



SELÇUK  
ÜNİVERSİTESİ

**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE BOYUTLU TUNÇBİLEK LİNYİT**  
**KÖMÜRÜNÜN FLOTASYONLA**  
**ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**  
**Mustafa Kutkan KARAOĞLAN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2018**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Mustafa Kutkan KARAOĞLAN tarafından hazırlanan “İnce Boyutlu Tunçbilek Linyit Kömürünün Flotasyonla Zenginleştirilmesi” adlı tez çalışması 28/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****İmza****Başkan**

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖNEN

**Üye**

Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğütarafından 17201106 nolu proje ile desteklenmiştir.

**TEZ BİLDİRİMİ**

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

**DECLARATION PAGE**

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



Mustafa Kutkan KARAOĞLAN

Tarih: 28/06/2018

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****İNCE BOYUTLU TUNÇBİLEK LİNYİT KÖMÜRÜNÜN FLOTASYONLA  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ****Mustafa Kutkan KARAOĞLAN****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü****Maden Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖNEN****2018, 59 Sayfa****Jüri****Danışman Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖNEN****Prof. Dr. Alper ÖZKAN****Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

Kömür rezervlerinin hızla tükenmeye başlamasıyla birlikte günümüzde mevcut rezervlerin en etkili şekilde kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Kömür üretimi sırasında yüksek miktarlarda ince boyutlu toz kömür ortaya çıkmaktadır. Yüksek kül içerikli bu kömürlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Kütahya ili, Tunçbilek ilçesinde bulunan lavvar tesisindeki tikiner altı kaçak şlamlı malzemenin Denver flotasyon hücresiyle zenginleştirilerek tesis veriminin artırılması ve şlamın ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır.

Toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı, flotasyon süresi, hava akış hızı ve katı oranı çalışılan deneysel parametrelerdir. Flotasyon performansı, deney sonunda elde edilen ürünler üzerinde kül, kalori, kükürt, uçucu madde, sabit karbon ve verim değerleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, 4 L/d hava akış hızında, 4 dakika flotasyon süresinde, %10 katı oranı, 2.000 g/t Sodyum silikat, 2.000 g/t mazot ve 100 g/t MIBC kullanılarak gerçekleştirilen en yüksek verim değerine sahip deney sonucu ile 6.312 KCal/Kg ısı değere sahip %0,95 kükürt ve %22,4 kül içerikli satılabilir kömür elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, Kömür, Linyit, Şlam, Zenginleştirme



**ABSTRACT****MS THESIS****ENRICHMENT OF FINE SIZED TUNCBILEK LIGNITE COAL BY  
FLOTATION****Mustafa Kutkan KARAOGLAN****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELCUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MINING ENGINEERING****Advisor: Asst. Prof. Dr. Vildan ONEN****2018, 59 Pages****Jury****Advisor Asst. Prof. Dr. Vildan ONEN****Prof. Dr. Alper OZKAN****Assoc. Prof. Dr. Havvanur UCBEYIAY**

By the fast consumption of coal reserve, using the current reserves with the most productive methods has become necessity. During the production of coal, coal dust come to existence in high quantity. It is very important for the countries' economies to make use of coal dust that contains large amount of ash. In this study, It is targeted to enrich fine sized smaller than 0,5 mm coal by coming to facility leakage with denver Flotation Cell in the launder manufacturing plant which is in Tuncbilek, Kutahya and provide the fine sized lignites to economy.

Amount of collector, amount of frother, air flow velocity, time of flotation and solid content are the used parameters of this experiment research. Flotation performance is evaluated with ash, calorie, sulfur, volatile matter, constant carbon and efficiency values of productivity that are gained at the end of experiment. As the result of this research, salable coal that has 0,95% sulfur, 22,4 % ash and 6.312 KCal/Kg calorific value has been produced by the expirement with the maximum outputs which are consist of 4% lt/mn air flow, 4 minutes of flotation time, 10 % of solid content, 2.000 g/t of sodium silicate, 2.000 g/t of diesel fuel and 100 g/t of MIBC.

**Keywords:** Flotation, Coal, Lignite, Slime, Enrichment

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında desteğini, engin bilgi birikimini, tecrübesini, sabrını esirgmeden yönlendiren, öğreten ve ham bilgileri bilimsel temellere dayalı bir yüksek lisans tezi haline getiren sayın danışman hocam, Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖNEN ve tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tüm çalışma süresince beni destekleyen ve her daim yardımcı olan sevgili ailem, değerli dostlarım ve çalışma arkadaşlarıma verdikleri desteklerden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Kutkan KARAOĞLAN

KONYA-2018

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                                             | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                                          | <b>v</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                                            | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                                      | <b>vii</b> |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>                                                                  | <b>ix</b>  |
| <b>TABLolar DİZİNİ .....</b>                                                                  | <b>x</b>   |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                         | <b>1</b>   |
| <b>2. KÖMÜRÜN TANIMI.....</b>                                                                 | <b>2</b>   |
| 2.1. Kömürün Sınıflandırılması.....                                                           | 2          |
| 2.2. Kömürün İçerdiği Safsızlıklar.....                                                       | 4          |
| 2.3. Kömürün Petrografik Özellikleri .....                                                    | 5          |
| 2.4. Türkiye Kömür Rezervi Ve Türkiye Kömürlerinin Kimyasal Özellikleri.....                  | 6          |
| 2.5. İnce Kömürlerin Zenginleştirilmesi .....                                                 | 7          |
| 2.6. Kömür Flotasyonu.....                                                                    | 7          |
| 2.7. Flotasyonda Kullanılan Reaktifler .....                                                  | 10         |
| 2.8. Flotasyon Yöntemiyle İnce Boyutta Kömür Zenginleştirilmesi Yapılmış Bazı Çalışmalar..... | 12         |
| <b>3. LAVVAR TESİSİ .....</b>                                                                 | <b>16</b>  |
| <b>4. MATERYAL VE METOT.....</b>                                                              | <b>21</b>  |
| 4.1. Materyal .....                                                                           | 21         |
| 4.2. Metot .....                                                                              | 25         |
| 4.2.1. Flotasyon deneyleri .....                                                              | 25         |
| 4.2.2. Analizler .....                                                                        | 27         |
| <b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                                                | <b>33</b>  |
| 5.1. Ön Optimizasyon Deneyleri.....                                                           | 33         |
| 5.2. Flotasyon Deneyi Sonuçları .....                                                         | 36         |

|                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.1. Farklı deneysel değişken kombinasyonlarında katı oranı ve bastırıcı miktarının flotasyon verimi ve ürün kalitesine etkisi ..... | 36        |
| 5.2.2. Tartışma.....                                                                                                                   | 48        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                                                   | <b>53</b> |
| 6.1. Sonuçlar .....                                                                                                                    | 53        |
| 6.2. Öneriler .....                                                                                                                    | 53        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                                                 | <b>56</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                                                  | <b>59</b> |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Flotasyonda kullanılan toplayıcıların sınıflandırılması .....                                                                                         | 11 |
| Şekil 3.1. Lavvar tesisinden genel bir görünüm .....                                                                                                             | 16 |
| Şekil 3.2. 5-18 mm boyutlarda kaçak malzeme.....                                                                                                                 | 17 |
| Şekil 3.3. Tikiner altından basılan şlam .....                                                                                                                   | 17 |
| Şekil 3.4. 200 Ton/saat kapasiteli lavvar tesisine ait akım şeması .....                                                                                         | 18 |
| Şekil 3.5. Temiz kömür eleği.....                                                                                                                                | 19 |
| Şekil 4.1. Kütahya ili tunçbilek ilçesinde bulunan sahaya ait stamp.....                                                                                         | 21 |
| Şekil 4.2. Ara kesmeler ve kömür .....                                                                                                                           | 22 |
| Şekil 4.3. Tunçbilek lavvar tesisine ait şlam havuzu.....                                                                                                        | 24 |
| Şekil 4.4. Besleme malı elek analizi.....                                                                                                                        | 25 |
| Şekil 4.5. Deneylerin yapıldığı flotasyon cihazı.....                                                                                                            | 26 |
| Şekil 4.6. Flote edilmiş -0,5mm boyutunda kömür tanecikleri .....                                                                                                | 27 |
| Şekil 4.7. Isıl değer tayini yapılan leco AC-350 model kalorimetre .....                                                                                         | 28 |
| Şekil 4.8. Uçucu madde tayini yapılan leco TGA-701 model cihaz .....                                                                                             | 30 |
| Şekil 4.9. Kükürt ve sabit karbon değerlerinin analizlerinin yapıldığı leco SC-144<br>DR model cihaz.....                                                        | 31 |
| Şekil 5.1. Köpürtücü miktarının yüzebilir madde verimine etkisi .....                                                                                            | 33 |
| Şekil 5.2. Bastırıcı miktarının yüzebilir madde verimine etkisi .....                                                                                            | 34 |
| Şekil 5.3. Toplayıcı miktarının yüzebilir madde verimine etkisi .....                                                                                            | 35 |
| Şekil 5.4. Hava akış hızının yüzebilir madde verimine etkisi .....                                                                                               | 35 |
| Şekil 5.5. 2.000 g/t ve 4.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı<br>olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi ..... | 39 |
| Şekil 5.6. 4.000 g/t ve 6.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı<br>olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi ..... | 42 |
| Şekil 5.7. 6.000 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı<br>olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi ..... | 45 |
| Şekil 5.8. 750 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı<br>olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi .....   | 48 |
| Şekil 5.9. Tüm deney setleri için toplayıcı miktarına göre %10 katı oranında elde<br>edilen sonuçlar .....                                                       | 51 |

## TABLOLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Çeşitli ranklarda kömür sınıflandırması (Kömürleşme derecelerine göre) kömür özellikleri .....                        | 3  |
| <b>Tablo 2.2.</b> Kömürün petrografik içeriği .....                                                                                     | 6  |
| <b>Tablo 2.3.</b> Türkiye'de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri .....                              | 6  |
| <b>Tablo 4.1.</b> Tüvenan kömürün kalorifik değerleri ve özellikleri .....                                                              | 22 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Yıkanmış kömür özellikleri .....                                                                                      | 23 |
| <b>Tablo 4.3.</b> Tikiner altından alınan şamlı kaçak malzemenin özellikleri .....                                                      | 23 |
| <b>Tablo 4.4.</b> Numunenin tane boyut analizi .....                                                                                    | 24 |
| <b>Tablo 4.5.</b> Çalışılan deneysel parametreler .....                                                                                 | 26 |
| <b>Tablo 5.1.</b> 2.000 g/t ve 4.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi ..... | 38 |
| <b>Tablo 5.2.</b> 4.000 g/t ve 6.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi ..... | 41 |
| <b>Tablo 5.3.</b> 6.000 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi ..... | 44 |
| <b>Tablo 5.4.</b> 750 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi .....   | 47 |
| <b>Tablo 5.5.</b> Flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen veriler .....                                                               | 49 |
| <b>Tablo 5.6.</b> Tüm deney setleri için %10 katı oranında elde edilen sonuçlar .....                                                   | 51 |

## 1. GİRİŞ

Kömür madenciliğinde, mekanize yöntem uygulamalarının artmasıyla, üretilen kömürlerde ince kömür oranının artış gösterdiği görülmektedir. Tane boyutu küçüldükçe kül oranının yüksek olması, gravite zenginleştirme yöntemlerinin uygulanabilirliğinin azalması ve ekonomik nedenler gibi faktörler kömürde flotasyonla zenginleştirmeyi zorunlu hale getirmektedir. Flotasyon, 0,5 mm'den şlam boyutunda tanelere kadar değişen boyutlardaki cevhere uygulanabilen bir zenginleştirme yöntemidir.

Linyit madenciliği, günümüzde büyük önem taşımaktadır. Hem enerji hammaddesi olması hem de sanayinin önemli bir kaynağı olmasından dolayı, ülkemizin temel zenginliklerinden olan linyit gerek devlet gerekse özel sektör tarafından değerlendirilmektedir. Düşük verime sahip ocaklar ve zenginleştirme tesislerinde oluşan kömür kayıpları, teknik ve ekonomik açıdan yeni çalışma alanlarını da beraberinde getirmiştir.

