeriği ile en uygun katı oranı olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneyleerde, katı oranının etkisi 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 750 g/t gazyağı, 250 g/t metil isobütıl karbinol (MIBC) kullanılarak pülp pH'ı 2 de %10, %15 ve %20 katı oranlarında incelenmiştir. Katı oranın flotasyon performansına etkisi Şekil 7.10' da verilmiştir.



**Şekil 7.10** Samsun /Havza linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı:750 g/t; MIBC miktarı 250 g/t; pülp pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Katı oranına bağılı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; katı oranı arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı kül içeriğinin ise arttığı görülmüştür. Bu nedenle %10 katı oranı, %51.21 ağırlık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri, %32.48 kül içeriği ile en uygun katı oranı olarak seçilmiştir.

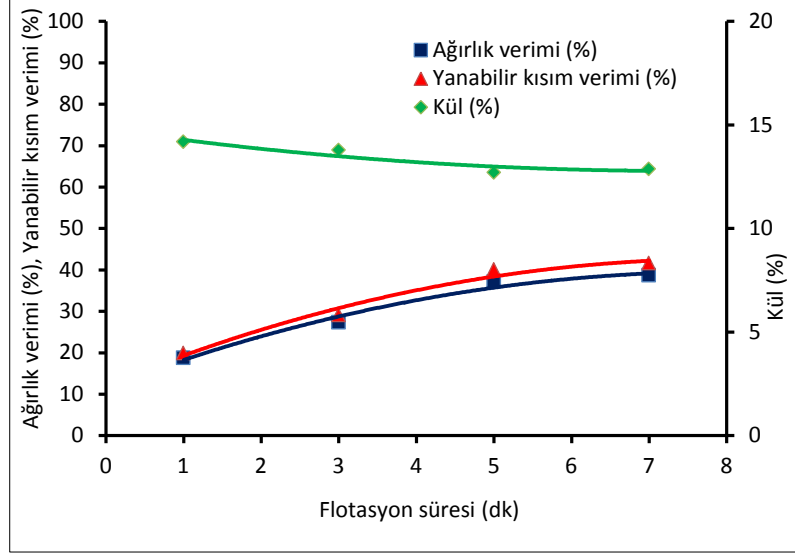
Akdemir ve Sönmez, (2003); yapmış oldukları çalışmalarında farklı katı oranlarında gerçekleştirilen deneyleerde, en iyi sonuçlara %10-%15 katı oranlarında ulaşmışlardır.%20 katı oranında konsantredeki kül içeriğinin arttığı ve ağırlık veriminin düştüğünü kaydetmişlerdir.

Ateşok, (2009) optimum katı oranın %12-%15 civarında olduğunu, temiz kömür konsantrelerinin ancak düşük katı oranlarında elde edileceğini belirtmiştir.

## 7.6 Flotasyon Süresinin Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti:

Deneyleerde, flotasyon süresinin etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı, 100 g/t metil isobütıl karbinol (MIBC), pülp pH'ı 2 de ve %10 katı oranında 1, 3, 5 ve 7 dakika flotasyon sürelerinde incelenmiştir. Flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi Şekil 7.11'de verilmiştir.



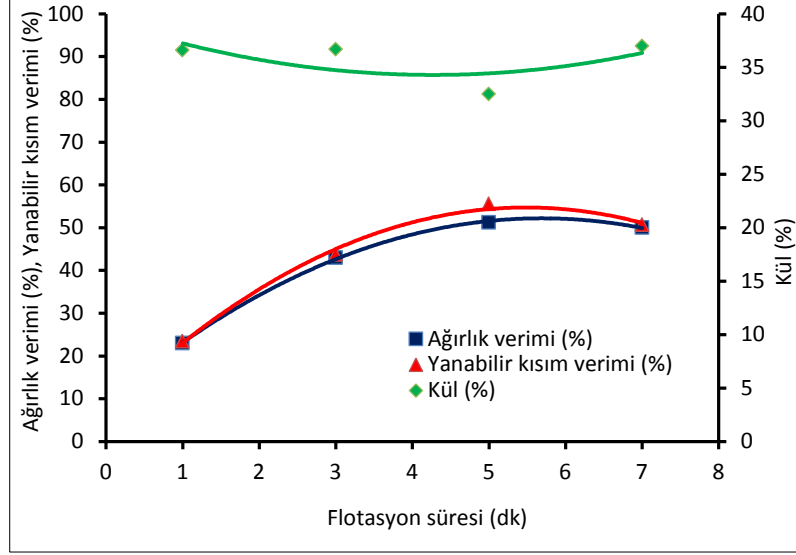
**Şekil 7.11** Sivas/Gemerek linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı:250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH' ı 2; katı oranı: %10; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Flotasyon süresine bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; 7 dakika flotasyon süresine kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri artmakta, kül içeriği ise azalmaktadır. Ancak flotasyon süresindeki amaç maksimum ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerine ulaşmak olsa da ekonomik açıdan değerlendirildiğinde 5 dakika ve 7 dakika flotasyon değerleri arasında kayda değer bir farklılık olmadığından 5 dakika en uygun flotasyon süresi olarak seçilmiştir. 5 dk flotasyon süresinde %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değeri ve kül %12.70 içeriği elde edilmiştir. Optimum flotasyon süresi 5 dakika olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneylerde, flotasyon süresinin etkisi 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 750 g/t gazyağı, 250 g/t metil isobütül karbinol (MIBC), pülp pH'ı 2 de ve %10 katı oranında 1, 3, 5 ve 7 dakika sürelerinde incelenmiştir. Flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi Şekil 7.12'de verilmiştir.





**Şekil 7.12** Samsun/Havza linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı:750 g/t; MIBC miktarı 250 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı: %10; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

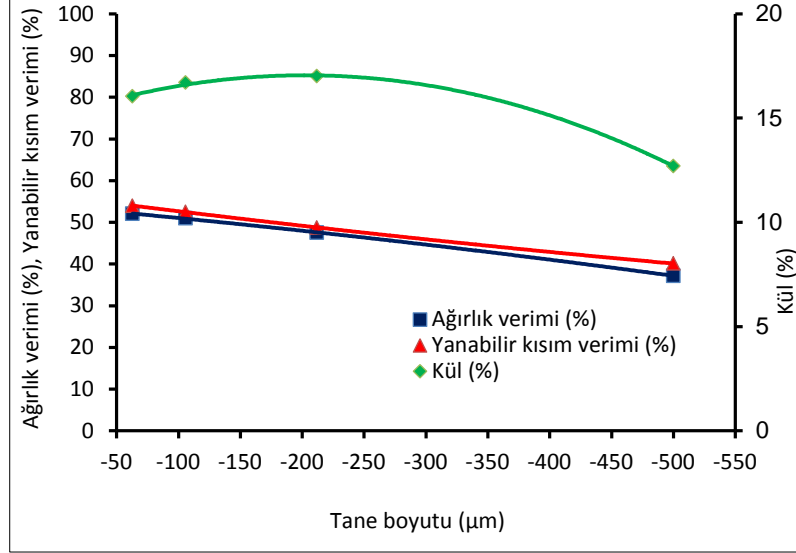
Flotasyon süresine bağlı olarak ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; 5 dakika flotasyon süresine kadar ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri artmakta bu değerden sonra azalmaktadır. Kül içeriğinin ise 5 dakikada en düşük değerde olduğu görülmektedir. En yüksek %51.21 ağırılık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %32.48 kül içeriğinin olduğu 5 dakika optimum flotasyon süresi olarak seçilmiştir.

Flotasyon süresi arttıkça yanabilir kısım verimin arttığı, kül içeriğinde ise önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Ağırılık verimi ve yanabilir kısım verim dikkate alındığında flotasyon işleminin büyük bir kısmı 5 dakikada tamamlanmıştır. Bu durum hidrofobluğu düşük kömürlerin geç yüzdüğünü göstermektedir.

### 7.7 Tane Boyutunun Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti:

Deneylerde, tane boyutunun etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı, 100 g/t metil isobütil karbinol (MIBC), pülp pH'ı 2 de ve %10 katı oranında -500, -212, -106 ve -63  $\mu\text{m}$  tane boyutlarında incelenmiştir. Tane boyutunun flotasyon performansına etkisi Şekil 7.13' de verilmiştir.



