



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

**SERT LİNYİTLERİN (ARGUVAN VE SOMA) FLOTASYON  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve BAĞLIOĞLU  
(201392111036)**

**Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nevzat ASLAN**

**SIVAS  
2019**

**Merve BAĞLIOĞLU'nun hazırladığı ve "SERT LİNYİTLERİN (ARGUVAN VE SOMA) FLOTASYON ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

**Tez Danışmanı Prof. Dr. Nevzat ASLAN**  
Cumhuriyet Üniversitesi Maden Müh. ABD

**Jüri Üyesi Prof. Dr. Hikmet SİS**  
İnönü Üniversitesi Maden Müh. ABD

**Jüri Üyesi Prof. Dr. Yakup CEBECİ**  
Cumhuriyet Üniversitesi Maden Müh. ABD

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

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

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kanunu ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisans Üstü Tez Yazım Klavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





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

Merve BAĞLIOĞLU, 2019

## **ETİK**

Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Klavuzu (yönerge)'nda 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 yararlanılması durumunda ilgili esere, 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, Cumhuriyet Üniversitesi veya başka bir üniversitede bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

**Merve BAĞLIOĞLU**



*Canım Aileme...*

## ÖZET

### SERT LİNYİTLERİN (ARGUVAN VE SOMA) FLOTASYON ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Merve BAĞLIOĞLU

Yüksek Lisans Tezi Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Nevzat ASLAN

2019, 112+xv sayfa

Bu tez çalışmasında; Malatya-Arguvan ve Manisa-Soma linyitlerinin yüzebilirliği hakkında ön bilgi edinmek amacıyla, öncelikle zeta potansiyeli okumaları ve mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden seçilen toplayıcı türü (gazyağı) kullanılarak, optimum flotasyon şartlarını belirlemek amacıyla, farklı flotasyon parametreleri (tane boyutu, pülp katı oranı, toplayıcı miktarı, dağıtıcı türü ve miktarı, pH değeri) ile flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Malatya-Arguvan linyiti için flotasyon deneyleri kademeli, kademesiz ve şlamı alınmış (şlamsız); Manisa-Soma linyiti içinse kademesiz ve şlamı alınmış olarak gerçekleştirilmiştir. Malatya-Arguvan linyiti için kademeli ve kademesiz flotasyon sonuçlarına göre lave külünde şlamı atmanın etkili olduğu belirlense de, flotasyon veriminde herhangi bir iyileşme görülmemiştir. Manisa-Soma linyiti için ise kademesiz flotasyon deneylerinde lave külleri besleme külünden fazla çıkmıştır. Şlamı alınmış (şlamsız) flotasyon deneylerinde ise lave külü değeri, besleme külü değerinden düşük çıkmıştır. Ancak yanabilir veriminde % 14-24 arasında değişmesi flotasyon işleminin uygun olmadığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, Linyit, Hidrofobik kuvvetler, Zeta potansiyeli.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF FLOTATION PROPERTIES OF HARD LIGNITE (ARGUVAN AND SOMA)**

**Merve BAĞLIOĞLU**

**Master of Thesis**

**Department Of Mining Engineering**

**Thesis Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ASLAN**

**2019, 112+xv pages**

In this thesis; In order to obtain preliminary information on the floatability of the Malatya-Arguvan and Manisa-Soma lignites, surface load readings (zeta potential) and microflotation experiments were performed in the first place. In order to determine the optimum flotation conditions, by using the collector type (kerosene) selected from these experiments, different flotation parameters (grain size, solid rate in pulp, collector quantity, type and amount of dispersant, pH value) and mechanical flotation experiments were performed. Flotation experiments for Malatya-Arguvan lignite were gradual, stepless and slimed (slamless); For the Manisa-Soma lignite, it was carried out infinitely variable and slimed. According to the graded and stepless flotation results for Malatya-Arguvan lignite, it was determined that throwing slam in lave ash was effective, but no improvement was observed in flotation yield. In the Manisa-Soma lignite stepless flotation experiments, the additional ash was higher than the feed ash. In the flotation experiments which were slimed (non-slim), the ash ash value was lower than the feed ash value. However, the change in burnable efficiency between 14-24% indicates that flotation process is not suitable.

**Key Words:** Flotation, Lignite, Hydrophobic forces, Zeta potential.



## TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Sayın Prof. Dr. Nevzat ASLAN'a, İnönü Üniversitesi laboratuvarını kullanmamı sağlayan ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen eş danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail BENTLİ'ye,

Tez çalışmam boyunca gerek deneysel çalışmalarım gerekse tez yazımı aşamasında benimle her türlü bilgisini paylaşan ve beni yönlendiren hocam Sayın Öğr. Grv. Dr. Aydan AKSOĞAN KORKMAZ'a,

Laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, Maden Mühendisi Erkan BAYDEMİR'e ve Maden Mühendisi Ceylan YARLUĞKAL ALTINIŐIK'a,

Hayatımın her aşamasında yanımda olan ve desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme; teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>ÖZET</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	ix
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	x
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xv
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması .....	5
1.2 Kömür Türleri .....	8
1.3 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar .....	9
1.3.1 Nem .....	9
1.3.2 Kül .....	10
1.3.3 Kükürt.....	10
1.4 Kömür Üretimi ve Tüketimi Hakkında .....	10
1.4.1 Dünya kömür üretimi ve tüketimi .....	10
1.4.2 Türkiye kömür üretimi ve tüketimi .....	12
1.5 Kömür Flotasyonu.....	13
1.6 Kömür Flotasyonu İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	17
<b>2. MATERYAL VE METOD</b> .....	22
2.1. Materyal .....	23
2.1.1. Malatya-Arguvan linyiti .....	23
2.1.2. Manisa-Soma linyiti .....	25
2.2. Metod .....	28
<b>3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR</b> .....	35
3.1. Arguvan Linyiti .....	35
3.1.1. Zeta potansiyeli ölçümleri .....	35
3.1.2. Mikroflotasyon deneyleri .....	36
3.1.3. Arguvan linyiti flotasyon deneyleri .....	38

3.1.3.1. Kademesiz flotasyon.....	38
3.1.3.2. Kademeli flotasyon .....	42
3.1.3.3. Şlamı atılmış flotasyon .....	47
3.2. Soma Linyiti.....	52
3.2.1. Zeta potansiyeli ölçümleri .....	52
3.2.2. Soma linyiti mikroflotasyon deneyleri .....	52
3.2.3. Soma-Eynez linyiti Flotasyon Deneyleri.....	55
3.2.3.1. Kademesiz flotasyon.....	55
3.2.3.2 Şlamı atılmış flotasyon deneyleri .....	59
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>73</b>
EK - 1 Kömürün Kısa Analiz Hesaplamaları .....	73
EK - 2 Mikrofloasyon Deneyleri Hesaplamaları .....	74
EK - 3 Flotasyon Deneyleri Hesaplamaları .....	74
EK- 4 Elek Analizleri.....	75
EK- 5 Kısa Analizler.....	76
EK - 6 Zeta Potansiyeli Okumaları .....	77
EK - 7 Mikroflotasyon Deneyleri .....	78
EK - 8 Tane Boyutu Okumaları .....	84
EK - 9 Malatya-Arguvan Linyiti Flotasyon Deneyleri .....	86
EK - 10 Manisa-Soma Linyiti Flotasyon Deneyleri .....	102
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>112</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1	Elektrik üretimlerinde kömüre dayalı ülkeler ve kömürün payı (TTK, 2018).	11
Şekil 1.2	Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı (TKİ, 2018).	13
Şekil 2.1	Havada kuru baza göre Arguvan linyitinin tane boyutuna bağlı olarak kısa analiz sonuçlarının değişimi.	24
Şekil 2.2	Arguvan linyitinin XRD analiz sonucu.	25
Şekil 2.3	Havada kuru baza göre Soma linyitinin tane boyutuna bağlı olarak kısa analizi sonuçlarının değişimi.	27
Şekil 2.4	Soma linyitinin XRD analiz sonucu.	27
Şekil 2.5	Genel deney akım şeması	29
Şekil 2.7	a) Malvern nano ZSP, b) Zeta meter 3,0 cihazları.	31
Şekil 2.8	a) Mikroflotasyon hücresi, b) Mikroflotasyon deney düzeneği	32
Şekil 2.9	Denver tipi flotasyon makinesi.	34
Şekil 3.1	Arguvan linyitinin zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.	35
Şekil 3.2	a) Toplayıcı çeşidine ve miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Linyit ile kil arasındaki yüzdürülen malzeme miktarı farkı.	36
Şekil 3.3	a) Hava hızı miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Linyit ile Kil arasındaki yüzdürülen malzeme miktarı farkı.	37
Şekil 3.4	a) Arguvan linyiti ile kilinin pH'a bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları b) Arguvan linyiti ile kili ayırım miktarı farkı.	38
Şekil 3.5	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda tane boyutu etkisi.	38
Şekil 3.6	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda katı oranı etkisi.	39
Şekil 3.7	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda toplayıcı miktarı etkisi.	40
Şekil 3.8	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ miktarının etkisi.	41
Şekil 3.9	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda %50 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ve %50 Calgon miktarının etkisi.	41
Şekil 3.10	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda pH değişiminin etkisi.	42
Şekil 3.11	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan yapılan kademeli flotasyonunda tane boyutu etkisi.	43
Şekil 3.12	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda katı oranı etkisi.	44
Şekil 3.13	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda toplayıcı miktarı etkisi.	45
Şekil 3.14	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ miktarının etkisi.	46
Şekil 3.15	Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda %50 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ve %50 Calgon miktarının etkisi.	46
Şekil 3.16	Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda tane boyutu etkisi.	47
Şekil 3.17	Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda katı oranının etkisi.	48
Şekil 3.18	Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda	

gazyağı miktarının etkisi.....	49
<b>Şekil 3.19</b> Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> miktarının etkisi.....	50
<b>Şekil 3.20</b> Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda % 50 Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ve % 50 Calgon miktarının etkisi.....	50
<b>Şekil 3.21</b> Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda pH etkisi.....	52
<b>Şekil 3.22</b> Soma linyitinin zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.....	52
<b>Şekil 3.23</b> a) Soma linyiti ile kilinin toplayıcı çeşidine ve miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili arasındaki ayırım miktarı.....	53
<b>Şekil 3.24</b> a) Soma linyiti ile kilinin hava hızı miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili arasındaki ayırım miktarı. ....	54
<b>Şekil 3.25</b> a) Soma linyiti ile kilinin pH'a bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili ayırım miktarı farkı. ....	54
<b>Şekil 3.26</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda..... tane boyutunun etkisi. ....	55
<b>Şekil 3.27</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda..... pülp te katı oranının etkisi. ....	56
<b>Şekil 3.28</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda..... gazyağı miktarının etkisi.....	57
<b>Şekil 3.29</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> miktarının etkisi.....	58
<b>Şekil 3.30</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda Calgon miktarının etkisi.....	58
<b>Şekil 3.31</b> Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda pH değişiminin etkisi. ....	59
<b>Şekil 3.32</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda tane boyutunun etkisi. ....	60
<b>Şekil 3.33</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda katı oranının etkisi. ....	61
<b>Şekil 3.34</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda gazyağı miktarının etkisi.....	62
<b>Şekil 3.35</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda ..... Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> miktarının etkisi.....	63
<b>Şekil 3.36</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda Calgon miktarının etkisi.....	63
<b>Şekil 3.37</b> Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda pH değişiminin etkisi .....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 1.1</b> Uluslararası genel kömür sınıflandırması (DPT, 2001). ....	6
<b>Çizelge 1.2</b> Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT, 2001). ....	7
<b>Çizelge 1.3</b> ASTM kömür sınıflandırması (ASTM, 1981), (Ünalın, 2010). ....	8
<b>Çizelge 1.4</b> Dünya kömür üretimi (milyon ton) (BP, 2018). ....	11
<b>Çizelge 1.5</b> Kömür rezervlerinin kalitesine ve bölgelere göre dağılımı (milyon ton) (BP, 2018). ....	12
<b>Çizelge 1.6</b> Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler (Laskowski, 2001). ....	16
<b>Çizelge 2.1</b> Arguvan linyitinin kısa analiz sonuçları. ....	23
<b>Çizelge 2.2</b> Manisa-Soma linyitinin kısa analiz sonuçları ....	26
<b>Çizelge 2.3</b> Deneylerde kullanılan cihaz ve aletler ....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

°	Derece
g/t	Gram/ton
Kcal/kg	Kilokalori/kilogram
Kj/kg	Kilojoule/kilogram
Dev/dk	Devir/dakika
Lt/dk	Litre/dakika
mV	Milivolt
µm	Mikronmetre

### Kısaltmalar

<b>XRD</b>	X-Işınları Difraksiyonu
<b>XPS</b>	X-ışını fotoelektron spektroskopisi
<b>AID</b>	Alt ısı değer
<b>MIBC</b>	Metil izobütil karbinol
<b>THF</b>	Tetrahydrofuran
<b>TTK</b>	Türkiye Taşkömürü Kurumu
<b>TKİ</b>	Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>EIGM</b>	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>DPT</b>	Devlet Planlama Teşkilatı

## 1.GİRİŞ

Genellikle yakıt olarak kullanılan kömürlerin bu amaç için kullanılmadan önce, mevcut safsızlıkların giderilerek belirli tane iriliğinde piyasaya sunulması gerekmektedir. Mevcut safsızlıkların giderilmesi işlemi kömür hazırlama ve zenginleştirme aşamalarını gerektirmektedir. Kömürün yerden çıkarılması ve kullanılabilir hale gelmesi arasındaki bu süreç kömür hazırlama olarak adlandırılmaktadır (Önal ve Atak, 1991; Polat ve Chander, 1998).

Çok ince boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan flotasyon, fizikokimyasal bir ayırma yöntemidir. Flotasyon işlemiyle cevher yüzdürülerek konsantre olarak alınmaktadır. Bu yöntemde temel olarak, tanelerin yüzey özellikleri farklılığı ve pülp içerisindeki hava kabarcıkları ayırma için etkenlerdir. Hava kabarcığının bu ayırmadaki en etkin rolü; hidrofob taneler kabarcık ile temas kurarak yukarı doğru, hidrofil taneler de kabarcık ile temas kuramadıklarından zıt yönde hareket ederler.

Flotasyon yöntemi günümüzde ince boyutlu (-0.5 mm) taşkömürün zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir;. Kömür doğal hidrofobik (su iten) özelliğe sahip olmasına rağmen, linyitler en az flotasyon özelliğine sahip kömür türleridir (Önal ve Atak, 1991).

Mineral taneleri flotasyon hücresi içerisinde işlem sırasında hava kabarcıklarıyla temas halindedir. Su sevmeyen (hidrofob) kısım hava kabarcığına yapışma özelliğindedir. Hidrofob kısmın hava kabarcığı ile teması sonucu bir kısmı da su ile temas halindedir. Bunun sonucu oluşan ara yüzeyler (su-hava, mineral-hava, mineral-su) kesişim noktalarında bir hat oluştururlar. oluşan bu hat üzerindeki her bir ara yüzeyin yüzey gerilimleri denge halindedir. Aynı zamanda ara yüzeylerin yerçekim kuvveti ve su basıncı gibi kuvvetler ile de denge halindedir. Denge hali sağlandığında yüzey gerilimleri toplamı sıfıra eşittir.

Gonimetre olarak adlandırılan cihaz ile temas açısı ölçümleri belirlenebilmektedir. Temas açısı ölçümleri minerallerin flotasyon davranışlarını belirlemede yardımcı olmaktadır. Verimli bir flotasyon işlemi için bu açının 40°'den büyük olması gerekir. Düşük ranklı kömürlerde bu açı değeri 0°'ye kadar azalmaktadır. % 89 karbon içeriğinde hidrofobluk en yüksektir. Bu karbon içeriğine ulaşıncaya kadar polar karakter kaybolmaktadır. Bu durum yüzeyin yüzebilir hale gelmesini sağlamaktadır, ancak daha da yüksek değerlerde karbon atomlarının oluşturduğu yapı hidrofilikliğı arttırmaktadır.



Maksimum temas açısı, kömür litotipleri arasında vitrene aittir (Özbayoglu, 1986; Atesok, 1986).

Flotasyon yöntem olarak kendi içerisinde üçe ayrılrsa da yaygın olarak kullanılan, köpük flotasyonudur. Köpük flotasyonun da oluşturulan köpük ile birlikte yüzebilen kısım alınır. Doğal hidrofob özelliği olan taneler zaten köpük ile temas kurarak yüzdürülen kısma geçmektedir. İstenilen mineraller kimyasallar ile yüzdürülebilir özellik kazanması sağlanırken, yine kimyasalların etkisi ile yüzmesi engellenebilmektedir. Mineralin hidrofob özellikte olması yüzeyin su ile ıslanıp ıslanmaması özelliğine bağlıdır. Moleküllerin polar olup olmaları ıslanabilme özelliğini belirlemektedir. İyonlardan oluşan polar kısım su içerisinde iyonlaştıklarından ıslanabilir özelliktedir. Bu durumda polar olan mineraller, yüzme eğilimi göstermezler. Reaktifler ile polar olan bu kısımların ıslanabilme özelliklerine müdahale edilmektedir. Çeşitli toplayıcılar, dağıtıcılar, bastırıcılar, canlandırıcılar kullanılarak flotasyon işlemlerinde istenilen ürün yüzdürülürken, diğer kısım bastırılarak suyu seven kısım olarak pülp içerisinde aşağı hareketi sağlanmaktadır. Kömürün yüzebilirliği örneğin; gazyağı, mazot vs. yağlarla sağlanırken, sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )<sup>1</sup> kullanarak ta bastırılması gerçekleştirilir. Örneğin; pirit içeriğinin fazla olması durumunda, kömürden ayrımı için yapılan flotasyon çalışmasında, hidrofob özellikteki piriti kömürden uzaklaştırmak mümkündür (Atak, 1982; Kawatra and Eisele, 1997; Çilek, 2006).

Kömürün flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesinde kullanılan hidrokarbon kökenli yağlar (gazyağı, mazot, fuel-oil) polar olmayan özelliktedir. Bu reaktiflerin işlem sırasında kömür yüzeylerini film gibi kaplamaları, tanecik ile kabarcık arasındaki çekme kuvvetini güçlendirir. Daha etkili hale getirilen ayırım işlemi ile yanabilir verim arttırılmaktadır. Kullanılan toplayıcı miktarları kömürlerin dereceleşme özelliklerine göre değişir. Taşkömürleri için yağlar 0,5-2 kg/t kullanılırken, bu miktar linyitler söz konusu olduğunda 6 kg/t'a kadar çıkmaktadır. Flotasyon verimi için tercih edilen polar olmayan yağlar gibi polar olanları da kullanmak mümkündür. Ancak polar yağlar flotasyon verimi açısından başarılı değildir (Cebeci, 2002; Jia vd., 2002; Sis vd., 2003; Ceylan ve Küçük, 2004; Sönmez ve Cebeci, 2006).

Flotasyonda etkili bir diğer unsur ise tane boyutudur. Tane boyutu küçüldükçe flotasyon sonucu elde edilen lave kül miktarı artmaktadır. 38 µm altı boyutundaki kil miktarı fazla olduğundan, kül ve kükürt ayrımı olumsuz etkilenmektedir. İnce boyutlarda yapılan flotasyon işlemlerinde yüksek verimler elde edilirken, tenör düşüktür. Tane

boyutunun artması sonucu flotasyonda seçimlilik de artmaktadır (Brown, 1962; Ateşok, 1986). Genel olarak 10 mikronmetre altındaki taneler şlam olarak adlandırılır ve şlam taneler, flotasyon verimi açısından istenmeyen kısımdır. Kömür yüzeylerine yapışan şlam taneler, hava kabarcıklarının kömür ile temasını engelleyerek flotasyon verimini düşürmektedir (Oats vd., 2010). Flotasyon işlemi sırasında kullanılan kimyasallar, bu tanelerin sahip oldukları büyük özgül yüzey alanlarından dolayı ilk olarak şlamlar tarafından adsorbe edilirler. Bu durum kimyasalların fazla kullanılmasını gerektirir. Bir diğer flotasyon işlemine kattıkları olumsuzluk ise hidrofob tanelerin yüzeylerini kaplayarak yüzmelerine engel olmalarıdır. Kömür yüzeylerinin şlam tarafından kaplanması zıt yüzey yüklerinden ileri gelmektedir. Her iki yüzeyde aynı elektriksel yüke sahip olduklarında bu sorun oluşmamaktadır. Kömür yüzeylerinin şlam ile kaplanmasını engellemek için elektriksel yükler, calgon ve sodyum silikat gibi elektrolitler ile değiştirilerek veya pH ayarlaması yapılarak sağlanabilir (Tefek, 1984; Arbiter, 1985; Çilek, 2006).

Kömürlerde meydana gelen oksidasyon flotasyon verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Linyit gibi düşük ranklı kömürlerde oksitlenme daha kolay olup, yüksek kömürleşme derecesi ile birlikte bu duruma karşı direnç artmaktadır. Yeni üretilen kömürler hava oksijeni etkisinde, bir süre açıkta kalan kömüre nazaran daha az maruz kaldıklarından dolayı daha iyi yüzerler. Meydana gelen oksidasyon sonucu hidrofob özellik kaybolur. Oksitlenme özelliği en fazla olan kömür sıralaması vitren, klaren, düren ve füsendir (Ateşok, 1986; Sarıkaya ve Özbayoğlu, 1995).

Flotasyonda toplayıcı reaktif seçiminde mineral tanesinin zeta potansiyeli işareti ve yaklaşık mutlak değeri önemli bir parametredir. Kıymetli ve gang minerallerinin hangi pH aralığında flotasyonla birbirinden ayrılacağı zeta potansiyel ölçümü ile belirlenebilmektedir. Ayrıca zeta potansiyeli ölçümleri, toplayıcıların katı yüzeyine adsorbe olup olmadıkları hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu bakımdan zeta potansiyeli flotasyon reaktiflerinin kullanımında oldukça önemli bir göstergedir. Nitekim birçok kaynakta, flotasyon koşullarının doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için cevherin içerdiği minerallerin zeta potansiyelinin bilinmesi gerektiği bildirilmektedir (Atak, 1990; Laskowski, 1990). İyon yüklü katı yüzey ile katının bulunduğu normal çözelti arasında ölçülebilen potansiyel, zeta potansiyeli ya da elektrokinetik potansiyel olarak adlandırılmıştır. Gerçekte zeta potansiyeli yüzey yük yoğunluğu ve çift tabaka kalınlığı ile ilgilidir. Yüzey yük yoğunluğu ise potansiyel belirleyici iyonların

konsantrasyonuna bağlıdır. Birçok sistemde  $H^+$  iyonu potansiyel belirleyici iyon olduğu için zeta potansiyeli sıklıkla pH'a bağlı olmaktadır. Zeta potansiyeli ölçümleri sırasında, ortam pH'ı değişikçe çözelti bileşimi veya iyon derişimi öyle bir noktaya gelir ki, bu noktada mineralden çözelteye veya çözeltiden mineral yüzeyine iyon geçişi yani iyon alışverişi olmaz. Bu noktada ölçülen zeta potansiyeli değeri sıfır olur. Zeta potansiyelinin sıfır olduğu bu nokta "Sıfır Yük Noktası" olarak tanımlanmakta ve ortam pH'ı ile ifade edilmektedir (Leja, 1982). Bir mineralin sıfır yük noktasının bilinmesi, o mineralin yüzeyinin hangi pH değerinde hangi yüke sahip olduğunu göstermesi bakımından oldukça önemlidir. Zeta potansiyeli kolloidal sistemlerin birçok önemli özelliklerinin anlaşılmasını, kontrol edilmesini ve tanecikler üzerindeki elektriksel yükün ya da potansiyelin belirlenmesini sağlar. Zeta potansiyel ölçümü ayrıca dispersiyon, adsorpsiyon, flokülasyon, koagülasyon gibi agregat proseslerinin oluşum mekanizmasını açıklayan önemli parametrelerden biridir.

Tesis çapında yapılan flotasyon işlemleri sonuçlarını tahmin etmek için laboratuvar tipi flotasyon makineleri kullanılır. Tesislerde kullanılan büyük hacimli flotasyon makinelerinin daha küçük boyuttaki bir benzeri olan bu makineler ile daha küçük hacimlerde çalışma imkanı sağlanmış olur. Ancak, bir mekanizmanın ortaya konulması için yapılan esasa dayalı çalışmalarda diğer bütün etkilerin minimize edilmesi gereklidir. Bu yüzden hem kullanılan mineral, reaktif, su vb. malzemelerin hacimleri daha da azaltılmalı hem de saf minerale çalışılmalıdır. Bu zorunluluklar küçük miktarlar ile çalışılabilecek çeşitli hücreler geliştirilmesine vesile olmuştur. Bu hücrenin ilki Halimond tüpüdür. Halimond tüpünün kullanışlı hale getirilmesiyle mikro-flotasyon hücresi tasarlanmıştır. Camdan yapılan ve minyatür bir kolon flotasyonuna benzeyen mikro flotasyon hücresi; altında gaz girişinin yapıldığı bir ağız, gazın içinden geçerek kabarcıklar halinde dağıldığı mikro-gözenekli bir malzeme (frit) pülpün bulunduğu bir gövde, yüzdürülen malzemenin taşıdığı bir taşma bölmesi ve yüzdürülen malzemenin alındığı bir çıkış açıklığından oluşur. Minyatür bir kolon flotasyonuna benzeyen hücrenin alt kısmında mikro gözeneklere sahip poroz bir malzeme bulunur (Url-1).

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) çok yüksek çözünürlüklü bir taramalı kuvvet mikroskobudur. 1980'de Binnig ve Rohrer tarafından 1980 yılında IBM Research - Zürih'te geliştirilmiştir. 1986 yılında araştırmacılara Nobel Ödülü'nü kazandırmıştır. Ticari olarak ilk defa 1989'da piyasaya sürülmüştür. Atomik kuvvet mikroskobu nano boyutta görüntüleme, ölçme ve malzeme işleme konusunda en gelişmiş araçlardan

biridir. Ulaşılmış çözünürlük birkaç nanometre ölçeğinde olup optik tekniklerden en az 1000 kat fazladır (Url-2). AFM yüzeyi tararken düzenek ucunda bulunan oldukça ince bir iğne kullanmaktadır. Düzenegin yüzeye doğru sapması, yüzey ve iğne arasındaki çekim kuvveti ile sağlanmaktadır. Düzenek ucundaki iğne kalınlığı genellikle 0,2-10 nanometre arasındadır. Algılama yöntemi ise, yüzeye doğru veya yüzeyde uzağa doğru olan sapmaları bir lazer ışını yardımıyla tespit eder. Lazer ışını çubuk benzeri düzenek üzerinden yansımaktadır. Çubuğun hareketi ile yansıyan ışının açısında farklılıklar olmaktadır. Nano ölçekteki yüzeydeki girinti ve çıkıntılar lazer ışınındaki sapmalar ile kaydedilmektedir. Mevcut yüzey girinti ve çıkıntıları kabartmalı bir harita gibi nano yüzeyin topoğrafik bir haritası elde edilmiş olur (Url-3).

Bu çalışmada Malatya – Arguvan, Manisa – Soma bölge linyitleri üzerinde zeta potansiyeli, mikro-flotasyon ve mekanik flotasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. 106 mikronmetre altına öğütülen saf numunelerde, -106+38 mikronmetre mikroflotasyon, -38 mikronmetre altı ise zeta potansiyeli okumalarında kullanılmıştır. Mikroflotasyon deneyleri ile, mekanik flotasyonda kullanılacak toplayıcı cinsi belirlenmiştir. Mekanik flotasyon ile doğal pH'larda çalışılarak tane boyu tespiti, pülpte katı oranı tespiti, toplayıcı ve dağıtıcı reaktif miktarları tespiti yapılmıştır. Belirlenen en iyi flotasyon koşullarında pH karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. İki farklı flotasyon özelliği taşıyan linyit numunelerinden mekanik flotasyon ile elde edilen konsantrelerle, AFM cihazı kullanılarak kömürlerin yüzey kuvvetleri ile flotasyon kabiliyet ilişkisi yorumlanmıştır.

### **1.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması**

Mineral yakıtlar bünyelerinde yeterli miktarda yanıcı organik bileşikler bulunduran, doğal halde veya bazı değişimlerden sonra yakacak olarak kullanılabilen kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Kömür bu kayaçların en önemlilerinden biridir. Kömür genel olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan ve az miktarda kükürt ve nitrojen içeren bir kayadır. Kül teşkil eden organik bileşikler ve mineral maddeler ise kömürün sahip olduğu diğer içeriklerdir. Kömür aynı zamanda belirli şartlar altında bitki ve bitki atıklarının kömürleşmesi sonucu oluşan katı yakıtlar olarak da tanımlanır. Kömür, iklimsel ve jeolojik olarak elverişli zamanlarda oluşmuştur. Kömür oluşumunu sağlanabilmesi için iki koşul gerekmektedir. Bu koşullar bitki üremesine elverişli yağmurlu bir iklim ve buna ek olarak çevrede yavaş yavaş çöken bir bataklığın bulunması gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığında ve var olduğu jeolojik devirlerde kömür oluşmuştur (Kemal ve Arslan, 2014).

Kömürler uçucu madde içeriği, koklaşma, sabit karbon miktarı, kalorifik değer özellikleri göz önüne alınarak Uluslararası Kömür Kurulunca, Uluslararası Standartlar Örgütü tarafından da desteklenen genel bir sınıflama yapılmıştır (Çizelge 1.1). Uluslararası genel kömür sınıflandırmasında yer alan kömürler iki başlık altında toplanmıştır (DPT, 2001). Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıcı özellikleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

- Sert Kömürler (Taşkömürü); Nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg üzerinde kalorifik değere sahiptirler. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılır.
- Kahverengi kömürler; Nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg altında kalorifik değere sahiptirler. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

**Çizelge 1.1** Uluslararası genel kömür sınıflandırması (DPT, 2001).

<b>SERT KÖMÜRLER (TAŞKÖMÜRÜ)</b>	<b>KAHVERENGİ KÖMÜRLER</b>
1. Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. Alt Bitümlü Kömürler (4.165-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2. Koklaşmayan Kömürler a. Bitümlü Kömürler b. Antrasit	2. Linyit (4.165 kcal/kg'ın altında ısıl değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

**Çizelge 1.2** Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT, 2001).

<b>LİNYİT</b>	<b>ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER</b>	<b>BİTÜMLÜ KÖMÜRLER</b>	<b>ANTRASİT</b>
<b>Kahverengi</b>	<b>Siyah</b>	<b>Koyu siyah</b>	<b>Parlak siyah</b>
Kırılğan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsî doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isı Değeri; 4.610 Kcal/kg'ın	Isı Değeri; 4.610-6.390 kcal/kg	Isı Değeri; 5.390- 7.700 kcal/kg	Isı Değeri; 7.000 kcal/kg'ın
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

Günümüzde en çok kullanılan sınıflandırma sistemi ASTM sınıflandırmasıdır. Bu sınıflama, kömürün sabit karbon içeriği ve ısıl değeri ve kömürlerin kekleşme özelliğinden de yararlanılarak oluşturulmuştur (Çizelge 1.3).

**Çizelge 1.3** ASTM kömür sınıflandırması (ASTM, 1981), (Ünalın, 2010).

SINIF	GRUP	Sabit karbon (%) (dmmf)*	Uçucu madde (%) (dmmf)*	Kalorifik güç (Btu/lb)* (mmmf)*	Kekleşme özelliği
Linyit	Linyit B	---	---	< 6300	Kekleşmez
	Linyit A	---	---	6300-8300	
Alt bitümlü Kömür	Alt bitümlü C	---	---	8300-9500	
	Alt bitümlü B	---	---	9500-10500	
	Alt bitümlü A	---	---	10500-11500	
Taşkömürü	Yüksek uçuculu C Taşkömürü	---	---	11500-13000	Çoğu zaman kekleşir
	Yüksek uçuculu B Taşkömürü	---	---	13000-14000	
	Yüksek uçuculu A Taşkömürü	< 69	>31	> 14000	
	Orta uçuculu taşkömürü	69-78	22-31	---	
	Düşük uçuculu taşkömürü	78-86	14-22	---	
Antrasit	Yarı-antrasit	86-92	8-14	---	Kekleşmez
	Antrasit	92-98	2-8	---	
	Meta-antrasit	> 98	<2	---	

\*Sabit karbon ve uçucu madde oranları dmmf (kuru mineral maddesiz; dry, mineral matter free ) bazda,

\*Kalorifik güçler mmmf (nemli, mineral maddesiz; moist, mineral matter free ) bazdadır.

\*1 Btu / lb = 0,556 kcal / kg = 2,32 kJ / kg

## 1.2 Kömür Türleri

Kömür genel olarak, turba, linyit, taş kömürü olmak üzere başlıca üç grup altında incelenmektedir (Kemal ve Arslan, 2014; Nakoman, 2012).

- Turbalar : Topraksı bir görünüşe sahip olan turbalar sarı, kahverengi ve siyah renklerde olabilen en genç kömür türleridir. Sertlikleri azdır. Kimyasal formülleri  $C_9H_6O$  olarak kabul edilir. Kimyasal bileşimleri şu şekildedir; % 51-60 karbon (C), % 5,5-6 hidrojen (H) , % 32,5-33 oksijen(O), % 1,5-2 Nitrojen (N) (Nakoman, 2012).

- Linyit Kömürleri: Turbalar ile taşkömürleri arasında geniş bir bant oluşturan linyit kömürleri siyah, koyu kahve ve kahve renklidir. Kahverengi kömür olarak da adlandırılır (BGS, 2007). Linyitler kömürleşme olayının ilk aşamasını temsil eden en düşük ranklı kömürlerdir. Kuru ve külsüz numuneler üzerinde yapılan analiz ortalamaları ise şu şekildedir; % 65-75 karbon (C), % 5-8 hidrojen (H), % 25 oksijen (O), nitrojen (N) miktarları değişken olmakla beraber % 8-10 arasındadır (Nakoman, 2012). Linyit kömürlerini dış görünüşlerini baz alarak sert ve yumuşak linyitler olmak üzere iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Yumuşak linyitler kendi aralarında tabakalaşmış ve tabakalaşmamış olarak, sert linyitler ise mat ve parlak olarak alt başlıklarda toplanır. Sert linyitler daha fazla parça sağlamlığına sahiptir. Sert linyitlerin parça sağlamlığının daha fazla olması ve tozlanmanın az olması kullanım alanlarını artıran etkenlerdir. Ayrıca bu linyitlerin karbon oranları ve ısı değerleri yumuşak linyitlere nazaran da daha fazladır.
- Taş Kömürleri : Turba ve linyitler gibi bitkisel atıklardan meydana gelmiş siyah renkli sert kömürlerdir. Sert linyit sınırından başlayarak antrasitleri de içine alan kömür türleridir. % 1-2 arasında oldukça düşük nem oranlarına sahip olması ve daha sağlam yapıda olmaları taşıma ve depolama da parça büyüklüklerini korumasını sağlar. Diğer kömür türlerine göre karbon oranları yüksek ve daha yüksek ısı değerlerine sahip olan taşkömürlerini birçok kullanım alanlarına sahiptir.

### **1.3 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar**

Kömür kullanımı ve kömür yıkamada önem taşıyan kömürün içerdiği safsızlıklar nem, kül ve kükürt olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (DPT, 2001).