Bu tez çalışmasına konu olan Kütahya ili Tunçbilek ilçesinde bulunan lavvar tesisinde verimli üst damarların tamamı üretilmiş ve geriye o dönemin teknolojik koşullarında üretilmesi verimli olmayan sahalar bırakılmıştır. Damar yapısı, ortalama 8 m stamp içinde 3 m kömür ihtiva eder şekildedir. Bu yapı 30 cm killi formasyon 25 cm kömür gibi dağılım gösterip oldukça ara kesmeli yapıya sahiptir. Üretimin yapıldığı makinelerin kazıcı ağızlarının damardan büyük olması nedeniyle de ara kesme tam olarak ayrıştırılmadan alınmaktadır. Tesiste kömür zenginleştirilmesi lavvar tesisinde yapılmaktadır. Bunun yanında damar veriminden dolayı lavvar veriminde de düşüklük söz konusudur. Ortalama 500.000 ton tüvenan kömür üretimine karşılık 100.000 ton civarı satılabilir kömür elde edilmektedir. Tesiste %21 civarında şlam kaybı söz konusudur. Lavvar verimi ile eşdeğer düzeyde şlam kaybının olması da göz önüne alınarak, ince boyutlu Tunçbilek linyit kömürünün flotasyonla kazanımının araştırılması ve tesis veriminin artırılarak kayıplardan doğan maliyet kaybının önlenmesi bu tez çalışmasının ana hedefidir. Bu noktada yapılan tez çalışması, işletme verimliliğinde bir artış olma ihtimalini ve ortalama 2.500 KCal/Kg ve üstü satılabilir potansiyeli olan ürünün elde edilip edilemeyeceğinin araştırılmasını kapsamaktadır.

## 2. KÖMÜRÜN TANIMI

Kömür, ana bileşen olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmaktadır. Yapısında kükürt ve nitrojen içeren, fiziksel ve kimyasal olarak hem oluşum ortamları hem de koşullarına göre fiziksel ve kimyasal farklı yapıya sahip olan sedimanter organik bir kayaç olan kömür, fosil bir yakıttır (Kemal ve Arslan, 2010). Kömürler, bataklıklarda uygun nem ve sıcaklık koşullarının meydana gelmesi, ortamın asit miktarının artması, kömürün oluşumu için gerekli olan organik maddelerin ortamda bulunması ve bozunmuş, çürüyen bitkilerin su altına inerek bu sulu bölge veya bataklığın zamanla üzerinin kapanması gibi olaylar sonucunda steril bir ortama hapsolür. Bitkiler öldükten sonra bakteriler etkisiyle değişime uğrar ve karbon miktarı artarak kömürleşmeye başlar. Bu nedenle oluşumu karbon çevrimiyle doğrudan alakalıdır. Kömürün oluşumu bataklıklarda başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO<sub>2</sub>'dir (Kemal, 1991).

### 2.1. Kömürün Sınıflandırılması

Kömür oluşum itibari ile turba, linyit, alt bitümlü kömürler, taş kömürü ve antrasit olmak üzere beş grupta incelenebilir.

**Turba:** İçerdiği Karbon miktarı yaklaşık %40-60 civarında olup kömür oluşumunun en erken evresinde olduğu görülmektedir. Menşei bitki fosillerine dayanmakla birlikte su altında kalarak beş ila on bin yıl arası süreçte oluştuğu bilinmektedir. Kömürün ilk halidir.

**Linyit:** %50-70 civarında karbon içeriğine sahiptir. Kolayca ufalanabilen ve mat görünüşe sahiplerdir. Göreceli olarak çok yüksek nem içeriğine sahip olmakla beraber, karbon oranı yüzünden ısı değerleri çok yüksek değildir. Termik santrallerde enerji hammaddesi olarak ve evsel ısınma amaçlı kullanımı en sık kullanıldığı alandır. Deltalar, göller, lagünler, akarsu taşıma ovaları oluşum bölgeleridir. Oluşumları Kretase döneminde başlayıp tersiyer döneminde sona ermiş olup bu dönem altmış beş milyon yıl öncedir.

**Alt Bitümlü Kömürler:** Siyah renkli olup, oksidasyon veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma ile oluşurlar. Yapısı masif olmakla beraber ısı değeri 4.160-5.700 KCal/Kg civarındadır. Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü



kömürden daha yüksektir. Buna karşın sabit karbon içeriği bitümlü kömürden daha düşüktür (Kemal, 1991; TKİ, 2009).

**Taş Kömürü:** %80-90 arasında karbon oranına sahip olup, oluşum bakımından yaklaşık üç yüz milyon yıl önce oluşumu başlamıştır. Bu oluşum dönemsel olarak paleozoik dönem olup, hersinyen ve kaledonyen kıvrımları (Ural ve İskandinav Dağları) bu dönemde oluşmuştur. Taş kömürünün oluşum evresi bu jeolojik zamanın sonudur. Yapı olarak oldukça sert, rengi siyah ve camsı bir yapıya sahiptir (Şener, 2011).

**Antrasit:** %94 civarı karbon içeriğine sahip olup, üç yüz ila dört yüz milyon yıl önce oluşmuştur. Isıl değer bakımından en zengin kömür olmakla beraber yapısında hemen hemen hiç safsızlık barındırmamaktadır. Bununla birlikte, kükürt oranı hayli yüksek olduğundan ısınma maksadıyla kullanılmaz. Sanayide ve elektrik üretiminde kullanılmakla beraber Türkiye'de doğrudan antrasit yatağı bulunmamaktadır. Kastamonu bölgesinde bulunan yapı ve kömürleşme antrasite en yakın özellikleri taşıyan yapıdır (Kemal, 1991).

Kömürleşme ortamındaki basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak bünyedeki su, uçucu maddeler ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ) azalmakta, karbon oranı ve kalori değeri artmaktadır. Burada ideal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taş kömürü), antrasit, grafit kömür türleri oluşmaktadır.

Turbadan grafitte doğru gidildikçe metamorfizma şiddeti (basınç ve sıcaklık etkisi), karbon yüzdesi ve kalori miktarı artmakta, buna bağlı olarak su ve uçucu madde miktarları azalmaktadır. Sonuç olarak kömürün sertliği artmakta ve tozlanma azalmaktadır (Kemal, 1991).

**Tablo 2.1.** Çeşitli ranklarda kömür sınıflandırması (Kömürleşme derecelerine göre) kömür özellikleri

| No | Rank<br>(Kömürleşme<br>Derecesi) | Uçucu Madde<br>İçeriği (%Ağırlık<br>Islak Külsüz) | Karbon İçeriği<br>(%Ağırlık Islak<br>Külsüz) | Kalorifik Değer<br>(Btu/Lb Mineral<br>Maddesiz) | Nem İçeriği<br>(% Ağırlık) |
|----|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Linyit                           | 69-44                                             | 76-62                                        | 8300-6300                                       | 52-30                      |
| 2  | Alt Bitümlü                      | 52-40                                             | 80-71                                        | 11500-8300                                      | 30-11                      |
| 3  | Bitümlü                          |                                                   |                                              |                                                 |                            |
|    | Yüksek Uçuculu- B                | 50-29                                             | 86-76                                        | 23500                                           | 15-2                       |
|    | Yüksek Uçuculu-C                 | 48-35                                             | 87-76                                        | 14.000                                          | 5-1                        |
|    | Yüksek Uçuculu-A                 | 49-31                                             | 88-78                                        | 14.000                                          | 5-1                        |
| c  | Orta Uçuculu                     | 31-22                                             | 91-86                                        | 14.000                                          | 5-1                        |
| d  | Düşük Uçuculu                    | 22-14                                             | 91-86                                        | 14.000                                          | 5-1                        |
| 4  | Antrasit                         | 14-2                                              | 99-91                                        | 14.000                                          | 5-1                        |

(Tsai, 1982)

## 2.2. Kömürün İçerdiği Safsızlıklar

Kömürün içerdiği ve gerek kullanım gerekse kömür yıkamada önem taşıyan safsızlıklar üç grupta toplanmaktadır:

**Nem:** Kömür, yerindeyken kuru ve yağlı gözükmeye karşı, su ile doygunur. Bu nem varlığı, yatak nemi olarak adlandırılır. Nem kömürün yüzeyinde olduğu gibi kömür içindeki çatlaklı yapılar ve gözeneklerde de bulunabilir. Taşkömürleri, orijinal bazda genellikle %10'un altında nem içerirken, linyitler, kalitesine bağlı olarak %55'lere kadar ulaşan oranlarda nem içerebilir.

**Kül:** Bütün kömürler, organik olmayan maddeler içerir. Kömürün yanmasından sonra, yanamayan maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden oluşmaktadır. Kömürlerde küller, bünye külü ve harici kül olmak üzere ikiye ayrılır. Bünye külü kömürün oluşumundan kaynaklı küllerdir ve kömürdeki toplam külün %2-3'nü oluştururlar. Harici kül ise kömürü oluşturan organik maddelerden harici karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre, kömürleşme esnasında ya da daha sonra karışmış olabilirler. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı vb. olabilir. Bunlar kömürün içinde mikroskobik parçalar şeklinde olabileceği gibi damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir.

**Kükürt:** Bütün kömürler, az miktarda da olsa kükürt içerir. Kömürlerde bulunan kükürt üç formda bulunabilir; Organik, inorganik ve sülfat kükürdü. Bunlara ek olarak bazı kömürlerde elementler kükürtle karşılaşmıştır. Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün az bir kısmını oluşturur. Jips ( $\text{CaSO}_4$ ) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu  $\text{FeSO}_4$  olarak da bulunabilir. Piritik kükürt ise pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. Kömürün içerisinde bantlar, damlalar, mercekler, küresel veya disemine tanecikler halinde türlü şekillerde bulunabilir. Gözle görünür veya mikroskobik boyutlarda olan piritik kükürt, boyutları fark etmeksizin kömürden serbestleştiği takdirde flotasyon veya diğer yöntemlerle kömür zenginleştirilirken temizlenebilir (DPT, 2001).

### 2.3. Kömürün Petrografik Özellikleri

Bitümlü kömürün özellikleri gözle incelendiği zaman, farklı bantlı görünüş dikkat çeken bir unsurdur. Farklı bantlardan oluşması, bitümlü kömürün gözle gözlenebilen bir özelliğidir. Yataklanmaya dik kesitlerde parlak, mat ya da ince bantlı şekilde görülebildiği gibi, eklem sınırları birkaç cm uzunluğa kadar değişmektedir. Aynı zamanda bu karakteristik bantlar, fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki farklılıkları göstermektedir. Çıplak gözle gözlemlenebilen bu bantlı bileşenlere litotip denmektedir. Stopes terminolojisine göre dört farklı litotip çeşidi vardır ve bunlar; vitren, klaren, düren ve füzendir (Stach vd., 1982).

**Vitren:** Kömürlerde makroskobik olarak tanımlanabilen, ince, siyah camsı homojen bant olup, kalınlığı 3-10 mm'den fazladır. Bu litotip, eli boyamamakla beraber sıklıkla aşırı kırılğan gevrek yapı sergiler. Tabakalanmaya dik yönde uzanan çatlakları ise karakteristik özelliğidir.

**Düren:** Sert, mat, eli boyamayan, kompakt bir kömür bantıdır. Bu özelliğiyle sıklıkla karbonlu şeyl veya saf olmayan kömürle karıştırılabilir ancak kimyasal ve fiziksel özelliklerine bakılınca daha düşük yoğunluk ve kül içeriği ile diğerlerinden kolayca ayrılabilir. Bant kalınlığı ise tıpkı vitren gibi 3-10 mm'den fazladır.

**Füzen:** Odun kömürüne benzer yapıda, yumuşak ve tozlu bir görüntüye sahiptir, ancak füzenin boşlukları minerallerle dolu olduğundan oldukça sert bir yapıya sahip olabilmektedir. Çoğunlukla mercekler şeklinde kömür içinde bulunur ve eli boyama özelliği olan tek kömür litotipidir.

**Klaren:** Diğer litotiplerin ince bantlarının ardalanmasından oluşur. Bant kalınlığı 3-10 mm boyuttan azdır. Parlak, çizgisel, bazen merceksi, çok küçük, ince taneli, ipek parlaklığında bir litotiptir.

Bitümlü kömürlerde yapılan bazı bilimsel çalışmalarda, yukarıda tanımlanan litotipler dışında, düren ve klaren arasında düroklaren ile klarodüren olarak bilinen geçiş litotipleri de mevcuttur. Vitren ve füzen bantları, genellikle homojen bir yapıdadır. Klaren, düren ve geçiş litotipleri farklı organik maddelerin karışmasıyla meydana gelir (Ocakoglu, 2015).