**Şekil 7.13** Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika)

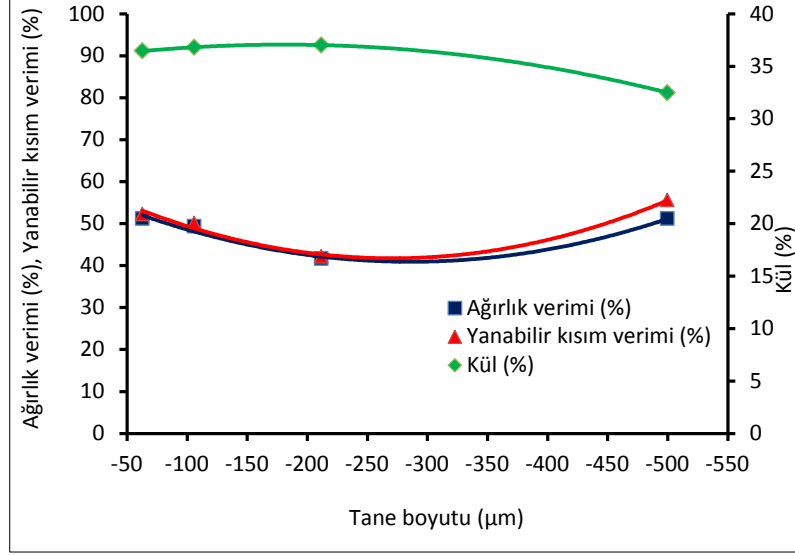
Tane boyutuna bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; tane boyutu küçüldükçe ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı ancak kül içeriğinin de arttığı görülmektedir. Bu nedenle %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri, %12.70 kül içeriğinin elde edildiği optimum tane boyutu -500 µm olarak seçilmiştir.

Laskowski, (2001) kömür flotasyonu çalışmalarında, iri tane boyutundaki kömür partiküllerinin seçimli olarak kazanıldığı, düşük verimlerle yüzdüğü, daha küçük tane boyutundaki partiküllerin ise yüksek verimle kazanıldığı ancak düşük seçimlilik gösterdiğini belirtmiştir.

Sönmez, (2006) düşük tane boyutunda seçimliliğin düşük olmasının nedenini, kabarcıklar arasındaki suda küçük boyutlu partiküllerin askıda kalması ve su ile sürüklenerek kazanılmasına dayandırmıştır.

Samsun/Havza linyiti;

Deneylerde, tane boyutunun etkisi 50 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 750 g/t gazyağı, 250 g/t metil isobütil karbinol (MIBC), pülp pH'ı 2 de ve %10 katı oranında -500, -212, -106 ve -63 µm tane boyutlarında incelenmiştir. Tane boyutunun flotasyon performansına etkisi Şekil 7.14' de verilmiştir.



**Şekil 7.14** Samsun/Havza linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı:750 g/t; MIBC miktarı 250 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika)

Tane boyutuna bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; tane boyutu küçüldükçe ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı, kül içeriğinin de arttığı görülmektedir. Bu nedenle; %51.21 ağırlık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verim değerleri, %32.48 kül içeriğinin elde edildiği optimum tane boyutu -500 µm olarak seçilmiştir.

## 7.8 Flotasyon Deney Sonuçları

Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinde yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar:

1. Bastırıcı olarak kullanılan sodyum silikat miktarının ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde optimum sonuçlar, %30.75 ağırlık verimi, %32.47 yanabilir kısım verimi ve %14.53 kül içeriği ile 250 gr/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı

Samsun/Havza linyitinde optimum sonuçlar, %40.42 ağırlık verimi, %43.96 yanabilir kısım verimi değerleri ve %35.51 kül içeriği ile 50 gr/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarında elde edilmiştir.

2. Toplayıcı olarak kullanılan gazyağı miktarının flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en uygun %32.06 ağırlık verimi ve %33.95 yanabilir kısım verimi ve en düşük %14.29 kül içeriği ile 250 gr/t gazyağı miktarı

Samsun/Havza linyitinde; en uygun %48.78 ağırlık verimi ve %50.53 yanabilir kısım verimi değerleri ve %35.57 kül içeriği ile 750 gr/t gazyağı miktarı seçilmiştir.

3. Köpürtücü olarak kullanılan metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek %32.06 ağırlık verimi ve %33.95 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %14.29 kül içeriği 100 gr/t metil isobütil karbinol (MIBC) miktarında

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %46.44 ağırlık verimi ve %49.27 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %34.01 kül içeriği 250 gr/t metil isobütil karbinol (MIBC) miktarında elde edilmiştir.

4. Pülp pH' ının flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri, en düşük %12.70 kül içeriği pülp pH'ı 2'de

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %51.21 ağırlık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verimi, en düşük %32.48 kül içeriği pülp pH'ı 2 de elde edilmiştir.

5. Katı oranının flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %12.70 kül içeriği ile %10 katı oranında

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %51.21 ağırlık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %32.48 kül içeriği ile %10 katı oranında elde edilmiştir.

6. Flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en yüksek %37.18 ağırlıklı verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %12.70 kül içeriği 5 dakika flotasyon süresinde

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %51.21 ağırlık verimi ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %32.48 kül içeriği 5 dakika flotasyon süresinde elde edilmiştir.

7. Tane boyutunun flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; en uygun %37.18 ağırlık verimi ve %40.11 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %12.70 kül içeriği -500 µm tane boyutunda

Samsun/Havza linyitinde; en yüksek %51.21 ağırlık verim ve %55.59 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %32.48 kül içeriği -500 µm tane boyutunda elde edilmiştir.

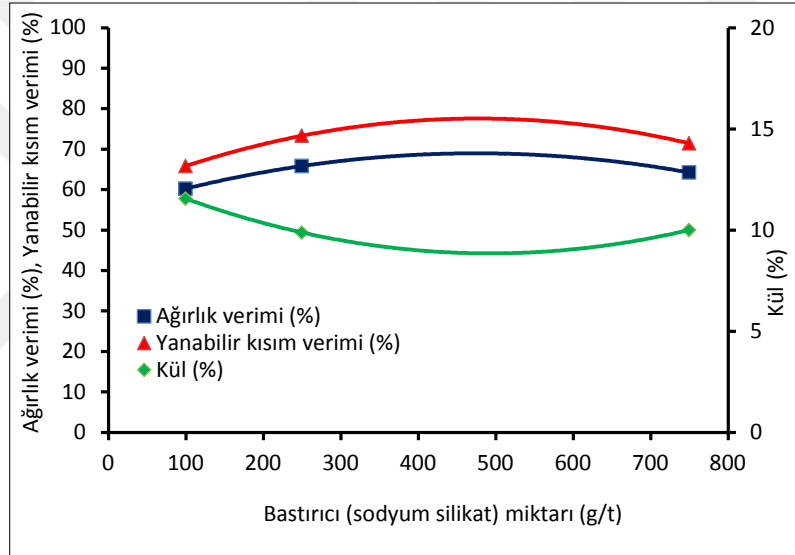
## 8. AGLOFLOTASYON DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinin aglomerasyon ve flotasyon deneylerinden sonra yapılan agloflotasyonda; bastırıcı olarak sodyum silikat, toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak (MIBC) miktarları, pülp pH'ı ve katı oranının agloflotasyon performansına etkileri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

### 8.1 Bastırıcı (sodyum silikat) Miktarının Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti:

Deneylede, aglomerasyon aşamasında ilave edilen sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının etkisi 100, 250 ve 750 g/t miktarlarında incelenmiştir. Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.1' de verilmiştir.



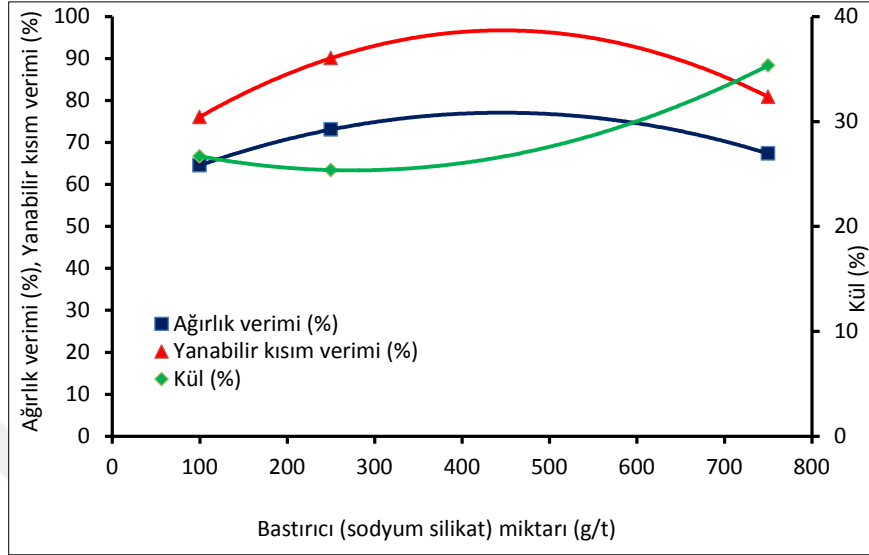
**Şekil 8.1** Sivas/Gemerek sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu %30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$   
Gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; 250 g/t miktarına kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı bu değerden sonra azaldığı; kül içeriğinin ise 250 g/t miktarına kadar azaldığı daha sonra sabit olduğu görülmektedir. Bu nedenle; %66.22 ağırlık verimi, %73.64 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve %10.01 kül içeriğinin elde edildiği en uygun sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı 250 g/t olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneyleerde, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının etkisi 100, 250 ve 750 g/t miktarlarında incelenmiştir. Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.2' de verilmiştir.