#### **1.3.1 Nem**

Suyun kömür bünyesinde bulunuş şekline göre kömür nemi, yüzey nemi (adhezyon nemi, taneler arası nem, adsorpsiyon nemi) ve iç nem (kaba kapiler nem, kılcal kapiler nem) olmak üzere ikiye ayrılır. Havada kuruma durumuna göre ise kömür nemi kaba ve higroskopik nem olmak üzere ikiye ayrılır. Hava sıcaklığı ve havanın higroskopik nem oranına bağlı olarak, termik bir işlem olmadan oda sıcaklığında kömürün kaybettiği neme kaba nem denilmektedir. Kömürün kaba nem kaybından sonra bünyesinde kalan neme ise higroskopik nem denilmektedir (Kemal ve Arslan, 2014).



### 1.3.2 Kül

Kömürde var olan inorganik maddeler yanma esnasında oksitlenme, kalsinasyon ve kavrulma reaksiyonları sonucu oksitlerden oluşan artık bırakmaktadır. Bu artığa kömürün külü denilmektedir (Kemal ve Arslan, 2014).

Kömür külü istenmeyen bir içeriktir. Kül oranı artıka;

- Kömür yanıcı madde oranı azalır.
- Kömür ısı değeri düşer.
- Kömürün yanması zorlaşır ve belirli bir kül oranında sonra tamamen durmaktadır.
- Kömür ve kok kullanan reaktörlerin kapasiteleri düşmektedir.

### 1.3.3 Kükürt

Kömürdeki kükürt organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Organik kükürt hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunduğunda fiziksel yöntemler ile kömürden ayrılmazlar. İnorganik kükürt ise sülfat, piritik ve elementer kükürt olarak bulunur. Kükürt metalurjide kullanılan kokun kalitesini düşürmektedir. Yüksek kükürtlü kömürlerin yakılması atmosferdeki SO<sub>2</sub> (kükürtdioksit) emisyonlarını artırarak asit yağmurlarına neden olup çevre insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Hacıfazlıoğlu ve Uçkan, 2014).

## 1.4 Kömür Üretimi ve Tüketimi Hakkında

### 1.4.1 Dünya kömür üretimi ve tüketimi

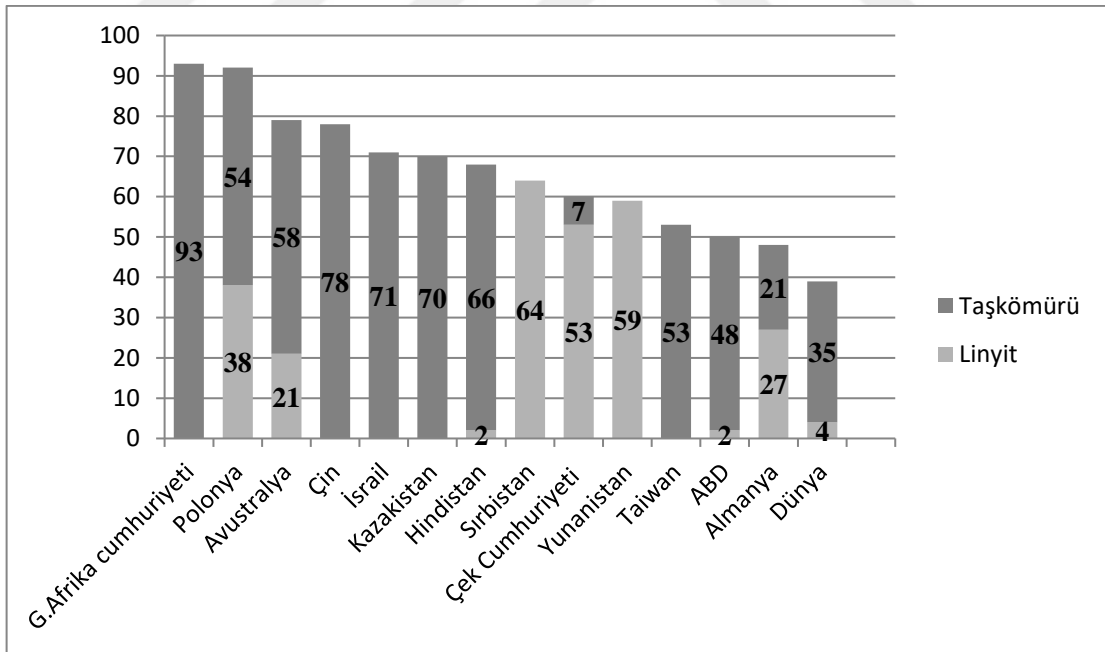
Dünya elektrik üretiminde kömürün payı % 36 civarındadır. ABD'de üretilen kömürün % 90'ı elektrik gücü üretimi için kullanılmaktadır. Bunun dışında kömür, endüstriyel amaçlar, demir üretimi için kok yapımında, ev ve ticari ısınmada kullanılmaktadır (Ateşok, 2009).

Petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenme ömürlerine bakıldığında kömür enerji kaynağı olarak çeşitli avantajlara sahiptir. Petrol ve doğalgazın tükenme ömrü 50-60 yıl, kömürün tükenme ömrü ise 100-120 yıldır. Kömür rezervlerinin çokluğu, 50'den fazla ülkede üretiliyor olması, kömür kaynaklarının, petrol ve doğalgaza kıyasla politik açıdan daha istikrarlı bölgelerde üretiliyor olması hammadde olarak kömüre önem kazandırmaktadır. Dünya kömür üretimi Çizelge 1.4'de verilmiştir.

**Çizelge 1.4** Dünya kömür üretimi (milyon ton) (BP, 2018).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Kuzey Amerika</b>	566,4	573,1	534,9	519,1	525,5	466,1	386,2	407,9
<b>Orta ve Güney Amerika</b>	55,7	63,6	65,9	65,0	67,8	64,4	67,8	66,8
<b>Avrupa</b>	197,4	201,4	199,2	187,5	179	171,2	161,3	164,6
<b>Afrika</b>	146,8	146	151,9	152,4	157,7	151,6	149,6	154,5
<b>Asya-Pasifik</b>	2402,6	2636	2697	2790,6	2781,7	2756,7	2639,6	2702,3
<b>Bağımsız Devletler Topluluğu</b>	232	245,7	260,3	263,5	254	251,5	258,1	271,8
<b>Dünya</b>	3600,9	3865,8	3909,2	3978,1	3965,7	3861,5	3662,6	3767,9

Dünyada kömür madenciliğinde gelişmiş teknolojilerin uygulanması ile kömür üretim maliyetleri düşürülmüştür. Bu durum elektrik piyasasında kömürün ucuz bir yakıt olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1** Elektrik üretimlerinde kömüre dayalı ülkeler ve kömürün payı (TTK, 2018).

Fosil bir yakıt olarak kömür, enerji kaynağı olarak yüzlerce yıldır kullanılmaktadır. 1960'lı yıllara kadar birincil enerji kaynağı olarak kömür önemini kaybetmemiştir. Ancak bu yılın sonuna doğru yerini petrole bırakmıştır. Elektrik üretimindeki kömürün

oynadığı önemli rol anlaşılınca tekrar dünya enerji kaynakları arasındaki konumunu tekrar kazanmıştır. Dünyada mevcut kömür rezervleri Çizelge 1.5'de verilmiştir.

**Çizelge 1.5** Kömür rezervlerinin kalitesine ve bölgelere göre dağılımı (milyon ton) (BP, 2018).

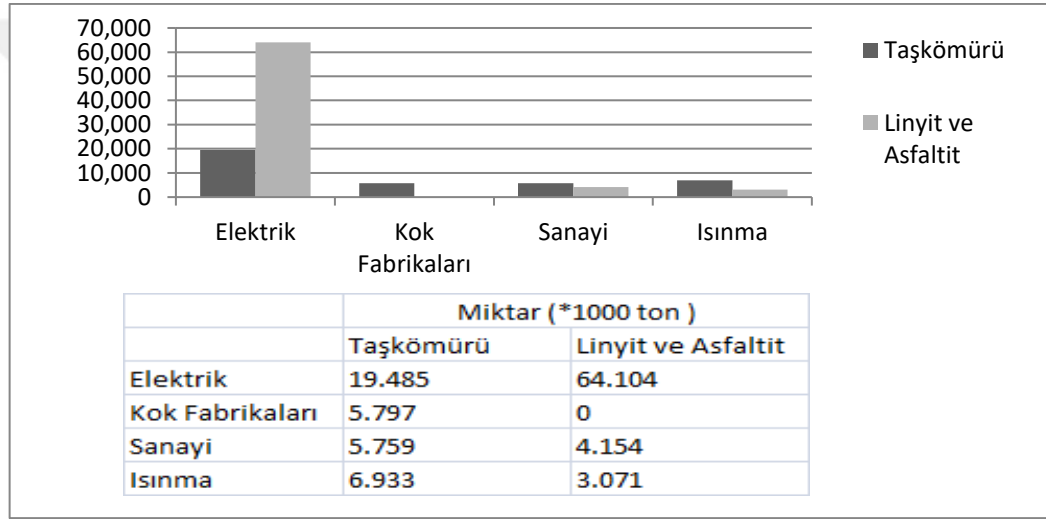
	ANTRASİT VE BİTÜMLÜ	ALT BİTÜMLÜ VE LİNYİT	TOPLAM	YÜZDE (%)
Kuzey Amerika	226306	32403	258709	24,9
Orta ve Güney Amerika	8943	5073	14016	1,4
Avrupa	24220	76185	100405	9,7
Ortadoğu-Afrika	14354	66	14420	1,4
Asya-Pasifik	314325	109909	424234	41
Bağımsız Devletler Topluluğu	130162	93066	223228	21,6
Dünya	718310	316702	1035012	100

#### 1.4.2 Türkiye kömür üretimi ve tüketimi

2017 yılında ülkemizde en fazla satılabilir kömür üretimi 71,46 milyon ton linyit olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 1,41 milyon ton asfaltit ve 1,41 milyon ton taşkömürü üretilmiştir (EIGM, 2018). 2017 yılı taşkömürü arzının % 48,3 oranındaki en büyük kısmı elektrik üretiminde ve % 17,2 oranındaki kısmı ısınma amaçlı, % 14,2 oranındaki kısmı sanayi amaçlı olarak tüketilmiştir. Kok fabrikalarının payı % 15,3 düzeyindedir (EIGM, 2018). Taşkömürü tüketiminde elektrik santrallerinin payı giderek artmaktadır. 10 yıl önce % 20 düzeyinde olan söz konusu pay 2017 yılı itibariyle % 50'ler düzeyine yaklaşmaktadır.

Linyit üretimleri petrol krizinden dolayı elektrik üretimi amaçlı linyit işletmelerine yapılan yatırımlar sonucunda artmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton linyit üretimi yapılmıştır. 1988 yılında üretim yaklaşık olarak 65 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık 1998 yılı sonrası doğalgaz alım anlaşmaları linyit üretimini olumsuz etkilemiş ve sonuç olarak üretim giderek azalmıştır. En düşük linyit üretimi ise 2004 yılında 43,7 milyon ton olmuştur. 2008 yılına kadar tekrar artan linyit üretimleri bu tarihte 76 milyon ton civarındadır. 2014 yılında 62,6 milyon ton, 2016 yılında 70,24 milyon ton, 2017 yılında ise 71,46 milyon ton üretim gerçekleşmiştir (EIGM, 2018).

Ülkemizde üretilen linyit kömürleri; elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde, sanayi sektörlerinde ve ısınma amaçlı olarak konut ve işyerlerinde tüketilmektedir. Linyitin elektrik üretimi amaçlı tüketim payı, 1970'li yılların başında ısıl değer bazında % 20'ler düzeyindeyken bu tarihten itibaren artmaya başlamış ve 2001 yılında % 80 ile en yüksek seviyeyi görmüştür. Söz konusu gelişmeye paralel olarak, aynı dönemde konut ve hizmetlerin payı % 42'den % 7'ye ve sanayi sektörlerinin payı ise % 36'dan % 13'e gerilemiştir. Kömürün sektörlere göre tüketim dağılımı Şekil 1.2'de verilmiştir. 2001 yılı sonrasında ise süreç tersine dönmüş ve elektrik üretiminde kullanım payı görece düşerken sanayi sektörleri ile konut ve hizmetlerde kullanım payı tekrar artmıştır (TKİ, 2018).



Şekil 1.2 Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı (TKİ, 2018).

### 1.5 Kömür Flotasyonu

Kömür flotasyonu teorik olarak 500 mikronmetre altı, pratik olarak ise 150 mikronmetre altından (28-100 mesh) daha ince kömürlere uygulanmaktadır. Çok iri boyutlarda ise (1 mm üstü) daha etkili ve ekonomik, özgül ağırlığa bağlı ayırma yöntemlerinin olmasından dolayı flotasyon işlemi tercih edilmemektedir. Kömür flotasyonunun ince boyutlara uygulanışı ile cevher mineralleri flotasyonu arasında farklılık bulunmaktadır. Cevher mineralleri flotasyonu mineral serbestleşmesi esas alınarak ince boyutlara öğütülerek işlem uygulanır. Kömür flotasyonunda ise ocak üretiminden sonra genellikle çarpmalı kırıcılar ve merdanelerden oluşan kırma işlemlerine tabi tutulur. İri kömürler özgül ağırlığa dayalı işlemler ile yıkandıktan sonra ince boyutlara flotasyon işlemi uygulanmaktadır. Dünyada yıkama işlemine tabi tutulan

kömürlerin yaklaşık % 10'una flotasyon işlemi uygulanmaktadır (Yiğit ve Özkan, 2007).

Ülkemizde daha önceki yıllarda uygulanmakta olan kömür flotasyonu, kömürün yerkabuğundan üretimi sonucu çıkan çok miktardaki ince boyutlu kömür tanelerine, içerdiği kül yapıcı mineraller ile organik olmayan piritik ve sülfat kükürtünün uzaklaştırılması amacıyla uygulanmıştır. Kömür flotasyonunda verimin ekonomik olarak sağlanabilmesi için kömürün yüksek kaliteli olması gerekmektedir. Düşük rank derecesine sahip kömürlerin içerdikleri nem daha fazla olduğundan ve kömürleşme evrelerini tamamlamadıklarından dolayı bu tür kömürler hidrofiliktir. Bu durumda linyit gibi düşük kaliteli kömürler için flotasyon işlemi zorlaşmaktadır. Taşkömürü gibi kaliteli kömürler hidrofobik özellikte olmalarına rağmen üretim sırasında ve sonrasında depolama sürecinde atmosfere maruz kalmaları oksitlenmeye neden olmaktadır. Oksitlenme sonucu kaliteli kömürlerde hidrofobik özellik tamamen ya da kısmen kaybolmaktadır. Bu durum flotasyonla kazanılma verimini düşürmektedir. Kömür flotasyonunda özellikle oksitlenmenin meydana getirdiği olumsuzlukları minimuma indirmek için mümkün olduğunca en kısa sürede flotasyon yapılmalıdır (Çilek, 2006).

İnce kömür parçacıklarının flotasyonunda parçacık-kabarcık çarpışması, parçacıkların kabarcıklara yapışması, parçacıkların kabarcıklardan kopması flotasyon işlemini etkileyen üç önemli parametredir (Tefek, 1984).

- Parçacık-kabarcık çarpışması: Kömür ve külü oluşturan hidrofilik parçacıkların hava kabarcıkları ile çarpışma olasılığı eşittir. Pülp içerisinde yükselen kabarcık çevresinde suyun viskoz akışı yer almaktadır. Çarpışma mertebesi kabarcık boyutunun sabit kaldığı durumda kömür parçacığı boyutu ile doğru orantılıdır. Kömür parçacığı küçüldükçe çarpışma mertebesi azalır, ancak kabarcık boyutu küçüldüğünde çarpışma olasılığı artar.
- Parçacıkların kabarcıklara yapışması: Kabarcık-parçacık arasındaki sıvı filminin incilmesi ile yapışma olur. Kabarcık-parçacık yüzeylerinin kimyasal özellikleri de yapışma olayında önemli rol oynar.
- Parçacıkların kabarcıklarından kopması: İnce kömür parçacıkları üzerindeki gravite, sürüklenme ve eylemsizlik kuvvetleri parçacıkların kabarcıklardan kopmasına neden olmaktadır. Hücre içerisindeki türbülans dolaylı parçacıkların kopması flotasyon verimini düşürmektedir.

Kömür heterojen bir madde olup, yüzeyi anizotropik bir özellik gösterir. Anizotropik yüzeyler iki kısımdan meydana gelmektedir. Birincisi Van der Waals bağlarının kırılmasıyla meydana gelen hidrofobik yüzeyler, ikincisi ise iyonik ve kovalent bağlarının kırılmasıyla meydana gelen hidrofilik kısımlardır. Yani kömür yüzeyi hemen hemen hidrofob özelliği gösteren kısımların olduğu kadar kimyasal bağlarının kırılmasıyla ortaya çıkmış ve hidrofillik özellik gösteren oksit grupları ve inorganik safsızlıkları da içermektedir. Kömürün yüzeyindeki negatiflik hidrofilik özelliği gösteren bu kısımlardan ileri gelmektedir. Kömür flotasyonunda toplayıcılar emülsiyeye edilmiş halde veya direkt olarak pülpe ilave edilirler. Oluşan yağ damlacıkları, kömür yüzeyini bir film şeklinde kaplayarak, yüzeyi daha hidrofobik yapar ve hava kabarcığı ile tane arasındaki adhezyon (yapışma) kuvvetini arttırırlar. Yapılan çalışmalarda, hava kabarcığı-kömür teması sağlandığında yağın üç faz temas hattı boyunca yayıldığı ve adhezyon kuvvetini arttırdığını göstermiştir. Yeni üretilen bir kömürün, oksidasyona uğramış kömürden daha iyi yüzdüğü bilinmektedir. Kömürün yüzeyinde oksitlenme neticesinde OH<sup>-</sup> ve COOH<sup>-</sup> gibi grupların oluştuğu saptanmıştır. Normal atmosfer sıcaklığında bile havanın oksijeni kömür yüzeyini oksitleyerek flotasyon yeteneğini azaltmaktadır. Oksitlenme düşük kömürleşme dereceli kömürlerde daha fazladır. Buna bağlı olarak da, düşük kömürleşme dereceli kömürlerin (linyit, turba) flotasyon yeteneği azdır. Kömürü meydana getiren maserallerden vitren çok çabuk oksitlenirken, oksitlenme özelliği füsen, düren, klaren ve vitren doğrultusunda artmaktadır (Ateşok, 1986).

Değişik kömürlerle yapılan çalışmalarda, flotasyonun yapıldığı nötr pH'ta kömür yüzeylerinin negatif yüklü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kömür yüzeyindeki oksidasyon derecesinin artması, zeta potansiyelinin negatif değerini arttırdığı belirlenmiştir. Linyit kömürleri üzerinde yürütülen çalışmalarda ise şarjın sıfır noktasının (zpc) pH 2-5 civarında olduğu tespit edilmiştir. Farklı hidrokarbon yağlar ve endüstriyel ölçekte kullanılan yağlarla yapılan çalışmalarda zeta potansiyelinin pH'a bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Mazot, fuel oil ve bunların değişik oranlardaki karışımları ile yapılan çalışmalarda karışımdaki fuel oil miktarı arttıkça şarjın sıfır noktasının daha yüksek pH değerine kaydığı tespit edilmiştir (Polat vd., 2003).

Bütün katılarda olduğu gibi kömürün de doğal yüzme özelliği temas açısıyla belirtilir. Genellikle yüksek kömürleşme derecesindeki kömürlerde temas açısı 10°-20° arasında değişirken, düşük kömürleşmede bu açı 0°'ye kadar düşmektedir. Saf su içerisinde

çeşitli kömür yüzeylerinde 20°-65° arasında değişen temas açılarının ölçüldüğü belirtilmiştir (Atak, 1982). Kömürün nem miktarı flotasyonu ters yönde etkilemektedir. Linyitten antrasite doğru gidildikçe nem miktarı azalır. Buna bağlı olarak da kömürün yüzebilme yeteneği artar. Kömürün kül miktarının flotasyon üzerine etkisi fazladır. Mineral maddeler (inorganikler) suda kolaylıkla ıslanabilir özellik gösterdiklerinden, kömürün kül miktarı arttıkça doğal yüzebilirlik ve temas açısı azalır. (Ateşok, 1986).

Kömürün flotasyon ile yüzdürülmesinde kömürün doğal yüzebilirliği (hidrofobiklik) yüzdürme reaktifleri kullanılarak artırılır. Kömür flotasyonunda reaktif olarak hidrokarbon yağların kullanılması bu mineral grubu için karakteristiktir. Kullanılan reaktifler Çizelge 1.6'da verilmiştir.

**Çizelge 1.6** Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler (Laskowski, 2001).

Tipi	Flotasyonda Kullanım Amacı	Fonksiyonel Grup	Örnekler	Etkisi
Polar olmayan (suda çözünmez)	Kollektörler	---	Gazyağı, fuel oil	Seçimli ıslatma ve yağ damlacıklarının kömür taneciklerine tutunması
Yüzey aktif (suda çözünür)	Köpürtücüler	Hidroksil, azotlu	Alifatik alkoller, piridin içeren katran yağları	Toplayıcı özelliği olabilir, aynı zamanda yağ tipi kollektörlerin emülsiyonunu iyileştirir
Emülsiyon oluşturucular (yağlı kollektörde çözünür)	İyileştiriciler	Hidroksil, karboksil, azotlu	Polietioksalat alkoller, yağ asitleri	Kollektörün emülsiyonunu ve kömür yüzeyinde kollektörün yayılmasını iyileştirir
İnorganik (suda çözünür tuzlar)	Düzenleyiciler	---	NaCl, CaCl <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaO, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	İyileştiriciler, pH düzenleyiciler, kükürt bastırıcılar
Koruyucu kolloidler	Bastırıcılar	Hidroksil, karboksil	Polimerler: nişasta, dekstrin, karboksilmetil selüloz vd.	Flotasyonda düzenleyici ve kömür bastırıcı

## 1.6 Kömür Flotasyonu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Sarıkaya ve Özbayoğlu (1995), okside kömürün yüzdürülebilirliğini elektrokinetik çalışmalar, temas açısı ölçümleri ve yüzdürme testleri ile incelemiştir. Oksitlenmiş ve oksitlenmemiş kömür numunelerinin elektrokinetik ölçümleri zeta potansiyelinin pH'a bağlı olduğunu göstermiştir. Oksitlenmenin artması ile negatif zeta potansiyeli artmıştır. Katyonik toplayıcılar eklendiğinde oksitlenmiş kömür için zeta potansiyelinin negatif değeri pH 9,3-10,9 altında pozitif değere ulaşmıştır. Temas açısı ölçümleri de oksidasyonla kömürün doğal yüzebilirliğinin bozulduğunu göstermiştir. Katyonik toplayıcı eklendiğinde oksitlenmiş kömürün temas açısı değeri arttırılmıştır. Nötr pH'da oksitlenmiş kömürün yüzebilirliğinin en yüksek seviyede olduğunu göstermiştir.

Sarıkaya (1995), Zonguldak bölgesine ait bitümlü kömür üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmayı oksidasyonunun flotasyon geri kazanımı üzerindeki etkilerini saptamak amacıyla yapmıştır. Oksitlenme öncesi % 95 olan geri kazanım değeri oksitlenme sonra % 24'e kadar düşmüştür.

Jia vd. (2000), Illinois No. 6 kömürü ve Pittsburgh No. 8 olarak adlandırılan iki yüksek kükürlü kömürün flotasyon davranışlarını toplayıcı olarak farklı iyonik olmayan oksijenli yüzey aktif cisimleri kullanarak açıklamışlardır. Reaktiflerin performansı, dodekan ve nonilbenzen olmak üzere iki yağlı toplayıcı ile karşılaştırmışlardır. Flotasyon çalışmalarını oksitlenmiş ve oksitlenmemiş kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirerek kimyasalların karşılaştırılması yapmışlardır. Deneysel sonuçlarında hem oksitlenmiş hemde oksitlenmemiş iki kömür içinde yüzey aktif iyonik olmayan THF (Tetrahydrofuran ester) serilerin, dodekandan (yağlı bir kollektör) daha etkili toplayıcı olduklarını ve yanabilir verim açısından THF serisinin dodekandan daha düşük dozajlar gerektirdiğini tespit etmişlerdir. Laboratuvar koşullarında okside edilmiş kömür numuneleri için yaptıkları flotasyon çalışmalarında dodekan kullanılarak kömürün yüzdürülmesi zor olmasına rağmen, THF serisi kullanıldığında yüzebilirliğin sağlandığını göstermişlerdir. THF serisi deneylerini desteklemek amacıyla benzen ile yaptıkları deneylerde de yine dodekandan daha etkili bir toplayıcı olduğunu belirlemişlerdir.

Vamvuka ve Agridiotis (2001), yaptıkları çalışmada köpük flotasyonu ile linyitin temizlenmesini incelemiştir. Flotasyon deneylerinde toplayıcı, tane boyutu, pülp yoğunluğu ve pH'ın etkisini araştırmışlardır. Anyonik, katyonik ve iyonik olmayan



reaktiflerin performansı karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda optimum tane boyutunu  $-300+75 \mu\text{m}$ , pülp yoğunluğunu % 15 olarak belirlemişlerdir. Flotasyon reaktifleri olarak kerosen ve dodesilamin kombinasyonu kullandıklarında üstün bir ayrılma meydana gelmiştir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda, herhangi bir kerosen olmadan dodesilamin eklenmesi, daha düşük ürün külüne neden olmuştur. Katyonik, iyonik olmayan ve anyonik yüzey aktif cisimlerin kül/verim performansı sırasıyla asidik, nötr ve alkali çözeltilerde daha yüksek bulunmuştur.

Sis vd. (2003), iyonik olmayan ve iyonik reaktifleri yüksek kül kömürü tozlarından temiz konsantreler elde etmek için toplayıcı olarak kullanmışlardır. Reaktifler, flotasyon verimi ve konsantrelerin kül içeriği açısından karşılaştırılmıştır. Flotasyon deneyleri doğal pH ve % 10 katı oranı ile gerçekleştirmişlerdir. Konvansiyonel reaktifler olarak gazyağı ve çam yağı kullanılırken Pamak1 ve Pamak4 konvansiyonel olmayan iyonik flotasyon toplayıcıları olarak kullanmışlardır. Flotasyon sonuçları, geleneksel kollektörlerin konsantre kül içeriğini % 21'in altına düşüremediğini, iyonik kollektörlerin kül içeriğinin % 16'ya düşürmede önemli ölçüde daha iyi olduğunu, ancak verimlerinin düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Sönmez ve Cebeci (2006), Ukrayna kömürü için uygun toplayıcı cinsi ve uygun toplayıcı miktarını belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Toplayıcı olarak klasik yağlar (gazyağı, dizel yağı, mazot) ve yağlama yağları (spindle yağı, bright stock, ağır nötr) kullanılmıştır. Yapılan flotasyon çalışmaları sonucunda yanabilir verim ve kül içeriğinin toplayıcı cinsi ve miktarına bağlı olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bright stock baz yağ kullanılarak en yüksek yanabilir verim elde etmişlerdir. Flotasyon verimliliği göz önüne alındığında ise en iyi sonuçlar bright stock ve dizel yağı ile sağlamışlardır. Ukrayna kömürlerinin flotasyonu için klasik yağlar yerine alternatif olarak bright stock ve spindle baz yağlarının kullanılabilceği önerilmektedir.

Oast vd. (2010), yaptıkları çalışmada, ince kil minerallerinin kömür flotasyonu üzerindeki olumsuz etkilerini araştırmışlardır. Flotasyon deneylerini ince kil minerallerinin mekanik ve kimyasal olarak uzaklaştırılmasının kömür flotasyonu üzerindeki etkisini incelemek için ham kömür numuneleri ve eski kömür numuneleri ile gerçekleştirmişlerdir. Flotasyon veriminin artan pH değerleri ile arttığını belirlemişlerdir. Dağıtıcı olarak kullanılan sodyum silikat ve sodyum heksametafosfatın flotasyon verimi üzerinde etkili bir değişim sağlamadığını gözlemlemişlerdir.

Hidrosiklon kullanılarak şlamın atılması sonrası yapılan flotasyon deneylerinde belirgin bir şekilde flotasyon veriminde artma olmuştur.

Vapur vd. (2010), Kütahya-Ömerler yöresine ait linyit kömürleri ile çalışmışlardır. Farklı tane boyutlarını (106, 250, 355 µm) ve farklı katı oranlarını (% 5, % 10, % 20) kullanılarak yaptıkları flotasyon çalışmalarında, en iyi verimi 250 µm tane boyutunda ve % 20 katı oranında sağlamışlardır.

Abshosk vd. (2010), farklı tane boyutlarında kömür numuneleri üzerinde flotasyon deneyleri yapmışlardır. Denver tipi flotasyon makinası ile % 10 katı oranı, 2,5 kg/t gazyağı ve köpürtücü olarak 230 g/t çamyacı kullanarak flotasyon deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Değişken olarak tane boyutunu tutmuşlardır. 850+500, -500+300, -300+150, -150+75, -75 µm'lik fraksiyonların farklı sürelerdeki veri hız sabitlerini belirlemişlerdir. Varyans analizi % 96,5 güven seviyesinde partikül büyüklüğünün değişmesinin kinetik sabitinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, ancak % 95 güven düzeyinde maksimum teorik flotasyon veriminde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir.

Hacıfazlıoğlu (2011), Zonguldak (Karadon) havzasında bulunan bir işletmeden alınan şlam kömür numuneleri üzerinde uygun toplayıcı ve köpürtücü miktarı ve türlerini belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Flotasyon deneylerinde toplayıcı olarak gazyağı, fuel-oil, motorin, benzin kullanmıştır. Köpürtücü olarak ise MIBC, Dowfroth 250, Çamyacı, 2-etil hegzanol kullanmıştır. 600, 1200, 1800, 2400 ve 3000 g/t toplayıcı miktarları ile yaptığı deneylerde köpürtücü olarak 300 g/t oranında MIBC kullanmıştır. 1800 g/t optimum toplayıcı miktarı seçtiğinde en yüksek yanabilir verimler sırasıyla gazyağı için % 81,00, motorin için % 80,10, fuel-oil için % 79,80 ve benzin için % 76,46'dır. Benzin en düşük küllü kömürü sağlamasına rağmen yanabilir verimi en düşük toplayıcıdır. Köpürtücü miktar ve türlerini belirleme deneylerinde ise 1800 g/t gazyağı kullanmıştır. 100-200-300-4000-500 g/t köpürtücüler kullanarak yaptığı deneylerde MIBC ve Dowfroth 250 kullandığında en yüksek yanabilir verim değerlerine ulaşmış, ancak MIBC köpürtücü cinsinin kömür şlamı için seçimliliğinin daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Bilir vd. (2011), negatif biaslı flotasyon kolonu kullanarak deneylerini gerçekleştirmiştir. Toplayıcı olarak gazyağı kullanmışlar ve gazyağı miktarının yanma verimi ve kül içeriğine etkisini araştırmışlardır. Kullanılan gazyağı miktarının optimum

değerini belirleyebilmek için oranların farkı yöntemi olarak bilinen hipotez testinden yararlanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda gazyağı miktarının 0-1000 g/t olduğunda gazyağı miktarı arttıkça iri taneli kömürlerin yüzebilirliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Kül yapıcı maddelerin toplayıcıdan etkilenmeyerek konsantreye doğru sürüklenmesi sabit kalmıştır. Miktar 1000 g/t dan daha fazla olduğunda ise yanıcı madde veriminde değişiklik gözlememişlerdir.

Dey vd. (2013), yaptıkları çalışmada düşük ranklı ve oksitlenmiş kömürün mekanik ve kolon flotasyonu yöntemlerini kullanarak flotasyon davranışı hakkında çalışma yapmışlardır. Çalışılan koklaşmamış kömür numunesi % 37,5 kül değerine ve % 26,8 uçucu madde değerine sahiptir. Hem doğal pH hemde nötr pH değerlerinde karşılaştırma yapmışlardır. Nötr pH değerinde verim daha fazla olduğundan tüm mekanik ve kolon flotasyonu deneylerini nötr pH da yapmışlardır. Toplayıcı olarak dizel, köpürtücü olarak MIBC kullanmışlardır. Öğütme değirmeni ve yüzdürme hücresinde, yüzdürme performansında yüzey modifikasyonu ve iyileştirme için destekleyici olarak etil alkol kullanmışlardır. Destekleyicinin öğütme devresine eklendiği zaman daha etkili olduğunu gözlemişlerdir. Mekanik flotasyon deneylerinde kül içeriğinin azaltılması için daha yüksek konsantrasyonlarda reaktif kullanılması gerektiğini tespit etmişlerdir. Mekanik ve kolon flotasyonu arasında yapılan kıyaslamada kolon flotasyonunda işlem sırasında değişkenler daha kolay ayarlanabilir olduğundan avantajlı olduğu yorumuna varmışlardır.

Chang vd. (2017), yüzey oksidasyon derecesinin flotasyon üzerindeki etkileri ve bu etkilerin iyileştirilmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Avustralya bitümlü kömürü üzerinde yaptıkları çalışmada toplayıcı reaktif olarak dizel yağı, köpürtücü olarak MIBC kullanmışlardır. Doğal pH da çalışmışlar ve oksidasyon ile değişen pH değerlerini NaOH ve HCl kullanarak ayarlamışlardır. Laboratuvar koşullarında oksidasyonu, kömürü 150 °C'de 4-8-16-24-48-72 saat ısıtarak sağlamışlardır. Oksitlenme sonrası elementlerin türünü ve miktarlarını XPS (X-ışını fotoelektron spektroskopisi) analizi ile belirlemişlerdir. Oksitlenmemiş kömür % 88,59 C ve % 7,73 O değerine sahiptir. Karbon miktarı oksidasyon derecesi arttıkça azalırken, oksijen değerleri artmıştır. 72 saat sonunda karbon değeri % 81,28, oksijen değeri % 15,29 olmuştur. Yaptıkları flotasyon çalışmaları sonucunda oksidasyon miktarı arttıkça kömürün yüzebilir yeteneğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Az oksitlenmiş kömür flotasyon deneylerinde, dizel yağı miktarları artırıldıkça flotasyon verimi de artmıştır. Ancak ağır oksitlenmiş

kömür numunelerinde toplayıcı olarak sadece dizel yağının kullanılmasının yüksek dozajlarda bile flotasyon verimi için yeterli olmadığını gözlemlemişlerdir. Oksitlenmiş kömürün flotasyon iyileştirme çalışmalarında dizel ve X-100 ile hazırlanan kompozit bir toplayıcı kullanmışlardır. Bu kompozit toplayıcı ile hidrofobikliği arttırmış, % 80 oranlarına kadar flotasyon verimi elde etmişlerdir.