**Tablo 2.2.** Kömürün petrografik içeriği

| Makroskobik                   |                                               | Mikroskobik                                                                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kömür Kayaçları<br>Litotipler | Maseral Gruplar                               | Maseraller                                                                                           |
| Vitren                        | Vitrinit                                      | Kollinit, Tellinit                                                                                   |
| Klaren                        | Vitrain çok, Eksinit ve İntertinit az bulunur | Koliinit, Tellinit, Sporonit, Kutinit, Alganit, Rinit, Fusinit, -Mikrinit, Skeleronit, Semi Fusunit  |
| Düren                         | İntertinit çok, Vitrinit Eksinit az bulunur   | Fusinit, Mikrinit, Skeloronit, Semi-Fusinit, Kollinit, Tellinit, Sporonit, Kutinit, Alganit, Resinit |
| Füzen                         | İntertinit                                    | Fusinit                                                                                              |

(Gülsuna 2007)

## 2.4. Türkiye Kömür Rezervi Ve Türkiye Kömürlerinin Kimyasal Özellikleri

Türkiye’de linyit yatakları Alp orojenezlerinin etkisiyle oluşmuş ve dağ serilerinin arasında sıkışan çöküntü havzalarında meydana gelmiştir. Türkiye linyitleri genellikle Miyosen ve Pliyosen dönemde oluşmuş olup, Eosen ve Oligosen dönemlerinde de çökelmiş linyit yataklarına rastlanmaktadır (Gülsuna, 2007). Türkiye linyitleri ısı değer anlamında oldukça zayıftır. 1.000 Kcal/Kg ile 4.200 Kcal/Kg arasında ısı değer skalasına sahiptirler. En büyük rezervin bulunduğu Afşin-Elbistan havzasında linyit kömürünün üst ısı değeri 1.000-1.400 Kcal/Kg üst ısı değeri, 900-1.250 Kcal/Kg alt ısı değeri göstermektedirler. 4.000 Kcal/Kg üzeri ısı değeri sahip yataklar rezervin %3,18’ne denk gelmekte ve diğer ısı değerleri için sırasıyla, 3.000-4.000 Kcal/Kg %5,16; 2.000-3.000 Kcal/Kg %24,5; 1.000-2.000 Kcal/Kg %66,32; 1.000 Kcal/Kg altında ısı değeri gösteren kömürler ise %0,84’lük bir orana sahiptir (TKİ, 2009).

2013 yılında TKİ bünyesinde başlatılan “Linyit Arama Projesi” kapsamında kamuya yeni rezervler kazandırmak için sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda 2016 yılı sonuna kadar yapılan arama faaliyetleri neticesinde Türkiye’de 16 milyar ton linyit rezervi olduğu tespit edilmiştir (Özcan vd., 2016).

**Tablo 2.3.** Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri

| Bölgeler                                                              | Rezerv<br>(10 <sup>9</sup> ton) | Nem<br>(%) | Kükürt<br>(%) | Kül<br>(%) | Isıl Değer<br>(KCal/Kg) |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|---------------|------------|-------------------------|
| Kuzey Batı Anadolu Bölgesi (Kütahya-Balıkesir-Bursa-Manisa-Çanakkale) | 1.8                             | 20         | 1.7           | 20         | 3.500                   |
| Güney Orta Anadolu Bölgesi (Adana-K.maraş)                            | 3.7                             | 50         | 2.0           | 20         | 1.200                   |
| Güney Batı Anadolu Bölgesi (Aydın-Muğla-Denizli-Isparta-Burdur-Afyon) | 1.4                             | 30         | 3.2           | 25         | 3.000                   |
| Trakya Bölgesi (Tekirdağ-Edirne-Kırklareli-İstanbul)                  | 0.35                            | 30         | 3.0           | 20         | 2.500                   |
| Doğu Anadolu Bölgesi (Bingöl-Erzincan-Erzurum-Van)                    | 0.15                            | 20         | 1.2           | 20         | 3.000                   |
| Toplam                                                                | 8.3                             | 36,5       | 2.1           | 21         | 2.330                   |

(DPT 2001)

## 2.5. İnce Kömürlerin Zenginleştirilmesi

6 mm, 8 mm ve 10 mm altındaki ince kömürler feldspatlı jig, sallantılı masa, oluk ve ağır ortam siklonları ile zenginleştirilebilir. Bazı durumlarda iri kömürleri yıkayan devrelerin, miksleri de kırılarak ince kömürlerle beraber değerlendirilebilir. Feldspatlı jigler, elek üzerinde feldspat parçalarından oluşan suni yatağa sahip su veya basınçlı hava ile çalışan bir cihazdır. Kömürde kullanılan sallantılı masalar, metalik madenlerin zenginleştirilmesinde kullanılan türlere göre daha geniş yüzey ve eşiklere sahiptir. Oluklar ise düz yahut dairesel olabilir. Ağır ortam siklonları, kömürün manyetik süspansiyonlarıyla birlikte siklona basılmasıyla alt akımdan şistin üst akımından ise temiz kömürün alınmasını sağlayan prensiplerle çalışmaktadır. Günümüzde bazı yapısal değişimlerle bu siklonların ince kömürlerin geri kazanılmasında kullanılması mümkün olacaktır.

Süzme eleklerinin altına geçen su, genellikle ince kömürle beraber kil içeriği de bulundurur. Proses açısından veya çevre kirliliği açısından gerekli suyun sağlanması için bu suyun içinde bulunan katı partiküllerin çöktürülmesi bir gerekliliktir. Bu işlem için çöktürme tankları, koniler veya dekantasyon kuleleri kullanılır. Çöken katılar içinde bulunan çok ince boyutlu kömürlerin kazanılması, multisiklon bataryaları ve flotasyon ile mümkün olur. Multisiklon bataryalarında şlam küçük çaplı çok sayıda siklona basılır. Şlam içindeki killi minerallere oranla daha küçük boyutta olmalarından dolayı, üst akımda ayrılmaları sağlanarak alt akımda yanabilir kömür oranı yükselmiş bir ürün elde edilebilir ancak flotasyona göre daha zor bir proses olmakla beraber tesis anlamında işletme olarak daha karmaşıktır (Doruöz, 2002).

## 2.6. Kömür Flotasyonu

Bugün üretilen cevher konsantrelerinin yarısından fazlası flotasyon yöntemi ile üretilmekte ve bu metotla üretilen konsantre miktarı milyonlarca tonu bulmaktadır. İlk kez kullanıldığı alan çinko, kurşun, bakır gibi metallerin sülfürlü bileşiklerinin üzerine olmuştur. Kömür içinse ilk uygulama 1920 yılında Hollanda'da yapılmıştır. Flotasyon dünya genelinde kömür zenginleştirme işlerinin yaklaşık olarak %18'nde tercih edilen bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon yönteminin besleme boyutu spiraller ve sallantılı masalara göre daha küçük olup diğer yöntemler ile zenginleştirilemeyecek incelikteki kömürlerin zenginleştirilmesinde uygulanabilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Flotasyon, minerallerin kırılma yüzeylerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin farklı oluşu ya da bu özelliklerinin bazı kimyasal reaktifler kullanarak değiştirilmesine dayalı olarak tasarlanmış bir zenginleştirme yöntemidir. Bu oluşumda başlıca üç faz mevcuttur. Flotasyon esnasında birbirine yakın etkisi olan bu fazlar, katı, sıvı ve hava fazlarıdır. Flotasyon çok ince boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde ayırma bazı minerallerin hava kabarcıklarına yapışarak yüzmesi ile sağlanır. Bu mineraller, yüzey özelliklerine veya çeşitli reaktiflerle yüzey özelliklerinin değiştirilmesine bağlı olarak hava kabarcığına yapışırlar. Bu özellikleri göstermeyen diğer mineraller ise su içinde ıslanarak batarlar. Pek çok tesis flotasyonu -0,5 mm altındaki kömürlerin zenginleştirme işleminde kullanmakta, bazı durumlarda ise kül ve kükürt içeriğinin azaltılmasında uygulamaktadır (Englund ve Heravin, 1992).

Flotasyon, kömür zenginleştirmede, başlıca üç amaç için uygulanmaktadır.

Bunlar;

- a.) Kömürün içerdiği kül ve kükürt (pratik) gibi safsızlıkları gidermek.
- b.) Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü kazanmak.
- c.) Lavvardan atılan ve siyah su olarak adlandırılan proses suyunu temizlemek.

Kömürün kül ve kükürt içeriği düşürülürken, iri tanelerde gravite yöntemler, 500 mikrometreden ince tanelerde ise yaygın olarak flotasyon yöntemi uygulanmaktadır. Bazense tüvenan kömür öğütülerek boyutu 500 mikrometre altına indirilir ve flotasyon işlemine tabii tutulur bu sayede kül ve kükürt oranları düşürülerek zenginleştirilir. Yüzey özellikleri açısından kömürün organik kısmı hidrofobik özellikler göstermektedir. Pirit dışında kalan inorganik kısım ise çok güçlü hidrofiliktir. Bu yöntemlerin etkinliği kömürün tane boyutunun küçültülmesi ile artmaktadır. Bu hususlara dayanarak, sistem, kömürü zenginleştireceği kömür özelliklerinden faydalanır ve tasarım ona göre yapılır (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Flotasyon yöntemi ile kömürde bulunan organik kükürt giderilmektedir ancak çeşitli flotasyon yöntemleri ile yalnızca inorganik kükürt giderilebilmektedir. Kömür flotasyonunda, gerek küçük boyutlu pirit tanelerinin köpüğe yapışması ya da kabarcıklar arasında köpüğe taşınması, gerekse serbestleşmenin tam olmaması nedeniyle piritin büyük bölümü kömürle beraber yüzmektedir. Piritin yüzmesini önlemek için çeşitli bastırıcılar kullanılmaktadır veya flotasyon iki kademeli yapılmaktadır.

Kömür taneciklerinin yüzme kabiliyetini arttırmak ve kabarcık-tanecik bağlarının daha güçlü olması için genellikle gazyağı, fueloil, mazot gibi hidrokarbon kökenli polar olmayan yağlar kullanılmaktadır. Bu yağlar kömür yüzeyini film tabakasıyla sarılmış gibi

kaplayarak hava kabarcığı ile tanecik arasındaki adezyon kuvvetini arttırır ve daha güçlü yapışmalar olmasını sağlar. Toplayıcılarla da kömür flotasyonu yapmak mümkündür ancak bu toplayıcılar polar olmayan yağlar kadar verimli değildir ve yalnızca kül giderme açısından daha fazla avantaj sağlamaktadırlar (Cebeci, 2002; Jia, Harris ve Fuerstenau, 2002; Sis, Özbayoğlu ve Sarıkaya, 2003, Ceylan ve Küçük, 2004; Sönmez ve Cebeci, 2006). Genellikle bir toplayıcı ilavesi ile bir tank içerisinde muamele görmüş kömürün yüzdürülebilmesi için su içerisinde hava kabarcığının oluşturulması ve kömür-kabarcık temasının sağlanması gerekmektedir. Denver Flotasyon Hücresinde kabarcıklar mekanik karıştırma yardımıyla oluşurlar.

Flotasyon makinesinden,

- a.) Pülp içerisindeki tüm taneleri flotasyon işlemi esnasında süspansiyon halinde tutabilmesi (pülpte askıda tutulması),
- b.) Pülp içerisinde hava kabarcıkları elde etmek üzere pülpe hava verilmesi veya başka bir yolla hava kabarcığı üretebilmesi,
- c.) Mineral taneciklerinin hava kabarcıkları ile birleşmesinin sağlanması,
- d.) Kabarcığa yapışan tanelerle yapışmayan tanelerin ayrımı için sakın bir zonun (köpük tabakasının) oluşturulması,
- e.) Elde edilen konsantre ve artığın makineden alınması ve aynı zamanda beslemenin yapılabilmesi için gerekli donanımların oluşturulması,
- f.) Pülp seviyesi, köpük tabakası kalınlığı, reaktif miktarı gibi çalışma parametrelerinin kontrolü için gerekli kontrol mekanizmalarının mevcut olması, beklenir.

Denver flotasyon makinesi, mekanik karıştırmalı flotasyon hücrelerinden oluşup, mekanik hücreler kullanılan en eski ve en yaygın makinelerdir. Bu makineler, pülp içindeki mineral tanelerinin süspansiyonda tutulmasını bir pervane ya da rotor aracılığıyla, mekanik karıştırmayla sağlar. Hava kabarcıklarının oluşturulması için gerekli olan hava, rotorun dönmesi esnasında meydana getirilen vakum ile (kendiliğinden hava emmeli) ya da pülp içine üflenmiş basınçlı hava ile sağlanır.