**Şekil 8.2** Samsun/Havza linyiti sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülpün pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$   
Gazyağı miktarı: 750 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

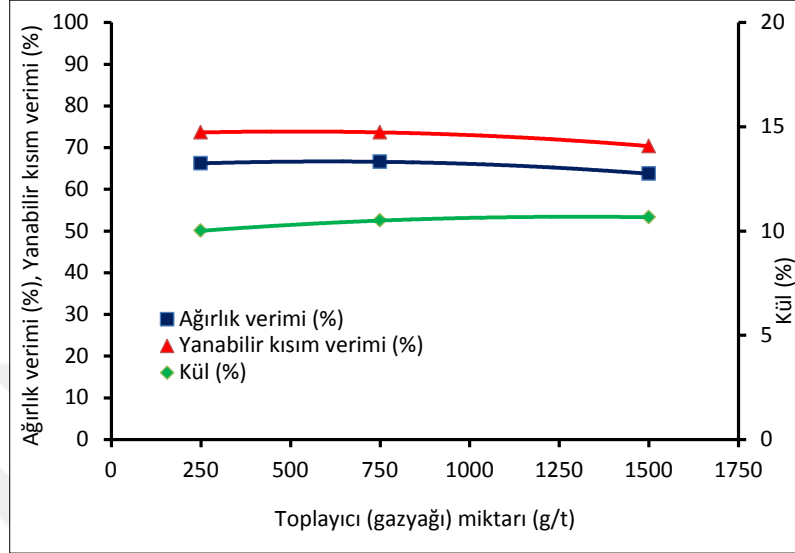
Sodyum silikat miktarına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; 250 g/t miktarına kadar ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı bu değerden sonra azaldığı; kül içeriğinin de önce azaldığı bu değerden sonra arttığı görülmektedir. En yüksek %73.08 ağırlık verimi ve %90.09 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve en düşük %25.37 kül içeriğinin elde edildiği 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı optimum olarak seçilmiştir.

Canpolat, (2003) sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyona etkisini belirlemek için yapmış olduğu çalışmada, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarı arttıkça yanabilir verim ve kül içeriğinde düşüşler olduğunu belirtmiştir. Agloflotasyonda sodyum silikatın ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) aglomerasyon aşamasında eklenmesinin düşük küllü konsantrelerin elde edilmesini sağladığını ve sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) miktarının agloflotasyondaki başarısının nedenini ise flotasyondaki koşullandırmada gang minerallerinin aglomerasyona göre daha iyi dağıtılmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

### 8.3 Toplayıcı (gazyağı) Miktarının Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerde, gazyağı miktarının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılarak 250, 750 ve 1500 g/t miktarlarında incelenmiştir. Gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.3' de verilmiştir.



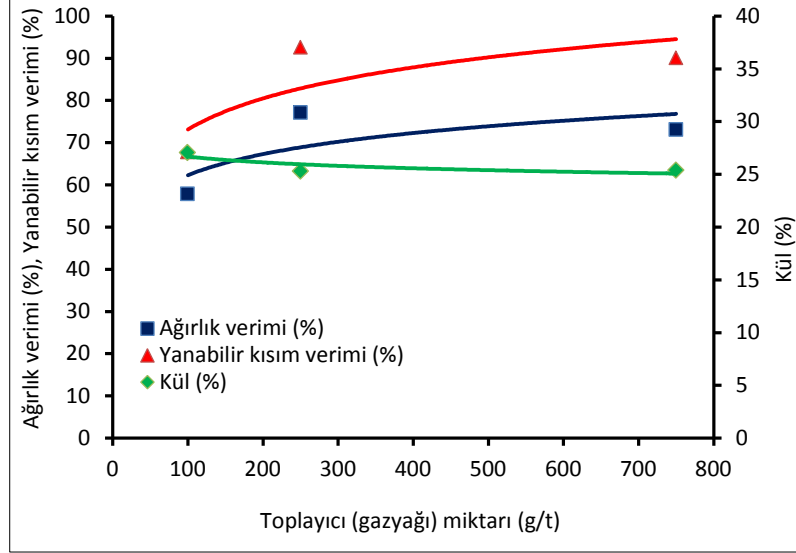
**Şekil 8.3** Sivas/Gemerek linyiti gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı türü: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$   
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi:10 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Gazyağı miktarına bağlı olarak ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; gazyağı miktarı arttıkça ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinde azalmanın olduğu, kül içeriğinde ise artışların olduğu görülmektedir. En yüksek %66.22 ağırılık verimi, %73.64 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %10.01 kül içeriğinin olduğu 250 g/t gazyağı miktarı optimum olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti:

Deneylerde, gazyağı miktarının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılarak 100, 250 ve 750 g/t miktarlarında incelenmiştir. Gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.4' de verilmiştir.

Gazyağı miktarına bağlı olarak ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; gazyağı miktarı 250 g/t miktarına kadar ağırılık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı; 750 g/t miktarında azaldığı, kül içeriğinin ise 250 g/t miktarına kadar azaldığı, bu değerden sonra arttığı görülmektedir. Bu nedenle en yüksek %77.10 ağırılık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve en düşük %25.29 kül içeriğinin elde edildiği 250 g/t gazyağı miktarı optimum olarak seçilmiştir.

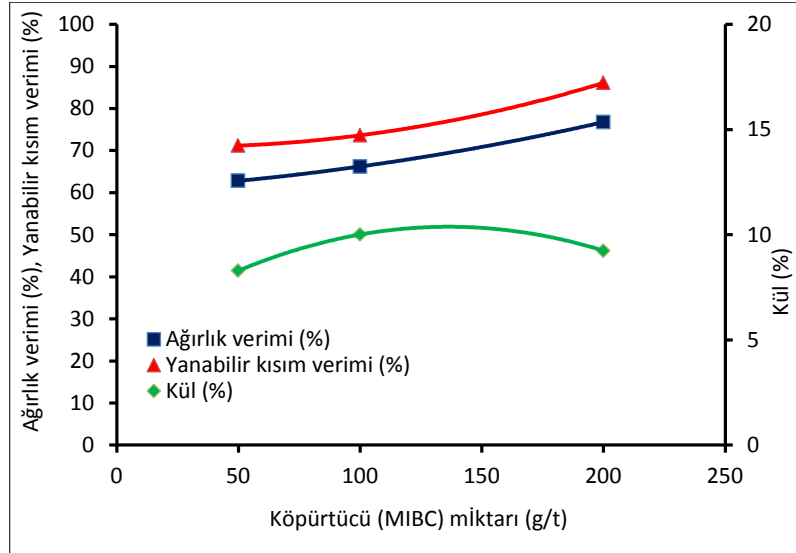


**Şekil 8.4** Samsun/Havza linyiti gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30;pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 10 dakika; tane boyutu: -500 µm)

#### 8.4 Köpürtücü (metil isobütül karbinol) Miktarının Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti:

Deneylerde, metil isobütül karbinol (MIBC) miktarının etkisi, 250 g/t sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ve 250 g/t gazyağı kullanılarak 50, 100 ve 200 g/t miktarlarında incelenmiştir. Metil isobütül karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.5'de verilmiştir.



**Şekil 8.5** Sivas/Gemerek linyiti metil isobütül karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

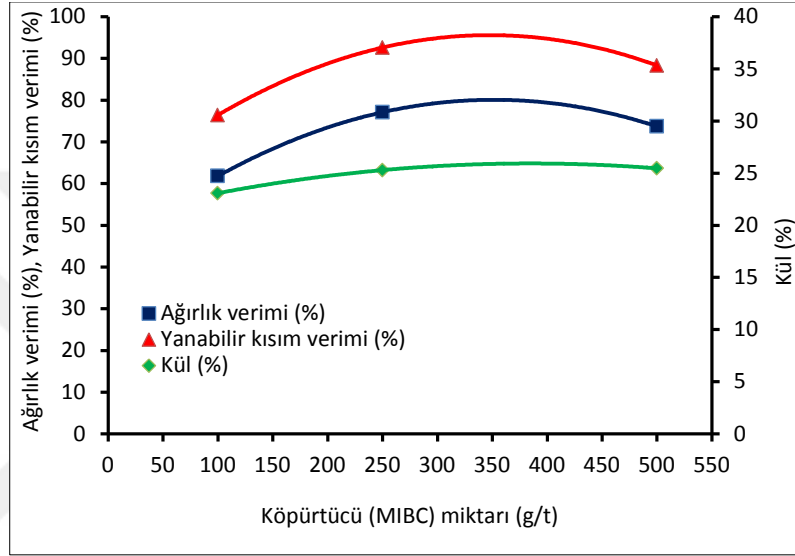
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika; tane boyutu: -500 µm Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 10 dakika; tane boyutu: -500 µm)



Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; metil iso bütil karbinol (MIBC) miktarı arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı; kül içeriğinin ise önce arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir. En yüksek %76.77 ağırlık verimi ve %86.10 yanabilir kısım verimi değeri ve en uygun %9.24 kül içeriğinin olduğu 200 g/t gazyağı miktarı optimum olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti:

Deneylede, metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve 250 g/t gazyağı kullanılarak 100, 250 ve 500 g/t miktarlarında incelenmiştir. Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.6' da verilmiştir.