Ni vd. (2018), yaptıkları araştırmada ince tabakaların flotasyon kinetiği ve farklı büyüklükteki fraksiyonlardaki kömür parçacıklarının geri kazanımı üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Kömür numunesini Çin'in Shandong eyaletinde bulunan kömür hazırlama tesisinden almışlardır. Flotasyon deneylerinde kullanılacak ince parçacıkları da bu tesisten almışlardır. Benzer özelliklere sahip olmayan bu parçacıkları boyut küçültme işlemlerinden sonra flotasyon deneylerinde kullanmışlardır. Flotasyon deneylerini 1,5 litrelik flotasyon hücresi içerisinde, 1800 dev/dk pervane hızında, 0,24 m<sup>3</sup>/sa sabit hava debisinde gerçekleştirmişlerdir. Flotasyon reaktifi olarak toplayıcı kullanmamış, sadece 100 g/t köpürtücü kullanmışlardır. Flotasyon işlemine tabi tutulacak karışım kömür parçacıklarını ve ince atık parçacıklarını % 80:20, % 65:35, % 50:50, % 35:65 oranlarında karıştırarak hazırlamışlardır. Kömür taneciklerinin ve atık taneciklerinin ayrılmasını kolaylaştırmak için, kömür taneciklerinin boyut aralığı sırasıyla 0,5-0,25 mm, 0,25-0,025 mm ve 0,125-0,074 mm iken, atık partiküllerinin boyutu 0,045 mm'nin altındadır. Çalışmalar sonucunda hem kömür partiküllerinin tek tek flotasyonunda hem de kömür partiküllerinin ve ince partiküllerinin karışık flotasyonunda, genel olarak 0,125-0,074 mm büyüklüğündeki kömür partiküllerinin flotasyon veriminin en büyük olduğunu ve 0,5-0,25 mm boyut aralığının flotasyon veriminin en küçük olduğunu gözlemlemişlerdir. Flotasyon geri kazanımını ince tanecikler olumsuz etkilemiş, karışım oranlarının artmasıyla flotasyon geri kazanımını olumsuz etkilemiştir.

Zhen vd. (2019), oksitlenmiş dizel yağının düşük dereceli kömür flotasyonu üzerine etkisini plazma oksidasyon metodu kullanılarak araştırmışlardır. Deney numunelerini Çin'in Shendong maden sahasından almışlardır. Flotasyon deneylerini oksitlenmiş ve oksitlenmemiş 3-4-5 kg/t dizel yağı miktarları kullanarak yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda okside edilmiş dizel yağının düşük dereceli kömür yüzeyindeki hidrofobiklik özelliğini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Oksitlenmiş dizel yağı ile kömür arasındaki etkileşim kuvveti, oksitlenmemiş dizel yağı ile kömür arasındaki etkileşim kuvvetinden

daha yüksektir. Oksidasyon öncesi temas açısını  $34,5^\circ$  olarak oksidasyon sonrası ise  $23,7^\circ$  ölçmüşlerdir.

Shen vd. (2019), yaptıkları çalışmada atık yemeklik yağın proliz ürününün kömür flotasyonunda alternatif bir toplayıcı olabileceğini göstermek amacıyla çalışma yapmışlardır. Karşılaştırma amaçlı bir diğer toplayıcı olarak dizel kullanmışlardır. Klasik flotasyon yöntemi ile gerçekleştirilen yüzdürme işlemleri sonucunda atık yemeklik yağ proliz ürününün güçlü bir toplama kabiliyetine ve dizele kıyasla daha yüksek seçiciliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Dizel yağı kullanılarak yapılan deneylerde yanabilir verim % 69 iken atık yemeklik yağ proliz ürünü ile yapılan deneylerde bu değer % 79'a yükseltilmiştir.

Şahinoğlu (2019), Artvin ili, Yusufeli ilçesi, Müzret bölgesinden alınan kömür numuneleri üzerinde flotasyon çalışması yapmıştır. Dört farklı tipte yağın (mazot, fuel oil, orijinal ayçiçek yağı, atık ayçiçek yağı) yüksek kül (% 35,65) ve kükürt (% 7,91) içerikli, toz boyutlu ( $-0,25$  mm) kömürde flotasyon performansı araştırmıştır. 1 litrelik flotasyon hücresi içerisinde % 10 katı oranı, 250-500-750-1000 g/t toplayıcı miktarlarını kullanarak deneyler yapmıştır. Flotasyon işlemi sonrasında konsantreler için yapılan analiz hesaplamaları sonucunda maksimum yanabilir verim % 87,48 olarak 1000 g/t mazot miktarında, en yüksek kül giderimi 250 g/t fuel oil miktarında % 58,36 olarak, en fazla ayırma etkinliği ise 250 g/t orijinal ayçiçek yağı kullanıldığında % 36,89 olarak bulmuştur. Kömür flotasyonunda mazot ve fuel oil gibi petrol kökenli yağlara alternatif olarak bitkisel kökenli yağlarında başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir.

Xia vd. (2019), düşük ranklı kömürün geri kazanılması için yüzdürme toplayıcısı olarak kullanılmış kayganlaştırıcı yağın (ULO) performansını araştırmışlardır. Karşılaştırmak için bir diğer toplayıcı olarak mazot kullanmışlardır. Deney numuneleri Çin'in Shendong madeninden alınmıştır. Flotasyon deneylerini 80 g/lt pülp yoğunluğunda 1 litrelik flotasyon hücresi içerisinde yapmışlardır. Kullanılan toplayıcı miktarları 2-4-6-8 kg/t kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada toplayıcı olarak ULO verimi diğer toplayıcı mazotun verimine oranla % 35 daha yüksek çıkmıştır. Yapılan yüzey temas açısı ölçümleri sonucunda kayganlaştırıcı yağ (ULO) kullanımının kömürün yüzey hidrofobikliğini iyileştirdiği belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Malatya-Arguvan linyiti

Tez çalışmasında kullanılan Malatya-Arguvan linyiti, yeraltında damarlardan ikişer saatlik aralıklarla oluk numunesi olarak 500 kg'a kadar alınmıştır. Bu numune içerisinden gözle parlak ve saf numuneler seçilerek ağızları hava almayacak şekilde paketlenmiş, kalan numune ise laboratuvarında kullanılmak üzere numune azaltma yöntemleriyle 5'er kg'lık poşetlere bölünmüştür.

.Arguvan linyitinin tüvenan havada kuru bazda gerçekleştirilen elementel analiz sonuçlarına göre % 33,34 C, % 3,85 H, % 0,89 N ve % 3,89 S içerdiği belirlenmiştir. ASTM standartları ile belirlenen havada kuru baz analiz değerlerine göre hesaplanan orijinal, kuru ve kuru-külsüz baz değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Nem oranı, linyitin kömürleşme derecesini gösteren, kalitesini ve kullanımını etkileyen en önemli özelliktir. Bu bakımdan, linyit sınıflandırılmasında, orijinal nem oranı birinci derecede etkili olmaktadır. Orijinal nem oranı göz önünde tutularak yapılan dış görünüş linyit sınıflamasına göre, % 20,33 orijinal nem içeren Arguvan linyiti sert linyit sınıfına girmektedir. Sert linyitler parça sağlamlığı ve yıkanabilirliklerinin nispeten iyi olmasıyla bilinmektedirler. (Kemal ve Arslan, 2010). Bulunan sonuçlar Aksoğan Korkmaz (2017)'in yaptığı çalışmayla uyumludur. Aradaki çok az farkın numunenin alındığı aylardan kaynaklanan mevsimsel değişimlerden olduğu düşünülmektedir.

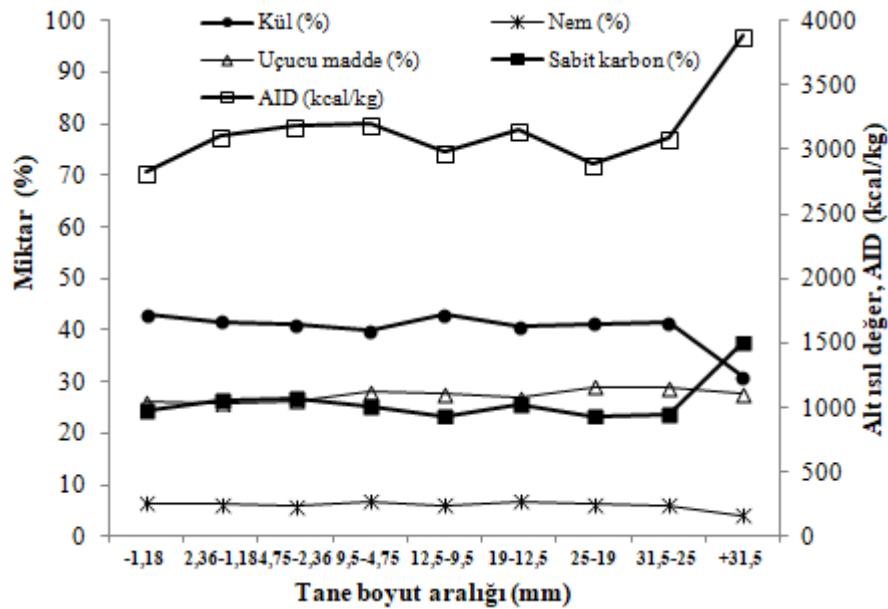
**Çizelge 2.1** Arguvan linyitinin kısa analiz sonuçları

İçerik	Orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz	Kuru-külsüz baz
<b>Kaba nem (%)</b>	15,18			
<b>Nem (%)</b>	20,33	6,07	0,00	
<b>Kül (%)</b>	34,58	39,97	43,40	
<b>Uçucu madde (%)</b>	23,02	27,14	28,89	51,05
<b>Sabit C (%)*</b>	19,08	23,30	23,95	48,95
<b>Toplam S (%)</b>	2,99	3,52	3,75	
<b>AID (kcal/kg)</b>	2546	3109	3348	5917

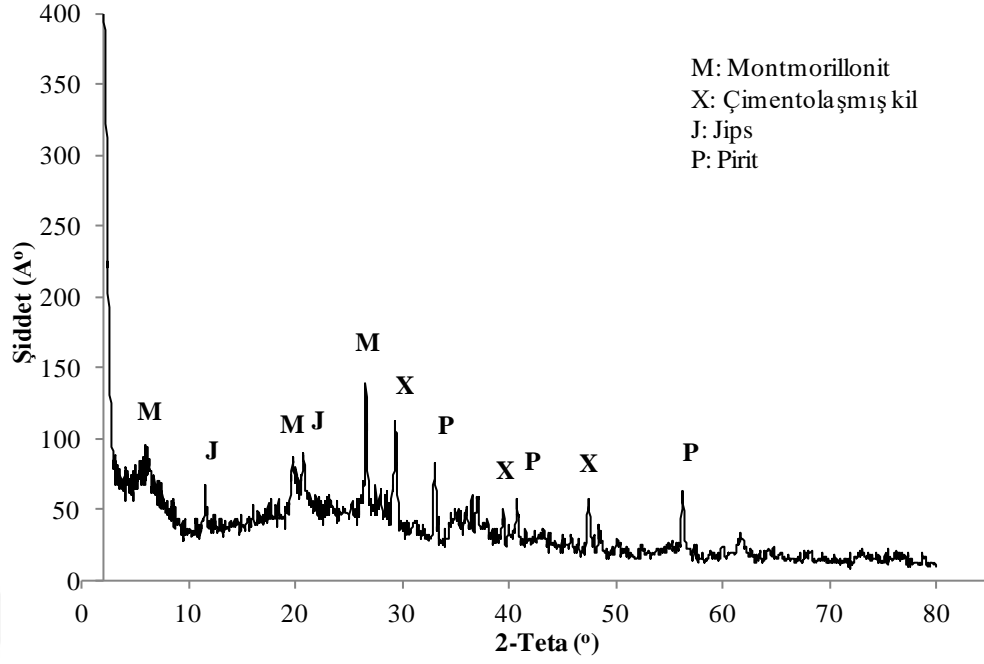
\* Fark ile

Arguvan linyitinin diğerk bir karakteristik özelliği de % 39,97 gibi yüksek oranda küle sahip olmasıdır. Normalde sert linyitlerde bu kadar yüksek oranda kül içeriği beklenen bir durum değildir. Kuru-külsüz kömür bazında % 48,95 uçucu madde içeren Arguvan linyiti, Riediger katı yakıt sınıflamasına göre sert linyit sınıfına girmektedir (Kemal ve Arslan, 2014).

Havada kuru baza göre gerçekleştirilmiş olan Arguvan linyitinin tane boyutuna göre kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon değişimleri Şekil 2.1'de ve Ek 5'te verilmiştir. Şekil 2.1 incelendiğinde, Arguvan linyitinde uçucu madde ve nem içeriği tane boyutuna bağlı olarak hemen hemen hiç değişmezken, kül ve sabit karbon içeriklerinde anlamlı bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak tane boyutu değişimine göre içeriklerde belirgin bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. ASTM sınıflamasına göre, kuru-külsüz bazda üst ısıl değeri 5917 kcal/kg olan Arguvan linyiti Alt bitümlü-B sınıfına dahildir (Çizelge 2.1). Ancak Aksoğan Korkmaz (2017) yaptığı çalışmada Arguvan linyitinin Alt Bitümlü C sınıfına girdiğini belirtmektedir. Bu farklılığın numuneden kaynaklandığı, dolayısıyla alınan numunelerde bölgesel olarak kalitesinin ve içeriğinin değiştii anlaşılmaktadır.



Şekil 2.1 Havada kuru baza göre Arguvan linyitinin tane boyutuna bağlı olarak kısa analiz sonuçlarının değişimi.



**Şekil 2.2** Arguvan linyitinin XRD analiz sonucu.

Arguvan linyit örneğinin XRD analizi sonucu incelendiğinde (Şekil 2.2), heterojen linyit yapısı içerisinde belirgin olarak kil minerallerinden montmorillonit  $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$ , jips ( $CaSO_4.2H_2O$ ), pirit ( $FeS_2$ ) ve çimentolaşmış kil minerallerine ait piklere rastlanmıştır.

### 2.1.2. Manisa-Soma linyiti

Tez çalışmasında kullanılan Manisa-Soma linyiti, Soma-Eynez bölgesinden yeraltında damarlardan 2'şer saatlik aralıklarla oluk numunesi olarak yaklaşık 500 kg kadar alınmıştır. Bu numune içerisinde gözle parlak ve saf numuneler seçilerek ağızları hava almayacak şekilde paketlenmiş, kalan numune ise laboratuvarında kullanılmak üzere numune azaltma yöntemleriyle beşer kg'lık poşetlere bölünmüştür.

Manisa-Soma linyitinin tüvenan havada kuru bazda gerçekleştirilen elementel analiz sonuçlarına göre % 33,72 C, % 3,03 H, % 0,62 N ve % 0,63 S içerdiği belirlenmiştir. ASTM standartları ile belirlenen havada kuru baz analiz değerlerine göre hesaplanan orijinal, kuru ve kuru-külsüz baz değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Nem oranı, linyitin kömürleşme derecesini gösteren, kalitesini ve kullanımını etkileyen en önemli özelliktir. Bu bakımdan, linyit sınıflandırılmasında, orijinal nem oranı birinci derecede etkilidir. Orijinal nem oranı göz önünde tutularak yapılan dış görünüş linyit sınıflamasına göre, % 11,17 nem içeren Soma linyiti sert parlak linyit sınıfına



girmektedir. Sert parlak linyitler parça sağlamlığı ve yıkanabilirliklerinin çok iyi olmasıyla bilinmektedirler (Kemal ve Arslan, 2014). Bulunan sonuçlar Seyhan (1994)'ın yaptığı çalışmayla uyumludur.

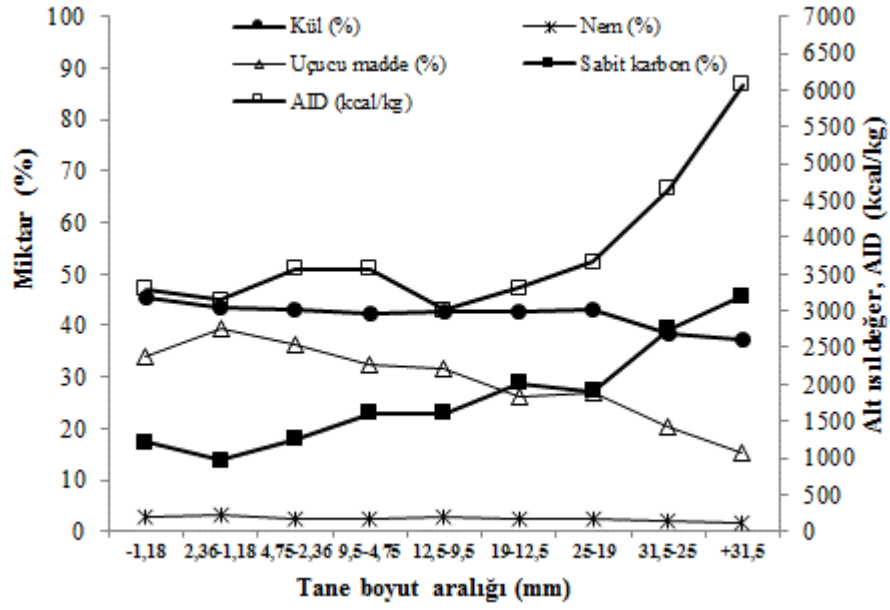
**Çizelge 2.2** Manisa-Soma linyitinin kısa analiz sonuçları

<b>İçerik</b>	<b>Orijinal baz</b>	<b>Havada kuru baz</b>	<b>Kuru baz</b>	<b>Kuru-külsüz baz</b>
<b>Kaba nem (%)</b>	8,91			
<b>Nem (%)</b>	11,17	2,48	0,00	
<b>Kül (%)</b>	38,66	42,44	43,52	
<b>Uçucu madde (%)</b>	27,20	29,86	30,62	54,21
<b>Sabit C (%)*</b>	22,40	24,59	25,22	45,79
<b>Toplam S (%)</b>	0,57	0,63	0,65	
<b>AİD (kcal/kg)</b>	3280	3658	3766	6668

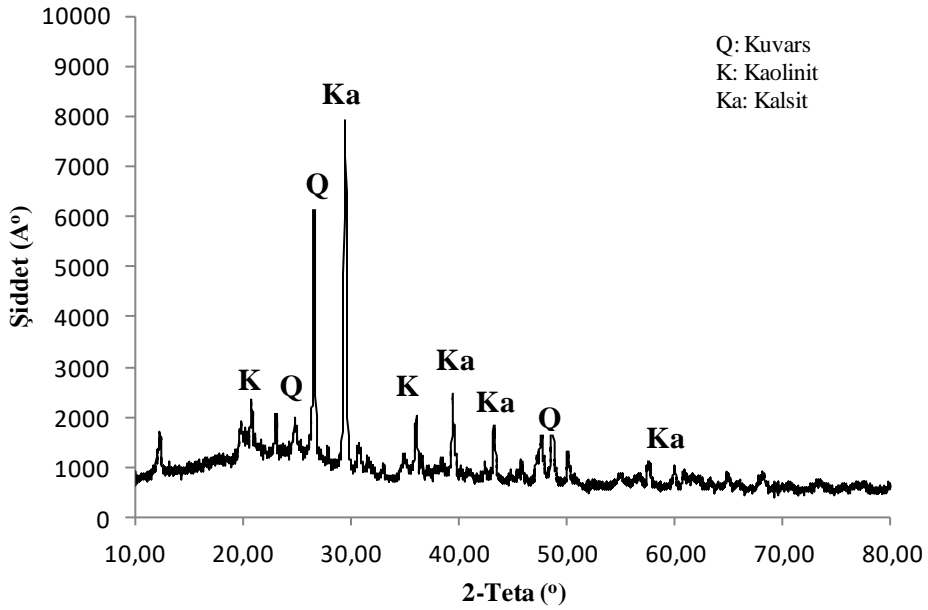
\* Fark ile

Manisa-Soma linyiti, Soma-Eynez ocağından getirilmesi ve herhangi bir işleme tabi tutulmamış olması nedeniyle, kül değeri % 42,44 gibi çok yüksek bir orana sahiptir. Satışa sunulan yıkanmış Manisa-Soma linyitlerinin kül değerleri normalde % 11-16 kül arasında değişmektedir (Url-4). İri boyutta serbest halde bulunan kil mineralleri yoğunluk farkından dolayı lavvarlarda yıkanarak % 35-45 arasında olan kül içeriği % 11-16 kül içeriğine düşürülmektedir. Saf kömür (kuru-külsüz) bazda % 54,21 uçucu madde içeren Soma linyiti, Riediger katı yakıt sınıflamasına göre de sert linyit sınıfına girmektedir (Kemal ve Arslan, 2014).

Havada kuru baza göre gerçekleştirilmiş olan Soma linyitinin tane boyutuna göre kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon değişimleri Şekil 2.3 ve Ek 5'te verilmiştir. Şekil 2.3 incelendiğinde, Soma linyitinde nem içeriği tane boyutuna bağlı olarak belirgin bir değişim göstermemektedir. Uçucu madde tane boyutunun incelişmesiyle artmakta ve karbon oranı azalmaktadır. Ancak tane boyutuna bağlı olarak kalorifik değerleri, beklendiği gibi kül içeriği ile ters orantılı olarak değişmiştir. ASTM sınıflamasına göre, kuru-külsüz bazda üst ısıl değeri 6668 kcal/kg olan Soma linyiti Alt Bitümlü C sınıfına dahildir (Çizelge 2.2).



Şekil 2.3 Havada kuru baza göre Soma linyitinin tane boyutuna bağlı olarak kısaca analizi sonuçlarının değişimi.



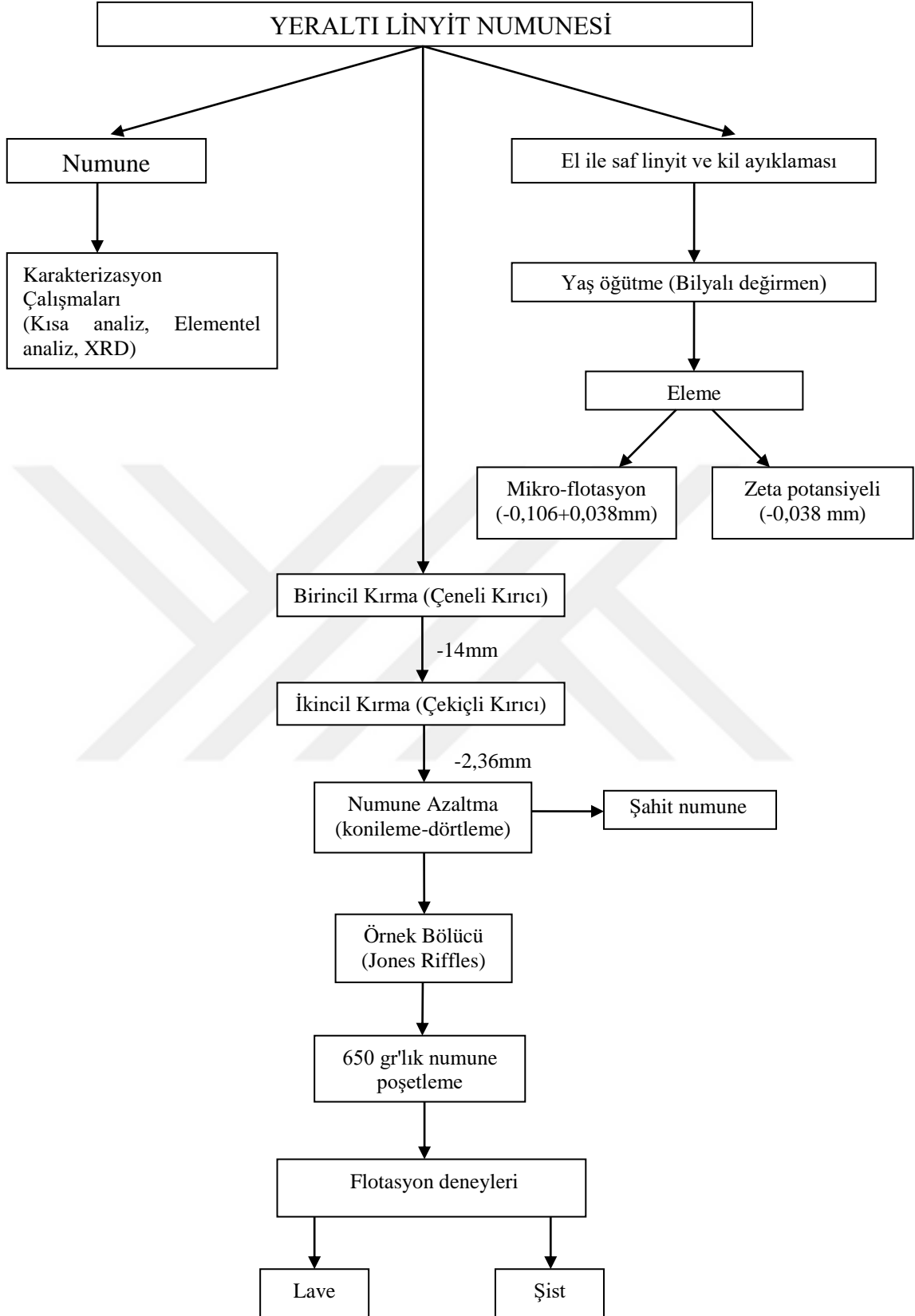
Şekil 2.4 Soma linyitinin XRD analiz sonucu.

Soma linyit örneğinin XRD analizi sonucu incelendiğinde (Şekil 2.4), heterojen linyit yapısı içerisinde belirgin olarak kil minerallerinden kaolinite ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), kuvars ( $SiO_2$ ) ve kalsit ( $CaMg(CO_3)_2$  ( $FeS_2$ )) minerallerine ait piklere rastlanmıştır.

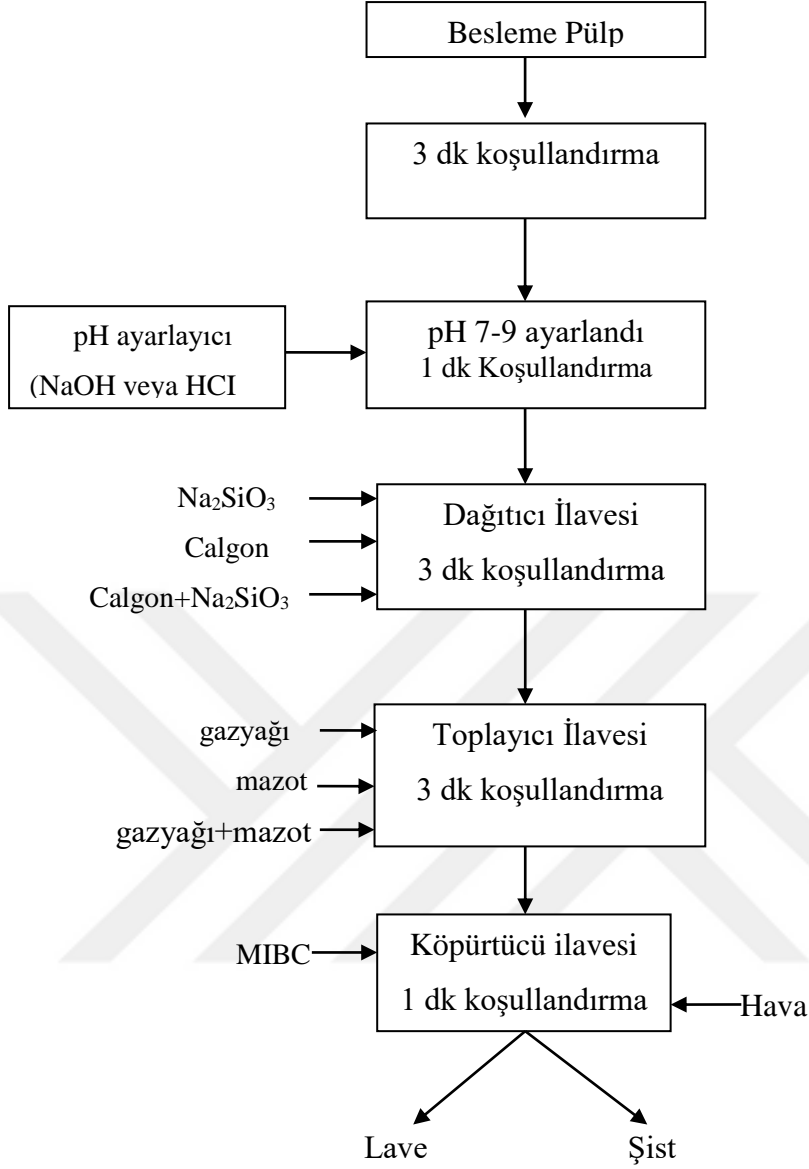
## 2.2. Metod

Laboratuvara getirilen linyit örnekleri sahada orijinal olarak alınan kısım dışında, yere yayılan bir bez üzerinde havada kurumaya bırakılmıştır. Havada kurutulan linyit örnekleri, konileme-dörtleme yöntemiyle azaltılmış ve Jones Riffle örnek bölücüyle yaklaşık 650 gr'lık kısımlara ayrıldıktan sonra deneylerde kullanılmak üzere kapalı naylon poşetlere konulmuştur. Elek analizi orijinal bazda yapılmış, diğer tüm analizler ve deneyler havada kuru bazda gerçekleştirilmiştir.

Zeta potansiyeli ve mikro-flotasyon işlemleri için ocaktan seçilen saf linyit ve kil numuneleri kullanılmıştır. Saf numuneler bilyalı değirmende % 30 bilya şarjı ve % 22 katı oranında % 80 kritik hızda öğütülmüştür. Malzemenin tamamı 106 mikronmetre altına indirilene kadar öğütülme işlemine devam edilmiştir. Öğütülen malzeme ölçekli beherde karıştırılıp safsızlıkların giderilmesi amacıyla dekantasyona tabi tutulmuştur. 106-38 mikronmetre mikroflotasyonda, 38 mikronmetre altı ise zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılmıştır. Genel akım şeması Şekil 2.5'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan cihaz ve aletler markaları ve kullanım yerleri ile birlikte Çizelge 2.3'de verilmiştir.

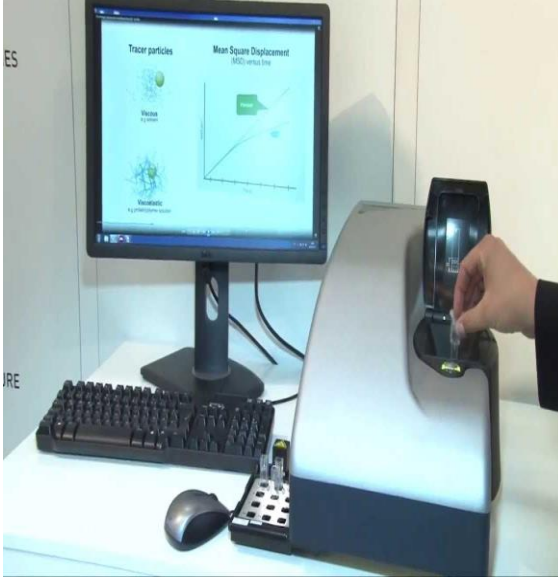


**Şekil 2.5** Genel deney akım şeması

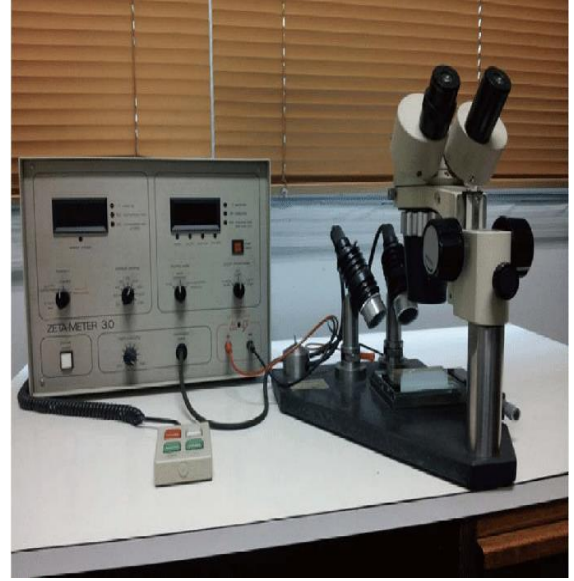


**Şekil 2.6** Flotasyon akım şeması

**2.2.1 Zeta potansiyeli ölçümleri :** Flotasyon özelliğinin temeli zeta potansiyelinü belirlemektedir. Linyit ve yan taşı arasında yüzey özellik farklılıkların zeta potansiyel ölçümleriyle belirlenmesi amacıyla Zeta meter 3,0 ve Malvern nano ZSP kullanılmıştır (Şekli 2.7).



a)



b)

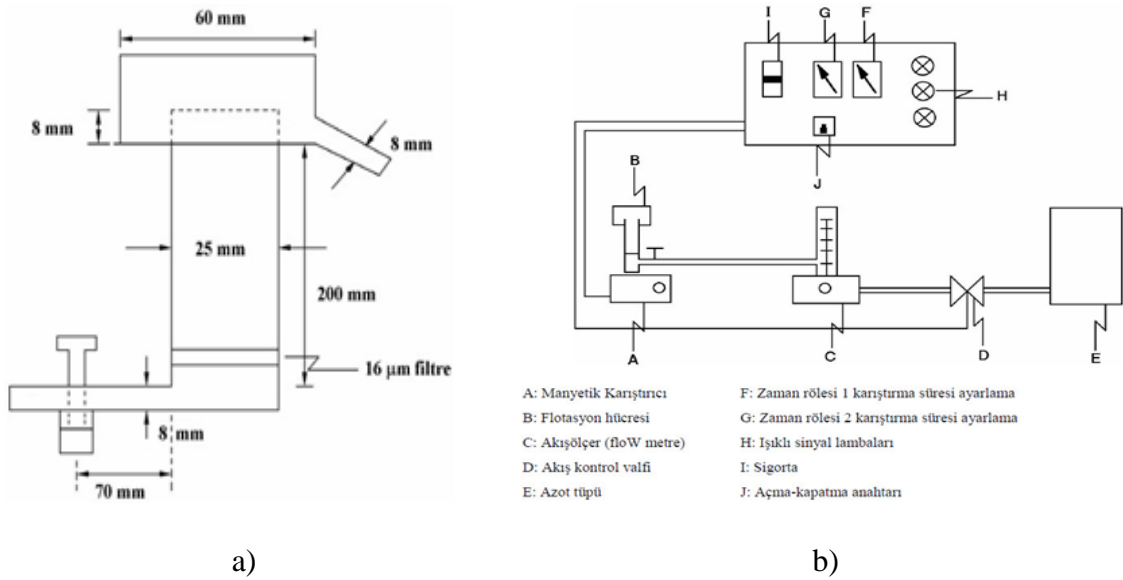
Şekil 2.7 a) Malvern nano ZSP, b) Zeta meter 3,0 cihazları.

Zeta potansiyeli ölçümleri öncesinde 1 litre saf su içerisine 38 mikronmetre altına öğütülmüş saf 1 gram kömür veya kil ve 0,1 gr NaCl ilave edilerek 20 dk süresince 750 dev/dk karıştırma hızında karıştırılmıştır. 7 dk kadar çökme beklendikten sonra her behere yeterli miktarda çözelti alınarak pH 2–11 arasına ayarlanmış ve 3 dk karıştırılmıştır. pH ayarlayıcı olarak 0.1 M HCl ve 0,1 M NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroeletroforez yöntemi ile çalışan Zeta Meter +3,0 cihazında ve oda sıcaklığında (22-27 °C) gerçekleştirilmiştir. Tanelerin hızlarına göre elde edilen 10 adet ölçüm otomatik olarak hesaplanmakta ve kaydedilmektedir. Zeta potansiyeli ölçümleri sırasındaki pH değişimleri Mettler Toledo marka pH metre ile süspansiyonun kondüsyonlama işlemi ise “Yellow Line” marka manyetik karıştırıcı kullanılarak yapılmıştır. Malvern nano ZSP cihazında gerçekleştirilen okumalarda, hazırlanan süspansiyondan alınan yaklaşık 25 ml'lik numune pleksiglasdan imal edilmiş hücreye konularak ortalama 10 ölçüm yapılmış ve cihaz tarafından belirlenen ortalama değer ve standart sapma değerleri kaydedilmiştir. Ölçümlerin kabul edilebilir standart sapma değeri % 2'nin altındadır. Ölçümlerde hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmamıştır.