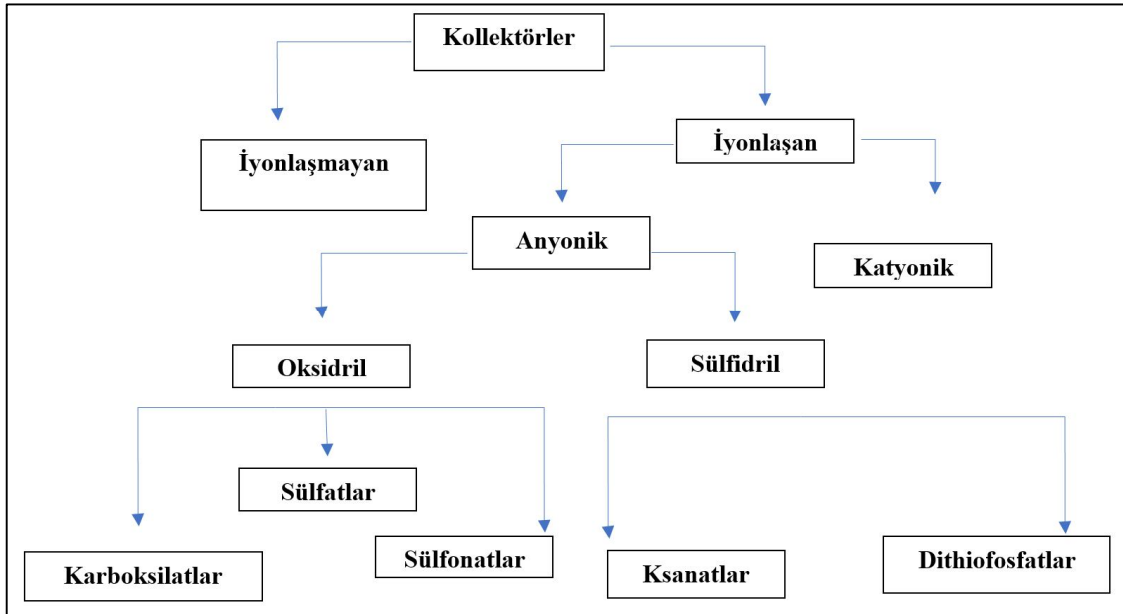
Endüstride genellikle kendiliğinden hava emen, seri halde çalışan mekanik hücreler tercih edilmektedir. Bu hücrelerin en önemli sakıncası hücre içerisinde meydana gelen yoğun türbülansın dolayısıyla tanecik-kabarcık bağlarının kopması ve aşırı konsantre kirlenmesidir. Ayrıca, bu makinelerin hem kapasiteleri düşük hem de sistemde oluşturulan kabarcık çapları (600-2.000 mikrometre) oldukça büyüktür. Bu makineler genellikle seri halde birbirini takip eden hücrelerden (selül) oluşur. Her hücre kendinden

bir önceki hücrenin atığını alarak flotasyon işlemine tabi tutar. Her hücre arasında atığın geçebilmesi için bir bağlantı ve ara yerlerinde de atık akış plakası bulunur. En bilinen ticari tipleri, ABD imalatı Denver, ABD imalatı Wemco, Almanya imalatı Wedag, İsveç imalatı Sala ve Finlandiya imalatı Outokumpu flotasyon makineleridir (Aksani, 1998; Atak ve Tolun 1994) .

## 2.7. Flotasyonda Kullanılan Reaktifler

**Kollektörler:** Minerallerin hava kabarcığına yapışarak yüzmesi prensibine dayanan flotasyonla zenginleştirme yönteminde, minerallerin yüzey özelliklerine bağlı olarak su içinde oluşan ortamın özellikleri de oldukça önemlidir. Islanan bir yüzey yerine, hidrofobik bir yüzey yapısı yani suyu iten bir yüzey yapısı, hava kabarcığına yapışmayı sağlamaktadır. Genelde hidrokarbonlarda ve diğer etkin kovalent bağlı bileşiklerde moleküler yapı simetrik olup, dipol moment bulunmamaktadır. Bu tür maddelere apolar maddeler denir. Bu maddeler su gibi polar bir sıvı ile ilişki kurmaz ve ıslanmazlar. Islanabilen mineraller, bazı organik reaktiflerle bir araya getirildiklerinde hidrofobik özellik kazabilirler. Bu reaktifler toplayıcı (kollektör) reaktifler olarak adlandırılırlar. Flotasyonda hidrofobikliği sağlamak amacıyla kullanılan bu yüzey aktif maddeler pülpe ilave edilir ve adsorbsiyon için zaman tanınır. Toplayıcılar organik bileşiklerdir, bunlar iyonlaşan ya da iyonlaşmayan bileşikler olabilirler ve mineral yüzeyinin tamamı olmasa bile ince bir tabaka ile kaplayarak mineral yüzeyini hidrofobik hale getirirler. İyonlaşan toplayıcılar flotasyonda çok kullanılırlar. Bunlar kompleks moleküller olup asimetrik yapıda ve genellikle dipolardır, apolar hidrokarbon grup ve polar grup içerirler. Apolar hidrokarbon radikal su-itken özelliklere sahipken, polar grup su ile reaksiyona girer. İyonlaşan toplayıcılar anyonik ve katyonik olarak sınıflara ayrılır.





Şekil 2.1. Flotasyonda kullanılan toplayıcıların sınıflandırılması  
(Bulut ve Göktepe 2012)

**Köpürtücüler:** Bazı minerallere hava kabarcığına yapışarak yüzme özelliğinin kazandırılması ve flotasyon makinesinde kabarcık oluşturulması ile bu mineraller köpük zonunda toplanabilir. Fakat bunların köpükle taşınabilmesi için hava kabarcıklarının patlamaması ve minerali taşıyacak güçte olması gerekir. Bu nedenle flotasyonda mineral yüzeyi toplayıcı aracılığıyla, yüzey hidrofobik hale getirildikten sonra hava kabarcığına yapışmanın duraylılığını sağlamak için “köpürtücü reaktif” olarak adlandırılan ve köpük direncini arttıran bazı kimyasallardan yararlanılır. Bunlar polar grup ve orta uzunlukta hidrokarbon grup içeren nötr moleküllerdir. Bu moleküllerde suya ve havaya olmak üzere iki yönlü ilgi vardır. Ancak hidrofobik katkıları toplayıcılar kadar değildir. Köpürtücünün polar grubu her zaman hidroksildir. İdeal olarak köpürtücüler tam olarak sıvı fazında bulunur ve mineral yüzeyini etkilemezler. Ancak pratikte etkileşim köpürtücü, mineral ve diğer reaktiflerin arasında olur. Köpürtücüler birçok açıdan iyonik kolektörlere benzerler ve bir kısım toplayıcılar aynı zamanda etkin köpürtücülerdir. Genellikle çam yağı gibi heteropolar yüzey aktif organik maddelerdir. Köpürtme işleminin birincil mekanizması hava-su arayüzü gerilimini düşürerek köpük oluşturmaktır. Köpürtücü molekülleri kabarcıkların yüzeyinde kolektör iyonları ile birlikte adsorbe olurlar. Köpürtücüler çözünmüş ya da emülsifye olarak kullanılırlar. Köpürtücüler flotasyon kinetiğinde önemli bir etkiye sahiptir. Köpükte ayırma işlemi devam eder ve bu işlemi köpürtücü kontrol eder. Köpürtücünün tipi ve dozajı pülpteki kabarcık boyut dağılımını kontrol eder. Köpürtücüler hem işlem zamanını hem de küçük kabarcıklar içinde hava

dağılımını ve kararlı köpük oluşumunu sağlar. Bu özelliklerden hangisi oluşur ya da daha fazla etkin olur bu sisteme bağlıdır. Köpürtücüler üç ana gruba ayrılmaktadır.

Bunlar;

- a. Alkol tipi (MIBC vb)
- b. Parafinler (Alkoxy-substituted parafinler, TEB)
- c. Poliglikol tipi

Genelde suda çözünen alkol tabanlı köpürtücüler çok seçicidir ancak suda çözünen glikol tabanlı olanlar daha güçlüdür. Bölgesel olarak çam yağı ve TEB tercih edilirken, MIBC ve poliglikol tipi köpürtücüler daha evrensel olma eğilimindedir.

Flotasyon işleminde özellikle oksit minerallerin flotasyonunda çok fazla köpük oluşumu gözlemlenir ve makinadan çıkan köpüğü söndürmek çok zordur, fıskiye ile söndürülemezse fazla köpük oluşumunu önlemek için köpük öldürücü nötr yağlar (gaz yağı, fuel-oil) ilave edilir.

**Bastırıcılar:** Bütün bastırıcılarda mekanizma gang mineralin yüzeyinin körleştirilmesi ya da bloklanmasına dayanır. Yüzmesi istenmeyen mineralin yüzeyine adsorbe olarak onları hidrofilik yapar bu sayede toplayıcının adsorbe olmasının önüne geçer. Organik flotasyon bastırıcıları, polisakkaritler (nişasta, guar, dekstrin ve sodyum karboksimetil selüloz) ve polifenoller (taninler-quebracho, mimosa, lignin) şeklinde sınıflandırılabilir. Sodyum silikat ve siyanür gibi inorganik bastırıcılar belli mineralleri hidrofilik hale getirerek flotasyonda seçiciliği arttırmaları. Şlamla kaplanma flotasyonla zenginleştirmede önemli olaylardan biridir. Çok büyük mineral yüzeylerinin çok ince minerallerle kaplanmasıdır. İri mineralle ince mineral arasındaki zeta potansiyeli işaretinin farklı oluşu bu olayı açıklamaktadır. Şlamla kaplanmayı önlemek için şlam ya da iri mineralin elektrik yükünü değiştiren elektrolitlerin veya dispersantların kullanılması gerekmektedir ve genellikle bu işlem için sodyum meta fosfat veya sodyumsilikat kullanılır (Bulut ve Göktepe, 2012).

## 2.8. Flotasyon Yöntemiyle İnce Boyutta Kömür Zenginleştirilmesi Yapılmış Bazı Çalışmalar

Ayhan, Abakay ve Kahraman (2003) tarafından, flotasyonla Şırnak asfaltitlerinin külünün düşürülebilme olasılığı araştırılmıştır. Asfaltit orijinal bazda %44,63 kül içeriğine ve 4.796 Kcal/Kg ısı değere sahiptir. Deneyler kapsamında öğütme süresinin, katı oranının, pH'ın, toplayıcı miktarının, bastırıcı miktarının ve köpürtücü miktarının

flotasyon üstündeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda 0-1.500 g/t toplayıcı konsantrasyonu ile çalışılmış ve toplayıcısız flotasyon deneylerinde daha iyi sonuç elde edilmiştir. Bunun dışında optimum sonuçlar, %5 katı oranında, pH değeri 8, bastırıcı 150 g/t ve köpürtücü 100 g/t olduğunda elde edilmiştir. Bastırıcı olarak sodyum silikat, köpürtücü olarak çam yağı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, %76,61 yanabilir verimle, %32,95 kül içeriğine sahip temiz asfaltit elde etmişlerdir.

Huang ve Takaoka (2003) tarafından, bir belediye adına katı atığın içindeki uçucu küllerden yanmamış karbonun kolon flotasyonu ile kazanılması üstüne bir çalışma yapılmıştır. Yanmamış karbon kolon flotasyonu ile kazanıldıktan sonra, çevre üzerine olumsuz etkileri olan organik kirleticilerden klorobenzenin ayrılması incelenmiştir. Belediye katı atıklarındaki yanmamış karbonu %61,7 verimle kazandıktan sonra yanmamış karbon içindeki klorobenzeni %39,8 kazanma verimi ile ayırmışlardır.

Bentli ve Kaya (2004) tarafından, Kütahya İli Tavşanlı İlçesinde bulunan, bir işletmede hava kirliliği standartları nedeniyle satılamayarak stoklanan, ince boyutlu (-0,5 mm boyutlu) kömür flotasyona tabi tutulmuş ve sanayi yakıtı olarak değerlendirmek üzere zenginleştirilmiştir. Flotasyon sonucunda %48,48 kül, %2,05 yanabilir kükürt ve 3.531 KCal/Kg alt ısı değere sahip lave kömürden %27,26 kül, %2,19 yanabilir kükürt, 5.118 KCal/Kg alt ısı değere sahip lave kömür %81,09 yanabilir verimle kazanılmıştır. Flotasyonla elde edilen lave kömürün beslemeye göre her 1.000 KCal/Kg başına kükürt miktarı %0,58 S'den %0,43 S' e düşürülmüştür.