**Şekil 8.6** Samsun/Havza linyiti metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

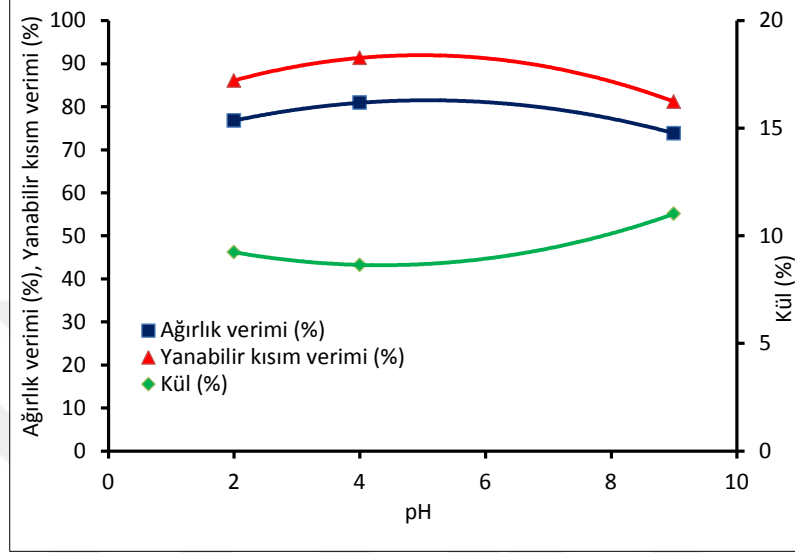
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$   
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t;pülp pH'ı 2; katı oranı:%10; flotasyon süresi: 10 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; metil isobütil karbinol (MIBC) miktarı arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verim değerlerinin arttığı daha sonra azaldığı; kül içeriğinin ise dar bir aralıkta artma eğiliminde olduğu görülmektedir. En yüksek ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri göz önüne alındığında optimum sonuçlar 250 g/t metil isobütil karbinol (MIBC) miktarında elde edilmiştir. 250 g/t miktarında en yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerleri, ve en uygun %25.29 kül içeriği elde edilmiştir.

## 8.5 Pülp pH' ının Etkisi

Sivas/Gemerek linyiti;

Deneylerde, pülp pH' ının etkisi etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı ve 200 g/t metil isobütül karbinol (MIBC) kullanılarak 2, 4 ve 9 da incelenmiştir. Pülp pH' ının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.7'de verilmiştir.

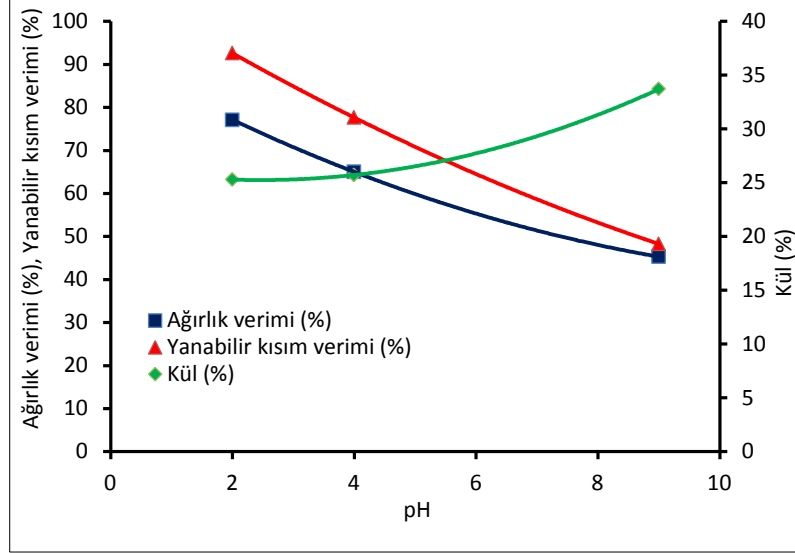


**Şekil 8.7** Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$   $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 200 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

Pülp pH' ına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; pülp pH'ı 4 de ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin arttığı, kül içeriğinin ise azaldığı görülmektedir. Bu nedenle; en yüksek %80.90 ağırlık verimi ve %91.35 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve %8.65 kül içeriğinin elde edildiği pülp pH'ı 4 olarak seçilmiştir.

Samsun/Havza linyiti;

Deneylerde, pülp pH' ının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı ve 250 g/t metil isobütül karbinol (MIBC) kullanılarak 2, 4 ve 9 da incelenmiştir. Pülp pH' ının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.10'da verilmiştir.



**Şekil 8.8** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağ (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t;MIBC miktarı: 250 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Pülp pH'ına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; pülp pH'ı 2 den sonra ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri azalmakta, kül içeriği ise artmaktadır. En yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve en düşük %25.29 kül içeriğinin elde edildiği pülp pH'ı 2 olarak seçilmiştir.

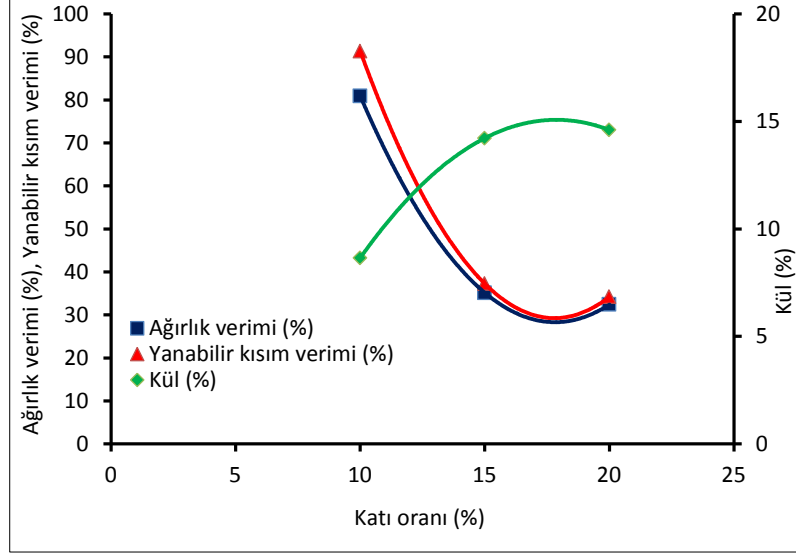
Genellikle düşük kaliteli ve okside olmuş kömürler negatif yüzey özelliklerine sahiptirler ve pH'ları 2-5 aralığındadır.

### 8.6 Katı Oranın Etkisi

Pülpün katı oranının tespit edilmesi, ortamdaki katı tanecikleri ile bağlayıcı sıvı damlacıkları arasındaki temasın, yöntem mekanizmasına etkisini belirlemek için oldukça önemlidir.

Sivas/Gemerek linyiti:

Deneylerde, katı oranının etkisi 250 g/t sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), 250 g/t gazyağı ve 250 g/t metil isobütil karbinol (MIBC) kullanılarak pülp pH'ı 4 de %10, %15 ve %20 katı oranlarında incelenmiştir. Katı oranının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.11'de verilmiştir.



**Şekil 8.9** Sivas/Gemerek linyiti katı oranının agloflotasyon performansına etkisi

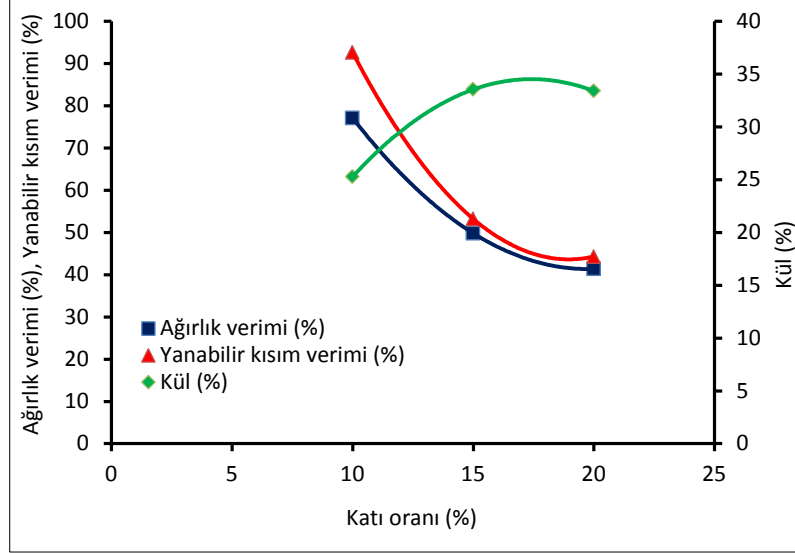
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 25 dakika; tane boyutu: -500 µm  
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t;MIBC miktarı: 200 g/t; pülp pH'ı 4; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Katı oranına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; katı oranı miktarı arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin azaldığı; kül içeriğinin ise arttığı görülmektedir. En yüksek %80.92 ağırlık verimi ve %91.35 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve en düşük %8.65 kül içeriğinin elde edildiği katı oranı %10 olarak seçilmiştir.