**2.2.2 Mikroflotasyon:** Şekil 2.8'de Mikroflotasyon düzeneği gösterilmektedir. Deneyler Şekil 2.8'de gösterilen mikroflotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. 106-38 mikronmetre boyutlu yaklaşık 1 g saf linyit veya kil numunesi 25 ml'lik pülüp halinde 3 dk karıştırılmıştır. Daha sonra gerekli miktarda toplayıcı ilave edilerek 3 dk daha

karıştırılmıştır. Hücre içerisine konulan karışım 1 dk daha karıştırıldıktan sonra 1 dk kadar inert N<sub>2</sub> gazı açılarak mikroflotasyon gerçekleştirilmiştir. Yüzdürülen ve bastırılan ürünler alınarak filtrelenmiş, kurutulmuş ve tartılmıştır. Yüzdürülen miktar besleme miktarına oranlanarak yüzme verimleri hesaplanmıştır. Mikroflotasyon test yönteminde numune miktarı 1 gr, pülp karıştırma hızı 800 dev/dk, pülp karıştırma süresi 3 dk, pülp ve toplayıcı karıştırma süresi 3 dk, mikroflotasyon hücresi içinde karıştırma süresi 1 dk ve yüzdürülen ürün alma süresi ise 1 dk (inert N<sub>2</sub> ile) olarak sabit tutulmuştur. Mikroflotasyonda test edilen değişken parametreler ise aşağıdaki gibidir ;

- pH 2-11 (0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH)
- Toplayıcı türü olarak gazyağı, mazot ve gazyağı+mazot karışımı kullanılmıştır.
- Toplayıcı miktarı: 800g/t, 1.600g/t, 2.400g/t, 4.000 g/t gazyağı (0,8 gr/cm<sup>3</sup> gazyağı)  
850 g/t, 1700 g/t, 2550 g/t, 4250 g/t mazot  
400+425 g/t, 800+850 g/t, 1.200+1.275 g/t, 2.000+2.125 g/t gazyağı+mazot karışımı kullanılmıştır.
- Hava hızı flowmetre ile 0,05 lt/dk, 0,1 lt/dk, 0,15 lt/dk, 0,2 lt/dk olarak ayarlanmıştır.



**Şekil 2.8** a) Mikroflotasyon hücresi, b) Mikroflotasyon deney düzeneği

**2.2.3 Flotasyon deneyleri:** Hazırlanan linyit numuneleri bilyalı değirmende % 30 bilya sarjı ve % 40 katı oranında % 80 kritik hızda yaş öğütme yapılmıştır. Flotasyon işlemlerinde Denver tipi flotasyon makinesi kullanılmıştır (Şekil 2.8). Flotasyon deneylerinde çalışılacak katı oranı ayarlanarak 1,5 litrelik selülde, 1200 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. 3 dk koşullandırma yapıldıktan sonra kullanılan dağıtıcı belirlenen miktarlarda eklenerek 3 dk daha koşullandırma yapılmıştır. 3 dk sonunda toplayıcı eklenerek üçüncü defa 3 dk'lık koşullandırma yapılmıştır. İşlem sonunda köpürtücü eklenerek lave (konsantre) ve şist (atık) alınmıştır. Köpük alma süresi 2 dk'dır. Kademeli flotasyonda ise 1 dk köpük aldıktan sonra hava kapatılarak tekrar köpürtücü eklenmiş ve 1 dk daha köpük alınmıştır. Kademeli flotasyonun kademesiz flotasyondan tek farkı köpük alma işlemidir. Flotasyon deneyleri doğal pH' da çalışılmış olup en uygun şartlar belirlendikten sonra pH 7-10 değerleri arasında da yüzdürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Flotasyon işlemi için ilk olarak tane boyutu parametresi taranmıştır. Öğütme işlemleri Arguvan linyiti için 10-20-30-40-50-60 dk, Soma linyiti için 30-45-60-75-90 dk sürelerinde yapılarak uygun öğütme süresi tespit edilmiştir. Öğütme işlemi sonrası Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile tane boyutu belirlenmiştir. Tane boyutu seçiminden sonra % 5, % 10, % 20 katı oranlarında flotasyon işlemi yapılarak en uygun katı oranı bulunmuştur. Bu işlemleri takiben farklı türde ve miktarda toplayıcı ve dağıtıcılarla deneyler yapılarak en uygun toplayıcı ve dağıtıcı miktarı belirlenmiştir. Flotasyon işleminde pH ayarlaması için HCl ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır.

- Dağıtıcı olarak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , Calgon ve Calgon+ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılmıştır ( 2000-4000-8000-12000 g/t).
- Toplayıcı olarak gazyağı kullanılmıştır (2000-4000-8.000-10.000-10.800 g/t).
- Köpürtücü olarak MIBC (40 g/t) kullanılmıştır.

Flotasyon işlemi şlamsızlaştırma olmadan ve şlamlaştırma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Şlamsızlaştırma işlemi için pülp 1 lt kaba konularak üzeri su ile tamamlanıp 8,3 ml HCl asit ilave edilerek 750 dev/dk hızda 20 dk karıştırılıp -38 mikronmetre elekten elenerek elek üstü flotasyona beslenmiştir. Tüm flotasyon işlemlerinin ASTM standartlarına göre kül analizi yapılarak, lavelerin miktarlarından yanabilir verimleri (Ek 1) hesaplanmıştır. Böylece bir sonraki şartlara geçilmiştir.





Şekil 2.9 Denver tipi flotasyon makinesi.

Çizelge 2.3 Deneyleerde kullanılan cihaz ve aletler

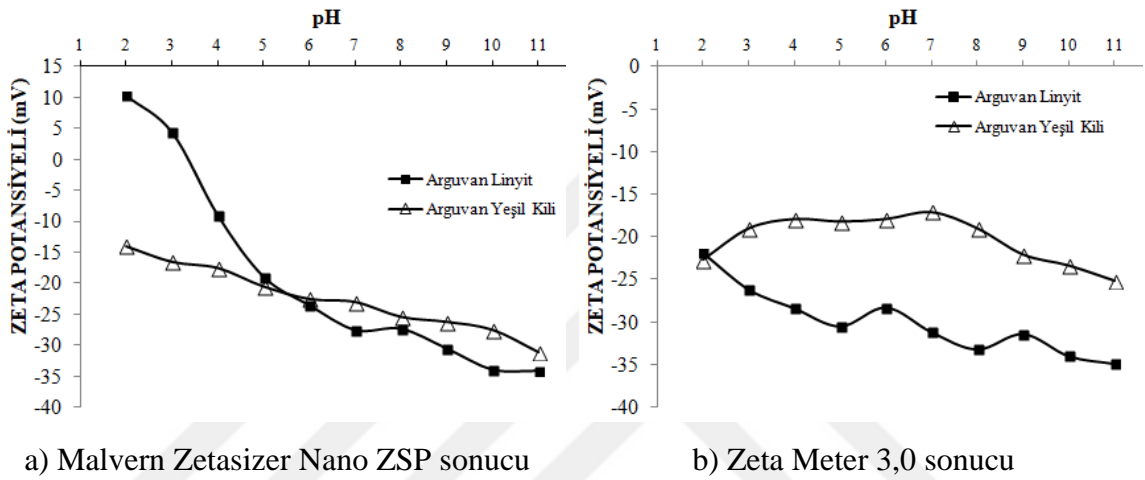
Cihaz/alet adı	Marka ve model	Kullanım yeri ve amacı
Flotasyon makinası	Ünal mühendislik Denver tipi	Köpük oluşturma
Flow metre	Dwyer	Hava hızı kontrolü
Zeta metre	Zeta meter 3.0, Malvern Nano ZSP	Zeta potansiyeli ölçümü
Mastersizer	Malvern 2000	Tane boyutu tespiti
Karıştırıcı	Heidolp hei-torque 200	Karıştırma
pH metre	Mettler Toledo	pH ayarlama
Çeneli kırıcı	Çağlayan Mak. ve Sanayi Ticaret	Boyut küçültme
Çekiçli kırıcı	Gamak IE2	Boyut küçültme
Bilyalı değirmen	Ünal Müh. Ve Mak. Sanayi	Boyut küçültme
Elek	Endecotts LTD.	Sınıflandırma
Etüv	Nüve FN 500	Numune kurutma
Fırın	Nüve MF 120	Kül fırını
Kalori metre	IKA CI	Kalori değeri ölçümü
Hassas terazi	Mettler Toledo AB104-S	Numune Tartımı
XRD	Rikagu Miniflex 600	Mineralojik analiz
Elementel analiz	LECO CHNS-932	C, H, N, S analizi

### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

#### 3.1. Arguvan Linyiti

##### 3.1.1. Zeta potansiyeli ölçümleri

Yöntemde (Bölüm 2.2) anlatıldığı şekilde hazırlanan numune üzerinde Zeta Meter 3,0 ve Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazları ile zeta potansiyeli ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de flotasyon öncesi Arguvan linyiti ve kilinin yüzey özelliklerini saptamak amacıyla zeta potansiyelleri gösterilmektedir.



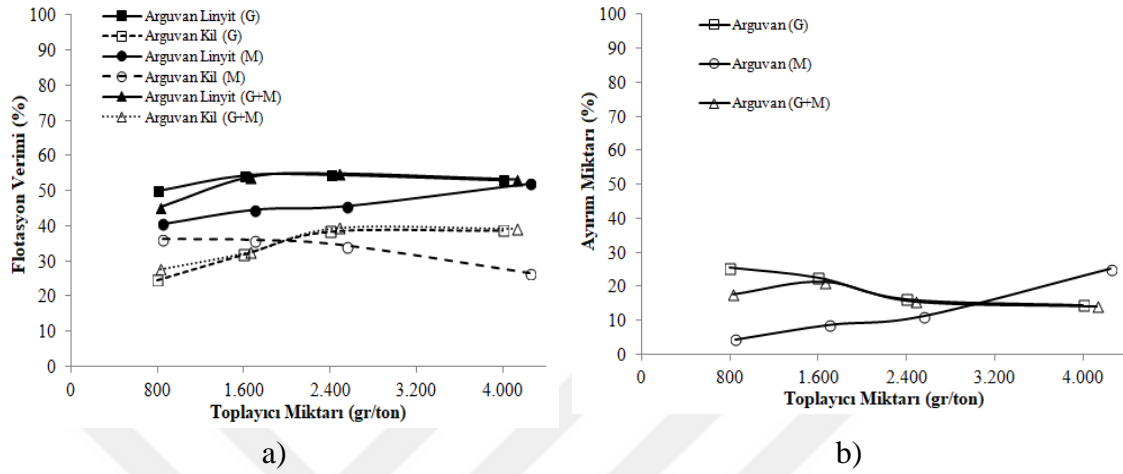
Şekil 3.1 Arguvan linyitinin zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.

Zeta potansiyel ölçümleriyle elde edilen tanelerin elektrokinetik özellikleri flotasyonla ayırma işlemini anlamada önemli bilgiler içerir. Zeta potansiyeli sonucu elde edilen yüzey yüklerine bakıldığında kilin daha negatif değerlerde olması beklenirken, Arguvan linyitinin zeta potansiyeli pH=6-7'den sonra daha negatif bulunmuştur. Bu durum bize Arguvan linyiti flotasyonunun çok zor olacağını bir göstergesidir.

Literatürle uyumlu olarak Malvern Zetasizer ile ölçülen zeta potansiyeli sonuçları, linyitin pH 2-4 aralığında pozitif zeta potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Guo vd. 2018). Dolayısıyla bu ölçümün gözle mikroforesiz yöntemiyle ölçülen tanenin hızına bağlı ölçüm yapan Zeta metere göre daha doğru sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Zeta potansiyeli ölçümleri, cihaz isimleri ile birlikte okunan değerler Ek 6'da verilmiştir.

### 3.1.2. Mikroflotasyon deneyleri

Arguvan linyitleri üzerinde 0,1 litre/dk inert N<sub>2</sub> gazında ve doğal pH=6,2'de gerçekleştirilen toplayıcı miktarı değişiminin mikroflotasyon sonuçları Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

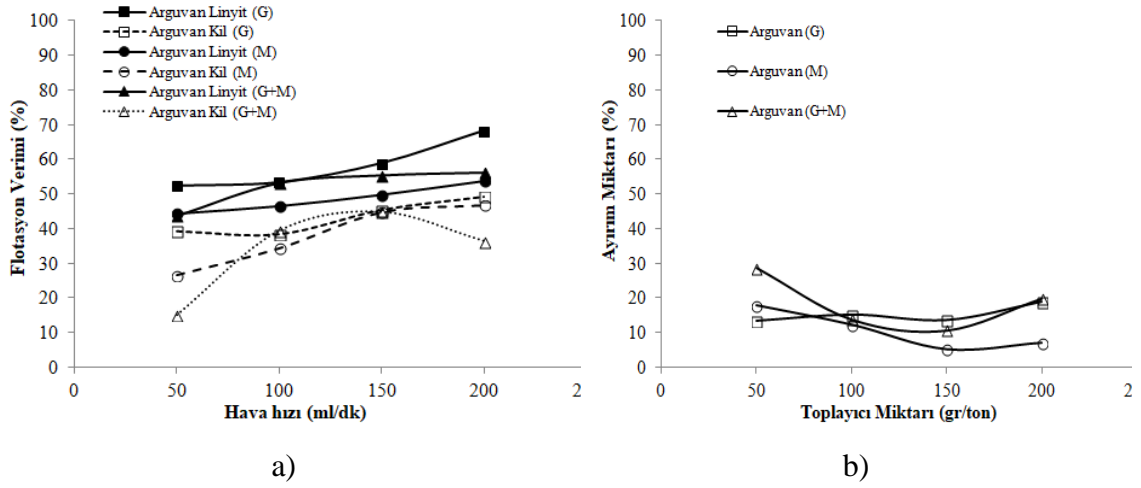


Şekil 3.2 a) Toplayıcı çeşidine ve miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Linyit ile kil arasındaki yüzdürülen malzeme miktarı farkı.

Şekil 3.2.a incelendiğinde, Arguvan linyiti için en iyi toplayıcı cinsinin gazyağı veya gazyağı+mazot karışımı olduğu görülmektedir. 1600 g/t gazyağı ve gazyağı+mazot miktarlarında Arguvan linyiti sırasıyla % 54,31 ile % 53,70 oranında yüzmektedir. Bu toplayıcı miktarında linyit-kil ayırımı farkı ise % 21 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.2.b). Mikro-flotasyon sonuçları göreceli olarak linyit-kil ayırımının yeterli düzeyde olmadığını açıkça göstermektedir.

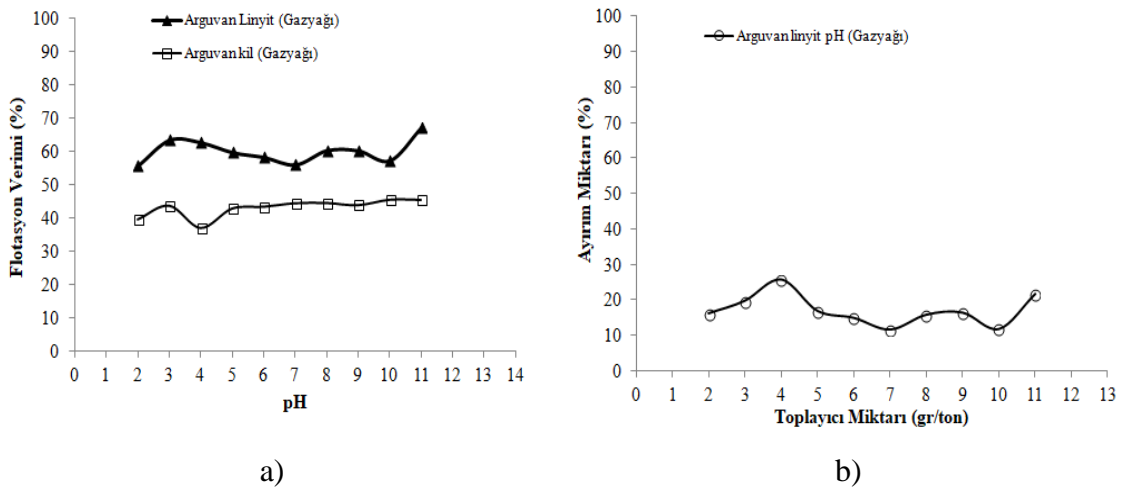
1600 g/t gazyağı, mazot ve gazyağı+mazot miktarında gerçekleştirilen hava hızı mikroflotasyon sonuçları Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Hava hızı inert N<sub>2</sub> ortamında flowmetre ile 50, 100, 150, 200 ml/dk olarak değiştirilmiştir.

Şekil 3.3.a'ya göre Arguvan linyiti için hava hızının 100 ml/dk veya 150 ml/dk seçilebileceği anlaşılmaktadır. Hava hızı parametresinin linyit-kil ayırımı üzerine yeterli düzeyde etkili olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.3.b). Hava hızının seçimliliğe olumlu etkisi olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 3.3 a) Hava hızı miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Linyit ile Kil arasındaki yüzdürülen malzeme miktarı farkı.

1600 g/t gazyağı, 100 ml/dk N<sub>2</sub> miktarında gerçekleştirilen pH'a bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Şekil 3.4'den hem Arguvan linyitinin hem de kilin pH'a bağlı olarak değişim göstermediği görülmektedir. Beklenenin aksine nötr pH'larda ayırım göreceli düşüktür. Linyitin % 55-70 arasında yüzmesine rağmen, kilin gazyağı ortamında % 40-45 oranında yüzmesi ayırımın gerçekleşmesinin yetersiz olacağının göstergesidir. Zeta potansiyeli sonuçlarında da linyit ile kil arasında zeta potansiyel farklılığının yetersiz olduğu belirlenmişti. Bu sonuçlara göre, mikroflotasyon sonuçlarının zeta potansiyel sonuçlarıyla uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.4** a) Arguvan linyiti ile kilinin pH'a bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları,  
b) Arguvan linyiti ile kili ayırım miktarı farkı.

Mikroflotasyon deneyleri için verimler ve ayırım miktarlarının hesaplama formülleri Ek 2'de, hesaplama sonuçları ise Ek 7'de verilmiştir.

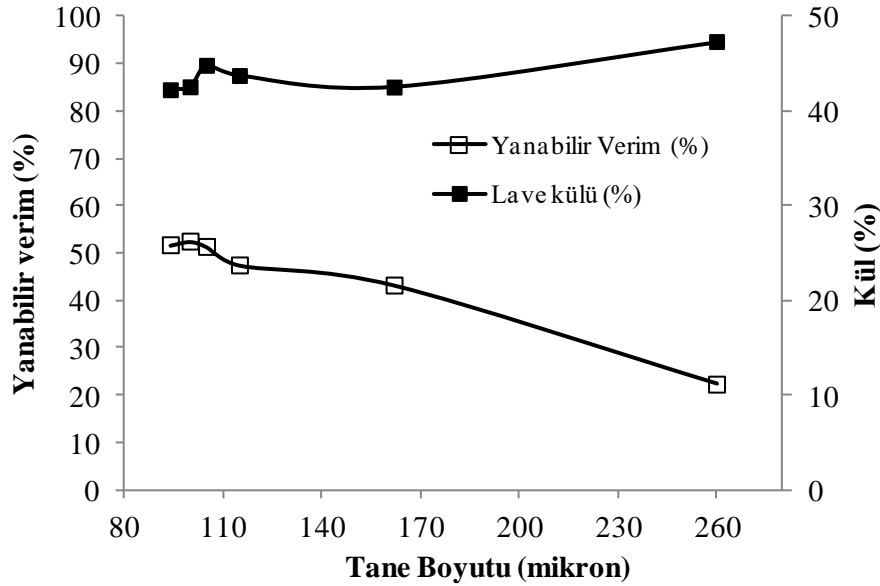
### 3.1.3. Arguvan linyiti flotasyon deneyleri

Flotasyon deneyler sonuçları aşağıda tartışılmakta olup, kademeli, kademesiz ve şlamı atılmış (şlamsızlaştırılmış) flotasyonların deney verileri Ek 9'da verilmiştir.

#### 3.1.3.1. Kademesiz flotasyon

##### Tane boyutu tespiti

Denver flotasyon makinesinde gerçekleştirilen kademesiz flotasyon çalışmalarında ilk aşamada tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Flotasyon deneylerinde % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 1200 dev/dk pervane hızı, 2 dk konsantre alma süresi sabit tutularak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak Arguvan linyitlerinden kademesiz flotasyon sonuçları Şekil 3.5'de verilmiştir. Tane boyutu olarak mastersizerda % 90'ın geçtiği elek altı alınmıştır (Ek-8).



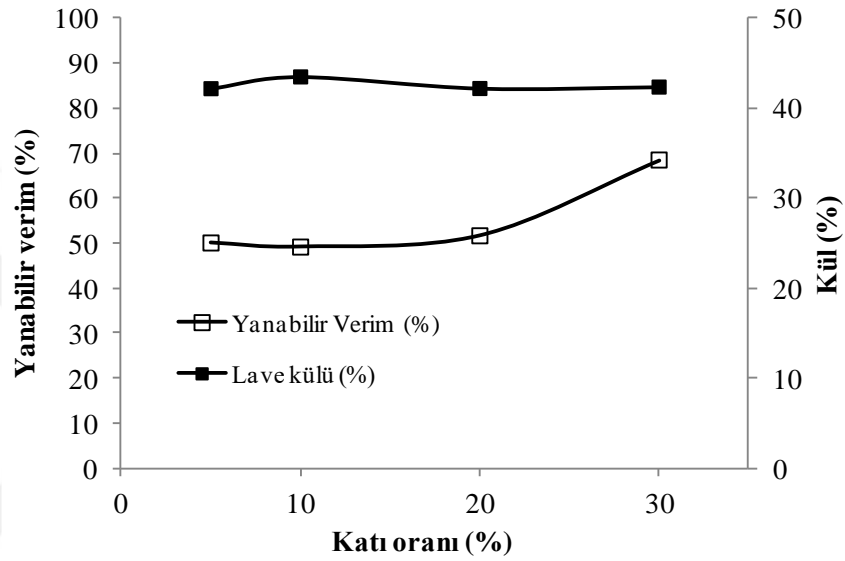
**Şekil 3.5** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda tane boyutu etkisi.

Şekil 3.5'e göre, en yüksek yanabilir verimin ve en düşük külün olduğu 95 mikronmetre altı tane boyutu olarak alınmıştır. Bu boyutta % 42,19 küllü lave % 51,63 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Bu sonuçları göre kademesiz flotasyonda % 39,97 küllü

beslenen Arguvan linyitinden % 42,19 küllü lave alınması seçimliliğın gerçekteşmediğı göstermektedir. Buna destek olarak tüm tane boyut flotasyon deneylerinde besleme küllünden daha yüksek kül oranlarında laveler alınmıştır. Bu durum linyitin seçimli olarak yüzdürülemediğini ve kilin köpükle geldiğini göstermektedir.

### **Katı oranı etkisi**

60 dk. öğütme sonunda 95 mikronmetre altına indirilen Arguvan linyitinde katı oranı parametresi taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.6'de verilmiştir.

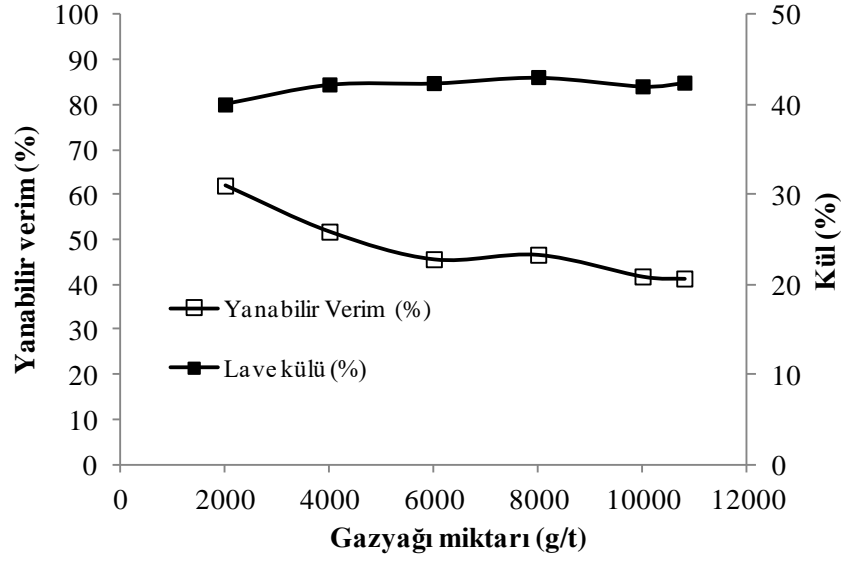


**Şekil 3.6** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda katı oranı etkisi.

Gerçekteşirilene deneyler sonucunda kül oranı en düşük % 5 katı oranında olduğı belirlenmiştir. Ancak % 5-10 katı oranlarında yanabilir verim değeri düşüktür. Daha ekonomik olacağı düşünülerek % 20 katı oranı alınmıştır. % 20 katı oranında % 42,19 küllü lave % 51,63 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Katı oranını Arguvan linyitinin seçiciliğı üzerine bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Yine burada lavelerin külleri besleme küllerinden fazla çıkmıştır.

### **Toplayıcı miktarı etkisi**

60 dk öğütme sonunda 95 mikronmetre altına indirilen Arguvan linyitinde % 20 katı oranında gazyağı miktarı taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.7'de verilmiştir.

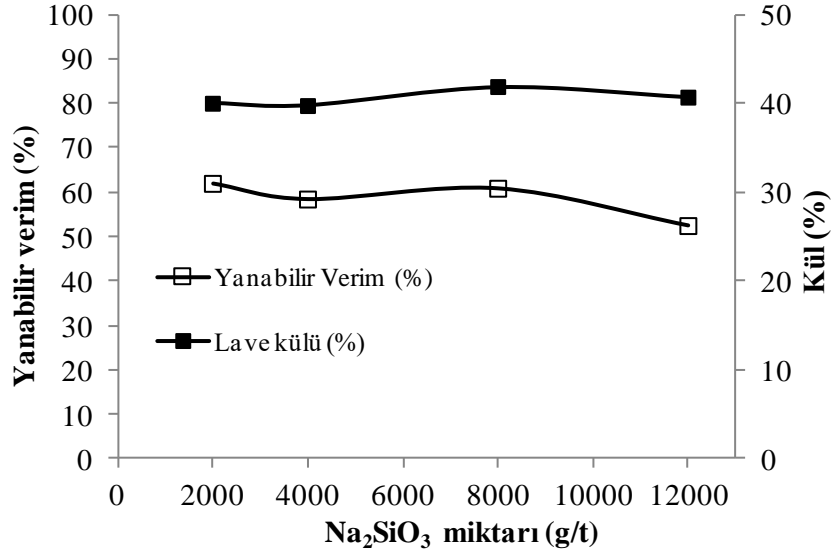


**Şekil 3.7** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda toplayıcı miktarı etkisi.

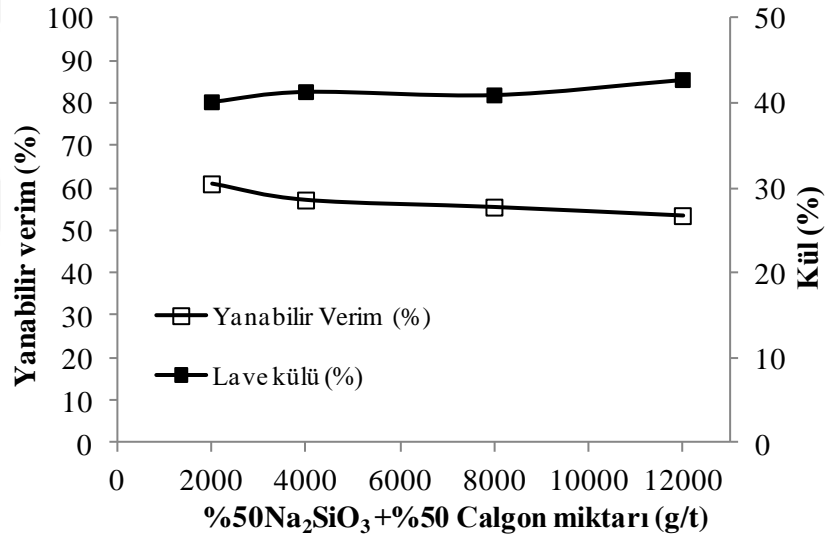
Yapılan çalışmalar gazyağı miktarı artışında lave küllerinde bir değişimin olmadığını ve lavenin yanma veriminde azalma olduğunu göstermiştir. 2000 g/t gazyağında % 39,96 küllü lave % 61,88 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Gazyağı miktarının Arguvan Linyitinin seçimliliği üzerine bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Yine burada lavelerin külleri besleme küllerinden fazla çıkmıştır. 10800 g/t gazyağı miktarlarına kadar çıkılmasına rağmen ne küllerde azalma nede yanabilir verimde iyileşme gerçekleşmemiştir.

### **Dağıtıcı miktarı etkisi**

60 dk öğütme sonunda 95 mikronmetre altına indirilen Arguvan linyitinde % 20 katı oranı, 2000 g/t gazyağı miktarında kademesiz flotasyonda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve % 50 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ +% 50Calgon oranında karıştırılarak seçimlilik araştırmaları deneylerine devam edilmiştir. Şekil 3.8'de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Şekil 3.9'da % 50  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ +% 50 Calgon ile kademesiz olarak gerçekleştirilen flotasyon deneyleri verilmiştir.



**Şekil 3.8** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının etkisi.



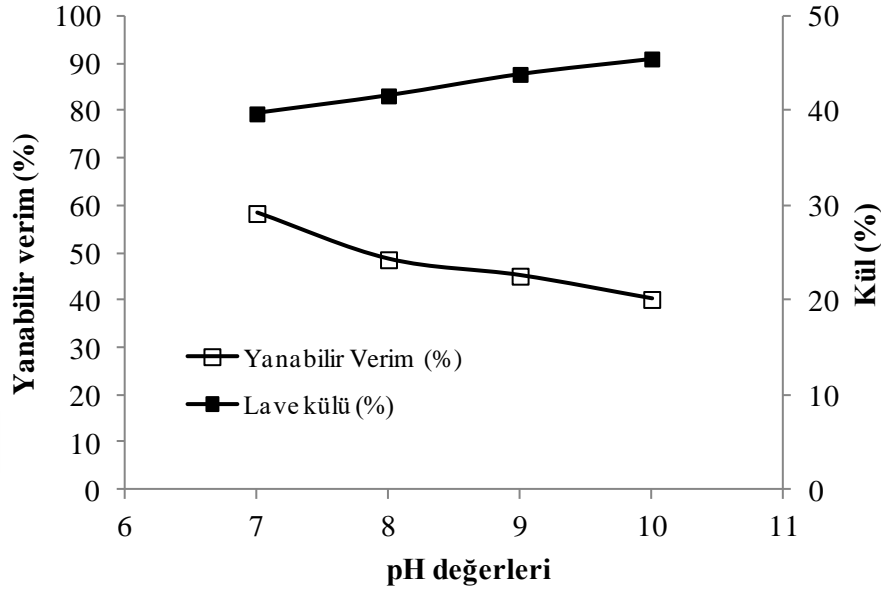
**Şekil 3.9** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda %50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve %50 Calgon miktarının etkisi.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'dan dağıtıcı olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+Calgon karışımından hem lave külü hem de yanabilir verim açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. 4000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarında % 39,70 küllü lave % 58,35 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Ancak yine de istenen seçimlilikten çok uzakta flotasyon sonuçları alınmıştır.



### Flotasyonda pH'ın etkisi

Arguvan linyiti flotasyon deneyleri 20 dk öğütme sonunda -95 mikronmetre tane boyutunda, 2000 g/t gazyağı, 4000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.10'da kademesiz olarak gerçekleştirilen pH flotasyon deneyleri verilmiştir.



Şekil 3.10 Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda pH değişiminin etkisi.

Şekil 3.10'da da görüldüğü gibi nötr pH (pH=7) değerinde hem lave külü değeri düşük hem de yanabilir verim en yüksektir. Test edilen optimum şartlarda % 39,77 küllü beslenen linyitin, ancak % 39,70 küllü alınması mümkün olabilmıştır. Yanabilir verimler % 58-61 düzeyinde kalmaktadır. AFM okumaları kademesiz flotasyon için bu deneyin lave ve şisti için gerçekleştirilmiştir.

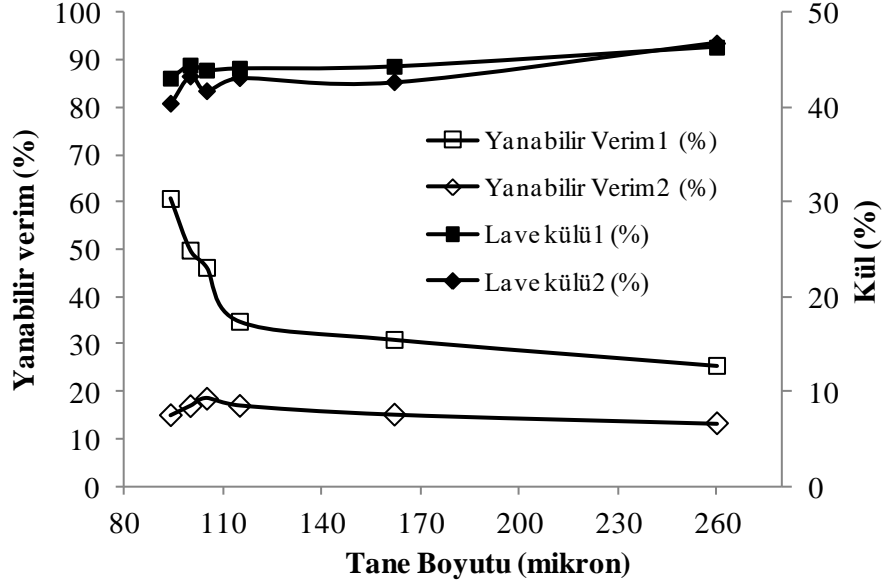
#### 3.1.3.2. Kademeli flotasyon

##### Tane boyutu etkisi

Yanabilir verimlerin düşük olmasından dolayı, yüzmeyen linyitlerin yüzmesini sağlamak amacıyla kademeli flotasyon yapılmasına karar verilmiştir. Bu mantıktan yola çıkılarak kademeli flotasyon yapılmasına karar verilmiştir.

Kademesiz flotasyonda taranan parametreler kademeli flotasyon için de test edilmiştir. Denver flotasyon makinesinde gerçekleştirilen kademeli flotasyon çalışmalarında ilk aşamada tane boyutu tespit edilmiştir. Flotasyon deneylerinde % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 1200 dev/dk pervane hızı, 2 dk Konsantrel alma süresi, 1 dk

Konsantre 2 alma süresi sabit tutularak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak Arguvan linyitlerinden kademeli flotasyon sonuçları Şekil 3.11'de verilmiştir.