Türkkan (2006) tarafından, hazırlanan bir yüksek lisans tezi kapsamında Tunçbilek lavvar tesisi tikiner altı kömürlerinin zenginleştirilmesi için kolon flotasyonu ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Tikiner altı atık barajından alınan numune, yanmamış karbon flotasyon kolonu ile zenginleştirilmiştir. Katı oranı, köpürtücü (MIBC) miktarı, bastırıcı (Cam Suyu) miktarı, toplayıcı (Gaz Yağı) miktarı, yüzeysel hava hızı, yüzeysel besleme ve yıkama suyu hızı ile bias ve hava tutunum yüzdesi çalışılan deneysel parametrelerdir. Bu çalışmalar neticesinde, %15 katı oranında, 2.000 g/t gaz yağı, 400 g/t cam suyu, 800 g/t MIBC, 2 cm/sn yüzeysel hava hızı, 0,2 bias hızı, 0,75 cm/sn yüzeysel besleme hızı, 0,3 cm/sn yüzeysel yıkama suyu hızı ve %20 hava tutunum yüzdesiyle çalışma sonucu en verimli sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda %18,88 kül oranında, %62,93 verimle, 6.400 KCal/Kg ısı değere sahip ürün elde edilmiştir.

Sönmez (2007) tarafından, Tunçbilek lavvarı tikiner altı atıklarından flotasyon ile iri boyuttaki yani -1,18 mm +0,106 mm kömürlerin kazanılması amacıyla bir çalışma

yapılmıştır. Numunedeki iri boyutlu malzeme miktarı %20,23'tür. -0,106mm ile +0,038 mm boyut aralığında ise %5,46 civarında malzeme bulunmakta olup geriye kalan -0,038 mm boyutta malzemenin oranı ise %74,31'dir. Flotasyona tabi tutulan -0,106 mm ile +0,038 mm boyutlu malzemeden, %49,91 kül içeriğine ve 2.742,24 KCal/Kg ısı değere sahip ürün elde edilmiştir. Deneylerde -1,18 mm ile +0,425 mm ve -0,425 mm ile +0,106 mm boyutundaki malzemeler ayrı ayrı zenginleştirilmeye tabi tutulmuştur. Toplayıcı olarak gaz yağı, mazot ve gaz yağıyla mazot karışımları ayrı ayrı kullanılmış ve uygun reaktif miktarları belirlenmiştir. %80 gaz yağı+%20 mazot karışımı uygun toplayıcı olarak belirlenmiş ve 25 kg/ton oranında kullanılmıştır. Ayrıca iri boyuttaki minerallerin flotasyonunda etkili olan hold-up çalışma parametresinin etkileri de tüm boyutlar için çalışılmıştır. Hold-up değeri, -1,18 +0,425 mm ve -0,425 +0,106 mm boyutlu malzemelerin her ikisi içinde %20 olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda 0,106 mm üst boyutun iki ayrı kademede zenginleştirilmesi sonucunda (gaz yağı+ mazot) toplam kömürden %8,39 konsantre elde edilebilmektedir. Bu durumdaki konsantrenin kül içeriği yaklaşık olarak %18,98 ve kalorisi de 5.823,94 KCal/Kg olarak ölçülmüştür.

Bayat (2008) tarafından, Tunçbilek Ömerler lavvar tesisine ait 4.390 kalori ısı değere sahip, %33,41 kuru bazda kül ve %0,39 kükürt içerikli numune, ara ürün bitkisel yağ asitlerinin toplayıcı olarak kullanıldığı flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. En uygun koşullarda 7-7,5 pH, yağ asidi/gaz yağı oranı 1/1, besleme malının %10'u, düşey boru dalma derinliği 40 cm, köpük derinliği, değişken; yıkama suyu hızı, 0,6 L/D, d<sub>80</sub>: 0,250 mm, pülp katı oranı %20, 10 dakika kondüsyonlama süresi ve 3 dakika flotasyon süresinde yapılan çalışma sonucunda %87,15 yanabilir verimle %10 kül, %1,1 kükürt içeren, 6.150 KCal/Kg ısı değere sahip temiz kömür konsantresi elde edilmiştir.

Hacıfazlıoğlu (2011) tarafından, Zonguldak bitümlü şlam kömürüyle yapılan flotasyon çalışmasında dört farklı köpürtücü (MIBC, Dowfroth 250, Çam yağı ve 2-etil Hegzanol) ve toplayıcı (Gaz yağı, fuel-Oil, Benzin ve mazot) ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve 300 g/t MIBC ve 1.800 g/t gaz yağı ile optimum sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma da %48,80 kül içeriğine sahip bitümlü şlamlardan, %78 yanabilir verim değerine sahip ve %15,48 koklaşabilir özellikte temiz kömür elde edilmiştir.

Yılmazel (2012) tarafından, Çatalağzı Termik Santraline beslenen lavvar atıklarının optimum flotasyon şartlarında zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda katı oranı, toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve devir sayısı deneysel parametreler olarak ölçülmüştür. Optimum koşullar altında pH değeri 6,5-7 arası alınmıştır. Toplayıcı olarak mazot ve köpürtücü olarak MIBC'nin kullanıldığı deneysel

çalışmalarda, karıştırma hızı: 1.300-1.500 devir/dk, Katı oranı: %10-30, toplayıcı miktarı: 300-3.375 g/t, köpürtücü miktarı: 30-337,5 g/t arasında kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaya göre optimum flotasyon koşullarında %10 katı oranı, 4 dakika flotasyon süresi, 1.300 dev/dakika karıştırma hızında, 3.375 g/t toplayıcı miktarı, 337,5 g/t köpürtücü miktarı, 5 dakika kondüsyon süresiyle yapılan çalışmada %96,91 verimle; koklaştırılabilir ve ev yakıtı kalsinasyon, birikitleme gibi alanlar için uygun kaliteye getirilmiş 6.450-6.600 kalori arasında ısı değere sahip, %17,81 küllü kömür elde edilmiştir. Elde edilen veriler Yates Yöntemi ile düzenlenmiştir.

Öney ve Bilgin (2016) tarafından, Zonguldak Kozlu bölgesine ait kömürlerle yapılan flotasyon çalışması neticesinde, %46,10 kül içeriğine sahip kömür numune olarak kullanılmış ve uygun flotasyon parametreleri verimlilik indeksi ile tespit edilmiştir. Tane boyutu, toplayıcı cinsi ve miktarı, köpürtücü cinsi ve miktarı, bastırıcı miktarı çalışılan deneysel parametrelerdir. Kaba flotasyonda -1,170 mm tane boyutunda verimlilik indeksi 254,41 iken, -0,425 mm tane boyutunda 292,34'e yükselmiştir. Bu nedenle en uygun tane boyutu -0,425 mm olarak saptanmıştır. Toplayıcı miktarı arttıkça kaba temiz kömür kül oranı ve yanabilir verim artmakta, verimlilik indeksi ise azalmaktadır. En yüksek verimlilik değerleri gazyağı kullanılarak elde edilmiştir. Gazyağı ile (200 g/t) yapılan deneylerde, %64,63 ağırlıksal oranda ve %24,52 küllü kaba temiz kömür %90,06 yanabilir verimle elde edilmiştir. MIBC ile (75 g/t) yapılan deneylerde, %57,80 ağırlıksal oranda ve %21,11 küllü kaba temiz kömür %86,01 yanabilir verimle elde edilmiştir. Sodyum silikat ile (3.000 g/t) yapılan deneylerde %55,48 ağırlıksal oranda ve %18,84 küllü kaba temiz kömür %84 yanabilir verimle elde edilmiştir. Sonuçta; temizleme flotasyonunda ağırlıkça %36,43 oranında temiz kömür %12,78 külde edilmiş olup verimlilik indeks değeri de 207 olarak hesaplanmıştır.

### 3. LAVVAR TESİSİ

Numune olarak kullanılacak kömür Tunçbilek bölgesinde bulunan lavvar tesisinden alınmıştır. Bahsi geçen tesisin temiz kömür verimi yaklaşık %25 civarındadır. Bunun anlamı ocakta üretilen 1.000 ton kömür zenginleştirme maksadı ile tesise beslendiğinde 250 ton temiz kömür alınmaktadır. Bu 250 tonun dağılımı ise;

Ceviz için:  $(1.000 \times 7,75) / 100 = 77,5$  ton

Fındık için:  $(1.000 \times 4,86) / 100 = 48,6$  ton

Toz için:  $(1.000 \times 8,54) / 100 = 85,4$  ton

Konsantre için:  $(1.000 \times 3,85) / 100 = 38,5$  ton

Atık için:  $(1.000 \times 53,66) / 100 = 536$  ton şeklindedir. Geriye kalan yaklaşık %21,34'lik kısım ise şlam kaybıdır.



Şekil 3.1. Lavvar tesisinden genel bir görünüm



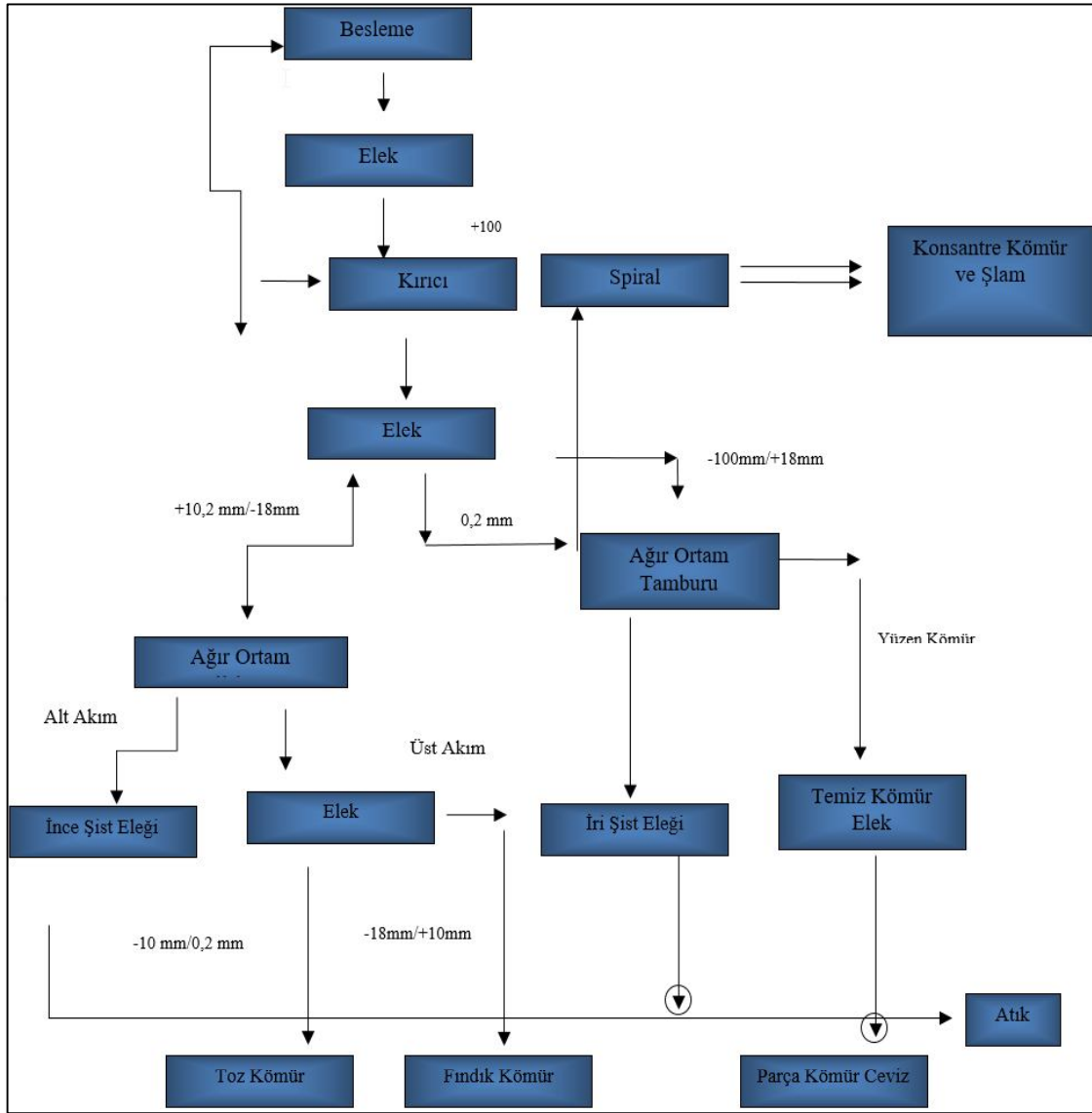


**Şekil 3.2.** 5-18 mm boyutlarda kaçak malzeme



**Şekil 3.3.** Tikiner altından basılan şlam

Tesis 200 ton/saat kapasiteye sahip olup Şekil 3.4’de gösterilen akım şemasındaki gibi faaliyet göstermektedir.