Katı oranına bağlı olarak elde edilen konsantrelerin kül içeriklerinin yüksek olması aglomerasyon aşamasında aglomeratlar arasında ve yüzeyine yapışarak kalan minerel tanelerinin flotasyon aşamasında köpükle taşınmasına dayandırılabilir.

Samsun/Havza linyiti:

Deneylerde, katı oranının etkisi 250 g/t sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 250 g/t gazyağı ve 200 g/t metil isobütil karbinol (MIBC) kullanılarak pülp pH'ı 2 de %10, %15 ve %20 katı oranlarında incelenmiştir. Katı oranının agloflotasyon performansına etkisi Şekil 8.12' de verilmiştir.



**Şekil 8.10** Samsun/Havza linyiti katı oranının agloflotasyon performansına etkisi (Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dakika; tane boyutu: -500 µm (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı:250 g/t; pülp pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

Katı oranına bağlı olarak ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri incelendiğinde; katı oranı arttıkça ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerleri azalmakta ve kül içeriği ise artmaktadır. En yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerlerinin ve en düşük %25.29 kül içeriğinin elde edildiği katı oranı olarak %10 seçilmiştir.

Yüksek katı oranlarında ağırlık veriminin düşmesi; karıştırma hızının yetersizliği, tanelerin birbirleriyle ve mikroaglomeratlarla çarpışması sonucu kısmen ufalanmasına dayandırılmıştır.

Katı oranı arttıkça kül içeriğinin artması; yüksek katı oranlarında, kömür tanecikleri arasında istenmeyen emprütelerin yer alması, ağırlık verimi ve yanabilir kısım verimi değerlerinin düşmesi; aglomerasyon aşamasında ilave edilen bağlayıcı sıvının aglomerat oluşumu için yetersiz kalması ile açıklanabilir.

### 8.7 Agloflotasyon Deney Sonuçları

Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyitlerinde yapılan agloflotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar:

1. Sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) miktarının agloflotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Sivas/Gemerek linyitinde; 250 gr/t miktarında en yüksek %66.22 ağırlık verimi ve %73.64 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %10.01 kül içeriği

Samsun/Havza linyitinde; 250 gr/t miktarında en yüksek %73.08 ağırlık verimi, %90.09 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %25.37 kül içeriği elde edilmiştir.

2. Gazyağı miktarının agloflotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;  
Sivas/Gemerek linyitinde; 250 gr/t gazyağı miktarında en yüksek %66.03 ağırlık verimi ve %73.64 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %10.01 kül içeriği  
Samsun/Havza linyitinde; 250 gr/t gazyağı miktarında en yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %25.29 kül içeriği elde edilmiştir.

3. Metil isobütil karbinol (MIBC) miktarının agloflotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;  
Sivas/Gemerek linyitinde; 200 gr/t miktarında en yüksek %76.77 ağırlık verimi ve %86.10 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %9.24 kül içeriği  
Samsun/Havza linyitinde; 250 gr/t miktarında en yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %25.29 kül içeriği elde edilmiştir.

4. Pülp pH' ının agloflotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;  
Sivas/Gemerek linyitinde; pülp pH'ı 4 de en yüksek %80.92 ağırlık verimi ve %91.35 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük kül %8.65 içeriği  
Samsun/Havza linyitinde; pülp pH'ı 2 de en yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %25.29 kül içeriği elde edilmiştir.

5. Katı oranının agloflotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;  
Sivas/Gemerek linyitinde; %10 katı oranında en yüksek %80.92 ağırlık verimi ve %91.35 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %8.65 kül içeriği  
Samsun/Havza linyitinde; %10 katı oranında en yüksek %77.10 ağırlık verimi ve %92.60 yanabilir kısım verimi değerleri ve en düşük %25.29 kül içeriği elde edilmiştir.

## 9.SONUÇLAR

### Sivas/Gemerek linyiti

Aglomerasyonunda en yüksek ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği optimum proses parametreleri; motor yağı (0w-30), %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, pülp pH'ı 2, %3.6 katı oranı, 25 dakika aglomerasyon süresi ve -500 µm tane boyutu olarak belirlenmiştir. İncelenen aglomerasyon proses parametreleri sonucunda kül içeriği %85.40 ağırlık verimi,%94.11 yanabilir kısım verimi ile ,%19.08'den %10.82'ye düşürülmüştür.

### Samsun/Havza linyiti

Aglomerasyonunda en yüksek ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği optimum proses parametreleri; motor yağı (0w-30), %30 bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, pülpün ortam pH' ı 6.65, %3.6 katı oranı, 15 dakika aglomerasyon süresi ve -500 µm tane boyutu olarak belirlenmiştir. İncelenen aglomerasyon proses parametreleri sonucunda kül içeriği %86.80 ağırlık verimi,%98.34 yanabilir kısım verimi ile,%37.81'den %29.53' e düşürülmüştür.

### Sivas/Gemerek linyiti

Flotasyonunda optimize edilen proses parametreleri; 250 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 250 g/t gazyağı,100 g/t MIBC, pülp pH'ı 2, %10 katı oranı, 5 dakika flotasyon süresi ve -500 µm tane boyutudur. İncelenen proses parametreleri socunda kül içeriği; %37.18 ağırlık verimi,% 40.11 yanabilir kısım verimi ile,% 19.08'den %12.70' e düşürülmüştür.

### Samsun/Havza linyiti

Flotasyonunda optimize edilen proses parametreleri; 50 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 750 g/t gazyağı,250 g/t MIBC, pülp pH'ı 2, %10 katı oranı, 5 dakika flotasyon süresi ve -500 µm tane boyutudur. İncelenen proses parametreleri socunda kül içeriği; %51.21 ağırlık verimi,%55.59 yanabilir kısım verimi ile ,% 37.81'den %32.48' e düşürülmüştür.

### Sivas/Gemerek linyiti

Agloflotasyonunda en yüksek ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği optimum proses parametreleri; 250 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 250 g/t gazyağı, 200 g/t MIBC, pülp pH'ı 4, %10 katı oranı olarak belirlenmiştir. İncelenen proses parametreleri socunda kül içeriği; %80.92 ağırlık verimi, %91.35 yanabilir kısım verimi ile,% 19.08'den %8.65' e düşürülmüştür.

### Samsun/Havza linyiti

Agloflotasyonunda en yüksek ağırlık verimi, yanabilir kısım verimi ve en düşük kül içeriğinin elde edildiği optimum proses parametreleri; 250 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 250 g/t gazyağı, 250 g/t MIBC, pülp pH'ı 2, %10 katı oranı olarak belirlenmiştir. İncelenen proses parametreleri socunda kül içeriği; %77.10 ağırlık verimi,%92.60 yanabilir kısım verimi ile, % 37.81'den % 25.29' a düşürülmüştür.

Yağ aglomerasyonu, flotasyon ve agloflotasyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

Çok ince boyutlu yüksek kül içerikli Sivas/Gemerek ve Samsun/Havza linyit kömürlerinin fizikokimyasal yöntemlerle temizlenmesinde genel olarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Sivas/Gemerek linyitinde, en yüksek ağırlık verimi (%85.40) ve en yüksek yanabilir kısım verimi (%94.07) değerleri yağ aglomerasyonunda, en düşük kül (%8.65) içeriği ise agloflotasyonda elde edilmiştir.

Samsun/Havza linyitinde en yüksek ağırlık verimi (%86.80) ve en yüksek yanabilir kısım verimi (%98.34) değerleri aglomerasyonda, en düşük kül (%25.29) içeriği ise agloflotasyonda elde edilmiştir.