**Şekil 3.11** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan yapılan kademeli flotasyonunda tane boyutu etkisi.

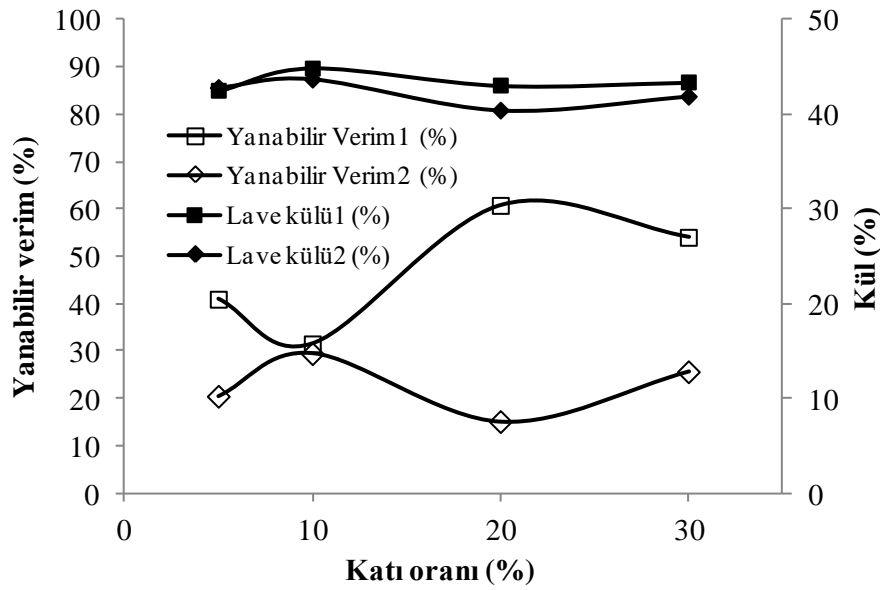
Kademeli flotasyon sırasında, 2 aşamada alınan lavenin küllü 1. aşamadaki laveye göre % 1-3 arasında daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak yine de bütün flotasyon deneylerinde seçimlilik sağlanamamıştır. Besleme küllünden daha yüksek kül oranlarında konsantreler alınmıştır. En yüksek yanabilir verimin ve en düşük küllün olduğu 95 mikronmetre altı tane boyutu olarak alınmıştır. % 39,97 küllü beslenen linyit, flotasyonla % 43,03 küllü lave1 ve % 40,38 küllü lave2, sırasıyla % 60,64 ve % 14,95 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Toplam yanabilir verimin % 75,59 olması, beklendiği gibi kademeli flotasyonunun avantajını olarak ortaya çıkmaktadır.

Kademesiz flotasyon sırasında, tek aşamada lavenin külleri alınmaktadır. Kademesiz ile kademesiz flotasyon arasındaki tek fark 2 defa lave alınmasıdır. Kademesiz flotasyon sırasında, tek aşamada alınan lavenin külleri kademeli flotasyona göre görece biraz daha düşük olmasına rağmen, yanabilir verimler de düşük kalmıştır. Bu durum beklenen bir durum olmasından dolayı, kömür flotasyonunda kademeli flotasyon tercih sebebidir. Kademesiz flotasyonda lavenin külleri görece biraz daha düşük alınmasına rağmen, her kademedeki alınan yanabilir verimlerin toplamı kademesiz flotasyona göre daha

yüksektir. Flotasyonun başarısı açısından beklenen bir durum olmasından dolayı, özellikle kömür flotasyonunda kademeli flotasyon tercih sebebidir.

### Katı oranı etkisi

95 mikronmetre altına öğütülen Arguvan linyitinde katı oranı parametresi taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.12'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, katı oranı değişiminin de Arguvan linyitinin seçimliliği üzerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Yine burada lavelerin kül içerikleri besleme küllerinden fazladır.

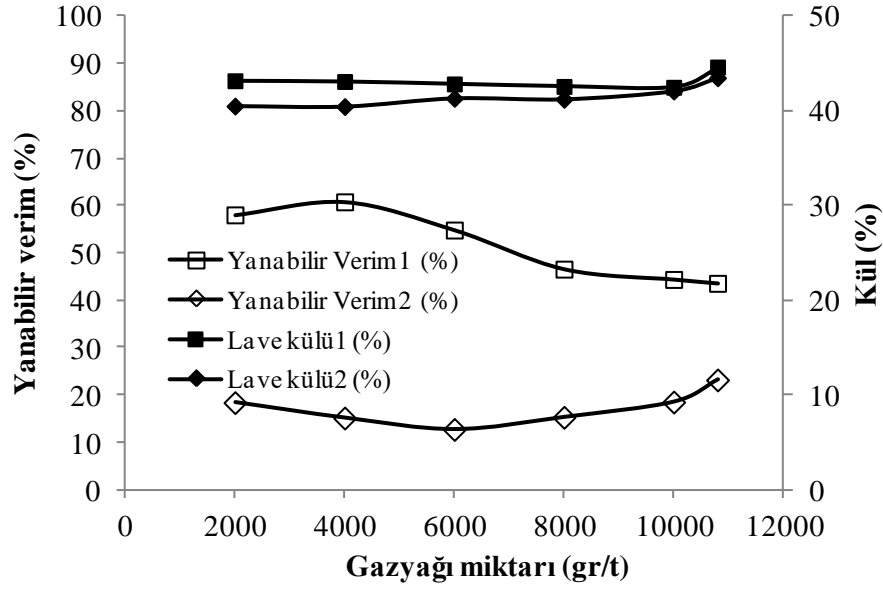


Şekil 3.12 Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda katı oranı etkisi.

Yapılan deneyler sonucu kül oranı en düşük lave1 için % 5 katı oranında, lave2 içinse % 20 katı oranında olduğu görülmektedir. Yanabilir verimler göz önünde bulundurulduğunda ve ekonomik olacağı düşünülerek % 20 katı oranı belirlenmiştir.

### Toplayıcı miktarı etkisi

95 mikronmetre altına öğütülen Arguvan linyitinde % 20 katı oranında çalışılarak gazyağı miktarı parametresi taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Şekil 3.13'den gazyağı miktarının Arguvan linyitinin seçimliliği üzerine etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Önceki parametrelerde olduğu gibi, bu sonuçlarda lavelerin külleri besleme kül içeriğinden fazladır.

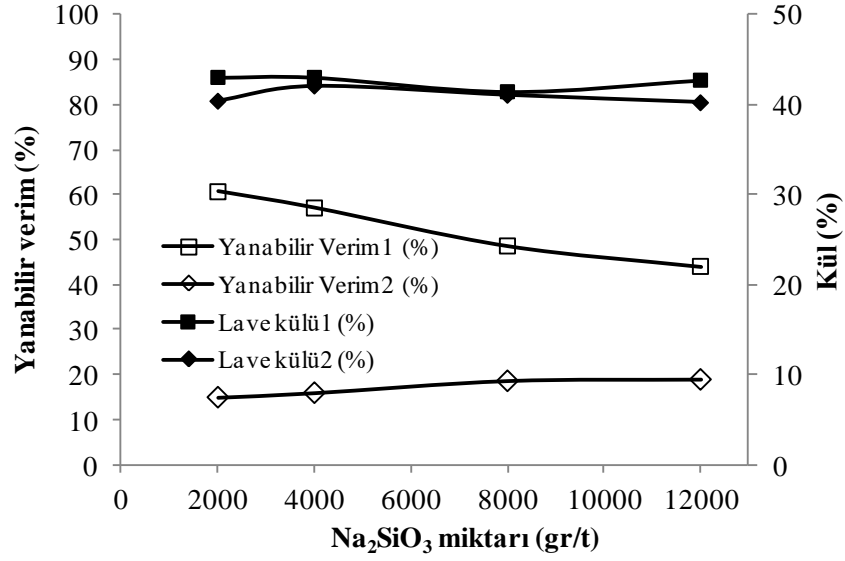


**Şekil 3.13** Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda toplayıcı miktarı etkisi.

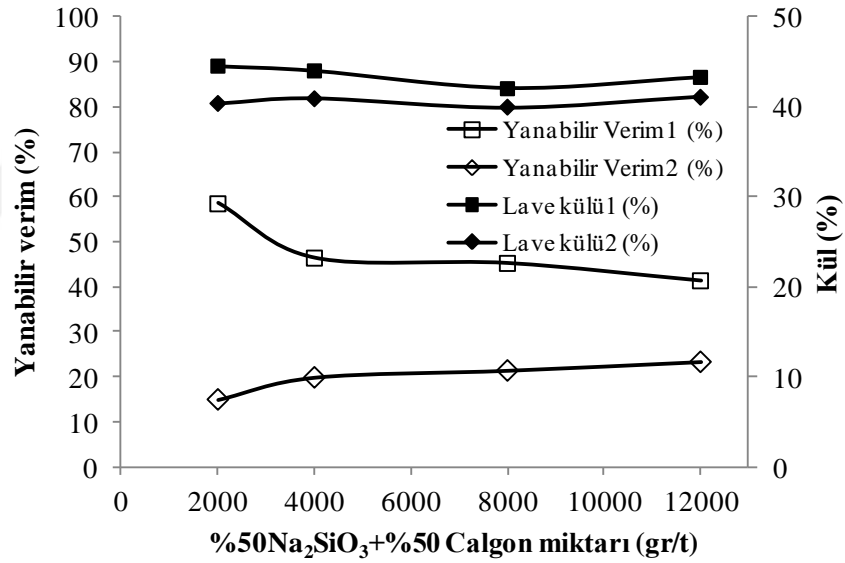
Yapılan çalışmalar, gazyağı miktarı artışının lave1'in küllerinde azalışa lave2'nin küllerinde artışa, lave1'in yanma veriminde azalmaya ve lave2'nin yanma veriminde artışa neden olduğunu göstermektedir. 2000 g/t veya 4000 g/t gazyağında çalışılmasının uygun olduğu belirlenirken, gazyağı miktarının 10800 g/t'a kadar çıkarmanın flotasyona herhangi bir avantajının olmadığı anlaşılmaktadır. Bundan sonraki deneylerde 4000 g/t gazyağı miktarında çalışılmasına karar verilmiştir.

#### **Dağıtıcı miktarı etkisi**

95 mikronmetre altı, % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı şartlarında, Arguvan linyitinde kil ve karbonatlı minerallerinin bastırılması ve seçimliliğin sağlamak amacıyla dağıtıcı olarak öncelikle  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve % 50 oranında  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile Calgon karıştırılarak flotasyon deneylerine devam edilmiştir. Şekil 3.14'de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile Şekil 3.15'de % 50  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ +% 50 Calgon ile kademeli olarak gerçekleştirilen flotasyon deneyleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının etkisi.



Şekil 3.15 Arguvan linyitinin şlamsızlaştırmadan kademeli flotasyonunda %50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve %50 Calgon miktarının etkisi.

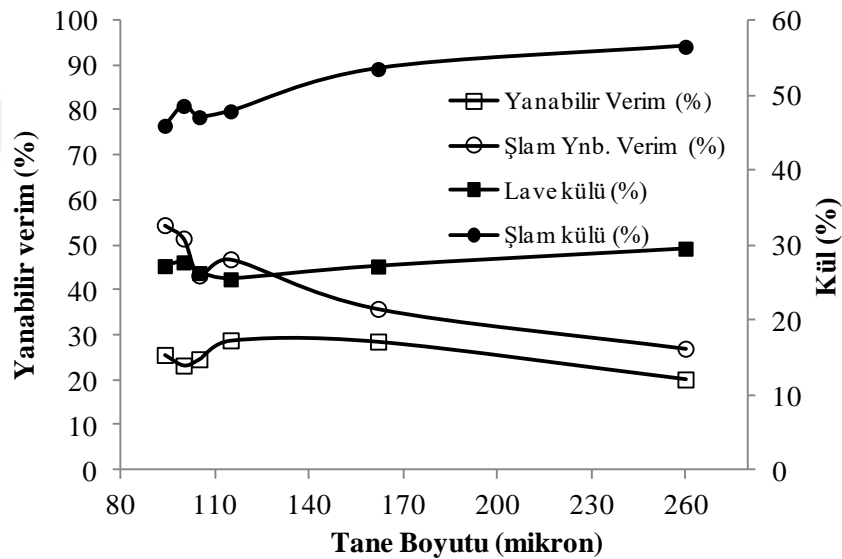
Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'den dağıtıcı olarak kullanılan hem Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> hem de Calgonun lave külü ve yanabilir verim üzerine olumlu bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Dağıtıcı olarak 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılmasına karar verilmiştir.

### 3.1.3.3. Şlamı atılmış flotasyon

Arguvan linyiti ile kademeli ve kademesiz flotasyon ile seçimliliğin sağlanamadığı belirlendiğinden, kilin mekanik olarak uzaklaştırılmasından (şlamsızlaştırılarak) sonra flotasyon deneylerine geçilmiştir. Yöntem kısmında anlatıldığı üzere, 38 mikronmetrelük eleğin üzerinde kalan kısım yüzdürülmüştür.

#### Tane boyutu etkisi

Denver flotasyonunda şlamı mekanik karıştırma-eleme ile alınmış flotasyon çalışmalarında aynı parametreler test edilmiştir. Şlamsızlaştırma ile flotasyoda da iyi sonuç alınacağı varsayımından yola çıkılmıştır. Flotasyon deneylerinde % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 1200 dev/dk pervane hızı, 2 dk konsantre alma süresi sabit tutularak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak Arguvan linyitlerinden şlamsızlaştırılmış flotasyon sonuçları Şekil 3.16'da verilmiştir.



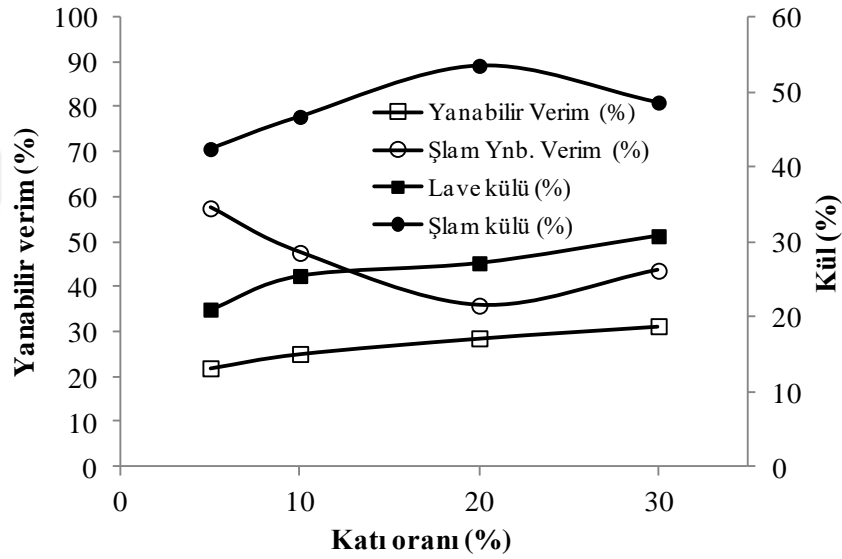
**Şekil 3.16** Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda tane boyutu etkisi.

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi öğütme süresi arttıkça, linyit şlamla birlikte elek altına geçmekte ve şlam külü azalırken şlamın yanabilir verimi artmaktadır. Bu durumda öğütme süresinin çok kritik olduğu anlaşılmaktadır. Bu açıklamaya göre, öğütme süresi 20 veya 30 dakika seçildiğinde, buna bağlı olarak tane boyutlarının sırasıyla 162 mikronmetre ve 115 mikronmetre altında olduğu görülmektedir. Ekonomiklik ve şlama linyitin kaçmasını önlemek amacıyla tane boyutunun 162 mikronmetre altında alınması

gerektiği düşünölmüştür. Bu boyutta % 27,15 küllü lave % 28,56 yanabilir verimle kazanılmakta ve şlam uzaklaştırma ile giden linyitin yanabilir verimi ise % 35,82'dir. 40 dakika öğütmeye kadar lave küllü şist küllünden daha düşük iken 50 dakika öğütmede ürün külleri birbirine yaklaşmakta ve 60 dakika öğütmede lave küllü şist küllünden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna göre seçimlilik 40 dakika öğütmeye kadar devam etmektedir. Ancak tüm boyutlarda yanabilir verim % 20-30 düzeyinde kalmıştır. Şlam yanabilir verimi ise 10 dk öğütmede % 26,97'den 60 dk öğütmeye kadar % 54,45'e çıkmaktadır. Şlama kaçan linyiti azaltmak amacıyla özel bir kırma-öğütme-sınıflandırma sistemi geliştirilmelidir.

### Katı oranı etkisi

162 mikronmetre altına öğütölen Arguvan linyitinde şlamı uzaklaştırılmış halde flotasyona katı oranı etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.17'de verilmiştir.

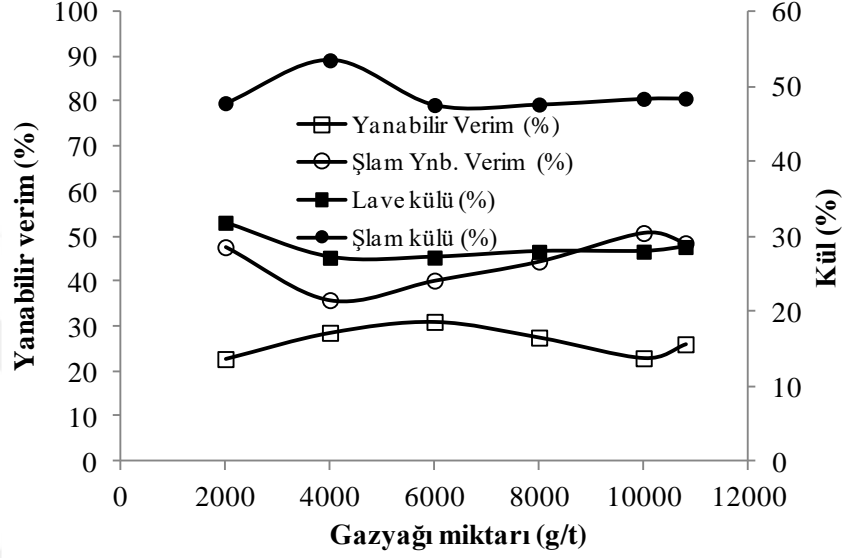


Şekil 3.17 Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda katı oranının etkisi.

Yapılan deneyler sonucu kül oranı açısından en düşük lave % 5 katı oranında alınmıştır. Ancak bu katı oranında yanabilir verim değerleri düşüktür. Daha ekonomiklik ve kapasite açısından % 20 katı oranı ile flotasyona devam edilmesine karar verilmiştir. % 20 katı oranında % 27,15 küllü lave, % 28,6 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Şlamsızlaştırmanın flotasyon katı oranı üzerine lave küllü açısından görece bir iyileştirme yaptığı söylenebilir. Ancak yine de flotasyon başarısından söz etmek mümkün değildir.

### Toplayıcı miktarı tespiti

Arguvan linyitiyle 162 mikronmetre altı ve % 20 katı oranında gazyağı miktarı parametresi taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Gazyağı miktarının Arguvan linyitinin seçiciliği üzerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak lavelerin külleri şistlerin küllerinden düşük çıkmıştır.



Şekil 3.18 Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda gazyağı miktarının etkisi.

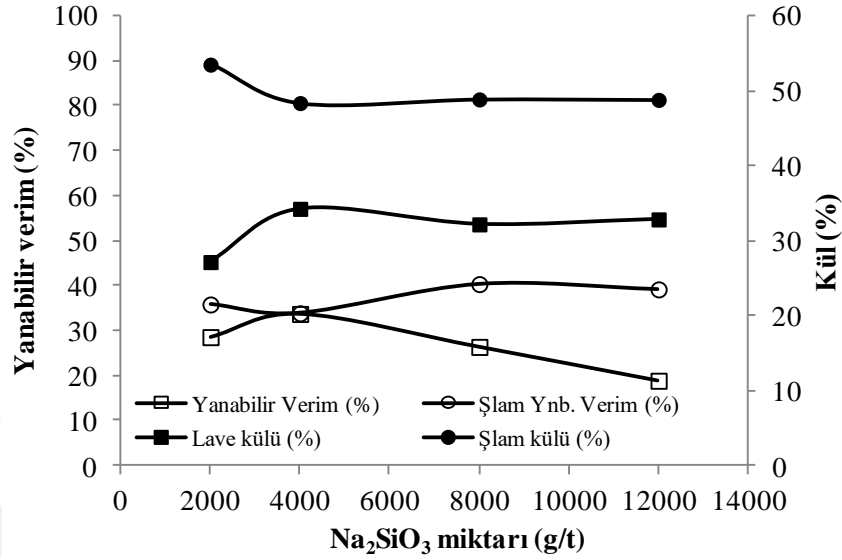
Mekanik dağıtma-eleme ile şlamı uzaklaştırılan Arguvan linyitinin gazyağı miktarı değişimine göre flotasyon sonuçlarında göreceli bir değişim tespit edilememiştir. Ancak gazyağı miktarı arttıkça lave külleri % 27-28 bandında gezerken, şist külleri % 30-32 aralığında gezmektedir. Kademeli ve kademesiz flotasyonda pek görülmeyen bu durum, kilin uzaklaştırılmasıyla gazyağının etkisinin görüldüğü anlamı çıkarılabilir. Bununla beraber lavenin yanabilir verimleri % 22-30, şlamın yanabilir verimi % 35-51 aralığında tespit edilmiştir. Bu durum şlamsızlaştırma ile yanabilir kısmın yarıya yakınının flotasyona girmeden atıldığını göstermektedir. Bulunan bu sonuçlar flotasyonun ekonomik olma durumunu imkansız hale getirmektedir.

### Dağıtıcı miktarı etkisi

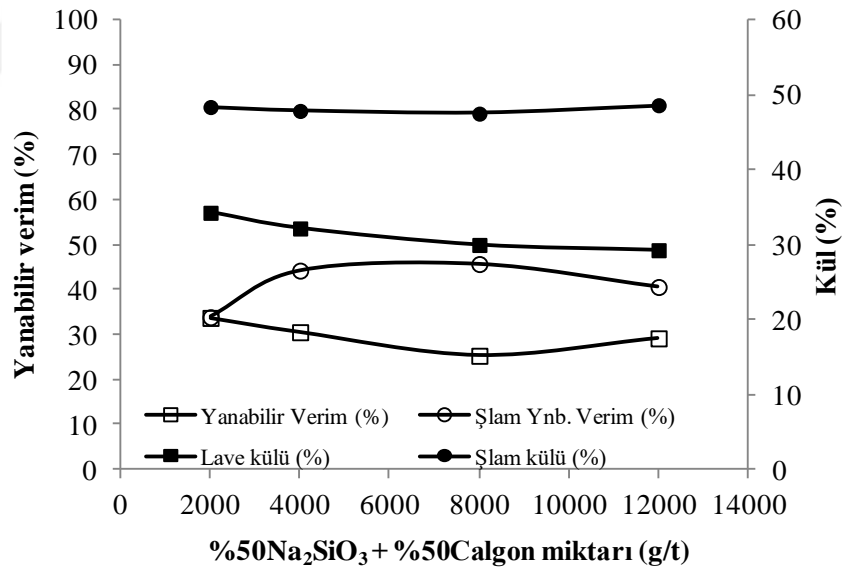
Arguvan linyitinin 162 mikronmetre altına, % 20 katı oranı ve 4000 g/t gazyağı miktarında kil minerallerinin bastırılması ve seçimliliğin sağlanması amacıyla dağıtıcı olarak öncelikle  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve karbonatlı kayaları bastırmak amacıyla  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile



Calgon % 50 oranında karıştırılarak flotasyon deneylerine devam edilmiştir. Şekil 3.19'da  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile Şekil 3.20'de % 50  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ +% 50 Calgon ile gerçekleştirilen flotasyon deneyleri gösterilmiştir.



**Şekil 3.19** Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarının etkisi.



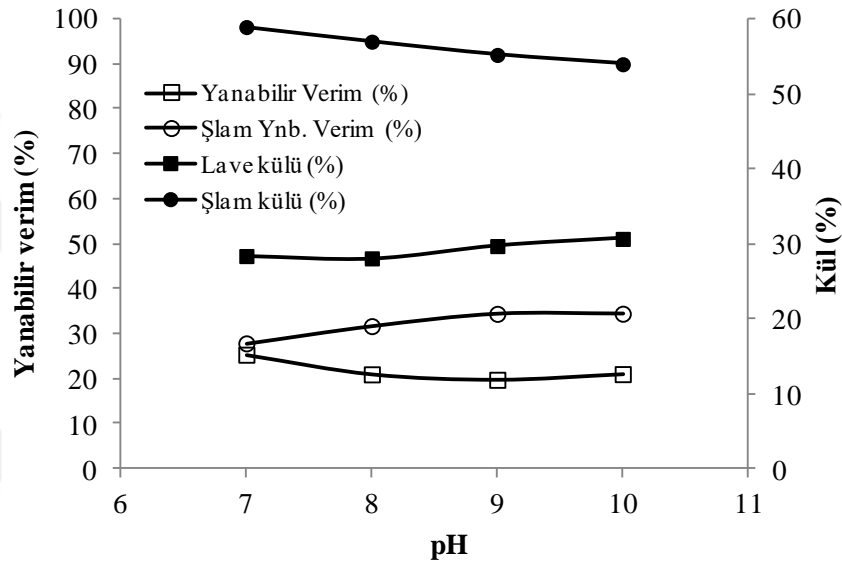
**Şekil 3.20** Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda %50 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve %50 Calgon miktarının etkisi.

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'den dağıtıcı olarak kullanılan hem  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  hem de Calgonun lave külü ve yanabilir verim üzerine olumlu bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Dağıtıcı olarak sadece 2000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ın kullanılmasına karar verilmiştir. Kademesiz

ve kademeli flotasyon deneylerinde de sadece  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ün dağıtıcı olarak kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

### Flotasyonda pH'ın etkisi

Arguvan linyitinin şlamı alınmış halde tespit edilen 162 mikronmetre altı, % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılarak farklı pH aralıklarında flotasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 3.21'de pH 7-8-9-10 aralığında gerçekleştirilen flotasyon deneyleri gösterilmiştir.



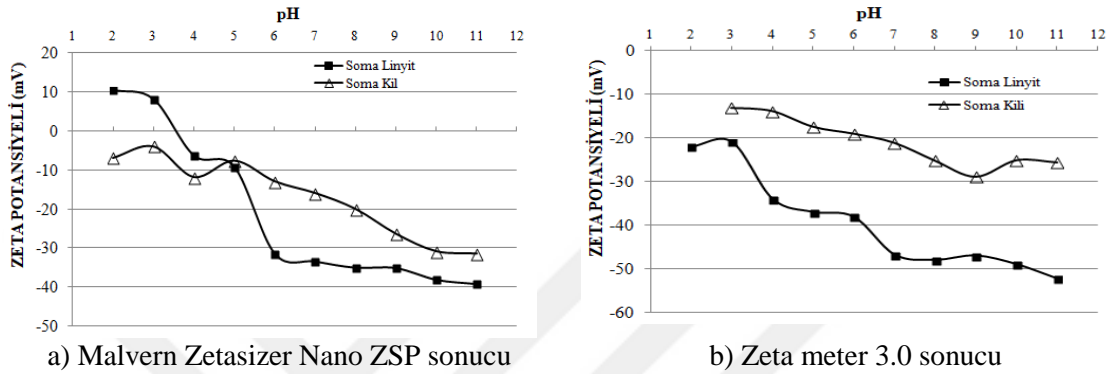
Şekil 3.21 Arguvan linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda pH etkisi.

Şekil 3.21'de görüldüğü gibi nötr pH değerinde hem lave külü düşük hemde yanabilir verim en yüksektir. Tekrar deneyi olarak gerçekleştirilen pH 7 deneyi, önceki sonuçlarla uyumlu olarak bulunmuştur. pH=7'de % 28,37 küllü lave % 25,35 yanabilir verimle kazanılmaktadır.

## 3.2. Soma Linyiti

### 3.2.1. Zeta potansiyeli ölçümleri

Flotasyon öncesi Soma linyitinin ve kilinin zeta potansiyeli davranışlarını anlamak amacıyla zeta potansiyelleri belirlenmiştir. Bölüm 2.2'de açıklandığı şekilde hazırlanan numune üzerinde Zeta meter 3.0 (Şekil 3.22.a) ve Malvern Zetasizer Nano ZSP (Şekil 3.22.b) cihazı ile ayrı ayrı zeta potansiyeli ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



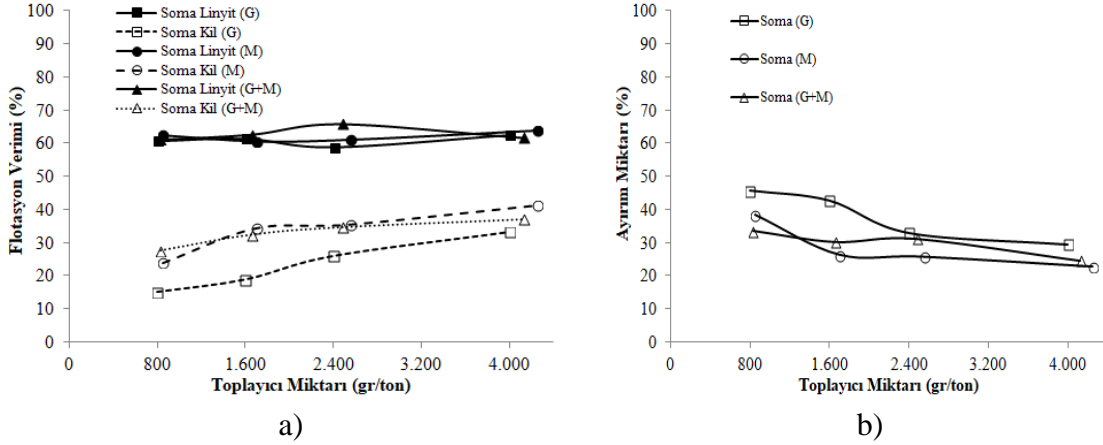
Şekil 3.22 Soma linyitinin zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.

Şekil 3.22.a'da görüldüğü gibi pH 2-3 aralığında linyitin zeta potansiyeli pozitifdir. pH 5 değerinden sonra linyitin zeta potansiyeli kile göre daha fazla negatif değere geçmektedir (Seyhan, 1994). Buna karşılık tanelerin hızlarına bağlı olarak Zeta meter 3.0 cihazıyla ölçülen sonuçlarda linyit, tüm pH'larda kile göre daha fazla negatif zeta potansiyeline sahiptir. Bu sonuçlara göre literatürde verilen düşük pH'larda linyitin pozitif değer aldığı bildirilen bilgiye göre (Laskowski, 2001) X ışını kırılımı ile ölçüm yapan Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı sonuçlarının daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Zeta potansiyeli ölçümleri, cihaz isimleri ile birlikte okunan değerler Ek 6'da verilmiştir.

Soma linyiti ile kilinin arasında yüzey özellik farklılığı bulunması flotasyon açısından önemli bir bulgudur. Ancak beklenenin aksine linyitin zeta potansiyelinin daha fazla negatif olması, gazyağı, mazot gibi nötr toplayıcılarla linyitin yüzdürülmesinin zor olacağını belirtmektedir.

### 3.2.2. Soma linyiti mikroflotasyon deneyleri

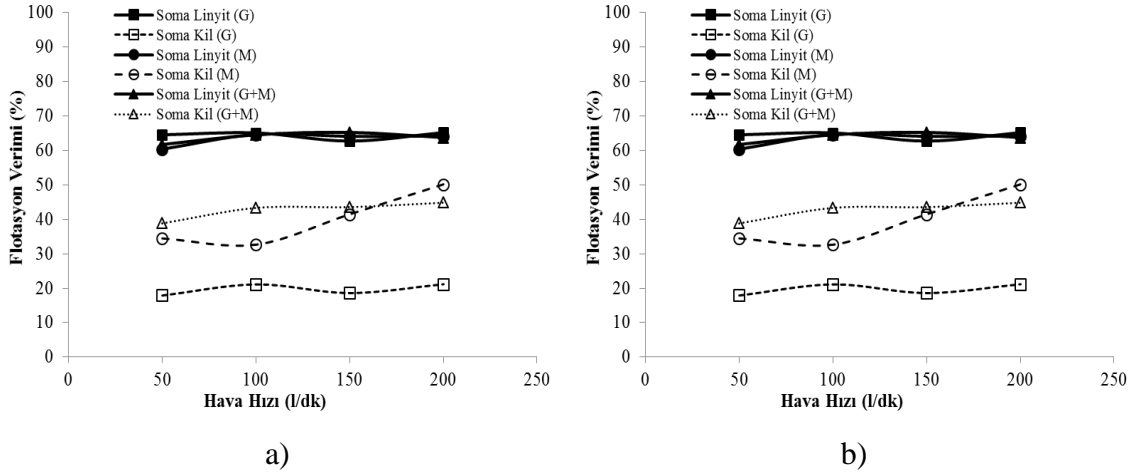
Soma Eynez linyit ve killeri üzerinde 0,1 litre/dk inert N<sub>2</sub> gazında ve doğal pH=6,8'de gerçekleştirilen toplayıcı miktarına bağlı olarak değişen mikroflotasyon sonuçları Şekil 3.23'de gösterilmektedir.



Şekil 3.23 a) Soma linyiti ile kilinin toplayıcı çeşidine ve miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili arasındaki ayırım miktarı.

Şekil 3.23.a incelendiğinde, Soma linyiti için yine en uygun toplayıcı cinsinin gazyağı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun temel nedeninin gazyağı ile Soma kilinin yeterince az yüzmesinden kaynaklandığı söylenebilir. 1600 g/t gazyağı miktarlarında Soma linyiti % 61,43 oranında yüzmektedir. Bu toplayıcı miktarında linyit-kil ayırımı farkı ise % 42,56 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.23.b). Mikro-flotasyon sonuçları göreceli olarak linyit-kil ayırımının orta düzeyde olduğunu göstermektedir. Toplayıcı cinsinin de linyit flotasyonu üzerine önemli bir etkisi bulunmazken, gazyağının Soma kilini daha az yüzdürdüğü belirlenmiştir. Toplayıcı cinsi ve miktarının artışı linyitin flotasyonu üzerine etkisi yok iken, kilin yüzmesini değiştirmektedir.

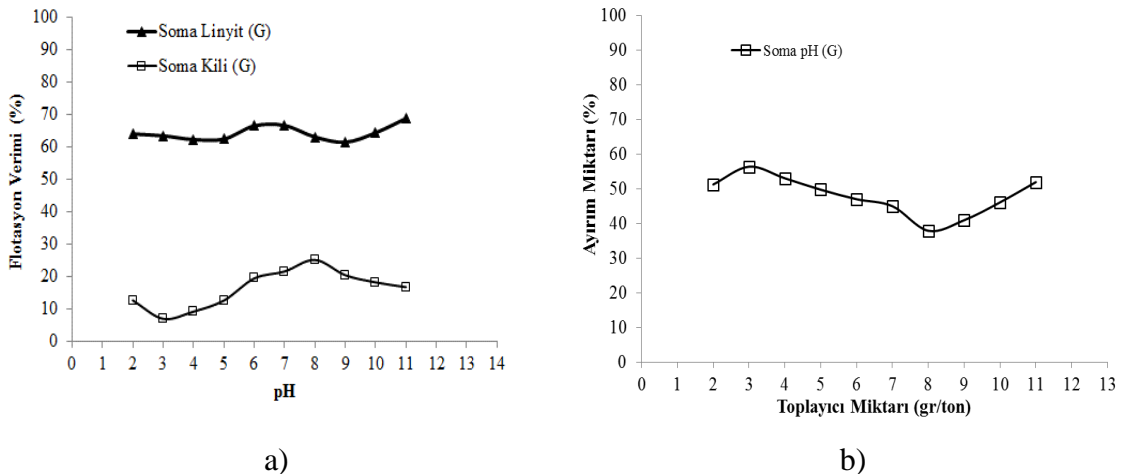
1600 g/t gazyağı, 1700 g/t mazot ve 2475 g/t gazyağı+mazot miktarında gerçekleştirilen hava hızı mikro-flotasyon sonuçları Şekil 3.24'de gösterilmektedir. Hava akış hızı inert N<sub>2</sub> ortamında flowmetre ile 50, 100, 150, 200 ml/dk olarak değiştirilmiştir.