Şekil 3.4. 200 Ton/saat kapasiteli lavvar tesisine ait akım şeması

Akım şeması (Şekil 3.4) verilen, 200 ton/saat kapasiteli lavvar tesisi 8 ana üniteden meydana gelmektedir. Bu üniteler:

**1. Tüvenan Silosu:** Silo içine alınan tüvenan paletli besleyici ile kırıcı besleme bandına dökülür.

**2. Kırıcı:** Besleme bandından gelen tüvenan kömürü önce tasnif eleğine gelir. Burada elek altına geçen ürün, kırıcıya beslenmeden tesis besleme bandına dökülür. Elek üstü ürün çift tamburlu, çift motorlu kırıcıya beslenir. Tasnif eleği kırıcı üzerine gereksiz yük binmesine engel olur.

**3. Tesis Besleme:** Kırıcıdan çıkan tüvenan kömür, tesis besleme bandıyla suyla ilk buluşacağı nokta olan 18 mm göz açıklığı bulunan tüvenan eleğine gelir. Tüvenan eleğinde; elek altı ince devrede, elek üstü ise iri devrede işlem görür.



**4. İri Devre:** İri devrede ayırma işlemi ağır ortam tamburu sayesinde yapılır. +18 mm boyutunda ağır ortam tamburuna giren tüvenan kömür, yoğunluk farkı oluşturularak ayrıştırılır. Tambur içerisinde yüzen kömür tambur ağzından temiz kömür eleğine dökülür. Tambur içinde bulunan kanatlar, tamburun içinde batmış halde bulunan atığı tamburun ortasında bulunan oluğa bırakır. Olukta bulunan yüksek basınçlı ağır mai, atığı iterek tamburdan dışarı iter. Tamburdan çıkan atık tek katlı elekte durulanır ve atık bandıyla sistem dışına atılır.

**5. İnce Devre:** Tüvenan eleğinde elenen -18 mm boyutundaki malzeme şlam süzme eleğine gelir. Şlamı süzülen malzeme elekten geçerek, ağır mai siklon tankında ağır mai ile buluşur ve pompayla ağır mai siklonuna basılır. Siklonun alt akımından atık, üst akımından ise temiz kömür elde edilir. Siklon üst akımından çıkan kömür çift katlı toz kömür eleklerine gelir. Burada 2 mm ile -10 mm boyutunda toz kömür ve 10 mm ile -18 mm fındık kömür elde edilir. Elde edilen toz kömür santrifüj kurutucuya girer. Buradaki amaç kömür yüzeyinde bulunan nemi atabilmektir. Santrifüj kurutucu yüksek hızda dönerek kömürde bulunan suyu merkezkaç kuvveti ile dışarı atar. Fındık olarak adlandırılan +10 mm -18 mm arasında boyuta sahip kömür santrifüje girmemektedir.



Şekil 3.5. Temiz kömür eleği

**6. Spiral Ünitesi:** Şlam süzme eleğinden gelen su, şlam pompasıyla şlam siklonlarına basılır. Şlam siklonları tesisin en önemli birimidir. Tesis içinde devir daim edilen su buradan gelmektedir. Şlam siklonlarının üst akımı doğal akışla tikiñere gelirken alt akım ise spiralle ayrılır. Spiralden konsantre ve atık elde edilir. Susuzlandırma eleğinde suyu süzülen ürünler bant yoluyla sistem dışına atılır.

**7. Seperatörler:** Tesise giren tüvenan kömür sistemde kullanılan ağır mai ile buluşunca, tüvenan içerisinde bulunan kil ve diğer yan kayaçlar ağır mai içerisinde çözülür. Dolayısıyla ağır mai özelliğini kaybetmeye başlar ve yoğunluk kontrolsüz bir şekilde artmaya başlar. Bu nedenle tesiste iki adet seperatör kullanılmaktadır. Bunlar, iri devre seperatörü ve ince devre seperatörüdür. Ağır mai tanklarına geri dönüş, borularında ağır mai seperatöre mi yoksa sisteme devam mı edeceği tespit edilir. Seperatörün kullanılış amacı ağır mai oluşturmada kullanılan manyetit cevherinin geri kazanılmasıdır.

**8. Tikiner:** Şlam içinde askıda bulunan katı maddelerin önemli bir kısmının çökmesi sonucu içinde yalnız kollodial parçacıkları kalan, kısmen temizlenmiş suyu bütün çevreden taşıyıp, suyun tekrar prosese dönmesini sağlayan, çöken iri parçaları eğimli tabanda bulunan sıyırıcı kanatları ile merkez kısmına nakledip oradan bu çökeltinin ayrı olarak alınmasını sağlayan büyük çaplı bir silindir şeklinde havuz tesistir. Çöken partiküller tikinerin altında bulunan tahliye borusuyla atılır. Tesisin temiz su ihtiyacı yapay bir göletten sağlanmaktadır. Buradaki su ocaktaki su gelirinden sağlanmaktadır. Tikinlerde bulunan askıdaki partikülleri çökertmek için polimer kullanılmaktadır. Su içine atılan polimer çözelti haline getirilip polimer pompasıyla tikiñere basılmaktadır.

## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1. Materyal

Tez çalışmasına konu olan tesiste kömür, geçmiş yıllarda işletmesi yapılan bir maden ocağının döneminde ekonomik bulunmadığı için terk edilen verimsiz damarlarından açık ocak yöntemi ile üretilmektedir. Açık ocak istihallerinde mekanizasyon arttıkça üretim maliyetlerinin düştüğü bir gerçektir, ancak mevcut saha gibi 8 m stamp içinde ortalama 30-35 cm'lik ara kesmeli damarların olduğu alanlarda mekanizasyonla birlikte hem kömürde ufalanma yaşanması hem de damar yapısından kaynaklı olarak selektif çalışmanın maliyetleri arttırması söz konusudur. Stamp (Şekil 4.1 ve 4.2) kömürden çok kil, kil taşı içeriği barındırmaktadır. Bu durumda kömürün elle seçilerek alınması halinde makine kullanımı mümkün olmayacaktır ve üretim kapasitesi ciddi oranda azalacaktır, makine ile üretimde ise kömürün oluşum olarak nispeten yaşlı olması ve yapısal olarak ufalanmaya müsait olması nedeniyle masif damarlarda çalışıldığı gibi çalışmak mümkün olmamaktadır.



**Şekil 4.1.** Kütahya ili tunçbilek ilçesinde bulunan sahaya ait stamp





**Şekil 4.2.** Ara kesmeler ve kömür

**Tablo 4.1.** Tüvenan kömürün kalorifik değerleri ve özellikleri

| Kuru Kömürde<br>Üst Kalori<br>(KCal/Kg) | Kuru Kömürde<br>Alt Kalori<br>(KCal/Kg) | Orijinal Kömürde<br>Üst Kalori<br>(KCal/Kg) | Orijinal Kömürde<br>Alt Kalori<br>(KCal/Kg) |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 3.307                                   | 2.166                                   | 1.750                                       | 1.501                                       |
| Yabancı<br>Değerler                     | Havada Kuru<br>Kömür                    | Kuru<br>Kömür                               | Orijinal<br>Kömür                           |
| Kül %                                   | 57,32                                   | 60,42                                       | 42,49                                       |
| Uçucu<br>Madde %                        | 25,95                                   | 27,35                                       | 19,24                                       |
| Toplam<br>Kükürt %                      | 1,33                                    | 1,40                                        | 0,99                                        |

Özellikleri verilen kömür (Tablo 4.1) ocaktan çıkarıldıktan sonra zenginleştirilmek üzere lavvar tesisine beslenmektedir. Sahanın eski imalat olması nedeniyle, ocakta birden fazla damar yapısı parça parça karşımıza çıkmaktadır. Dönemin koşulları nedeniyle, madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmayan, günümüz koşullarında verimli damarların bir kısmı ve kazı işlerinin kolay olduğu, geçmiş dönemin koşullarında verimsiz kabul edilen damarların bir kısmı sahada terk edilmiştir. Bazı yerlerde üzerlerine nebati toprak bazı yerlerde pasa bazı yerlerde ise şlam vb dökümler yapılmıştır. Bakir ve süreklilik arz eden bir yapının olmaması nedeniyle ortalamada benzer ancak spesifik skalada uç değerlerin olduğu bir tabloyla

karşılaşılmaktadır. Lavvar tesisi de %25 olan ocak verimi ile eş güdümlü olarak %20 civarında verimlerde çalışmaktadır.

Tesiste, mevcut durumda 10-0,2 mm arasında boyutlanan kömürün pazar payı düşünülerek, şlama karışan malzemenin değerlendirilmesi için bu kömür şlama karıştırılmaktadır. Toz kömür -10 mm ve 0,2 mm arasında boyuta sahip olup 3.575 KCal/Kg ısı değere sahiptir. Temiz ürün anlamında ortalama %8,5 verime sahip olan toz kömür piyasa bakımından toplam satışın %41,50' sine denk gelmektedir. Damar oluşumu ve stamba bağlı olarak tesisten alınan toz kömür verimi azalabilmektedir. Ceviz kömür olarak adlandırılan kömür 25-18 mm arasında boyuta sahip olup 5.200-5.400 Kca/Kg ısı değere sahiptir ve temiz ürün anlamında verimi %7,5 tur. Fındık kömür olarak adlandırılan kömür ise 10-18 mm arasında boyuta sahip olup 5.200-5.400 KCal/Kg ısı değeri vardır, temiz ürün anlamında %4,8 verime sahiptir. Konsantre 3.550-3.700 KCal/Kg ısı değere sahip olmakla beraber -0,2 mm boyuta sahip olup %3 oranında verimlidir. Atık ise %50-59 arasında bir orana sahiptir.

Tesisteki kaçak malzemenin flotasyona tabi tutulması ile temiz kömür veriminin artırılarak kaçak ve kayıpların telafi edilmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir. Lavvardan alınan temiz yıkanmış kömürlerin boyutlarına göre özellikleri (Tablo 4.2) ve tikner altından alınan şlamli kaçak malzemenin özellikleri (Tablo 4.3) sunulmuştur.