## KAYNAKLAR

- Abakay, T. H., Bozkurt, V.,** (2008). Adıyaman-Gölbacı linyitinin yıkama olanaklarının araştırılması. *Madencilik Dergisi*, 47, 13-21.
- Akdemir, Ü., Sönmez, İ.,** (2003). Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. *Fuel Processing Technology*, 82, 1-9
- Aktaş, Z.** (2002). Some factors affecting spherical oil agglomeration performance of coal fines. *International Journal of Mineral Processing*, 65, 177-190.
- Aksay, K. E., Arslan, V., Polat, H.** (2010). Toz kömürlerin zenginleştirilmesinde yağ aglomerasyonu yöntemi ve yenilikler. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 2, 97-108.
- Aplan, F.F.** (1989). Coal flotation-the promise and the problems. *Advances in Coal and Mineral Processing Using Flotation*, **Chander** and **R.R Klimpel** (Ed.), SME, Co., 95-104, Littleton.
- Ateşok, G.** (2009). *Kömür Hazırlama ve Teknolojisi (Genişletilmiş 2. Baskı)*. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Arı, M.,** (2017). Farklı bağlayıcı sıvı karışımları ile kömürün yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*, 89 s, Sivas.
- Boylu, F., Laskowski, S. J.,** (2007). Rate of water transfer to flotation froth in the flotation of low-rank coal that also requires the use of oily collector. *International Journal of Mineral Processing*, 83, 125–131
- Canpolat, L.** (2003). Taşkömürünün yağ aglomerasyonu, flotasyonu, yağ aglomerasyonu flotasyon yöntemiyle zenginleştirilebilirliğinin incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*, 88 s, Sivas.
- Capes, C.E.** (1979). *Coal preparation, agglomeration. 4<sup>th</sup> Edition*, The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 110-111, New York.
- Capes, C.E.** (1991). Part 4:Coal Preparation. oil agglomeration process principles and commercial application for fine coal cleaning. Fifth Edition, *Society For Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.*, 1021-1029, Littleton, Colorado.
- Capes, C.E. and Jonasson, K.A.** (1988). Application of oil-water of coals in beneficiation. *Interfacial Phenomena in Coal Technology, Surfactant Science Series*, 32.
- Cebeci, Y.** (2002).The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayrıdam lignite using various collector, *Fuel* 81 (3) : 281-289.
- Cebeci, Y. ve Canpolat, L.** (2001). Ukrayna kömürünün yağ aglomerasyonu için karakteristik eğrisinin belirlenmesi. *Madencilik*, Mart, 3-14.
- Cebeci, Y. ve Sönmez, İ.** (2002). The investigation of coal-pyrite/lignite concentration and their separation in the artificial mixture by oil agglomeration. *Fuel*, 81, 1139-1146.
- Chary GHVC, Dastidar MG.** (2013). Comprehensive study of process parameters affecting oil agglomeration using vegetable oils. *Fuel*. 106: 285-292.

- Drzymala J** 2007. *Mineral Processing, Foundations of theory and practice of minerallurgy*. 1 st English edition. Wroclaw, Poland: Wroclaw University Technology, pp. 464-497.
- Düzyol, S.** (2009). Cevher hazırlamada ıslanabilirliğe dayanan işlemlerde hidrofobisite ve yüzey geriliminin etkisi. *S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*. 159s, Konya.
- Gence, N.** (2006). Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils. *Fuel*. 85: 1138-1142.
- Gürses, A., Doymuş K., Doğar Ç. ve Yalçın M.** (2003). Investigation of agglomeration rates of two Turkish lignites. *Energy Conversion and Management*, 44, 1247-1257.
- Hacıfazlıoğlu, H.**, (2006). Bitümlü kömür şlamının mekanik, kolon ve jameson hücresinde flotasyonu. *Madencilik*, 4,3-9.
- Hacıfazlıoğlu, H.**, (2008). Azdavay kömürünün yağ aglomerasyonu ve bazı önemli çalışma parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi. *Madencilik*. 4, 3-11.
- Hacıfazlıoğlu, H., Ekber, Y. Korkmaz, A.V.** (2019).Soya yağı ile kömür yıkama tesis atıklarından temiz yakıt üretimi. *Academic Platform Journal of Engineer and Science*, 7-17, 200-204.
- Hoşten, Ç. ve Uçbaş, Y.** (1989). Zonguldak taş kömürleri üzerinde yağ aglomerasyonu çalışmaları. *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Bildiriler Kitabı, 24-28 Nisan, 356-364, Ankara.
- Kaya, M.,Laplante, A.R.**, (1986a). Factors influencing desing, hydrodynamics, mixing, residence timedistribution, scale-up, selection and sizing of mechanical flotation machines. *Mineral Seperation Systems, Seminar*, McGill University,32p.
- Kaya, M.,Laplante, A.R.**, (1986b). Froth washing in mechanical flotation cells. *21<sup>st</sup> Canadian Mineral Processors Mecting (CMP)*, pp 497-541.
- Kemal, M., Arslan, V.**, (2010). *Kömür Teknolojisi, Genişletilmiş 5. Baskı*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Laskowski, J. S.**, (2001). *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*. Elsevier Science B.V.
- Mehrotra, V.P., Sastry, K.V.S. and Morey, B.W.** (1983). Review of oil agglomeration techniques for processing of fine coals. *International Journal Of Mineral Processing*, 11, 175-201.
- Naik, P., P.S.R. Reddy, Misra, V.**, (2005), Interpretation of interaction effects and optimization of reagent dosages for fine coal flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 75, 83-90.
- Osborne, D.G.** (1990). Chapter 9 Flotation, Agglomeration and selective flocculation. *Coal Preparation Technology*, Voume I, 460-469, İstanbul.
- Önal, G., Ateşok, G., Perek, K. T.** (2014). *Cevher Hazırlama El Kitabı*. Yurt Madencilğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul. Sayfa: 185-236.
- Pawlak, W., Turak, A., Ignasiak, B.**, (1985), Selective agglomeration of low rank bituminous and bubbittuminous cretaceous coals, *4<sup>th</sup> International Symposium on Agglomeration*.

- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y., Ignasiak, B.,** (1986), Oil agglomeration of low-rank coals and development of methods for recovery of oil from agglomerates, *11<sup>th</sup> Annual EPRI Contractors' Conference on Clean Liquid and Solid Fuels*, Palo Alto.
- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y., Ignasiak, B.,** (1987), Coal Upgrading by Selective Agglomeration, *12<sup>th</sup> Annual Conference on Fuel Science and Conversion EPRI*, California.
- Sönmez, G.** (2006). Zonguldak kömüründen düşük küllü kömürün üretilebilirliğinin incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi, (Yüksek Lisans Tezi)*, 100 s, Sivas.
- Sun, S.C, Mc Morris 3,** (1959). W.L 'Factors effecting the cleaning of fine cools by the convertal process' *Min.Eng Nov.* 1151-1156,
- Şahinoğlu, E.** (2018).İnce boyutlu kömürün fizikokimyasal yöntemlerle temizlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*,18, 315-323.
- Şahinoğlu, E.** (2006). Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürünün yağ aglomerasyonu ile temizlenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*, 83s, Trabzon..
- Tan, J., Liang L., Peng, Y. ve Xie, G.,** (2015). Grinding flotation of bituminous of different oxidation degrees. *International Journal of Mineral Processing*, 142, 30–34.
- Uçurum, M., Arslan, V., Vapur H., Bayat, O., Arslan V.,** (2006). Recovery of unburned carbon from lime calcination process using statistical technique, *Fuel Processing Technology*, 87: 1117-1121.
- Ünal, İ. ve Erşan, M.G.** (2007). Factors affecting the oil agglomeration of Sivas-Divriği Uluçayır lignite. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 29, 983-9931.
- Ünal, İ., Aktaş, Z. ve Aral, O.** (2000). Bitümlü kömür ve linyitin yağ aglomerasyonu. *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 23-26 Mayıs 2000, 251-260, Zonguldak-Kdz. Ereğli.
- Yaşar Ö, Uslu T, Şahinoğlu E** (2018). Fine coal recovery from washery tailings in Turkey by oil agglomeration. *Powder Technology*. 327, 29-42.
- Yeşilyurt, Z.** (2014). Farklı yapıdaki non-iyonik sülfaktanların bitümlü kömür şlamı üzerinde flotasyon ve gang taşıma davranışları ile filtrasyon performanslarının incelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*,83 s,İstanbul.
- Yılmazel, H.** (2010). Çatalağzı Termik Santralinde (ÇATES) kullanılan lavvar artıklarındaki kömürün kazanımında optimum flotasyon koşullarının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*,81 s, Adana.