**Şekil 3.24** a) Soma linyiti ile kilinin hava hızı miktarına bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili arasındaki ayırım miktarı.

Şekil 3.24.a'ya göre Soma linyiti için hava hızı miktarının 100 ml/dk seçilebileceği anlaşılmaktadır. Bununla beraber hava hızı etkisinin linyit-kil ayırımı üzerine yeterli düzeyde etkili olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.24.b). Hava hızı artışı linyitin flotasyonuna etki etmezken, kilin yüzmesini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak linyit-kil ayırımı giderek azalmaktadır.

Toplayıcı çeşidi ve miktarı ile hava hızı belirlendikten sonra, mikroflotasyonla pH'ın etkisi araştırılmıştır. Soma linyitiyle 1600 g/t gazyağı ve 100 l/dk hava hızında gerçekleştirilen farklı pH değerlerinde yapılan mikroflotasyon sonuçları Şekil 3.25'da gösterilmektedir.



**Şekil 3.25** a) Soma linyiti ile kilinin pH'a bağlı olarak mikroflotasyon sonuçları, b) Soma linyiti ile kili arasındaki ayırım miktarı farkı.

pH'a bağlı olarak değişimin gösterildiği Şekil 3.25'de ilginç bir durum olarak çalışılan doğal pH (6-8)'larda ayırımın % 37'lere kadar giderek azalttığı görülmüştür. Doğal

pH'larda linyit-kil ayırım miktarları % 37-45 aralığında değişmektedir. Mikroflotasyon deneyleri için verimler ve ayırım miktarlarının hesaplama formülleri Ek 2'de, hesaplama sonuçları ise Ek 7'de verilmiştir.

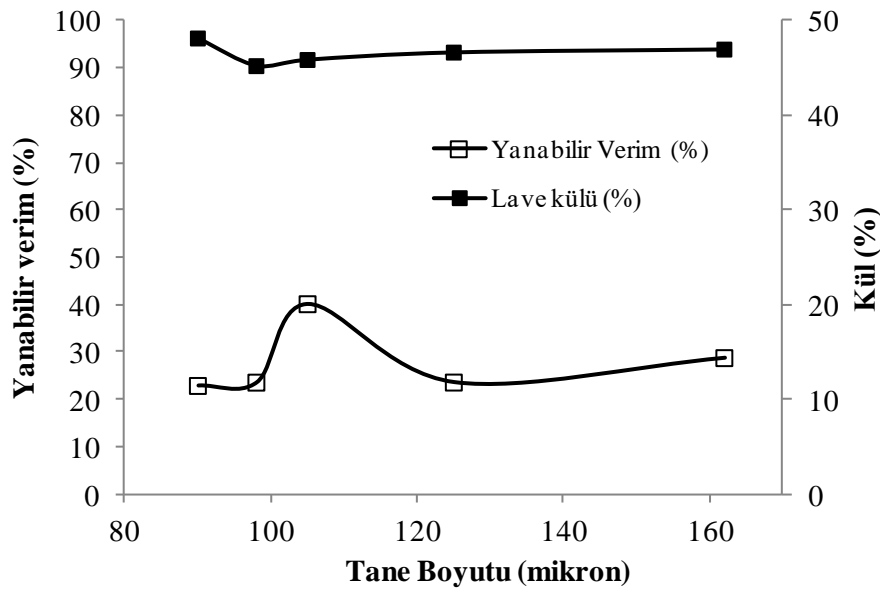
### 3.2.3. Soma-Eynez linyiti Flotasyon Deneyleri

Denver flotasyon deneyler sonuçları aşağıda tartışılmakta olup, kademesiz ve şlamı alınmış (şlamsızlaştırılmış) flotasyonların deney verileri Ek 10'da verilmiştir.

#### 3.2.3.1. Kademesiz flotasyon

##### Tane boyutu etkisi

Flotasyon makinesinde gerçekleştirilen kademesiz flotasyon çalışmalarında ilk aşamada tane boyutu tespit edilmiştir. Flotasyon deneylerinde % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 1200 dev/dk pervane hızı, 2 dk konsantre alma süresi şeklinde flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak Soma-Eynez linyitlerinden kademesiz flotasyon sonuçları Şekil 3.26'da verilmiştir. Tane boyutu tespitinde Malvern 2000 Mastersizerda ölçülen % 90'ın elek altına geçtiği boyut alınmıştır ( Ek 4).



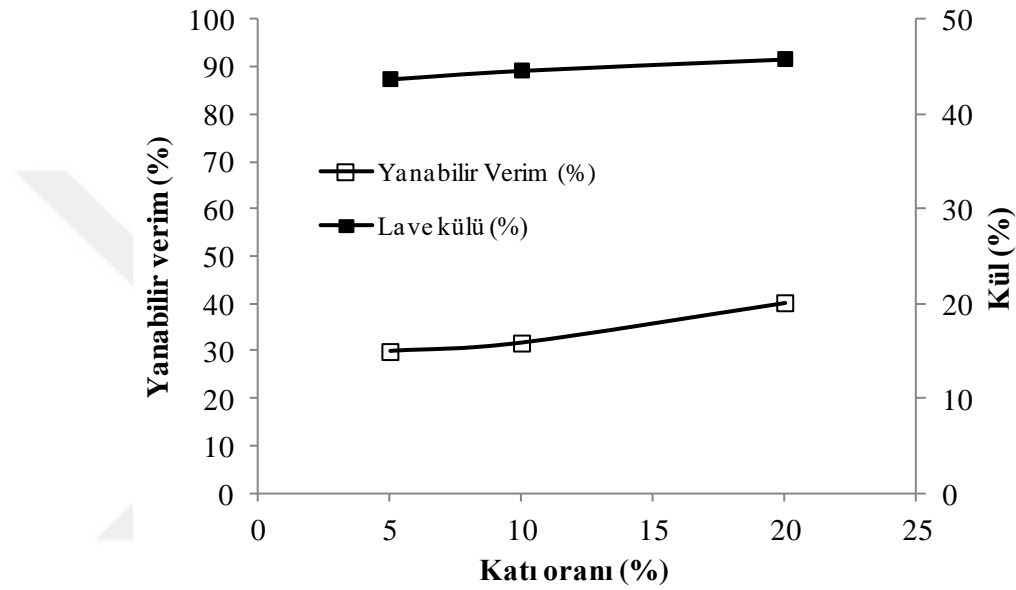
Şekil 3.26 Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda tane boyutunun etkisi.

Tane boyutunun incelendiği Şekil 3.30'da 60 dk öğütme sonucunda elde edilen 105 mikronmetre altında yanabilir verimin % 40, lave külünün ise % 45,83 olduğu

görülmektedir. Soma-Eynez linyit külünün % 42,44 olduğu düşünüldüğünde tüm tane boylarında lave külleri besleme küllerinden yüksek çıkmaktadır. Çalışılan öğütme boyutlarında yanabilir verimlerde % 20-40 aralığında seyretmektedir. Soma linyit flotasyonunda linyit-kil seçimli ayırımının gerçekleşmediği anlaşılmaktadır.

### Pülpte katı oranı etkisi

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinin flotasyonunda, pülpte katı oranının etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.27'de verilmiştir.

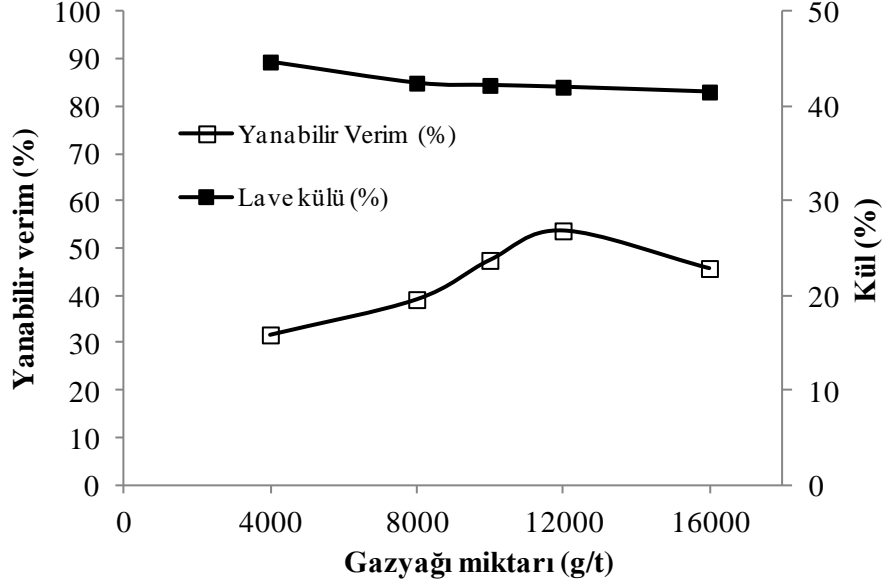


Şekil 3.27 Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda pülpte katı oranının etkisi.

Flotasyonda beklendiği gibi pülpte katı oranı azaldıkça lave küllerinde azalma tespit edilmiştir. Buna rağmen % 5 katı oranındaki lave bile besleme külünün altına indirilememiştir. Bununla beraber yanabilir verimlerde pülpte katı oranına bağlı olarak azalmaktadır. Katı oranını mümkün olduğunca az olmasını sağlamak amacıyla ve uygulanabilirlik açısından % 10 katı oranında çalışılmasına karar verilmiştir. Kademesiz flotasyonda % 10 katı oranında % 44,62 küllü lave % 31,55 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Katı oranı Soma-Eynez linyitleri seçimliliği üzerine etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Benzer şekilde lavelerin külleri besleme küllerinden fazla çıkmıştır.

### Toplayıcı miktarı etkisi

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranında gazyağı miktarı 4000-16000 g/t aralığında taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.28'de verilmiştir.



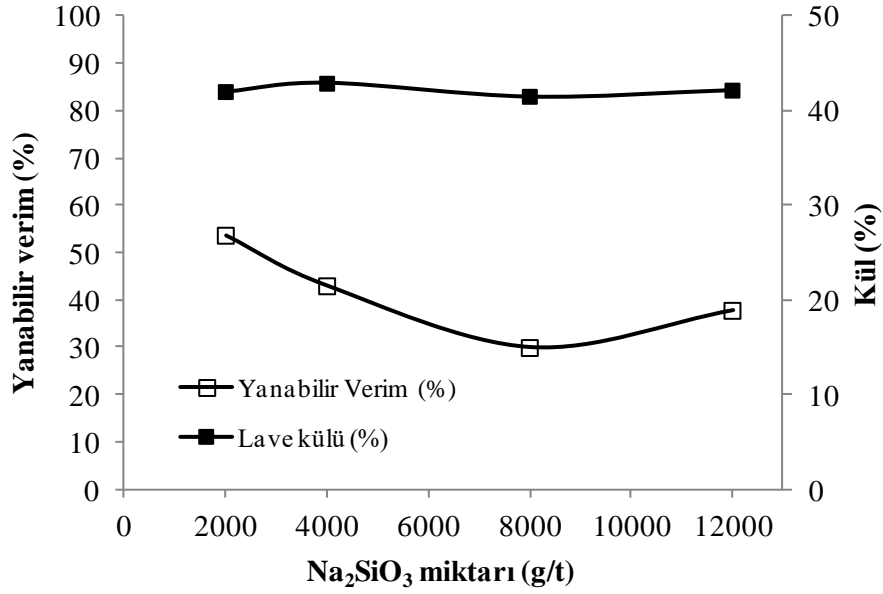
Şekil 3.28 Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda gazyağı miktarının etkisi.

Gazyağı miktarının artmasına bağlı olarak, lavelerin külleri çok az azalırken, yanabilir verim ise 12000 g/t gazyağına kadar artmaktadır. 12000 g/t gazyağı miktarında % 41,96 küllü lave % 53,54 yanabilir verim ile kazanılmaktadır. Ancak çok yüksek gazyağı miktarlarında dahi lave külünün azaltılması mümkün olmamıştır. Dolayısıyla Soma-Eynez kilinin flotasyona olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır. Bu duruma göre, flotasyonun başarısı için şlamsızlaştırmının etkisinin araştırılması gerekli olduğuna karar verilmiştir.

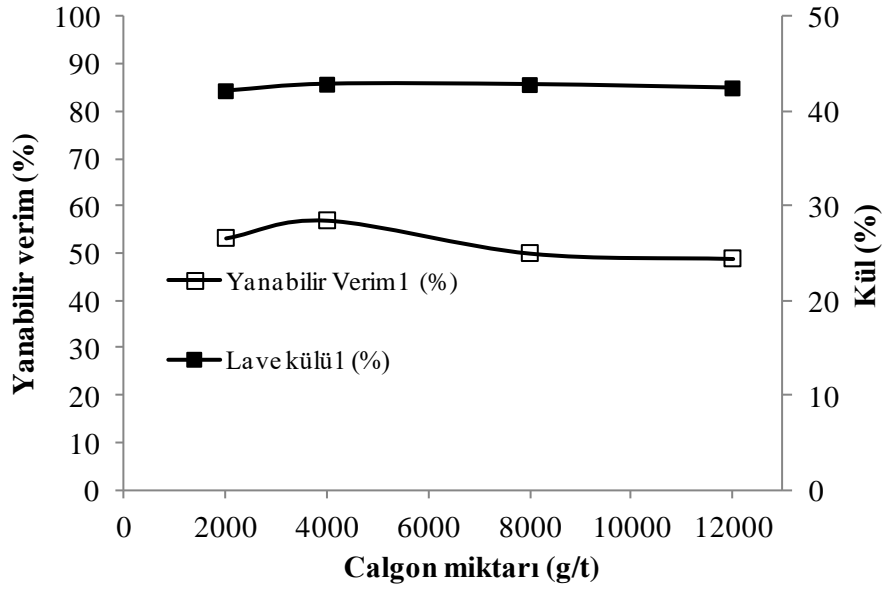
### Flotasyonda dağıtıcı miktarı ve çeşidinin etkisi

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranında, 12000 g/t gazyağı kullanılarak kademesiz flotasyonda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Calgon miktarlarının ayrı ayrı seçimlilik üzerine etkisini görmek amacıyla deneylere devam edilmiştir. Şekil 3.29'da  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Şekil 3.30'da Calgon ile kademesiz olarak gerçekleştirilen flotasyon deneyler sonuçları gösterilmiştir.





**Şekil 3.29** Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının etkisi.



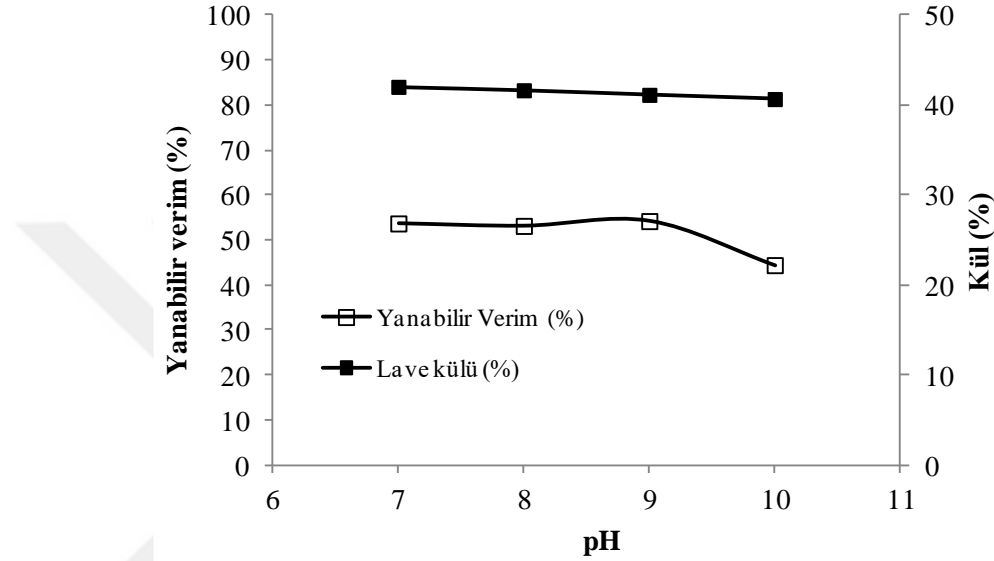
**Şekil 3.30** Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda Calgon miktarının etkisi.

Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'dan görüleceği üzere her iki dağıtıcının da beklenen seçimlilik etkisine sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak flotasyonda Calgonun dağıtıcı olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'a göre yanabilir verim açısından daha iyi sonuç verdiği, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile yapılan flotasyonda lave küllerinin çok az miktarda düşük çıktığı belirlenmiştir. 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarında % 41,96 küllü lave % 53,54 yanabilir verimle kazanılırken, 4000 g/t Calgon miktarında % 42,81 küllü lave % 56,95 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Çok

yüksek miktarlarda (8000 g/t, 10000 g/t) bile hem  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ün hem de Calgon'un linyit-kil seçimliliğine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

### Flotasyonda pH'ın etkisi

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranında, 12000 g/t gazyağı, dağıtıcı olarak 2000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılarak pH etkisi araştırılmıştır. pH değişim sonuçları Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Soma-Eynez linyitinin şlamsızlaştırmadan kademesiz flotasyonunda pH değişiminin etkisi.

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi pH değişim lave küllü için önemli bir değişim meydana getirmemiştir. % 42,44 küllü beslenen Soma-Eynez linyitinden optimum flotasyon şartlarında % 41,96 küllü lave % 53,54 yanabilir verimle alınabilmektedir. AFM ölçümlerinde pH 7'de elde edilen lave ve şist ürünleri kullanılmıştır.

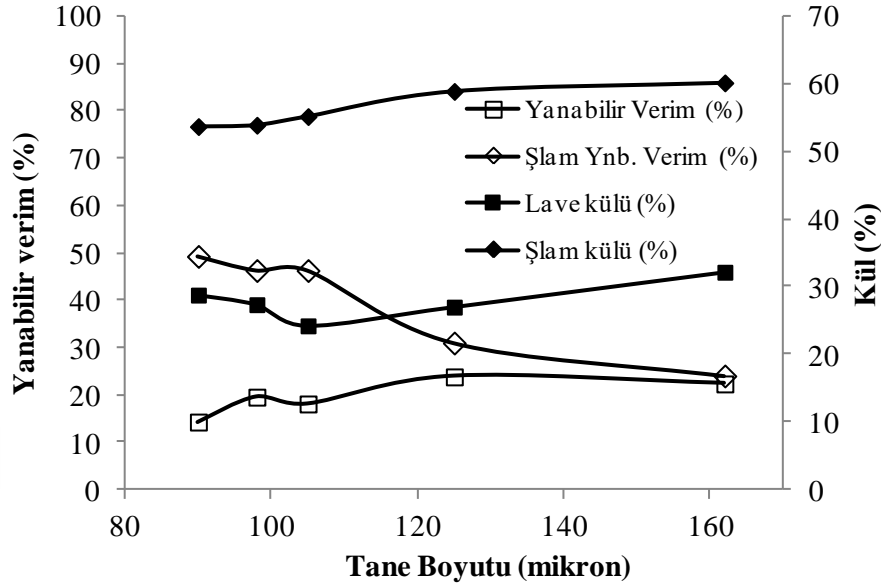
### 3.2.3.2 Şlamı atılmış flotasyon deneyleri

Soma-Eynez linyiti ile kademesiz flotasyon ile linyit-kil ayırım seçimliliği sağlanamadığı belirlendiğinden, şlam uzaklaştırılarak flotasyon deneylerine devam edilmiştir.

### Tane boyutu tespiti

Denver flotasyonunda şlamı mekanik karıştırma-eleme ile uzaklaştırılmış numune üzerinde, flotasyon parametreleri test edilmiştir. Linyitten şlamın uzaklaştırılması ile flotasyonun daha iyi sonuç vereceği varsayımından yola çıkılmıştır. Flotasyon

deneysinde % 20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 1200 dev/dk pervane hızı, 2 dk konsantre alma süresi sabit tutularak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme tane boyutuna bağlı olarak Soma-Eynez linyitlerinden şlamsızlaştırılmış flotasyon sonuçları Şekil 3.32'de verilmiştir.

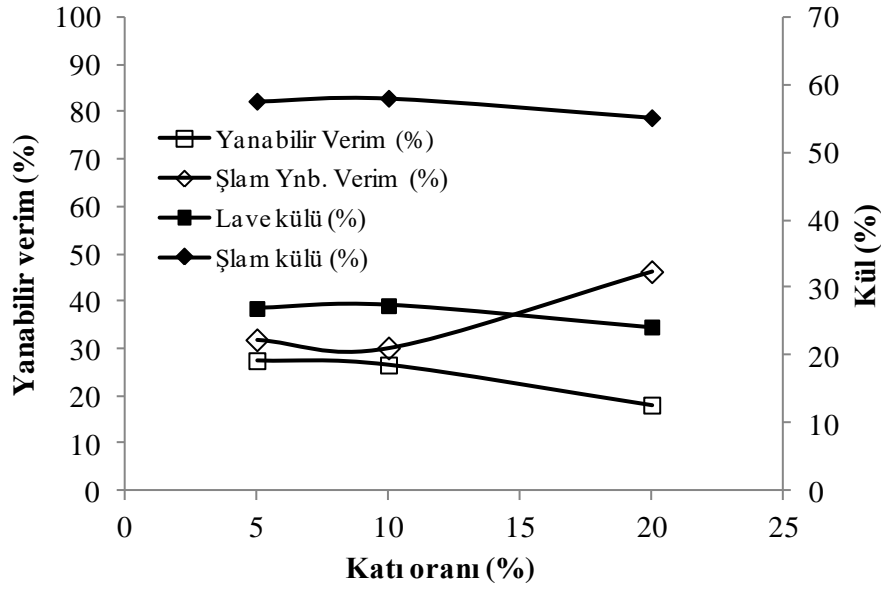


Şekil 3.32 Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda tane boyutunun etkisi.

Şekil 3.32'den anlaşılacağı üzere öğütme süresi arttıkça, beklendiği gibi linyit şlamla birlikte elek altına geçmekte ve şlam külü azalırken şlamın yanabilir verimi artmaktadır. Bununla beraber flotasyondan alınan lave küllerinin % 24-32, yanabilir verimlerin ise sadece % 14-24 aralığında değişmesi flotasyonun uygun olup olmadığını tartışmalı hale getirmektedir. Öğütme boyutu en düşük lave külü olan 105 mikronmetre altı seçildiğinde, lave külü % 24,23 ve yanabilir verim % 18,11 olmaktadır. Oysa mekanik dağıtma-eleme ile yanabilir verimin % 46,29'u şlam olarak atılmaktadır. Burada flotasyonun uygun olmadığı net olarak anlaşılmasına rağmen, flotasyonun neden olmadığı ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu bilgilere göre 60 dk öğütme süresi olan 105 mikronmetre altı ile flotasyona devam edilmiştir.

### Katı oranı etkisi

105 mikronmetre altına indirilen Soma-Eynez linyitinde, şlamı uzaklaştırılmış halde flotasyonda katı oranı test edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 3.33'de gösterilmiştir.

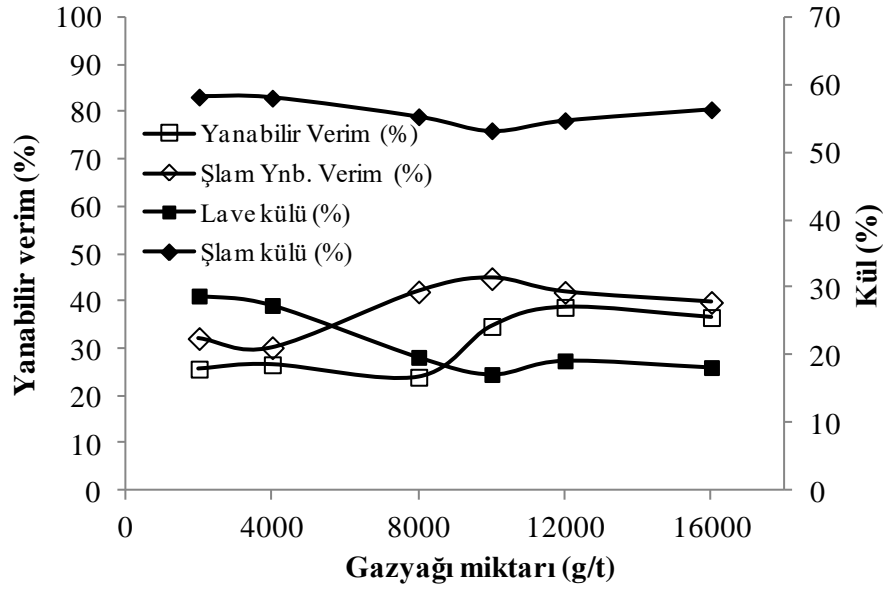


**Şekil 3.33** Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda katı oranının etkisi.

Soma-Eynez linyitinin şlamı uzaklaştırılması ile yapılan flotasyon deneylerinde, katı oranı azaldıkça lave külleri artarken, yanabilir verimler % 18'den % 27'ye yükselmekte ve şlam külleri de yükselmektedir. Ekonomiklik açısından % 10 katı oranı ile flotasyona devam edilmesine karar verilmiştir. % 10 katı oranında % 27,38 küllü lave, % 26,58 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Şlamsızlaştırmanın flotasyon katı oranı üzerine lave yanabilir verimi açısından bir iyileştirme yaptığı söylenebilir. Ancak yine de flotasyon başarısından söz etmek mümkün değildir.

#### **Toplayıcı miktarının etkisi**

105 mikronmetre altına indirilen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranı ile gazyağı miktarı parametresi taranmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.34'de gösterilmiştir. Gazyağı miktarının Soma-Eynez linyitinin seçiciliği üzerine görece bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Gazyağı miktarı arttıkça lavelerin külleri şist küllerinden belirgin bir şekilde düşük çıkmıştır. Oysa daha önceki flotasyon deneylerinde elde edilen şistlerin küllü ile lavelerin külleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Bu sonuçlar gazyağı miktarının etkisini ortaya koymaktadır.

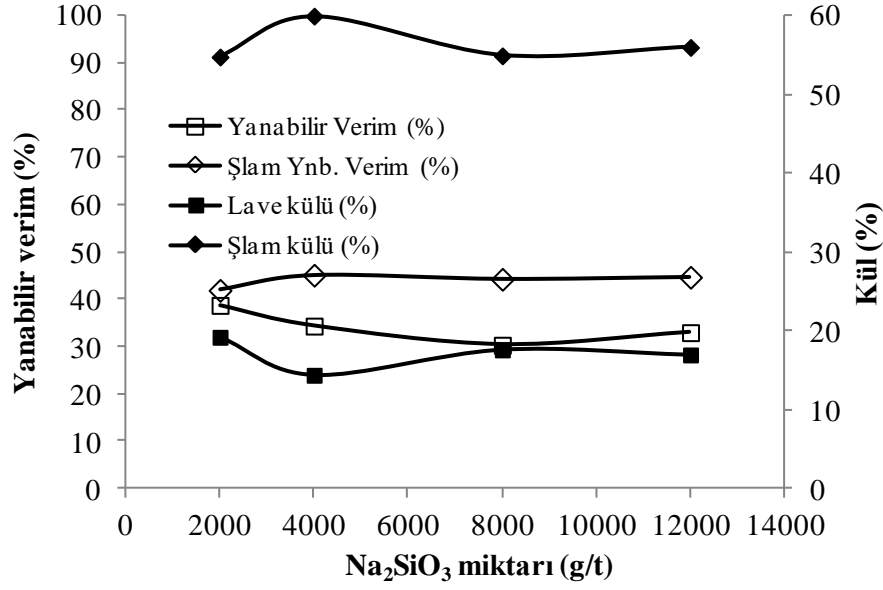


**Şekil 3.34** Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda gazyağı miktarının etkisi.

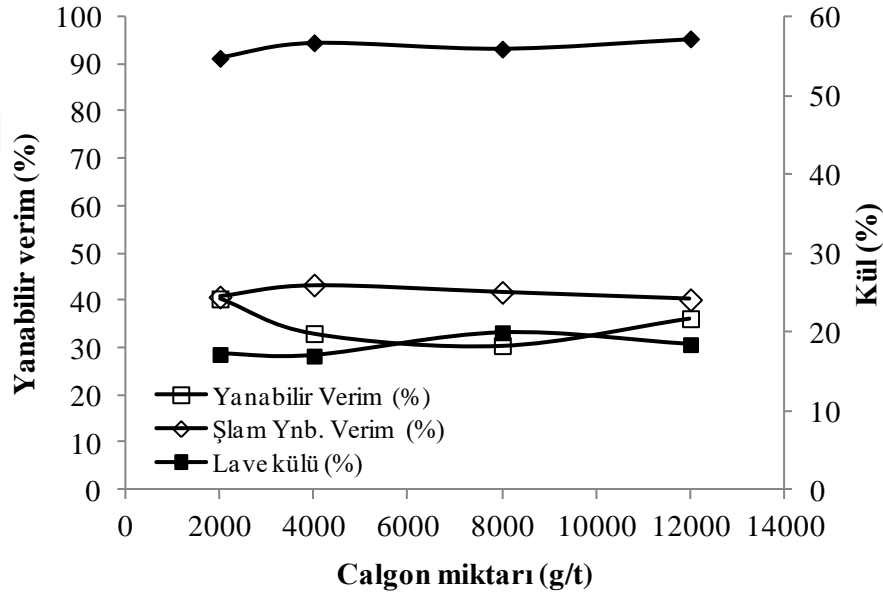
Mekanik dağıtma-eleme ile şlamı uzaklaştırılan Soma-Eynez linyitinin gazyağı miktarı artışına bağlı olarak hem lave külünde hem de yanabilir verimde görece bir iyileşme tespit edilmiştir. Gazyağı miktarları 8000-16000 g/t gibi çok yüksek değerlere kadar gidilmiştir. 12000 g/t gazyağı miktarında % 19,18 küllü lave % 38,71 yanabilir verimle kazanılırken, şlamın yanabilir verimi ise % 41,88 olmuştur. Bu durum şlamsızlaştırma ile yanabilir kısmın % 42'sinin flotasyona girmeden atıldığını göstermektedir. Toplayıcı olarak kullanılan gazyağı miktarları ve şlamla giden yanabilir kısmın yüksekliği, ekonomiklik ve uygulanabilirlik açısından flotasyonun uygun olmadığını göstermektedir.

#### **Flotasyonda dağıtıcı miktarı ve çeşidinin etkisi**

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranında, 12000 g/t gazyağı kullanılarak şlamsızlaştırılmış flotasyonda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Calgon miktarlarının ayrı ayrı seçimlilik üzerine etkisini görmek amacıyla deneylere devam edilmiştir. Şekil 3.35'de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Şekil 3.40'da Calgon ile kademesiz olarak gerçekleştirilen flotasyon deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.35 Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarının etkisi.



Şekil 3.36 Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda Calgon miktarının etkisi.

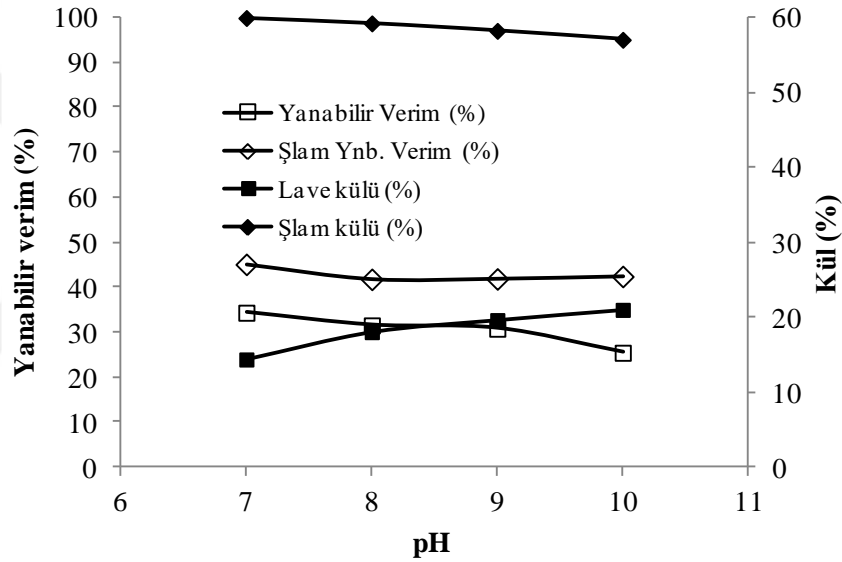
Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da görüldüğü üzere her iki dağıtıcının da beklenen seçimlilik etkisine sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak şlamı uzaklaştırılmış flotasyonda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ün lavenin küllerini azaltmasına rağmen yanabilir verimi de düşürdüğü anlaşılmaktadır. Kademesiz flotasyonun aksine Calgon'un dağıtıcı olarak hem lave

külleri açısından hem de yanabilir verim açısından  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'a göre daha iyi dağıtıcı olmadığı belirlenmiştir.

4000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  miktarında % 14,36 küllü lave % 34,33 yanabilir verimle kazanılırken, 2000 g/t Calgon miktarında % 17,16 küllü lave % 40,36 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Çok yüksek miktarlarda (8000 g/t, 10000 g/t) bile hem  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ün hem de Calgon'un linyit-kil seçimliliğine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

### Flotasyonda pH'ın etkisi

105 mikronmetre altına öğütülen Soma-Eynez linyitinde % 10 katı oranında, 12000 g/t gazyağı, 4000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dağıtıcı olarak kullanılarak pH etkisi araştırılmıştır. pH değişim sonuçları Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 Soma-Eynez linyitinin şlamı alınmış haldeki flotasyonunda pH değişiminin etkisi

Şekil 3.37'de görüldüğü gibi lave külünün en düşük ve yanabilir verimin en yüksek olduğu değer pH 7'dir. pH 7'de % 14,36 küllü lave % 34,33 yanabilir verimle kazanılırken, şlamın yanabilir verimi % 45 dolayındadır. Dolayısıyla flotasyonun başarısı ve ekonomikliği tartışmalıdır. Tez çalışmasının amacı teorik olarak farklı özellikteki linyitlerin flotasyon olamama nedenlerini ortaya koymaktır. Literatürde pek rastlanılmayan yüzey pürüzlülüğünün etkisini ortaya koymaktır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malatya-Arguvan linyiti ve Manisa-Soma linyitinin flotasyon deneyleri öncesi hem linyit hem de kil için flotasyondaki parametreleri belirlemek ve flotasyon davranışları hakkında bilgi elde etmek amacıyla zeta potansiyeli okumaları ve mikroflotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyeli okumalarıyla ilgili olarak bulunan sonuçlar aşağıdadır:

- Arguvan linyiti zeta potansiyeli okumaları incelendiğinde (Şekil 3.1), kilin daha negatif değerlere sahip olması beklenirken, pH 6-7 aralığından sonra kömür yüzeyleri kile göre daha negatif bulunmuştur. Bu bulgu beklenen bir sonuç değildir. Soma linyitinin zeta potansiyeli okumalarında ise pH 2-4 aralığında linyit pozitif değere sahipken, artan pH değeri ile linyitin negatifliği kile oranla artmıştır. Her iki linyit numunesi içinde kömürün daha negatif değerlerde bulunması flotasyonun zor olacağını göstermiştir. Kömürün yüzeyindeki negatiflik hidrofilik özellik taşıyan oksit grupların varlığından dolayıdır (Özbayoğlu,1986).