**Tablo 4.2.** Yıkanmış kömür özellikleri

| Test Tipi                  | Orijinal Baz |                |                 | Havada Kuru Baz |                |                 | Kuru Baz |                |                 |
|----------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|
|                            | +18m<br>m    | +10mm<br>-18mm | +0,5mm<br>-10mm | +18mm           | +10mm<br>-18mm | +0,5mm<br>-10mm | +18mm    | +10mm<br>-18mm | +0,5mm<br>-10mm |
| Toplam Nem %               | 21,45        | 21,45          | 25,33           | 5,94            | 5,94           | 8,25            | -        | -              | -               |
| Kül %                      | 14,82        | 14,82          | 29,36           | 17,75           | 17,75          | 38,88           | 18,87    | 18,87          | 42,37           |
| Uçucu Madde %              | 30,51        | 30,51          | 20,72           | 36,54           | 36,54          | 27,44           | 38,85    | 38,85          | 29,91           |
| Top. Kükürt %              | 1,83         | 1,83           | 0,92            | 2,19            | 2,19           | 1,22            | 2,32     | 2,32           | 1,33            |
| Sabit Karbon %             | 33,22        | 33,22          | 19,22           | 39,77           | 39,77          | 25,43           | 42,28    | 42,28          | 27,72           |
| Brüt Kalori Değeri KCal/Kg | 4.790        | 4.790          | 2.805           | 5.736           | 5.736          | 3.714           | 6.098    | 6.098          | 4.048           |
| Net Kalori Değeri KCal/Kg  | 4.495        | 4.495          | 2.526           | 5.492           | 5.492          | 3.524           | 5.873    | 5.873          | 3.890           |

**Tablo 4.3.** Tikiner altından alınan şlamli kaçak malzemenin özellikleri

| Test Tipi         | Orijinal Baz | Kuru Baz |
|-------------------|--------------|----------|
| Toplam Nem %      | 27,05        | -        |
| Kül %             | 56,85        | 71,50    |
| Uçucu Madde %     | 31,23        | 39,11    |
| Sabit Karbon %    | 2,80         | 5,05     |
| Toplam Kükürt %   | 0,55         | 2,14     |
| Alt Kalori Değeri | 721          | 860      |
| Üst Kalori Değeri | 916          | 1110     |

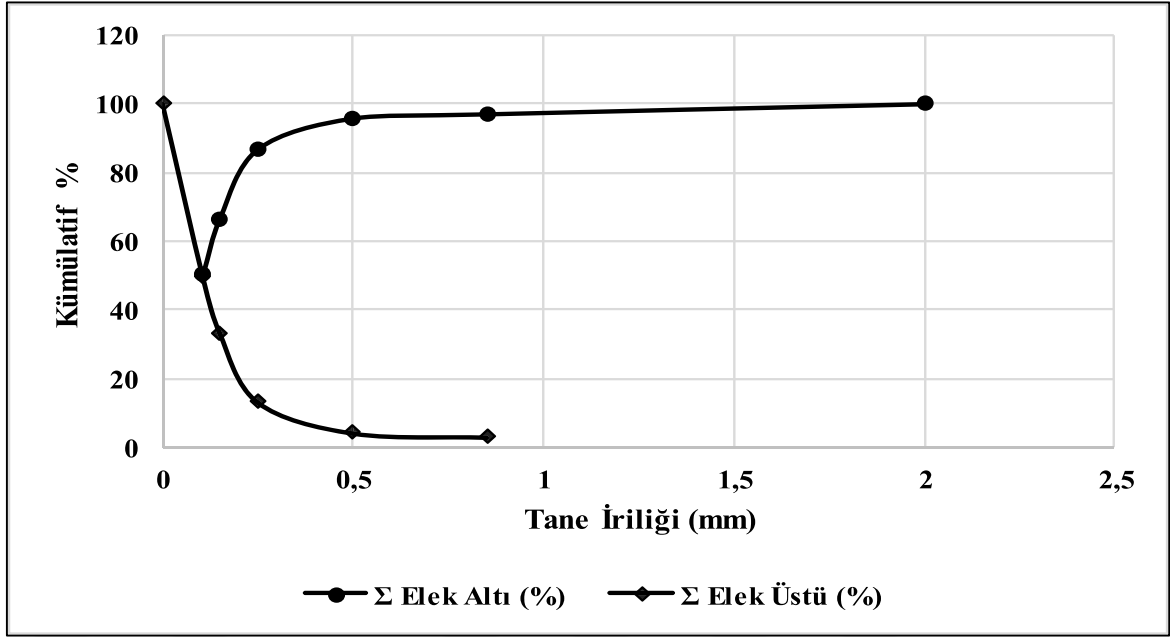
Deneyisel çalışmalarda lavvar tesisindeki tikiner altından alınan şlamlı malzeme kullanılmıştır. Ocak ve tesisin durumundan dolayı numuneler farklı zamanlarda alınarak homojenleştirilerek çalışmalarda kullanılmıştır. Tikiner altından çıkan ve pompalar aracılığı ile şlam havuzuna basılan şlamdan (Şekil 4.3) 75 kg kadar temsili numune alınarak numune bölme ve azaltma yöntemlerine uygun şekilde flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Alınan numunenin ısı değeri 721-860 KCal/Kg arasında değişmekte olup, yaklaşık %80'i şlam boyutundadır (Tablo 4.4-Şekil 4.4). Flotasyon deneylerinde toplayıcı olarak mazot, köpürtücü olarak Metil İzobütil Karbinol (MIBC), bastırıcı olarak Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ ) kullanılmıştır.



**Şekil 4.3.** Tunçbilek lavvar tesisine ait şlam havuzu

**Tablo 4.4.** Numunenin tane boyut analizi

| Fraksiyon (mm) | Ağırlık (gr) | Ağırlık (%) | Σ Elek Altı (%) | Σ Elek Üstü (%) |
|----------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|
| -2+0,85        | 15           | 2,99        | 100             | 2,99            |
| -0,85+0,5      | 6            | 1,2         | 97,01           | 4,19            |
| -0,5+0,25      | 45           | 9           | 95,81           | 13,19           |
| -0,25+0,15     | 101          | 20,15       | 86,81           | 33,34           |
| 0,15+0,106     | 61           | 12,17       | 66,66           | 45,51           |
| -0,106         | 273          | 54,49       | 54,49           | 100             |
| Toplam         | 501          | 100         |                 |                 |



Şekil 4.4. Besleme malı elek analizi

## 4.2. Metot

### 4.2.1. Flotasyon deneyleri

Flotasyon deneyleri, “Denver” tipi flotasyon makinesi (Şekil 4.5) ile 1 L selül kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flotasyon makinesinin, pervane dönüş hızı ayarlanabilir olup, flotasyon işlemi sırasında hava akış hızı ayarlanabilir bir kompresör yardımıyla farklı hava akış hızlarında çalışılabilmesi sağlanmıştır. Deneyler kömür süspansiyonunun doğal pH’ında, musluk suyu kullanılarak ve 1.450 dev/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Çalışılan katı oranlarına bağlı olarak hazırlanan su ve kömür karışımı pulp homojen karışım için 3 dakika karıştırıldıktan sonra sırasıyla bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü ilavesi yapılmış daha sonra sisteme hava verilerek belirli flotasyon sürelerinde köpük alımı gerçekleştirilmiştir. Kondisyon süreleri toplayıcı için 3 dakika, köpürtücü için ise 3 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonunda elde edilen ürünler filtre edilerek kurutulmuş ve konsantre/artık ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı, flotasyon süresi, hava akış hızı ve katı oranı çalışılan deneysel parametrelerdir (Tablo 4.5). Flotasyon performansı, deney sonunda elde edilen ürünler üzerinde kül, kalori, kükürt, uçucu madde, nem, sabit karbon ve verim değerleri belirlenerek değerlendirilmiştir.





**Şekil 4.5.** Deneylerin yapıldığı flotasyon cihazı

**Tablo 4.5.** Çalışılan deneysel parametreler

| Parametreler               | Değerler                                |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| MIBC Miktarı g/t           | 50, 75, 100, 150, 200                   |
| Sodyum Silikat Miktarı g/t | 750, 1.000, 2.000, 4.000, 6.000         |
| Mazot Miktarı g/t          | 800, 1.000, 2.000, 4.000, 6.000, 10.000 |
| Katı Oranı (%)             | %10, 15, 20, 25, 30, 35                 |
| Hava Akış Hızı L/Dakika    | 4, 6, 7, 8, 9, 10                       |
| Flotasyon Süresi (Dakika)  | 4, 6, 7, 8, 9, 10                       |





**Şekil 4.6.** Flote edilmiş -0,5mm boyutunda kömür tanecikleri

#### 4.2.2. Analizler

**Kül Tayini:** Kül miktarı belirlenmeden önce kullanılacak krezeler iyice temizlenmiş ve ısıtılmıştır, daha sonra desikatörde soğutularak boş ağırlıkları belirlenmiştir. Darası alındıktan sonra içerisine 1 g civarı numune konulan kroze 850 °C ye ayarlanan kül fırını içerisine yerleştirilmiş ve fırın 850 °C sıcaklığa geldiğinde 2 saat kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkan krezeler desikatörde soğutularak tekrar tartılmıştır. Yakma öncesi ve sonrası belirlenen malzeme miktarlarına göre oluşan ağırlık farkından numunelerin kül içerikleri belirlenmiştir. Yanabilir madde verimlerinin (YMV) hesaplanmasında aşağıdaki formül (3.1) kullanılmıştır.

$$\%YMV = [C(100-c)/F(100-f)] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

%YMV: Yanabilir Madde Verimi

C: Yüzen Madde Ağırlığı

F: Besleme Malı Ağırlığı

c: Konsantre %kül İçeriği

f: Besleme malı %kül İçeriği

**Kalorifik Değer Tayini:** Yanmayla ısının açığa çıkması kömürün oluşumundan kaynaklı karbon ve hidrojen içerikli bileşiklerinin oksitlenmesinin sonucudur. Katı bir yakıtın ısı değeri birim ağırlıktaki yanabilir içeriğin tamamen yanıp tükenmesi sonucu açığa çıkan ısı miktarıdır. Kömürün ısı değerinin tayininde kullanılan yöntem kalorimetre cihazıdır. Bu yöntem, tespit edilen miktardaki kömürün bir bomba içinde basınç altında oksijen ile sabit hacimde yakılması ve oluşan ısının ölçülmesi prensibine dayanır. Kalorimetre ile bulunan ısı değer yanma ürünlerinin ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  gibi) oda sıcaklığına soğutulması ile bulunan değerdir. Alt ısı değer pratikte daha anlamlıdır ve bunun bulunabilmesi için kömürün hidrojen içeriğinin bilinmesi gerekir. Hesaplamalarda % H değeri yaklaşık olarak 5,0 kabul edilmiştir.

Söz konusu analiz Leco AC-350 tipi cihazla yapılmıştır (Şekil 4.7). Kalorimetre kabı çift cidarlı ve arasında su bulunan metal bir kaptır. Bu kap içinde yalıtkan ayaklar üzerine oturtulmuş paslanmaz çelik bir kap bulunur. Bomba bu kap içine yerleştirilir ve 3000 g su konur. İçinde bulunan karıştırıcıyla kaptaki suyun sıcaklık değişimi çok hassas bir termometre ile kontrol edilir.



Şekil 4.7. Isıl değer tayini yapılan leco AC-350 model kalorimetre

Kömür numunesi içine batırılan telin yerleştirilmesinden sonra bombanın kapağı kapatılır. Siboplar açıldıktan sonra, aniden ortama O<sub>2</sub> verilir ve bu esnada bombanın havası boşaltılır. Hava tamamen boşaltıldıktan sonra çıkış sibobuda kapatılarak 15-20 atm basınçta O<sub>2</sub> gazı basılır. Uygulamaya hazır hale gelmiş olan bomba kaptaki su seviyesinin tamamen altında kalacak şekilde yerleştirilir. Karıştırıcı aktifleştirilerek sıcaklığın sabitlendiği ana kadar beklenir ve elektrik verilerek sistem ateşlenir. Termometrede sıcaklık yükselmeye başlar ve sıcaklık artışı sabitlenene kadar beklenerek tüm sistemdeki sıcaklık artışı tespit edilir. Sıcaklık farkı ve kalorimetrenin ısı sığasına bakarak kömürün üst ısı değeri tespit edilir. İşlem bittikten sonra kalorimetreden çıkartılan bomba içinde ki yanma gazları KOH ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisinden geçirilerek tutunmaları sağlanır. Bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar (3.2-3.4) meydana gelir ve ele geçen çözeltinin incelenmesiyle S, N ve C tayinleri yapılabilir.



Genelde kalorimetre uygulamasında bombanın içine de bir miktar damıtık su konur. Yüksek derecede O<sub>2</sub> varlığında oluşabilecek SO<sub>3</sub> gazı bu su tarafından emilerek kısmen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'e dönüşür. Aynı şekilde yanan azotun da HNO<sub>3</sub>'e dönüşmesi muhtemeldir. Bu emilim olayları ekzotermik olduğu için ısı değeri hesaplanırken göz önünde bulundurulmalıdır. Bütün bunlar göz önüne alınarak yakılan kömür numunesinin üst ısı değeri aşağıdaki formül (3.5) ile bulunur;

$$Q_{\text{üst}} = \frac{M_c \cdot \Delta t - (Q_t + Q_a)}{\text{Tartım}} \quad (3.5)$$

Burada;

M<sub>c</sub>: Kalorimetrenin ısı sığası (cal/°C)

Δt: Sistemdeki sıcaklık değişimi (°C)

Q<sub>t</sub>: Yanan telin verdiği ısı (yanan tel cm 0,644 cal)

Q<sub>a</sub>: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> asitlerinin oluşumunda açığa çıkan ısı miktarı

Kömür pratikte açık havada yakıldığında hem taşıdığı nem hem de bünyesinde bulunan hidrojen yanarak su buharı halinde sistemi terk eder. Bu durumda kömürün faydalanılan alt ısı değerini belirlerken toplam suyun götüreceği ısı miktarı Q<sub>üst</sub> ısı değerinden çıkartılmalıdır. Suyun götüreceği ısı miktarı hesaplandığı zaman görüleceği üzere yanma ortamından uzaklaşan her bir gram su başına 620 kalori ısı kaybı

gerçekleşmiş olacaktır. Bu durumda 1 g kömürün alt ısı değeri eşitlik 3.6'dan hesaplanabilir.

$$Q_{alt} = Q_{üst} - 6,20 (\% H .9 + \% Nem) \quad (3.6)$$

Burada % H kömürde bulunan nem dışındaki yanabilen hidrojenin yüzde miktarı, % nem de toplam nem içeriğidir (Leco AC-350 Kullanım Kılavuzu).