## EK-1. Aglomerasyon Deney Sonuçları

**Çizelge 1.** Sivas/Gemerek linyiti bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonunun aglomerasyon performansına etkisi

(Pülp pH'ı 5.50, katı oranı :%3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: gazyağı</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	47.53	15.87	49.41
10	49.00	15.27	51.30
20	39.00	15.53	41.54
30	50.26	16.28	51.99
40	54.60	15.69	56.88
50	53.66	14.09	56.96

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: mazot</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	42.53	16.38	43.94
10	55.06	15.25	56.98
20	44.06	16.22	45.61
30	54.86	15.55	56.59
40	49.73	16.13	51.54
50	57.53	16.43	59.41

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+mazot</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	41.33	15.60	43.10
10	47.20	16.02	48.98
20	45.60	18.83	46.02
30	50.33	15.74	52.40
40	50.40	15.66	52.53
50	41.93	15.14	43.97

**Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	33.13	15.53	34.58
10	41.26	15.53	43.07
20	70.73	14.21	74.98
30	80.66	14.08	85.64
40	67.73	14.06	71.29
50	-	-	-

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %5 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	55.86	15.92	58.04
10	59.60	16.17	61.74
20	78.46	15.53	81.90
30	87.53	14.66	92.31
40	80.33	14.35	85.02

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	50.86	15.92	52.84
10	60.73	15.97	63.06
20	70.66	15.20	74.04
30	84.93	14.17	90.08

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %20 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	41.26	15.19	43.24
10	57.26	15.11	60.06
20	78.93	15.11	82.17
30	84.93	14.15	90.10

**Bağlayıcı sıvı cinsi:%10 fuel-oil+motor yağı(5w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	31.26	14.92	32.86
10	39.20	15.17	41.09
20	44.86	15.21	46.00
30	45.93	15.16	48.15

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+motor yağı (20w-50)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	29.13	15.86	30.28
10	37.40	16.04	38.80
20	33.73	15.58	35.18
30	40.06	15.80	41.68

**Çizelge 2. Samsun/Havza bağlayıcı sıvı cinsi ve konsantrasyonu**

(Pülp pH'ı 6.65, katı oranı : %3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: gazyağı</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	17.33	35.54	17.96
10	22.46	35.95	23.13
20	23.66	35.83	24.41
30	26.73	35.82	27.58
40	27.00	35.99	27.79
50	32.53	35.38	33.80

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: : %10 fuel-oil+gazyağı</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	28.93	37.08	29.26
10	29.67	36.65	30.22
20	25.74	36.18	26.41
30	18.47	36.37	18.95
40	12.34	37.08	12.48

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: mazot</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	20.73	35.97	21.31
10	18.80	35.38	20.57
20	24.00	35.69	24.81
30	28.66	35.70	29.63
40	33.00	35.28	34.33
50	33.80	35.62	34.98

**Bağlayıcı sıvı cinsi: : %10 fuel-oil+mazot**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	18.66	36.81	18.96
10	19.00	36.69	19.34
20	21.27	36.39	21.75
30	25.47	36.49	26.01
40	20.53	36.58	20.93

**Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	29.40	35.47	30.81
10	36.94	34.37	38.98
20	67.07	31.91	73.43
30	86.80	29.53	98.35
40	55.53	29.53	62.92

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %5 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	44.06	35.82	45.46
10	43.86	36.71	44.63
20	50.93	33.82	54.19
30	70.66	31.99	77.27
40	83.33	28.12	96.31



**Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	40.20	35.35	41.79
10	42.40	36.71	43.14
20	44.06	36.24	45.17
30	74.06	30.68	82.55
40	83.00	29.99	93.42

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %20 fuel-oil+motor yağı (0w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	37.73	35.85	38.91
10	51.13	35.75	52.82
20	67.46	34.02	71.57
30	76.20	32.61	82.57
40	84.66	30.89	94.08

**Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+motor yağı (5w-30)**

Konsantrasyon (%)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
5	15.86	36.59	16.17
10	32.54	34.40	34.32
20	45.07	32.08	49.22
30	53.74	29.76	60.69
40	57.54	29.03	65.66

<b>Bağlayıcı sıvı cinsi: %10 fuel-oil+motor yağı (20w-50)</b>			
<b>Konsantrasyon (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	34.20	35.76	35.32
10	44.74	33.29	47.99
20	44.80	32.84	48.38
30	67.00	29.72	75.72
40	55.00	29.71	62.16

**Çizelge 3.** Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi  
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; katı oranı : %3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	76.12	12.39	82.39
3	72.80	13.48	77.83
4	70.13	14.57	74.03
<b>Pülp pH'ı (5.50)</b>	80.66	14.08	85.64
7	46.00	15.36	48.11
9	44.93	15.84	46.72
11	41.06	16.27	42.48

**Çizelge 4.** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının aglomerasyon performansına etkisi  
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; katı oranı : %3.6; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	73.47	28.58	84.36
4	67.47	29.87	76.07
<b>Pülp pH'ı (6.65)</b>	86.80	29.53	98.35
8	43.06	30.10	48.39
10	22.94	33.63	24.47
12	9.53	32.78	10.24

**Çizelge 5.** Sivas/Gemerek katı oranının aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; pülp pH'ı 2; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
3.6	76.13	12.39	82.42
5	68.50	12.28	74.32
8	42.66	12.01	46.38
10	40.32	12.01	43.84

**Çizelge 6.** Samsun/Havza katı oranının aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30) ; bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; aglomerasyon süresi: 15 dk; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	50.12	31.26	55.38
3.6	86.80	29.53	98.34
5	73.11	32.63	79.18
8	68.37	34.18	72.34
10	59.51	34.59	62.58

**Çizelge 7.** Sivas/Gemerek linyitinde aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: (0w-30) motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; katı oranı: %3.6; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti aglomerasyon süresinin etkisi</b>			
<b>Aglomerasyon Süresi (dk)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	54.86	10.66	60.56
10	71.66	10.70	79.08
15	76.13	12.39	82.42
20	71.93	10.86	79.23
25	85.40	10.82	94.07
30	81.13	10.53	89.70

**Çizelge 8.** Samsun/Havza linyitinde aglomerasyon süresinin aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; katı oranı: %3.6; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti aglomerasyon süresinin etkisi</b>			
<b>Aglomerasyon Süresi (dk)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
5	70.66	33.88	75.11
10	77.83	32.98	83.32
15	86.80	29.53	98.34
20	78.06	31.58	85.86
25	74.73	31.69	82.07
30	71.20	32.85	76.86

**Çizelge 9.** Sivas/Gemerek linyitinde tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 2; katı oranı: %3.6; aglomerasyon süresi: 25 dakika)

<b>Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun etkisi</b>			
<b>Tane Boyu (µm)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
-106	13.00	13.57	13.88
-250	14.46	13.10	15.52
-500	37,18	12,70	40,1

**Çizelge 10.** Samsun/Havza linyitinde tane boyutunun aglomerasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; pülp pH'ı 6.65; katı oranı: %3.6; aglomerasyon süresi: 15 dakika)

<b>Samsun/Havza linyiti tane boyutunun etkisi</b>			
<b>Tane Boyu (µm)</b>	<b>Ağırlık Verim (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
-106	75.53	30.31	84.62
-250	79.53	29.60	90.01
-500	86.80	29.53	98.34

## EK-2. Flotasyon Deney Sonuçları

**Çizelge1.** Sivas/Gemerek linyiti bastırıcı (sodyum silikat) miktarının flotasyon performansına etkisi

(Gazyağı miktarı: 500 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 5.50: katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti bastırıcı (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) miktarının etkisi</b>			
<b>Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
0	14.25	17.46	14.53
75	28.37	14.53	29.96
125	28.64	14.64	30.21
250	30.75	14.53	32.47
500	22.80	14.36	24.12
750	18.49	14.01	19.64
1000	11.40	13.97	12.11

**Çizelge 2.** Samsun/Havza linyiti bastırıcı (sodyum silikat) miktarının flotasyon performansına etkisi

(Gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 6.65: katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti bastırıcı (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) miktarının etkisi</b>			
<b>Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
0	43.06	35.04	44.97
25	40.95	34.41	43.18
50	41.00	34.20	43.96
100	40.00	34.86	41.89
250	38.75	34.19	41.01
500	35.25	34.39	37.18

**Çizelge 3.** Sivas/Gemerek linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının flotasyon performansına etkisi (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 5.50; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının etkisi</b>			
<b>Gazyağı miktarı (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
50	26.85	16.99	27.54
125	29.33	16.58	30.23
250	32.06	14.29	33.95
500	30.75	14.53	32.47
750	35.22	15.64	36.71
1500	28.68	15.73	29.86
2500	26.56	16.73	27.33

**Çizelge 4.** Samsun/Havza linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının flotasyon performansına etkisi (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 50 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; pülp pH'ı 6.65; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının etkisi</b>			
<b>Gazyağı miktarı (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
25	37.08	35.98	38.17
50	40.96	35.76	42.31
100	42.50	36.69	43.26
250	41.00	34.20	43.97
500	50.18	36.72	51.05
750	48.78	35.57	50.53
1000	40.88	36.69	41.61

**Çizelge 5.** Sivas/Gemerek linyiti köpürtücü (metil isobütil karbinol) miktarının flotasyon performansına etkisi  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı 250 g/t; pülp pH'ı 5.50: katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

<b>Sivas/Gemerek linyiti köpürtücü (MIBC) miktarının etkisi</b>			
<b>MIBC (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
15	12.70	15.78	13.21
50	24.48	14.90	25.74
100	32.06	14.29	33.95
200	31.00	14.47	32.76
500	38.36	14.19	30.07