Flotasyon davranışlarını saptamak amacıyla yapılan bir diğer test yöntemi mikroflotasyondur. Linyit ve kil numunelerine ayrı ayrı uygulanan mikroflotasyon işlemlerinde toplayıcı türleri ve miktarları arasında kıyaslamalar yapılarak en uygun toplayıcı türü ve miktarı belirlenmektedir. Toplayıcı olarak gazyağı (800-1600-2400-4000 g/t), mazot (850-1700-2550-4250 g/t) ve gazyağı+mazot karışımı (825-1650-2475-4125 g/t) kullanılmıştır. Bu tür toplayıcılar hidrokarbon kökenli polar olmayan yağlar olarak bilinmektedir. Kömür flotasyonunda kömür tanelerinin yüzebilirliğini arttırmaktadırlar. Kömür tanelerinin yüzeylerini film gibi kaplayarak, tane ve hava kabarcıkları arasında çekim kuvvetini arttırmaları sonucu flotasyon verimini olumlu etkilemektedirler (Hacıfazlıoğlu, 2011). Mikroflotasyon yönteminden alınan sonuçlar aşağıdadır:

- Arguvan linyiti toplayıcı türleri ve miktarlarının yüzebilirlik değerleri incelendiğinde (Şekil 3.2 ve Ek 7), Arguvan linyiti için en uygun toplayıcı cinsinin gazyağı veya gazyağı+mazot karışımı olduğu anlaşılmaktadır. Toplayıcı miktarlarının artırılması kömürün mikroflotasyon veriminde artışa neden olmamıştır. Ancak aynı toplayıcı türleri ve miktarlarında kile uygulanan mikroflotasyon deneylerinde de toplayıcı miktarı arttıkça kilin yüzme verimi artmış ve sonuç olarak ayırım miktarında değişim olmuştur. Optimum olarak belirlenen



1600 g/t gazyağı ve gazyağı+mazot karışımı ile yapılan deneylerde sırasıyla % 53,31 ve % 53,70 oranında kömür yüzdürülmüştür. Ayrım miktarının % 21 olması linyit kil ayırımının yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir. Hava hızının da kömür yüzme verimine etkisi mikroflotasyon deneylerinde denenmiştir. 50-100-150-200 ml/dk miktarlarında değiştirilen hava hızları kömürün yüzme verimi üzerinde etkili olmamıştır (Şekil 3.3 ve Ek 7). pH 2-11 aralığında yapılan mikroflotasyon deneylerinde ise değişen pH'a bağlı olarak linyit ve kil numuneleri içinde değişim gözlenmemiştir (Şekil 3.4 ve Ek 7). Soma linyiti için de aynı parametreler taranarak yapılan mikroflotasyon deneylerinde en uygun toplayıcı olarak 1600 g/t gazyağı belirlenmiştir. Bu toplayıcı türü ve miktarında Soma linyitinin % 61,43 oranında yüzdürülmesi sağlanmıştır. Hava hızı değişiminin linyit yüzme verimine etkisi olmamıştır. pH 2-11 aralığında yapılan mikroflotasyon deneylerinde ise linyitin ve kilin yüzme verimlerinin yakın çıkması Denver flotasyon çalışmasının zor olacağına dair bir diğer ölçüt olarak kabul edilmiştir. Artan pH değerlerinin linyit yüzme verimi üzerinde etkisi olmamıştır. Bu durum zeta potansiyeli okumalarında linyitin pH'a bağlı negatifliğinin artmasıyla uyumludur.

Malatya-Arguvan linyitinin flotasyon davranışları kademeli, kademesiz ve şlamsızlaştırılmış flotasyon için tane boyutu, pülpte katı oranı, toplayıcı miktarı, dağıtıcı türü ve miktarı, pH etkisi parametreleri taranarak optimum koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Kademesiz olarak gerçekleştirilen flotasyonda ilk olarak tane boyutunun flotasyona etkisi araştırılmıştır. Öğütme işlemi sonrası belirlenen d(0,9): 260-165-115-100 -95 mikronmetre tane boyutlarında ( Ek 8) gerçekleştirilen flotasyon deneyleri incelendiğinde (Şekil 3.5 ve Ek 9) tane boyutu küçüldükçe lave külü azalmakta ve lave yanabilir verimi artmaktadır. 95 mikronmetre altı tane boyutunda lave külü % 42,19 ile en düşük değerine ve lave yanabilir verimi % 51,63 ile en yüksek verime sahiptir. Lave külünün diğer tüm boyutlardaki külleri % 39,97 besleme külünden fazla çıkması, kilin köpükle birlikte alındığını göstermektedir. Vamvuka ve Agridiotis'in 2001 yılında yaptıkları çalışmada da tane boyutu arttıkça flotasyon veriminde azalma gözlenmiştir. % 5-10-20-30 pülpte katı oranları değiştirilerek yapılan kademesiz flotasyon deneyleri sonucu lave külü ve yanabilir verim değerleri incelendiğinde (Şekil 3.6 ve Ek 9) tane boyutunun Arguvan linyiti seçimliliği üzerinde etkili bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir. Yine burada da lave külleri besleme küllerinden fazla

çıkıştır. 95 mikronmetre altına indirilen Arguvan linyitinin % 20 katı oranında yapılan kademesiz flotasyon deneylerinde toplayıcı miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 3.7 ve Ek 9) 200-400-600-800-10000-10800 g/t miktarlarında artan gazyağı varlığında lave külünde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Lave yanabilir veriminde ise azalma görülmektedir. Bu durum toplayıcı olarak kullanılan gazyağı miktarının artmasıyla kilin toplayıcıdan etkilenmesini sağlayarak konsantreye sürüklenmesini arttırdığı çıkarımı yapılabilir. 2000 g/t gazyağı kullanıldığında lave külü % 39,96 ve yanabilir verimi % 61,88'dir. Dağıtıcı olarak kullanılan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve % 50 Calgon+% 50  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  karışımı karşılaştırıldığında kademesiz flotasyon incelendiğinde (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9),  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tek başına hem lave külü hem de yanabilir verim açısından daha etkili dağıtıcıdır. 4000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  varlığında % 39,70 küllü lave ve % 58,35 yanabilir verimle en iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak yine de yeterli seçicilik sağlanamamıştır. Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu  $d(0,9)$ : 95 mikronmetre, % 20 katı oranı, 2000 g/t gazyağı 4000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılarak optimum şartlarda yapılan flotasyon deneylerinde pH değişiminin seçicilik üzerinde bir etkisi olmamıştır. Doğal pH da yapılan deneylerde en iyi sonuçlar alınmıştır. Bu durumu zeta potansiyeli okumaları ve mikroflotasyon deneyleri ile uyumlu ve birbirini destekler niteliktedir.

Malatya-Arguvan linyitinin kademesiz Denver flotasyon sonuçlarında yeterli sonuçlar alınamayınca, kademeli lave alınmasına karar verilmiştir. Malatya-Arguvan linyiti kademeli olarak gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde de aynı parametreler taranmış ancak kademesiz flotasyonda olduğu gibi seçicilik sağlanamamıştır. Lave-1 ve lave-2 olarak alınan ürünlerin toplam yanabilirliği kademesiz flotasyona nazaran daha yüksek çıkmıştır. Kademeli flotasyonda çalışılan tane boyutları ile yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek yanabilir verimin ve en düşük külün olduğu 95 mikronmetre altı tane boyutu olarak alınmıştır. % 39,97 küllü beslenen linyit, flotasyonla % 43,03 küllü lave1 ve % 40,38 küllü lave2, sırasıyla % 60,64 ve % 14,95 yanabilir verimle kazanılmaktadır. Toplam yanabilir verimin % 75,59 olması, beklendiği gibi kademeli flotasyonunun avantajını olarak ortaya çıkmaktadır. Toplayıcı miktarının artırılması flotasyonda herhangi bir avantaj sağlamamıştır (Ek 9).

Son olarak flotasyonu olumsuz olarak etkileyen kil varlığını azaltmak amacıyla şlam atma yöntemine başvurulmuştur. Şlamsızlaştırma işlemiyle yapılan flotasyon çalışmalarında öğütme ile tane boyutu azaldıkça, linyitin kil mineralleri ile birlikte şlam olarak atılma miktarı yükselmektedir. Şekil 3.16 incelendiğinde bu durumun sonucu

olarak şlam külü azalırken yanabilir verimdeki artış görülmektedir. Ekonomiklik ve linyitin şlama kaçmasını engellemek amacıyla 162 mikronmetre altı seçilen tane boyutunda % 27,15 küllü lave % 28,56 yanabilir verimle alınmıştır. Katı oranı parametresinde en düşük küllü lave % 5 katı oranında sağlanmış, ancak yanabilir verim % 21,9 ile en düşük değerdedir. Ekonomiklik göz önüne alınarak seçilen % 20 katı oranında % 27,15 küllü lave, % 28,6 yanabilir verimle alınabilmektedir. Kademeli ve kademesiz flotasyon sonuçlarına göre lave külünde şlamsızlaştırmanın etkili olduğu belirlense de, flotasyon veriminde herhangi bir iyileşme görülmemiştir.

Soma linyiti için yapılan kademesiz flotasyon deneylerinde Malatya-Arguvan linyitinde olduğu gibi tane boyutu, pülpte katı oranı, toplayıcı miktarı, dağıtıcı türü ve miktarı, pH etkisi parametreleri taranmıştır. Kademesiz flotasyon sonucu 105 mikronmetre altında yanabilir verim % 40, lave külü ise % 45,83'tür. Soma linyitinin besleme külünün % 42,44 olduğu düşünüldüğünde her tane boyutundaki lave külleri besleme külünden fazladır. Pülpte katı oranı değiştirilerek yapılan deneyler sonucunda ise pülpte katı oranı azaldıkça lave külünde göre azalma sağlanmasına karşın yanabilir verimlerde de azalma olmuştur. % 10 katı oranında lave külü % 44,62 ve yanabilir verim % 31,55'tir. Katı oranı parametresinin kademesiz flotasyon üzerinde etkisi olmamıştır. Toplayıcı olarak gazyağı ile yapılan deneylerde, beklendiği gibi gazyağı miktarı arttıkça lave külleri azalırken lave yanabilir verimleri de 12000 g/t toplayıcı miktarına kadar artış olmuştur. pH 7-10 aralığında yapılan deneylerde en yüksek verim doğal pH'da sağlanmıştır. Yeterli seçimlilik sağlamak için yapılan, şlamı alınarak gerçekleştirilen flotasyonda kademesiz flotasyonda olduğu gibi tane boyutu azaldıkça linyit şlama gitmektedir. Lave küllerinin % 24-32 ve yanabilir verimin sadece % 14-24 arasında değişmesi flotasyon uygunluğu için tartışılabilir bir sonuçtur (Ek 10).

Linyitin flotasyon davranışındaki olumsuzluklar, zeta potansiyeli okumalarında linyitin kilden daha fazla negatif değerlere sahip oluşu ve mikroflotasyon deneyleri ile test edilen yüzme verimlerinde linyit ve kilin ayırım miktarlarında çok bir farkın sağlanamaması, linyitin oksidasyonu ile ilişkilendirilmektir (Sarıkaya ve Özbayoğlu, 1995; Sarıkaya, 1995; Jia vd., 2000; Dey vd., 2013; Chang vd. 2017). Oksidasyon yüzeyin suyu itme kabiliyeti üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Yüzeyin suyu itme kabiliyetinin azalması sonucu ıslanabilirlik artmaktadır (Lekili, 1985).

## KAYNAKLAR

- Abkhoshk, E., Kor, M., & Rezai, B.** (2010). A study on the effect of particle size on coal flotation kinetics using fuzzy logic. *Expert Systems with applications*, 37(7), 5201-5207.
- Arbiter, N.** (1985) *Mining Processing Handbook*, Flotation, SME New York, s.5-43.
- Ateşok, G.** (1986) Komur Hazırlama, İTÜ Maden Fakültesi, *Kurtiş Matbaası*, 190 s., İstanbul.
- Ateşok, G.** (2009) Kömür Kullanımı Ve Temiz Kömür Teknolojileri Yurt Madenciligi Geliştirme Vafkı Yayınları, 10s, İstanbul.
- Aksoğan Korkmaz, A.** Zenginleştirme yöntemlerinin değişik linyitlerin proliz Ürün Verimleri Üzerine Etkisi. *İ. Ü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı* (Doktora Tezi), Malatya
- Bilir, K.** (2011). Kömür flotasyonunda kullanılan gazyağı miktarının oranların farkı testi ile optimizasyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 119-130.
- BP,** (2018). Statistical Review Of World Energy, 2017.
- British Geological Survey, Mineral Profile :** Coal. March 2007.
- Brown, D. J.** (1962) Froth flotation, *Coal Flotation*, 50th Anniversary Vol. Fuerstenau, D.W.,ed., A\_ME, New York, pp.518-538.
- Cebeci, Y.** (2002) The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayrıdam lignite using various collectors, *Fuel*, 81, 281-289.
- Ceylan, K. and Küçük. M. Z.** (2004) Effectiveness of the dense medium and the froth flotation methods in cleaning some Turkish lignites, *Energy Conversion&Management* 45, 1407-1418.
- Chang, Z., Chen, X., & Peng, Y.** (2017). Understanding and improving the flotation of coals with different degrees of surface oxidation. *Powder technology*, 321, 190-196.
- Çilek, E.C.** (2006) Mineral Flotasyonu Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayın No:59 141-143-158s, Isparta.
- Dey, S., Paul, G. M., & Pani, S.** (2013). Flotation behaviour of weathered coal in mechanical and column flotation cell. *Powder technology*, 246, 689-694.
- Dpt., 2001.** Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu Enerji Maddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu. Ankara, Dpt: 2605 - Öik: 616.

- EIGM**,(2018). EIGM Denge Tabloları. 2017 Yılı Sonu Denge Tablosu: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>.
- Guo, Y., Zhao, Y., Wang, S., Jiang, C., & Zhang, J.** (2018). Relationship between the zeta potential and the chemical agglomeration efficiency of fine particles in flue gas during coal combustion. *Fuel*, 215, 756-765.
- Hacıfazlıoğlu, H.** (2011). Jameson Hücresinde Bitümlü Şlam Kömürün Flotasyonu İçin En Uygun Köpürtücü ve Toplayıcı Tipinin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2, 33-43.
- Jia, R., Harris, G. H., & Fuerstenau, D. W.** (2000). An improved class of universal collectors for the flotation of oxidized and/or low-rank coal. *International Journal of Mineral Processing*, 58(1-4), 99-118.
- Jia, R., Harris, G. H., & Fuerstenau, D. W.** (2002). Chemical reagents for enhanced coal flotation. *Coal Preparation*, 22(3), 123-149.
- Kawatra S. K. and Eisele T. C.** (1997) Pyrite recovery mechanisms in coal flotation *International Journal of Mineral Processing*, Vo.50, s.187-201
- Kemal, M. ve Arslan,V.** (2014) Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:033 6. Baskı, 4-5-13-20-21-22-88s, İzmir.
- Seyhan, K.** (1994) Türk Linyitlerinin Isıl İşlemler İle Yüzebilirliklerinin İyileştirilmesi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), 39s, İstanbul
- Laskowski, J.S.** (2001). Coal Flotation and Fine Coal Utilization, D.W. Fuerstenau / Advisory Editor, Volume 14, Elsevier.
- Leja, J.** Surface Chemistry of Froth Flotation, Plenum Press, New York, 1982
- Lekili, M.** (1985). Okside Kömürün Karakteristikleri Ve Kömür Hazırlama Tesisi Performansına Etkisi.
- Ni, C., Bu, X., Xia, W., Peng, Y., & Xie, G.** (2018). Effect of slimes on the flotation recovery and kinetics of coal particles. *Fuel*, 220, 159-166.
- Nokaman, E.** (2012) Kömür, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:081 4. Baskı 4-174-184s, İzmir.
- Oats, W. J., Ozdemir, O., & Nguyen, A. V.** (2010). Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation. *Minerals Engineering*, 23(5), 413-419.
- Önal, G. ve Atak, S.** (1991) Kömür hazırlama ve tesisleri, Kömür, (Ed) Kural, İstanbul.

- Özbayoglu, G.** (1986) Desulfurization of lignites by high gradient magnetic separation, *1st International Mineral Processing Symposium*, s.635-645, Konak, İzmir.
- Polat, H., & Chander, S.** (1998). Interaction between physical and chemical variables in the flotation of low rank coals. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 15(1), 41-47.
- Polat, M., Polat, H., Chander, S.,** 2003, Physical and chemical interactions in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 72, 199-213.
- Sarikaya, M.** (1995). Flotation test as a method for studying coal weathering. *International journal of mineral processing*, 43(1-2), 31-35.**Sarikaya, M., & Özbayoğlu, G.** (1995). Flotation characteristics of oxidized coal. *Fuel*, 74(2), 291-294.
- Shen, L., Min, F., Liu, L., Zhu, J., Xue, C., Cai, C., & Wang, C.** (2019). Application of gaseous pyrolysis products of the waste cooking oil as coal flotation collector. *Fuel*, 239, 446-451.
- Sis, H., Ozbayoglu, G., & Sarikaya, M.** (2003). Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of coal fines. *Minerals Engineering*, 16(4), 399-401.
- Sis, H., Ozbayoglu, G., & Sarikaya, M.** (2004). Utilization of fine coal tailings by flotation using ionic reagents. *Energy sources*, 26(10), 941-949.
- Sönmez, İ., & Cebeci, Y.** (2006). Performance of classic oils and lubricating oils in froth flotation of Ukraine coal. *Fuel*, 85(12-13), 1866-1870.
- Şahinoğlu, E.** (2019). Kömür Flotasyonunda Farklı Yağların Performanslarının Karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 253-262.
- Tefek, M.** (1984) İnce Kömür Flotasyonunda Parçacıkların Davranışları, Türkiye 4.Kömür Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, s. 261-267.
- TKİ.** (2018). Türkiye Kömür İşletmeleri 2017 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara
- TTK** (2018) 2017 Yılı Taşkömürü Sektör Raporu , Zonguldak
- Ünalın, G.** (2010) Kömür Jeolojisi, Maden Tektik Ve Arama Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi-41 236s, Ankara
- Vamvuka, D., & Agridiotis, V.** (2001). The effect of chemical reagents on lignite flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 61(3), 209-224.

**Vapur, H., Bayat, O., & Uçurum, M.** (2010). Coal flotation optimization using modified flotation parameters and combustible recovery in a Jameson cell. *Energy Conversion and Management*, 51(10), 1891-1897.

**Yiğit,Ö. ve Özkan, Ş.G.** (2007) Flotasyon yöntem ve uygulamaları 108-111s, İstanbul.

**Zhen, K., Zhang, H., Li, C., & Li, X.** (2019). Effect of oxidized diesel oil on the flotation response of the low-rank coal by plasma oxidation method. *Fuel*, 245, 13-20.

**Xia, Y., Yang, Z., Zhang, R., Xing, Y., ve Gui, X.** (2019). Performance of used lubricating oil as flotation collector for the recovery of clean low-rank coal. *Fuel*, 239, 717-725.

**Url-1**<<http://kompy.info/flotasyonda-yuzey-kimyasi-laboratuvar-foyu-flotasyon.html>>, alındığı tarihi: 03.05.2019

**Url-2** <<http://kisi.deu.edu.tr/umit.erdogan/AKM.pdf>>, alındığı tarihi: 03.05.2019

**Url-3** <<https://bilimfili.com/atomik-kuvvet-mikroskobu-nedir-nasil-calisir/>>, alındığı tarih: 03.05.2019

**Url-4** < <http://www.somalinyit.com/product1.aspx>>, alındığı tarih: 04.05.2019

## EKLER

### EK - 1 Kömürün Kısa Analiz Hesaplamaları

Nem analizleri için Nüve FN 500 marka etüv kullanılmıştır. Yaklaşık 3 gr örnek alınmış, alınan örnek 105 °C'de 1,5 saat bekletildikten sonra ağırlık kaybından nem içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

- $\% \text{ Nem} = \left( \frac{(A-B)}{A} \right) \times 100$

A = Örnek ağırlığı (gr)

B = Etüv çıkışı örnek ağırlığı (gr)

Kül analizi için Nüve MF 120 marka kül fırını kullanılmıştır. yaklaşık 1 gr örnek tartılarak kroze içerisine konulmuştur. Kül fırınında sıcaklık yükseltme işlemi kademeli olarak yapılmıştır. 250 °C'de 30 dakika, 500 °C'de 30 dakika, 825 °C'de 4 saat bekletilmiştir. Kül miktarı kalan kütlenin tartımı sonucu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

- $\% \text{ Kül} = \left( \frac{(A-B)}{C} \right) \times 100$

A = Fırın çıkışı kül dolu kroze ağırlığı (gr)

B = Boş kroze ağırlığı (gr)

C = Örnek ağırlığı (gr)

Kömür örneklerinin uçucu madde analizleri için yaklaşık 1 gr örnek kapalı kroze içerisine konularak kül fırınında 950 °C'de 7 dakika tutulduktan sonra ağırlık kaybı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

- $C = \left( \frac{(A-B)}{A} \right) \times 100$

C = % Ağırlık kaybı

B = Fırına girmeden önceki örnek ağırlığı (gr)

% Uçucu madde = C-D

D = Nem (%)

Sabit C değeri ise nem, kül ve uçucu madde yüzdeleri toplamının 100'den çıkarılması ile hesaplanmıştır.

- $\text{Sabit C} = 100 - (\text{Nem} + \text{Kül} + \text{Uçucu madde})$



## EK - 2 Mikrofloasyon Deneyleri Hesaplamaları

Mikroflotasyon deneylerinde yüzdürülen ve bastırılan ürünler süzgeç kağıdından geçildikten sonra kurutulmuş ve kalan kütlenin tartımı sonucu yüzdürülen, bastırılan miktarları belirlenmiştir. aşağıdaki formüle göre de mikroflotasyon verim hesaplaması yapılmıştır.

- Verim (%) =  $\frac{(Y \times 100)}{(Y+B)}$

Y= Yüzdürülen örnek ağırlığı (gr)

B= Bastırılan örnek ağırlığı (gr)

Kömür ve kil örnekleri için ayrı ayrı hesaplanan kömür mikroflotasyon verimi ve kül mikroflotasyon verimi farkları alınarak ayırım miktarları hesaplanmıştır.

- Ayırım miktarı (%) = (A-B)

A= Kömür mikroflotasyon verimi (%)

B= Kil mikroflotasyon verimi (%)

## EK - 3 Flotasyon Deneyleri Hesaplamaları

Flotasyon deney sonuçlarının değerlendirilmesinde yanabilir verim (%), ağırlık verimi (%) ve kül verimi (%) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

- Yanabilir verim (%) =  $\frac{Y \times (100 - Yk)}{B \times (100 - Bk)} \times 100$

- Ağırlık verimi (%) =  $\left( \frac{Y}{B} \right) \times 100$

- Kül verimi (%) =  $\left( \frac{Y \times Yk}{B \times Bk} \right) \times 100$

Y= Yüzdürülen ürünün ağırlığı (gr)

Yk= Yüzdürülen ürünün külü (%)

B= Besleme ağırlığı (gr)

Bk= Beslemenin külü (%)

#### EK- 4 Elek Analizleri

Ek Çizelge 4.1 Malatya-Arguvan linyitine ait elek analizi sonuçları

Tane boyutu (mm)	Ağırlık		Kümülatif elek üstü (%)	Kümülatif elek altı (%)	Normal dağılım oranı (% Ağ/Δd)
	(gr)	(%)			
+31,5	314,5	13,64	13,64	100,00	2,07
-31,5+25	73	3,17	16,81	86,36	0,49
-25+19	141	6,12	22,92	83,19	1,02
-19+12,5	277	12,01	34,94	77,08	1,85
-12,5+9,5	112	4,86	39,80	65,06	1,62
-9,5+4,75	436,5	18,93	58,73	60,20	3,99
-4,75+2,36	307	13,32	72,05	41,27	5,57
-2,36+1,18	252,5	10,95	83,00	27,95	9,28
-1,18	392	17,00	100,00	17,00	14,41
<b>Toplam</b>	<b>2305,5</b>	<b>100,00</b>			

Ek Çizelge 4.2 Manisa-Soma linyitine ait elek analizi sonuçları

Tane boyutu (mm)	Ağırlık		Kümülatif elek üstü (%)	Kümülatif elek altı (%)	Normal dağılım oranı (% Ağ/Δd)
	(gr)	(%)			
+31,5	117,5	4,38	4,38	100	0,66
-31,5+25	278	10,36	14,74	95,62	1,59
-25+19	407,5	15,19	29,92	85,26	2,53
-19+12,5	406	15,13	45,05	70,08	2,33
-12,5+9,5	206,5	7,70	52,75	54,95	2,57
-9,5+4,75	459	17,10	69,85	47,25	3,60
-4,75+2,36	338,5	12,61	82,47	30,15	5,28
-2,36+1,18	207	7,71	90,18	17,53	6,54
-1,18	263,5	9,82	100	9,82	8,32
<b>Toplam</b>	<b>2683,5</b>	<b>100</b>			

## EK- 5 Kısa Analizler

**Ek Çizelge 5.1** Malatya-Arguvan linyitine ait havada kuru bazda kısa analiz sonuçları

<b>Tane boyutu (mm)</b>	<b>Kaba Nem (%)</b>	<b>Nem (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Uçucu madde (%)</b>	<b>Sabit C* (%)</b>	<b>AID (kcal/kg)</b>
+31,5	13,83	4,03	30,91	27,60	37,46	2833
-31,5+25	15,07	6	41,44	28,90	23,66	3107
-25+19	14,18	6,3	41,31	29,02	23,37	3184
-19+12,5	15,16	6,75	40,72	27,05	25,48	3205
-12,5+9,5	14,73	6,05	43,04	27,60	23,31	2978
-9,5+4,75	15,58	6,8	40,03	28,03	25,14	3152
-4,75+2,36	15,64	5,85	41,11	26,30	26,74	2894
-2,36+1,18	15,84	6,26	41,65	25,90	26,19	3092
-1,18	15,56	6,41	43,18	26,12	24,29	3884
Besleme	15,18	6,07	39,97	27,14	26,83	3190

\*Fark ile

**Ek Çizelge 5.2** Manisa-Soma linyitine ait havada kuru bazda kısa analiz sonuçları

<b>Tane boyutu (mm)</b>	<b>Kaba Nem (%)</b>	<b>Nem (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Uçucu madde (%)</b>	<b>Sabit C* (%)</b>	<b>AID (kcal/kg)</b>
+31,5	10,74	1,72	37,36	15,16	45,76	3299
-31,5+25	8,27	2,2	38,31	20,17	39,32	3147
-25+19	8,59	2,42	43,18	27,12	27,28	3571
-19+12,5	9,61	2,47	42,6	26,15	28,78	3569
-12,5+9,5	10,90	2,74	42,68	31,59	22,99	3011
-9,5+4,75	9,25	2,27	42,35	32,49	22,89	3313
-4,75+2,36	7,38	2,46	43,25	36,40	17,89	3663
-2,36+1,18	8,21	3,11	43,52	39,45	13,92	4653
-1,18	8,73	1,72	45,57	34,14	17,37	6067
Besleme	8,91	2,48	42,44	29,86	25,22	3771

## EK - 6 Zeta Potansiyeli Okumaları

Ek Çizelge 6.1 Malatya-Arguvan linyitine ait zeta potansiyeli sonuçları

pH	Zeta Meter 3,0 cihazı okumaları (mV)		Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı okumaları (mV)	
	Kömür	Kil	Kömür	Kil
2	-21,9	-22,7	10,3	-14
3	-26,2	-19	4,35	-16,5
4	-28,4	-17,9	-9,09	-17,5
5	-30,5	-18,2	-19	-20,5
6	-28,3	-17,9	-23,6	-22,5
7	-31,2	-17,1	-27,6	-23
8	-33,2	-19	-27,4	-25,4
9	-31,4	-22,1	-30,6	-26,2
10	-34	-23,4	-34	-27,5
11	-34,9	-25,2	-34,2	-31,1

Ek Çizelge 6.2 Manisa-Soma linyitine ait zeta potansiyeli sonuçları

pH	Zeta Meter 3,0 cihazı okumaları (mV)		Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı okumaları (mV)	
	Kömür	Kil	Kömür	Kil
2	-22	---	10,5	-6,76
3	-20,9	-13,1	8,18	-3,82
4	-34	-13,8	-6,26	-11,7
5	-37	-17,4	-9,15	-7,48
6	-38,1	-19	-31,4	-12,8
7	-46,8	-21,1	-33,4	-15,8
8	-48	-25,2	-35	-19,9
9	-47	-28,9	-35,1	-26,3
10	-49	-25,1	-38,1	-30,8
11	-52,3	-25,6	-39,2	-31,4

## EK - 7 Mikroflotasyon Deneyleri

Ek Çizelge 7.1 Malatya-Arguvan linyiti toplayıcı türleri ve miktarları değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri

Doğal pH: 6,2 Hava hızı: 100 ml/dk		KÖMÜR				KİL				
Toplayıcı türleri	Toplayıcı miktarı (g/t)	Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	Ayrım miktarı (%)
Gazyağı	800	0,4843	0,4842	0,9685	50,01	0,2377	0,7311	0,9688	24,54	25,47
	1600	0,5302	0,4461	0,9763	54,31	0,3075	0,6596	0,9671	31,8	22,51
	2400	0,5363	0,4478	0,9841	54,5	0,3736	0,6016	0,9752	38,31	16,19
	4000	0,4825	0,4278	0,9103	53	0,3732	0,5937	0,9669	38,6	14,4
Mazot	850	0,4047	0,5939	0,9986	40,53	0,3557	0,6303	0,986	36,08	4,45
	1700	0,4382	0,5442	0,9824	44,61	0,3511	0,6287	0,9798	35,83	8,78
	2550	0,4431	0,5282	0,9713	45,62	0,3393	0,6508	0,9901	34,27	11,35
	4250	0,5140	0,4756	0,9896	51,94	0,2650	0,7295	0,9945	26,65	25,29
Gazyağı+mazot	825	0,4459	0,5402	0,9861	45,22	0,2855	0,7445	1,03	27,72	17,50
	1650	0,5228	0,4508	0,9736	53,70	0,3238	0,6718	0,9956	32,52	21,18
	2475	0,5401	0,4471	0,9872	54,71	0,3891	0,5873	0,9764	39,85	14,86
	4125	0,5192	0,4597	0,9789	53,04	0,3844	0,5981	0,9825	39,12	13,92

**Ek Çizelge 7.2** Malatya-Arguvan linyiti hava hızı miktarları değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri (doğal pH: 6,2)

		<b>KÖMÜR</b>				<b>KİL</b>				
<b>Toplayıcı türleri ve miktarları</b>	<b>Hava hızı (ml/dk)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Ayrım miktarı (%)</b>
Gazyağı (2400 g/t)	50	0,5057	0,4588	0,9645	52,43	0,3790	0,5889	0,9679	39,16	13,27
	100	0,5300	0,4621	0,9921	53,42	0,3677	0,5921	0,9598	38,31	15,11
	150	0,5833	0,4072	0,9905	58,89	0,4369	0,5256	0,9625	45,39	13,50
	200	0,6657	0,3108	0,9765	68,17	0,4783	0,4932	0,9715	49,23	18,94
Mazot (2550 g/t)	50	0,4357	0,5467	0,9824	44,35	0,2545	0,7067	0,9612	26,48	17,87
	100	0,4585	0,5271	0,9856	46,52	0,3289	0,6309	0,9598	34,27	12,25
	150	0,4819	0,4862	0,9681	49,78	0,4314	0,5331	0,9645	44,73	5,05
	200	0,5180	0,4460	0,964	53,73	0,4529	0,5152	0,9681	46,78	6,95
Gazyağı+mazot (2475 g/t)	50	0,4303	0,5551	0,9854	43,67	0,1475	0,8306	0,9781	15,08	28,59
	100	0,5188	0,4575	0,9763	53,14	0,3835	0,5910	0,9745	39,35	13,79
	150	0,5467	0,4412	0,9879	55,34	0,4412	0,5451	0,9863	44,73	10,61
	200	0,5469	0,4276	0,9745	56,12	0,3514	0,6144	0,9658	36,38	19,74

**Ek Çizelge 7.3** Malatya-Arguvan linyiti pH değerleri değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri (hava hızı: 100 ml/dk)

Toplayıcı türü ve miktarı	PH Değerleri	KÖMÜR				KİL				Ayrım miktarı (%)
		Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	
Gazyağı (2400 g/t)	2	0,4736	0,3771	0,8507	55,67	0,2720	0,4175	0,6895	39,45	16,22
	3	0,5204	0,3017	0,8221	63,30	0,2943	0,3809	0,6752	43,58	19,72
	4	0,5478	0,3281	0,8759	62,54	0,2622	0,4490	0,7112	36,87	25,67
	5	0,5116	0,3464	0,858	59,63	0,3704	0,4965	0,8669	42,72	16,90
	6	0,4699	0,3374	0,8073	58,21	0,3514	0,4609	0,8123	43,26	14,95
	7	0,4803	0,3776	0,8579	55,98	0,3773	0,4741	0,8514	44,31	11,67
	8	0,5159	0,3409	0,8568	60,21	0,3953	0,4954	0,8907	44,38	15,84
	9	0,4307	0,2854	0,7161	60,15	0,4232	0,5442	0,9674	43,74	16,41
	10	0,5070	0,3792	0,8862	57,21	0,3841	0,4626	0,8467	45,37	11,84
	11	0,5885	0,2903	0,8788	66,96	0,4269	0,5152	0,9421	45,31	21,65

**Ek Çizelge 7.4** Manisa-Soma linyiti toplayıcı türleri ve miktarları değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri

<b>Doğal pH: 6,8</b> <b>Hava hızı: 100 ml/dk</b>		<b>KÖMÜR</b>				<b>KİL</b>				
<b>Toplayıcı türleri</b>	<b>Toplayıcı miktarı (g/t)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Ayrım miktarı (%)</b>
Gazyağı	800	0,6450	0,4180	1,063	60,68	0,1400	0,7870	0,927	15,10	45,57
	1600	0,6180	0,3880	1,006	61,43	0,1780	0,7650	0,943	18,88	42,56
	2400	0,6071	0,4259	1,033	58,77	0,2500	0,7110	0,961	26,01	32,76
	4000	0,6497	0,3893	1,039	62,53	0,3370	0,6750	1,012	33,30	29,23
Mazot	850	0,6625	0,4005	1,0630	62,33	0,2210	0,7020	0,923	23,94	4,45
	1700	0,6501	0,4239	1,0740	60,53	0,3110	0,5950	0,906	34,33	8,78
	2550	0,6660	0,4260	1,0920	60,99	0,3280	0,5980	0,926	35,42	11,35
	4250	0,6669	0,3801	1,0470	63,70	0,3850	0,5510	0,936	41,13	25,29
Gazyağı+mazot	825	0,6414	0,4086	1,05	61,08	0,6414	0,2475	0,6455	0,893	27,72
	1650	0,6528	0,3902	1,043	62,59	0,6528	0,3024	0,6276	0,93	32,52
	2475	0,6809	0,3551	1,036	65,73	0,6809	0,3150	0,5910	0,906	34,77
	4125	0,6380	0,3970	1,035	61,64	0,6380	0,3440	0,5820	0,926	37,15