**Çizelge 6.** Samsun/Havza linyiti köpürtücü (metil isobütil karbinol) miktarının flotasyon performansına etkisi  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı 750 g/t; pülp pH'ı 6.65: katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

<b>Samsun/Havza linyiti köpürtücü (MIBC) miktarının etkisi</b>			
<b>MIBC (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
25	17.21	35.65	17.80
50	40.49	35.02	42.30
100	48.78	35.57	50.53
250	46.44	34.01	49.27
500	47.80	35.02	49.94
1000	46.28	35.39	48.08

**Çizelge 7.** Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı 250 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500  $\mu\text{m}$ )

<b>Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	37.18	12.70	40.11
3	35.69	13.58	38.11
4	34.67	15.77	36.08
<b>Pülp pH'ı (5.50)</b>	32.06	14.29	33.95
7	30.32	16.60	31.24
9	33.58	16.33	34.72
12	33.05	18.66	33.22

**Çizelge 8.** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı 750 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm )

<b>Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	51.21	32.48	55.59
4	42.93	36.33	43.95
<b>Pülp pH'ı(6.65)</b>	46.44	34.01	49.27
9	39.40	34.93	41.22
11	39.09	35.34	40.64

**Çizelge 9.** Sivas/Gemerek linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t;pülp pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
10	37.18	12.70	40.11
15	39.74	14.02	42.22
20	33.55	14.62	35.18

**Çizelge 10.** Samsun/Havza linyiti katı oranının flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı 750 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pülp pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm; karıştırma hızı: 1100 dev/dk)

<b>Samsun/Havza linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
10	51.21	32.48	55.59
15	44.59	35.43	46.29
20	48.32	37.44	48.60



**Çizelge 11.** Sivas/Gemerek linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t;pülp pH'ı 2; katı oranı: %10; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti flotasyon süresinin etkisi</b>			
<b>Flotasyon süresi (dk)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
1	18.78	14.18	19.91
3	27.32	13.78	29.10
5	37.18	12.70	40.11
7	38.68	12.88	41.64

**Çizelge 12.** Samsun/Havza linyiti flotasyon süresinin flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı 750 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti flotasyon süresinin etkisi</b>			
<b>Flotasyon süresi (dk)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
1	23.03	36.59	23.48
3	43.00	36.69	43.77
5	51.21	32.48	55.59
7	50.04	37.00	50.69

**Çizelge 13.** Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı 250 g/t; MIBC miktarı: 100 g/t;pülp pH'ı 2; katı oranı: %10)

<b>Sivas/Gemerek linyiti tane boyutunun etkisi</b>			
<b>Tane Boyu (µm)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
-63	52.02	16.04	53.97
-106	51.00	16.70	52.50
-212	47.55	17.01	48.76
-500	37.18	12.70	40.11

**Çizelge 14.** Samsun/Havza linyiti tane boyutunun flotasyon performansına etkisi  
(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 50 g/t; gazyağı miktarı 750 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t;pülp pH'ı 2; katı oranı: %10)

<b>Samsun/Havza linyiti tane boyutunun etkisi</b>			
<b>Tane Boyu (µm)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
<b>-63</b>	51.18	36.46	52.29
<b>-106</b>	49.33	36.79	50.13
<b>-212</b>	41.65	37.03	42.17
<b>-500</b>	51.21	32.48	55.59

### EK-3. Agloflotasyon Deney Sonuçları

**Çizelge 1.** Sivas/Gemerek linyiti bastırıcı (sodyum silikat) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30 ); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 100g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: - 500 µm)

#### Sivas/Gemerek linyiti bastırıcı (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) miktarının etkisi

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gr/ton)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
100	60.25	11.55	65.85
250	65.84	9.88	73.32
750	64.22	10.01	71.41

**Çizelge 2.** Samsun/Havza linyiti bastırıcı (sodyum silikat) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; gazyağı miktarı: 750 g/t; MIBC miktarı: 250g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: - 500 µm)

#### Samsun/Havza linyiti bastırıcı (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) miktarının etkisi

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gr/ton)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
100	64.56	26.69	76.09
250	73.08	25.37	90.09
750	67.36	35.34	80.85

**Çizelge 3.** Sivas/Gemerek linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 250 g/t; MIBC miktarı: 100g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm;)

#### Sivas/Gemerek linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının etkisi

Gazyağı (gr/ton)	Ağırlık Verimi (%)	Kül (%)	Yanabilir Kısım Verimi (%)
250	66.22	10.01	73.64
750	66.60	10.50	73.66
1500	63.73	10.66	70.36

**Çizelge 4.** Samsun/Havza linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti toplayıcı (gazyağı) miktarının etkisi</b>			
<b>Gazyağı (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
100	57.82	27.05	67.81
250	77.10	25.29	92.60
750	73.08	25.37	90.09

**Çizelge 5.** Sivas/Gemerek linyiti köpürtücü (metil isobütil karbinol) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti köpürtücü (MIBC) miktarının etkisi</b>			
<b>MIBC (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
50	62.81	8.29	71.18
100	66.22	10.01	73.64
200	76.77	9.24	86.10

**Çizelge 6.** Samsun/Havza linyiti köpürtücü (metil isobütil karbinol) miktarının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; pH'ı 2; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti köpürtücü (MIBC) miktarının etkisi</b>			
<b>MIBC (gr/ton)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
100	61.79	23.08	76.41
250	77.10	25.29	92.60
500	73.69	25.46	88.30

**Çizelge 7.** Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu: %30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 200 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	76.77	9.24	86.10
4	80.92	8.65	91.35
9	73.83	11.02	81.18

**Çizelge 8.** Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; katı oranı: %10; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti pülp pH'ının etkisi</b>			
<b>pH</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
2	77.10	25.29	92.60
4	65.01	25.72	77.63
9	45.30	33.70	48.28

**Çizelge 9.** Sivas/Gemerek katı oranının agloflotasyon performansına etkisi

(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 200 g/t; pH'ı 4; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Sivas/Gemerek linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
10	80.92	8.65	91.35
15	35.15	14.22	37.25
20	32.41	14.60	34.20

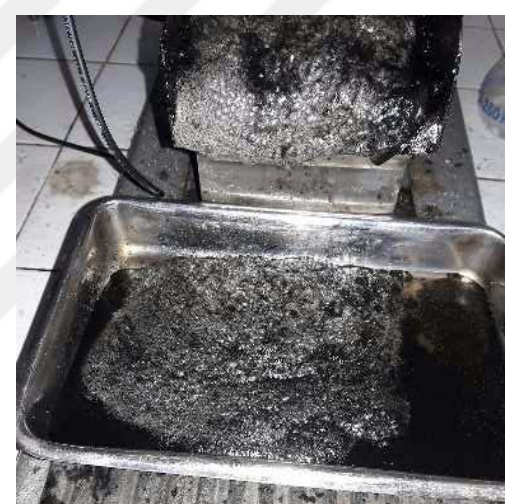
**Çizelge 10.** Samsun/Havza linyiti katı oranının agloflotasyon performansına etkisi  
(Bağlayıcı sıvı cinsi: motor yağı (0w-30); bağlayıcı sıvı konsantrasyonu:%30; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı: 250 g/t; gazyağı miktarı: 250 g/t; MIBC miktarı: 250 g/t; pH'ı 2; flotasyon süresi: 5 dakika; tane boyutu: -500 µm)

<b>Samsun/Havza linyiti katı oranının etkisi</b>			
<b>Katı Oranı (%)</b>	<b>Ağırlık Verimi (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Kısım Verimi (%)</b>
<b>10</b>	77.10	25.29	92.60
<b>15</b>	49.81	33.55	53.21
<b>20</b>	41.38	33.40	44.30

#### Ek 4. Aglomerasyon Deney Fotoğrafları



**Ek 5.Flotasyon Deney Fotoğrafları**





## **ÖZGEÇMİŞ**

### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı	Neriman TAŞDÖĞEN
Doğum Yeri ve Tarihi	Elazığ 10.05.1982
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Maden Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	tasdogenneriman@gmail.com

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise	Kovancılar Lisesi, 1998
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2009
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

### **İş Tecrübesi**

Karayolları 16. Bölge ve DSİ 19.Bölge	Taşeron Firmalarda Teknik Nezaretçi, Daimi Nezaretçi, İSG Uzmanı ( 2009-2019) görevleri
---------------------------------------	---

### **Yayınlar**

Uluslararası	Özlem Kaya ve Neriman Taşdöğen (2018): İnce kömürlerin aglomerasyonunda bazı proses parametrelerinin etkisi (International Eurasia Conference on Science, Engineering and Technology) Ankara
	Özlem Kaya ve Neriman Taşdöğen (2019): Linyit kömürünün flotasyonda etkili parametrelerinin incelenmesi (Euroasia International Congress on Applied Sciences-II) Antakya