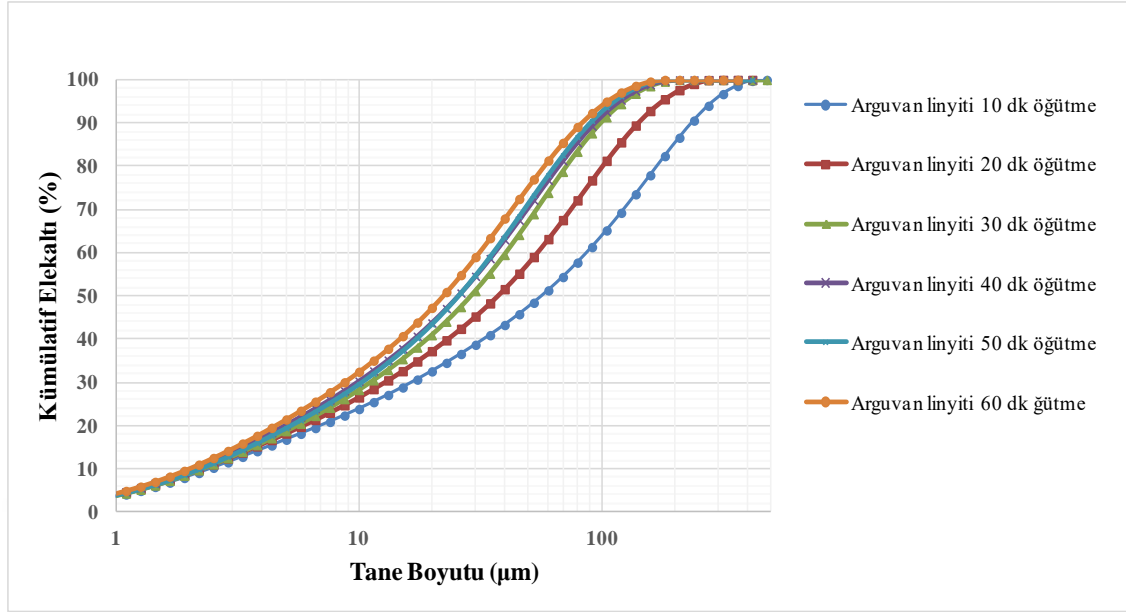
**Ek Çizelge 7.5** Manisa-Soma linyiti hava hızı miktarları değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri (doğal pH: 6,8)

		<b>KÖMÜR</b>				<b>KİL</b>				
<b>Toplayıcı türleri ve miktarları</b>	<b>Hava hızı (ml/dk)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Yüzdürülen Miktar (gr)</b>	<b>Batan Miktar (%)</b>	<b>Toplam miktar (gr)</b>	<b>Flot. verimi (%)</b>	<b>Ayrım miktarı (%)</b>
Gazyağı (1600 g/t)	50	0,5654	0,3108	0,8762	64,53	0,1820	0,8300	1,012	17,98	46,54
	100	0,5867	0,3149	0,9016	65,07	0,2080	0,7750	0,983	21,16	43,91
	150	0,5554	0,3302	0,8856	62,71	0,1800	0,7830	0,963	18,69	44,02
	200	0,5067	0,2707	0,7774	65,18	0,2100	0,7800	0,99	21,21	43,97
Mazot (1700 g/t)	50	0,5340	0,3508	0,8848	60,35	0,3524	0,6710	1,0234	34,43	25,92
	100	0,5990	0,3277	0,9267	64,64	0,3388	0,7000	1,0388	32,61	32,02
	150	0,5809	0,3255	0,9064	64,09	0,4240	0,5994	1,0234	41,43	22,66
	200	0,5536	0,3092	0,8628	64,16	0,5149	0,5132	1,0281	50,08	14,08
Gazyağı+mazot (2475 g/t)	50	0,5566	0,3454	0,902	61,71	0,3988	0,6277	1,0265	38,85	22,86
	100	0,5603	0,3080	0,8683	64,53	0,4465	0,5838	1,0303	43,34	21,19
	150	0,5985	0,3191	0,9176	65,22	0,4468	0,5787	1,0255	43,57	21,66
	200	0,5614	0,3196	0,881	63,72	0,4643	0,5709	1,0352	44,85	18,87

**Ek Çizelge 7.6** Manisa-Soma linyiti pH değerleri değiştirilerek yapılan mikroflotasyon deneyleri (hava hızı: 100 ml/dk)

Toplayıcı türü ve miktarı	PH Değerleri	KÖMÜR				KİL				Ayrım miktarı (%)
		Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	Yüzdürülen Miktar (gr)	Batan Miktar (%)	Toplam miktar (gr)	Flot. verimi (%)	
Gazyağı (2400 g/t)	2	0,5662	0,3196	0,8858	63,92	0,0720	0,4982	0,5702	12,63	51,29
	3	0,5653	0,3267	0,892	63,37	0,0469	0,6280	0,6749	6,95	56,43
	4	0,5490	0,3333	0,8823	62,22	0,0700	0,6932	0,7632	9,17	53,05
	5	0,5618	0,3395	0,9013	62,33	0,0948	0,6602	0,755	12,56	49,77
	6	0,5936	0,3002	0,8938	66,41	0,1792	0,7448	0,924	19,39	47,02
	7	0,5784	0,2909	0,8693	66,54	0,1987	0,7241	0,9228	21,53	45,00
	8	0,5664	0,3326	0,899	63,00	0,2500	0,7460	0,996	25,10	37,90
	9	0,5670	0,3567	0,9237	61,38	0,2040	0,7950	0,999	20,42	40,96
	10	0,5817	0,3231	0,9048	64,29	0,1740	0,7830	0,957	18,18	46,11
	11	0,6508	0,2966	0,9474	68,69	0,1730	0,8620	1,035	16,71	51,98

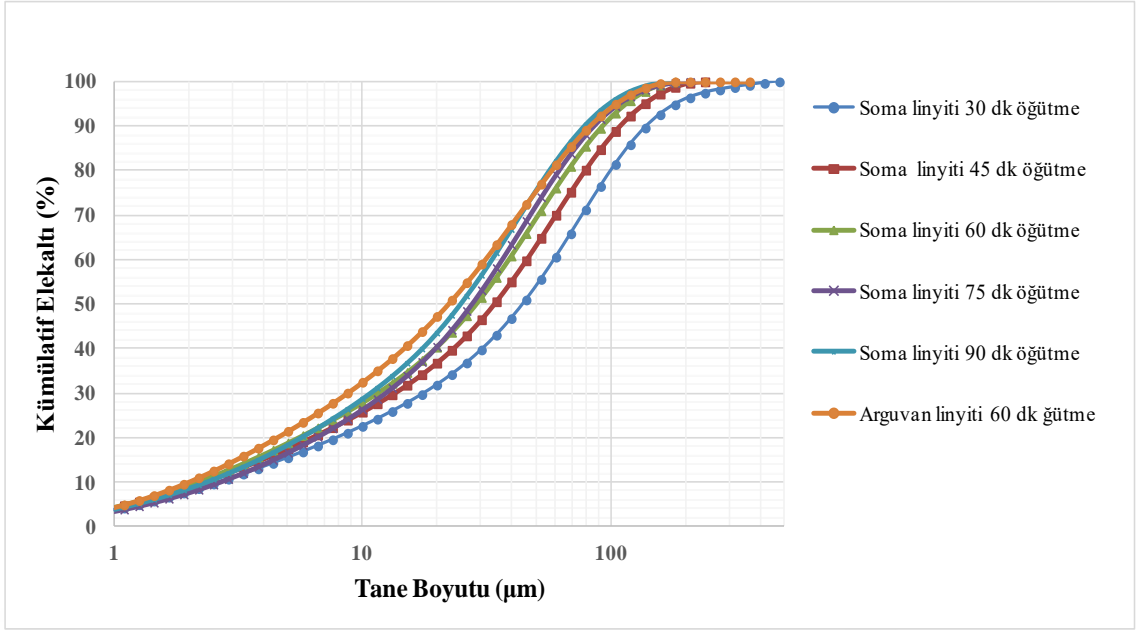
## EK - 8 Tane Boyutu Okumaları



Ek Şekil 8.1 Malatya-Arguvan linyitinin öğütme sürelerine göre tane boyutu okumaları

Ek Çizelge 4.1 Malatya-Arguvan linyitinin öğütme sürelerine göre tane boyutları

Öğütme süresi ( dakika)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)
10	260
20	162
30	115
40	105
50	100
60	95



**Ek Şekil 8.2** Manisa-Soma linyitinin öğütme sürelerine göre tane boyutu okumaları

**Ek Çizelge 8.2** Manisa-Soma linyitinin öğütme sürelerine göre tane boyutları

Öğütme süresi ( dakika)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)
30	162
45	125
60	105
75	98
90	90

## EK - 9 Malatya-Arguvan Linyiti Flotasyon Deneyleri

**Ek Çizelge 9.1** Malatya-Arguvan linyiti, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak tane boyutu tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

Öğütme süresi (dk)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
10	260	Lave	24,46	47,28	22,18
		Şist	75,54	40,11	77,82
		Besleme	100,00	41,86	100,00
20	162	Lave	44,42	42,47	43,11
		Şist	55,58	39,32	59,89
		Besleme	100,00	40,72	100,00
30	115	Lave	48,62	43,69	47,36
		Şist	51,38	40,79	52,64
		Besleme	100,00	42,20	100,00
40	105	Lave	53,36	44,77	51,28
		Şist	46,64	39,36	48,72
		Besleme	100,00	42,52	100,00
50	100	Lave	54,38	42,50	52,40
		Şist	45,62	37,74	47,60
		Besleme	100,00	40,33	100,00
60	94	Lave	52,87	42,19	51,63
		Şist	47,13	39,24	48,37
		Besleme	100,00	40,80	100,00

**Ek Çizelge 9.2** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak katı oranı tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

<b>Katı oranı (%)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
5	Lave	51,47	42,17	50,03
	Şist	48,53	38,74	49,97
	Besleme	100,00	40,51	100,00
10	Lave	50,71	43,48	49,13
	Şist	49,29	39,77	50,87
	Besleme	100,00	41,65	100,00
20	Lave	52,87	42,19	51,63
	Şist	47,13	39,24	48,37
	Besleme	100,00	40,80	100,00
30	Lave	70,07	42,35	68,48
	Şist	29,93	37,87	31,52
	Besleme	100,00	41,01	100,00

**Ek Çizelge 9.3** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak toplayıcı miktarı tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

Gazyağı miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave	62,05	39,96	61,88
	Şist	37,95	39,52	38,12
	Besleme	100	39,73	100
4000	Lave	52,87	42,19	51,63
	Şist	47,13	39,24	48,37
	Besleme	100,00	40,80	100,00
6000	Lave	46,72	42,34	45,50
	Şist	53,28	39,44	54,50
	Besleme	100,00	40,79	100,00
8000	Lave	47,51	43,01	46,49
	Şist	52,49	40,62	53,51
	Besleme	100,00	41,76	100,00
10000	Lave	42,92	41,98	41,66
	Şist	57,08	38,92	58,34
	Besleme	100,00	40,23	100,00
10800	Lave	42,26	42,39	41,20
	Şist	57,74	39,82	58,80
	Besleme	100,00	40,91	100,00

**Ek Çizelge 9.4** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t gazyağı kullanılarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının kademesiz flotasyona etkisi için yapılan deneyi sonuçları

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave	62,05	39,96	61,88
	Şist	37,95	39,52	38,12
	Besleme	100	39,79	100
4000	Lave	58,33	39,70	58,35
	Şist	41,6	39,73	41,65
	Besleme	100,00	39,71	100,00
8000	Lave	61,11	41,84	60,78
	Şist	38,89	41,03	39,22
	Besleme	100,00	41,53	100,00
12000	Lave	51,74	40,65	52,37
	Şist	48,76	42,13	47,63
	Besleme	100,00	41,36	100,00

**Ek Çizelge 9.5** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t gazyağı kullanılarak %50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%50Calgon miktarının kademesiz flotasyona etkisi için yapılan deneyi sonuçları

%50Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> +%50Calgon (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave	55,94	40,06	60,81
	Şist	44,06	37,68	39,19
	Besleme	100,00	39,01	100,00
4000	Lave	58,35	41,25	57,00
	Şist	41,65	37,92	43,00
	Besleme	100,00	39,86	100,00
8000	Lave	56,23	40,87	55,34
	Şist	43,77	38,70	44,66
	Besleme	100,00	39,92	100,00
12000	Lave	55,11	42,67	53,34
	Şist	44,89	38,42	46,66
	Besleme	100,00	40,76	100,00



**Ek Çizelge 9.6** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t gazyağı 4000 g/ton Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak pH'ın etkisi için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

<b>pH değerleri</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (% )</b>	<b>Kül (% )</b>	<b>Yanabilir Verim (% )</b>
7	Lave	52,87	42,19	51,63
	Şist	47,13	39,24	48,37
	Besleme	100,00	40,80	100,00
8	Lave	50,01	41,60	48,58
	Şist	49,99	38,15	51,42
	Besleme	100,00	39,88	100,00
9	Lave	46,22	43,87	45,11
	Şist	53,78	41,30	54,89
	Besleme	100,00	42,49	100,00
10	Lave	41,85	45,50	40,19
	Şist	58,15	41,62	59,81
	Besleme	100,00	43,24	100,00

**Ek Çizelge 9.7** Malatya-Arguvan linyiti, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak tane boyutu tespiti için yapılan kademeli flotasyon deneyi sonuçları

Öğütme süresi (dk)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
10	260	Lave-1	27,59	46,30	25,37
		Lave-2	14,52	46,74	13,24
		Şist	57,89	38,10	61,38
		Besleme	100,00	41,62	100,00
20	162	Lave-1	32,66	44,28	30,86
		Lave-2	15,50	42,65	15,07
		Şist	51,85	38,50	54,07
		Besleme	100,00	41,03	100,00
30	115	Lave-1	36,02	44,08	34,69
		Lave-2	17,26	43,08	16,92
		Şist	46,72	39,85	48,39
		Besleme	100,00	41,93	100,00
40	105	Lave-1	47,82	43,88	46,08
		Lave-2	18,41	41,70	18,43
		Şist	33,78	38,81	35,49
		Besleme	100,00	41,77	100,00
50	100	Lave-1	51,42	51,42	49,72
		Lave-2	17,08	44,41	16,86
		Şist	31,50	43,25	33,42
		Besleme	100,00	39,00	100,00
60	94	Lave-1	62,82	43,03	60,64
		Lave-2	14,80	40,38	14,95
		Şist	22,38	35,63	24,41
		Besleme	100,00	40,98	100,00

**Ek Çizelge 9.8** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak katı oranı tespiti için yapılan kademeli flotasyon deneyi sonuçları

<b>Katı oranı (%)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
5	Lave-1	42,25	42,48	40,81
	Lave-2	21,13	42,77	20,30
	Şist	36,62	36,75	38,89
	Besleme	100,00	40,44	100,00
10	Lave-1	33,22	44,82	31,36
	Lave-2	30,39	43,65	29,30
	Şist	36,40	36,85	39,33
	Besleme	100,00	41,56	100,00
20	Lave-1	62,82	43,03	60,64
	Lave-2	14,80	40,38	14,95
	Şist	22,38	35,63	24,41
	Besleme	100,00	40,98	100,00
30	Lave-1	55,23	43,36	53,89
	Lave-2	25,43	41,84	25,48
	Şist	19,34	38,09	20,63
	Besleme	100,00	41,95	100,00

**Ek Çizelge 9.9** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak toplayıcı miktarı tespiti için yapılan kademeli flotasyon deneyi sonuçları

Gazyağı miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave-1	59,59	43,11	57,88
	Lave-2	17,90	40,43	18,21
	Şist	22,51	37,77	23,91
	Besleme	100,00	41,43	100,00
4000	Lave-1	62,82	43,03	60,64
	Lave-2	14,80	40,38	14,95
	Şist	22,38	35,63	24,41
	Besleme	100,00	40,98	100,00
6000	Lave-1	56,17	42,77	54,68
	Lave-2	12,55	41,25	12,54
	Şist	31,28	38,38	32,78
	Besleme	100,00	41,21	100,00
8000	Lave-1	47,79	42,51	46,42
	Lave-2	15,20	41,15	15,11
	Şist	37,01	38,46	38,48
	Besleme	100,00	40,80	100,00
10000	Lave-1	45,53	42,42	44,24
	Lave-2	18,74	42,02	18,33
	Şist	35,73	37,91	37,43
	Besleme	100,00	40,73	100,00
10800	Lave-1	45,30	44,56	43,41
	Lave-2	23,51	43,42	23,00
	Şist	31,19	37,71	33,59
	Besleme	100,00	42,16	100,00

**Ek Çizelge 9.10** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı kullanılarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının kademeli flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g/t)	Ürünler	Miktar (% )	Kül (% )	Yanabilir Verim (% )
2000	Lave-1	62,82	43,03	60,64
	Lave-2	14,80	40,38	14,95
	Şist	22,38	35,63	24,41
	Besleme	100,00	40,98	100,00
4000	Lave-1	58,89	43,03	57,02
	Lave-2	16,21	42,07	15,95
	Şist	24,90	36,13	27,03
	Besleme	100,00	41,16	100,00
8000	Lave-1	49,19	41,44	48,58
	Lave-2	18,70	41,04	18,60
	Şist	32,11	39,40	32,82
	Besleme	100,00	40,71	100,00
12000	Lave-1	45,53	42,72	44,03
	Lave-2	18,74	40,21	18,91
	Şist	35,73	38,57	37,06
	Besleme	100,00	40,77	100,00

**Ek Çizelge 9.11** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 95 mikron metre, %20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı kullanılarak %50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%50Calgon miktarının kademeli flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

<b>%50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%50Calgon (g/t)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
2000	Lave-1	37,58	44,53	58,45
	Lave-2	24,60	40,38	14,95
	Şist	37,82	39,54	26,60
	Besleme	100,00	41,62	100,00
4000	Lave-1	27,73	44,00	46,37
	Lave-2	29,76	40,90	19,86
	Şist	42,51	39,34	33,78
	Besleme	100,00	41,10	100,01
8000	Lave-1	46,85	42,02	45,19
	Lave-2	21,41	39,97	21,39
	Şist	31,74	36,72	33,42
	Besleme	100,00	39,90	100,00
12000	Lave-1	42,75	43,28	41,32
	Lave-2	23,21	41,07	23,31
	Şist	34,04	39,05	35,36
	Besleme	100,00	41,33	100,00

**Ek Çizelge 9.12** Malatya-Arguvan linyiti, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak tane boyutu tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

Öğütme süresi (dk)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
10	260	Lave	16,97	29,53	20,13
		Şist	46,23	32,03	52,90
		Şlam	36,80	56,46	26,97
		Besleme	100,00	40,60	100,00
20	162	Lave	23,32	27,15	28,56
		Şist	30,88	31,38	35,62
		Şlam	45,81	53,49	35,82
		Besleme	100,00	40,52	100,00
30	115	Lave	23,69	25,44	28,83
		Şist	21,26	29,94	24,31
		Şlam	55,05	47,85	46,86
		Besleme	100,00	38,73	100,00
40	105	Lave	20,47	26,27	24,62
		Şist	29,45	33,14	32,13
		Şlam	50,08	47,07	43,25
		Besleme	100,00	38,71	100,00
50	100	Lave	19,15	27,70	23,23
		Şist	21,19	28,79	25,31
		Şlam	59,66	48,57	51,46
		Besleme	100,00	40,38	100,00
60	94	Lave	21,54	27,20	25,58
		Şist	16,75	26,94	19,97
		Şlam	61,71	45,92	54,45
		Besleme	100,00	38,71	100,00

**Ek Çizelge 9.13** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 162 mikron metre, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak katı oranı tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

<b>Katı oranı (%)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
5	Lave	17,96	20,97	21,90
	Şist	17,37	22,97	20,63
	Şlam	64,67	42,38	57,47
	Besleme	100,00	35,16	100,00
10	Lave	21,00	25,45	25,08
	Şist	23,33	26,79	27,37
	Şlam	55,67	46,68	47,55
	Besleme	100,00	37,58	100,00
20	Lave	23,32	27,15	28,56
	Şist	30,88	31,38	35,62
	Şlam	45,81	53,49	35,82
	Besleme	100,00	40,52	100,00
30	Lave	27,34	30,76	31,26
	Şist	21,30	28,50	25,15
	Şlam	51,35	48,59	43,59
	Besleme	100,00	39,43	100,00



**Ek Çizelge 9.14** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 162 mikron metre, %20 katı oranı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak toplayıcı miktarı tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

Gazyağı miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave	20,28	31,82	22,72
	Şist	24,24	25,43	29,69
	Şlam	55,48	47,77	47,59
	Besleme	100,00	39,12	100,00
4000	Lave	23,32	27,15	28,56
	Şist	30,88	31,38	35,62
	Şlam	45,81	53,49	35,82
	Besleme	100,00	40,52	100,00
6000	Lave	26,35	27,17	30,99
	Şist	26,26	31,99	28,84
	Şlam	47,39	47,52	40,17
	Besleme	100,00	38,08	100,00
8000	Lave	23,35	27,94	27,49
	Şist	24,81	30,67	28,10
	Şlam	51,85	47,59	44,40
	Besleme	100,00	38,80	100,00
10000	Lave	18,96	27,96	22,90
	Şist	22,47	30,07	26,36
	Şlam	58,57	48,35	50,74
	Besleme	100,00	40,38	100,00
10800	Lave	21,79	28,58	26,01
	Şist	22,02	30,68	25,52
	Şlam	56,19	48,39	48,47
	Besleme	100,00	40,17	100,00

**Ek Çizelge 9.15** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 162 mikron metre, %20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı kullanılarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının şlamı atılmış flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g/t)	Ürünler	Miktar (% )	Kül (% )	Yanabilir Verim (% )
2000	Lave	23,32	27,15	28,56
	Şist	30,88	31,38	35,62
	Şlam	45,81	53,49	35,82
	Besleme	100,00	40,52	100,00
4000	Lave	31,21	34,25	33,71
	Şist	28,87	31,64	32,43
	Şlam	39,92	48,36	33,86
	Besleme	100,00	39,13	100,00
8000	Lave	23,45	32,18	26,39
	Şist	29,00	30,84	33,27
	Şlam	47,55	48,85	40,34
	Besleme	100,00	39,72	100,00
12000	Lave	17,00	32,84	18,86
	Şist	36,69	30,77	41,96
	Şlam	46,31	48,79	39,18
	Besleme	100,00	39,47	100,00

**Ek Çizelge 9.16** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 162 mikron metre, %20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı kullanılarak %50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%50Calgon miktarının şlamı atılmış flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

<b>%50Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>+%50Calgon (g/t)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
2000	Lave	31,21	34,25	33,71
	Şist	28,87	31,64	32,43
	Şlam	39,92	48,36	33,86
	Besleme	100,00	39,13	100,00
4000	Lave	27,13	32,16	30,53
	Şist	21,78	30,14	25,24
	Şlam	51,10	47,84	44,22
	Besleme	100,00	39,73	100,00
8000	Lave	21,93	29,96	25,29
	Şist	25,24	30,18	29,02
	Şlam	52,83	47,48	45,69
	Besleme	100,00	39,27	100,00
12000	Lave	25,16	29,26	29,17
	Şist	26,66	30,75	30,25
	Şlam	48,18	48,60	40,58
	Besleme	100,00	38,98	100,00

**Ek Çizelge 9.17** Malatya-Arguvan linyiti, tane boyutu d(0,9): 162 mikron metre, %20 katı oranı, 4000 g/t gazyağı 2000 g/ton Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak pH'ın etkisi için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

<b>pH değerleri</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (% )</b>	<b>Kül (% )</b>	<b>Yanabilir Verim (% )</b>
7	Lave	20,74	28,37	25,35
	Şist	39,50	30,60	46,78
	Şlam	39,76	58,92	27,87
	Besleme	100,00	41,40	100,00
8	Lave	17,22	28,06	20,98
	Şist	39,30	28,91	47,32
	Şlam	43,48	56,97	31,70
	Besleme	100,00	40,97	100,00
9	Lave	16,47	29,70	19,77
	Şist	38,51	30,32	45,81
	Şlam	45,02	55,20	34,43
	Besleme	100,00	41,42	100,00
10	Lave	17,99	30,66	21,03
	Şist	37,60	29,76	44,51
	Şlam	44,41	53,96	34,46
	Besleme	100,00	40,67	100,00

## EK - 10 Manisa-Soma Linyiti Flotasyon Deneyleri

**Ek Çizelge 10.1** Manisa-Soma linyiti, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak tane boyutu tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

Öğütme süresi (dk)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
30	162	Lave	31,48	46,93	28,67
		Şist	68,52	39,33	71,33
		Besleme	100,00	41,72	100,00
45	125	Lave	26,36	46,61	23,51
		Şist	73,64	37,80	76,49
		Besleme	100,00	40,12	100,00
60	105	Lave	42,37	45,83	40,06
		Şist	57,63	40,42	59,94
		Besleme	100,00	42,71	100,00
75	98	Lave	24,51	45,18	23,49
		Şist	75,49	42,04	76,51
		Besleme	100,00	42,81	100,00
90	90	Lave	25,00	48,10	22,79
		Şist	75,00	41,39	77,21
		Besleme	100,00	43,07	100,00

**Ek Çizelge 10.2** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak katı oranı tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

Katı oranı (%)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
5	Lave	30,56	43,71	29,74
	Şist	69,44	41,50	70,26
	Besleme	100,00	42,18	100,00
10	Lave	32,82	44,62	31,55
	Şist	67,18	41,28	68,45
	Besleme	100,00	42,38	100,00
20	Lave	42,37	45,83	40,06
	Şist	57,63	40,42	59,94
	Besleme	100,00	42,71	100,00

**Ek Çizelge 10.3** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak toplayıcı miktarı tespiti için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

Gazyağı miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
4000	Lave	32,82	44,62	31,55
	Şist	67,18	41,28	68,45
	Besleme	100,00	42,38	100,00
8000	Lave	39,45	42,39	39,01
	Şist	60,55	41,32	60,99
	Besleme	100,00	41,74	100,00
10000	Lave	47,90	42,15	47,30
	Şist	52,10	40,74	52,70
	Besleme	100,00	41,42	100,00
12000	Lave	53,18	41,96	53,54
	Şist	46,82	42,81	46,46
	Besleme	100,00	42,36	100,00
16000	Lave	45,73	41,45	45,59
	Şist	54,27	41,11	54,41
	Besleme	100,00	41,27	100,00

**Ek Çizelge 10.4** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 12000 g/t gazyağı kullanılarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının kademesiz flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g/t)	Ürünler	Miktar (% )	Kül (% )	Yanabilir Verim (% )
2000	Lave	53,18	41,96	53,54
	Şist	46,82	42,81	46,46
	Besleme	100,00	42,36	100,00
4000	Lave	43,28	42,84	42,85
	Şist	56,72	41,84	57,15
	Besleme	100,00	42,27	100,00
8000	Lave	29,63	41,46	29,80
	Şist	70,37	41,94	70,20
	Besleme	100,00	41,80	100,00
12000	Lave	38,75	42,11	37,67
	Şist	61,25	39,38	62,33
	Besleme	100,00	40,44	100,00

**Ek Çizelge 10.5** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 12000 g/t gazyağı kullanılarak Calgon miktarının kademesiz flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

Calgon (g/t)	Ürünler	Miktar (% )	Kül (% )	Yanabilir Verim (% )
2000	Lave	53,18	42,12	53,24
	Şist	46,82	42,27	46,76
	Besleme	100,00	42,19	100,00
4000	Lave	57,41	42,81	56,95
	Şist	42,59	41,72	43,05
	Besleme	100,00	42,35	100,00
8000	Lave	50,16	42,77	50,03
	Şist	49,84	42,48	49,97
	Besleme	100,00	42,63	100,00
12000	Lave	49,05	42,42	48,91
	Şist	50,95	42,10	51,09
	Besleme	100,00	42,26	100,00

**Ek Çizelge 10.6** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 12000 g/t gazyağı 2000 g/ton Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak pH'ın etkisi için yapılan kademesiz flotasyon deneyi sonuçları

<b>pH değerleri</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (% )</b>	<b>Kül (% )</b>	<b>Yanabilir Verim (% )</b>
7	Lave	53,18	41,96	53,54
	Şist	46,82	42,81	46,46
	Besleme	100,00	42,36	100,00
8	Lave	52,94	41,58	53,00
	Şist	47,06	41,72	47,00
	Besleme	100,00	41,65	100,00
9	Lave	53,80	41,07	54,07
	Şist	46,20	41,72	45,93
	Besleme	100,00	41,37	100,00
10	Lave	43,81	40,60	44,28
	Şist	56,19	41,72	55,72
	Besleme	100,00	41,23	100,00



**Ek Çizelge 10.7** Manisa-Soma linyiti, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak tane boyutu tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

Öğütme süresi (dk)	Tane boyutu (mikron metre) d(0,9)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
30	162	Lave	19,29	32,16	22,35
		Şist	45,39	30,81	53,63
		Şlam	35,32	60,16	24,03
		Besleme	100,00	41,44	100,00
45	115	Lave	19,19	27,00	23,83
		Şist	36,51	27,25	45,19
		Şlam	44,31	58,90	30,98
		Besleme	100,00	41,22	100,00
60	105	Lave	13,66	24,23	18,11
		Şist	27,32	25,54	35,59
		Şlam	59,02	55,18	46,29
		Besleme	100,00	42,86	100,00
75	98	Lave	15,53	27,36	19,55
		Şist	26,54	25,79	34,15
		Şlam	57,93	53,90	46,30
		Besleme	100,00	42,32	100,00
90	90	Lave	11,41	28,78	14,29
		Şist	28,05	26,13	36,43
		Şlam	60,54	53,70	49,28
		Besleme	100,00	43,12	100,00

**Ek Çizelge 10.8** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, 4000 g/t gazyağı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak katı oranı tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

<b>Katı oranı (%)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
5	Lave	22,22	26,96	27,49
	Şist	33,33	28,08	40,61
	Şlam	44,44	57,62	31,90
	Besleme	100,00	40,96	100,00
10	Lave	21,58	27,38	26,58
	Şist	35,97	29,11	43,24
	Şlam	42,45	58,06	30,19
	Besleme	100,00	41,02	100,00
20	Lave	13,66	24,23	18,11
	Şist	27,32	25,54	35,59
	Şlam	59,02	55,18	46,29
	Besleme	100,00	42,86	100,00

**Ek Çizelge 10.9** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 2000 g/t Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak toplayıcı miktarı tespiti için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

Gazyağı miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2000	Lave	21,58	27,38	26,58
	Şist	35,97	29,11	43,24
	Şlam	42,45	58,06	30,19
	Besleme	100,00	41,02	100,00
4000	Lave	21,58	28,78	26,58
	Şist	35,97	24,63	43,24
	Şlam	42,45	58,22	30,19
	Besleme	100,00	41,62	100,00
8000	Lave	17,49	19,70	23,94
	Şist	27,39	27,01	34,08
	Şlam	55,12	55,31	41,98
	Besleme	100,00	41,33	100,00
10000	Lave	25,17	17,16	34,68
	Şist	17,24	28,36	20,54
	Şlam	57,59	53,24	44,78
	Besleme	100,00	39,87	100,00
12000	Lave	28,30	19,18	38,71
	Şist	17,04	32,72	19,41
	Şlam	54,66	54,73	41,88
	Besleme	100,00	40,92	100,00
16000	Lave	26,40	18,19	36,56
	Şist	19,80	29,31	23,69
	Şlam	53,80	56,34	39,75
	Besleme	100,00	40,91	100,00

**Ek Çizelge 10.10** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 12000 g/t gazyağı kullanılarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının şlamı atılmış flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g/t)	Ürünler	Miktar (% )	Kül (% )	Yanabilir Verim (% )
2000	Lave	28,30	19,18	38,71
	Şist	17,04	32,72	19,41
	Şlam	54,66	54,73	41,88
	Besleme	100,00	40,92	100,00
4000	Lave	24,45	17,80	34,31
	Şist	20,38	28,95	24,71
	Şlam	55,17	56,48	40,98
	Besleme	100,00	41,41	100,00
8000	Lave	21,75	17,58	30,29
	Şist	20,24	25,48	25,49
	Şlam	58,01	54,88	44,22
	Besleme	100,00	40,82	100,00
12000	Lave	23,23	16,94	32,95
	Şist	17,42	24,70	22,40
	Şlam	59,35	55,95	44,65
	Besleme	100,00	41,45	100,00

**Ek Çizelge 10.11** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %10 katı oranı, 12000 g/t gazyağı kullanılarak Calgon miktarının şlamı atılmış flotasyona etkisi için yapılan deney sonuçları

<b>Calgon (g/t)</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Yanabilir Verim (%)</b>
2000	Lave	29,21	17,16	40,36
	Şist	16,83	32,72	18,88
	Şlam	53,97	54,73	40,76
	Besleme	100,00	40,05	100,00
4000	Lave	22,93	16,96	33,02
	Şist	19,43	29,66	23,70
	Şlam	57,64	56,70	43,28
	Besleme	100,00	42,33	100,00
8000	Lave	21,96	19,92	30,48
	Şist	23,44	31,60	27,79
	Şlam	54,60	55,90	41,73
	Besleme	100,00	42,30	100,00
12000	Lave	25,68	18,41	36,17
	Şist	19,94	31,27	23,66
	Şlam	54,38	57,20	40,18
	Besleme	100,00	42,07	100,00

**Ek Çizelge 10.12** Manisa-Soma linyiti, tane boyutu d(0,9): 105 mikron metre, %20 katı oranı, 12000 g/t gazyağı 4000 g/ton Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak pH'n etkisi için yapılan şlamı atılmış flotasyon deneyi sonuçları

<b>pH değerleri</b>	<b>Ürünler</b>	<b>Miktar (% )</b>	<b>Kül (% )</b>	<b>Yanabilir Verim (% )</b>
7	Lave	22,15	14,36	34,33
	Şist	15,69	27,51	20,59
	Şlam	62,15	59,92	45,08
	Besleme	100,00	44,74	100,00
8	Lave	21,65	18,01	31,51
	Şist	20,73	27,36	26,74
	Şlam	57,62	59,20	41,75
	Besleme	100,00	43,68	100,00
9	Lave	21,67	19,61	30,78
	Şist	21,67	28,48	27,38
	Şlam	56,66	58,20	41,84
	Besleme	100,00	43,40	100,00
10	Lave	18,45	20,98	25,43
	Şist	25,00	26,18	32,18
	Şlam	56,55	57,01	42,39
	Besleme	100,00	42,65	100,00

## ÖZGEÇMİŞ



### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı	Merve BAĞLIOĞLU
Doğum Yeri Tarihi	Kayseri, 28.08.1990
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Maden Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	baglioglu@gmail.com

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise	Kocasinan Anadolu Lisesi, 2008
Ön Lisans	İnönü Üniversitesi Malatya Meslek Yüksekokulu, 2010
Lisans	İnönü Üniversitesi, 2013
Yüksek lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

### **İş Tecrübesi**

01.07.2013-20.10.2015	Kafkas madencilik	Yeraltı daimi nezaretçi
01.11.2015-23.04.2016	İçel Madencilik	Maden Mühendisliği
01.07.2016-01.07.2018	Kafkas madencilik	Yeraltı daimi nezaretçi
01.07.2018-07.11.2018	Zerdem inşaat	Yeraltı daimi nezaretçi
27.11.2018-	Barit Maden Türk A.Ş	Yeraltı daimi nezaretçi

### **Bildiriler**

Şener, M., Alıcı, B., Bağlıoğlu, M., Bentli, İ. (2018), Geliştirilmiş mikroflotasyon cihazı tasarımıyla linyitlerin flotasyon özelliklerinin belirlenmesi, (IENSC), Nov. 2018