**Uçucu Madde Tayini:** Kömür havasız bir yerde kuru halde ısıtılacak olursa, daha fazla ısıtmayla artık gaz vermeyecek olan bir kalıntı edilir bu kalıntıya kok denir (Kemal ve Arslan, 1999). Kömürde kok miktarının tespit edilmesi ile uçucu madde miktarı tespiti de yapılmış olur. Uçucu madde, örnek madde miktarı ile kok arasında ki fark olarak kabul edilmektedir. Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal değişime uğrar ve kömürden hidrojen, karbon monoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlardan ve karbon dioksit, su buharı gibi yanıcı olmayan gazları da kapsayan türden bir gaz çıkışı olur.



**Şekil 4.8.** Uçucu madde tayini yapılan leco TGA-701 model cihaz

Uçucu madde tayini Leco-701 model TGA cihazı (Şekil 4.8) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uçucu madde tayini yapılırken hassas tartıda tartılan, 1 g civarında ki numune seramik kroze ye yerleştirildikten sonra analiz edilmek üzere Leco TGA-701 model cihazın haznesine koyulur. Kömür numunesi cihazın haznesinde kapalı olarak 875°C de 7 dakika ısıtılır. İşlem sonunda desikatörde soğutulan ve tartılan kömürün



ağırlık farkından kömürün nem içeriği çıkarılarak uçucu madde miktarı hesaplanır (Leco TGA-701 Kullanım Kılavuzu).

**Nem Tayini:** Havada kurutulan kömürden 25-50 gram kadar bir örnek petri kabında 0,01 g hassasiyetle tartılır. Petri kabı açık olarak  $106 \pm 2$  °C sıcaklıkta çalışan bir etüvde sabit tartıma kadar 2-3 saat civarında kurutulur. Yeterli süre bekletilen numune etüvden alınır ve petri kutusunun kapağı kapatılarak desikatöre konulur. Soğuduktan sonra tartılır ve eşitlik 3.7 ile nem miktarı belirlenir.

$$\% \text{ Higroskopik nem} = \frac{\text{Havada kuru kömür (g)} - \text{Etüvde kuru kömür (g)}}{\text{Havada kuru kömür (g)}} \times 100 \quad (3.7)$$

**Kükürt Miktarının Tayini:** Kömürün yakılması sonucunda SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> olarak çıkan kükürt “yanabilen kükürt” adıyla anılmaktadır. Yanma sonucu külde kalan kükürt ile yanabilen kükürt miktarı toplamına “toplam kükürt” denilmektedir. Kükürt miktarı tespiti Leco SC-144 DR cihazı ile yapılmıştır (Şekil 4.9). Analizler yapılırken numune 0,350 gram olacak şekilde ayarlanır ve yanma teknesinde darası alınarak tartılır. Numune menüsünden analiz tipi seçilir ve numune 1.350 °C’ye ayarlanan ve saf oksijen barındıran ortama yerleştirilir. Isıl değer tayini sonunda bomba muhteviyatı ve yıkama şişesinde bulunan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>’li çözelti toplanır ve 250 mL hacme tamamlandıktan sonra sülfat tayini yapılır. Çünkü yanma sırasında açığa çıkan SO<sub>2</sub> gazları H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisinden geçirilir bu sayede SO<sub>4</sub><sup>=</sup> a yükseltgenmiştir. Dolayısıyla, gravimetrik olarak uygulanacak BaSO<sub>4</sub> tayininde yapılan hesaplardan yola çıkarak % S miktarı bulunmuş olur.



**Şekil 4.9.** Kükürt ve sabit karbon değerlerinin analizlerinin yapıldığı leco SC-144 DR model cihaz

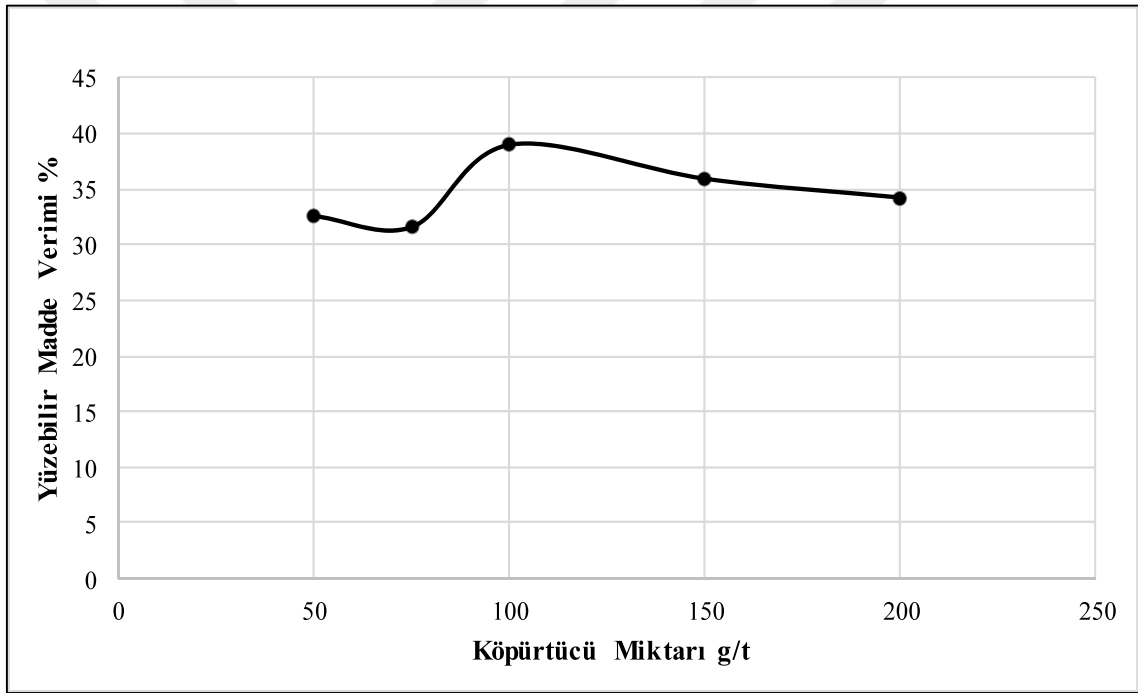
Bunun için 250 mL hacme tamamlanan çözeltiden 50 mL'si alınarak behere konur ve kaynama noktasına yakın sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra %10'luk BaCl<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilerek BaSO<sub>4</sub>'ın çökmesi sağlanır. Karışım soğumaya bırakılır ve süzgeç kâğıdından süzülür. Daha sonra çökelti yıkama suları AgNO<sub>3</sub> ile çökelti vermeyinceye kadar sıcak saf su ile yıkanır. Sabit tartıma ayarlanan krozeye koyularak bir süre suyu uzaklaştırmak için etüvde bekletilir ve hemen peşinden 800-900 °C'de 1 saat fırında bekletilir. Daha sonra desikatöre alınır ve tartılır (MBaSO<sub>4</sub>). Bulunan BaSO<sub>4</sub> miktarı üzerinden numunedeki yanabilir kükürt miktarı eşitlik 3.8 ile hesaplanır (Leco SC-114 DR Kullanım Kılavuzu).

$$\% \text{ Yanabilir kükürt miktarı} = \frac{M_{\text{BaSO}_4} \cdot MA_S \cdot 5 \cdot 100}{MA_{\text{BaSO}_4} \cdot \text{Numune miktarı}} \quad (3.8)$$

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 5.1. Ön Optimizasyon Deneyleri

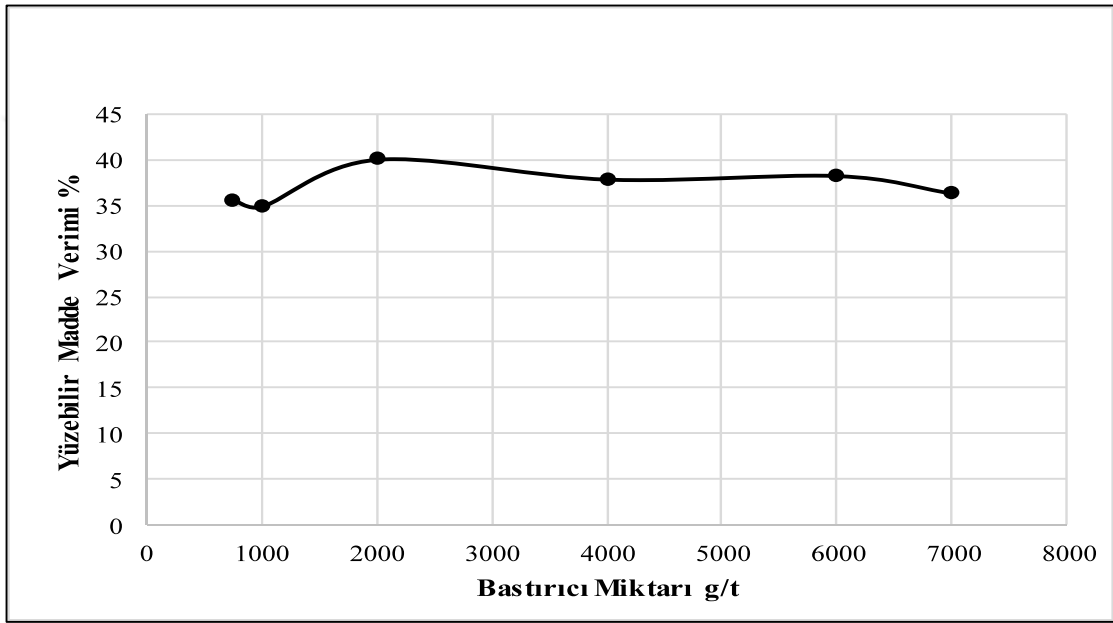
Çalışılan tüm deneysel değişkenlerin (toplayıcı miktarı, bastırıcı miktarı, katı oranı, hava akış hızı, flotasyon süresi) farklı kombinasyonlarda karşılıklı etkileşiminin incelendiği flotasyon deneylerinden önce şlam kömürün yüzebilirliğini test etmek ve çalışılan flotasyon kimyasalları ile deneysel koşulların ortalama çalışılma aralığının belirlenebilmesi amacıyla ön flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmalar da flotasyon performansı yüzebilir madde verimi dikkate alınarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 5.1.** Köpürtücü miktarının yüzebilir madde verimine etkisi (%10 katı oranı; 2.000 g/t  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ; 2.000 g/t mazot; 4 l/d hava akış hızı; 4 dakika flotasyon süresi)

MIBC miktarı için gerçekleştirilen ön flotasyon deneylerinde 50-200 g/t aralığında çalışılmış ve %31,62-39,91 arası yüzebilir madde verimleri elde edilirken, maksimum yüzebilir madde verimi 100 g/ton köpürtücü miktarı ile elde edilmiştir. Bu değerden sonra köpürtücü miktarının artırılması yüzebilir madde miktarında düşüşe neden olmuştur (Şekil 5.1). Kabarcık boyutu özellikle çok ince boyutlu kömürün flotasyon verimini önemli derecede etkilemektedir. İnce tanelerin flotasyonu için büyük yüzey alanları gerekir ve dolayısıyla ince kabarcıklar üretilmelidir. Diğer yandan,

köpürtücü kullanımında temel amaç yalnızca küçük çaplı kabarcık oluşturmak değil bir diğer kabarcıkla çok kısa bir süre içerisinde birleşmeyen küçük boyutlu ve kararlı kabarcıkların oluşturulmasıdır. Bu durum, köpürtücü cinsi/miktarı ve besleme içerisindeki ince boyutlu tanelerin varlığıyla değişiklik gösterir (Çilek 2013). Bunun dışında hava akış hızı da kabarcık boyutlarını etkileyen bir diğer faktördür. Bu nedenle, deneysel çalışmaların ikinci aşamasında farklı deneysel değişken kombinasyonlarında söz konusu değişkenlerin ürün kalitesine (kül-kükürt-uçucu madde-kalori-verim) etkisi ayrıca değerlendirilecektir.

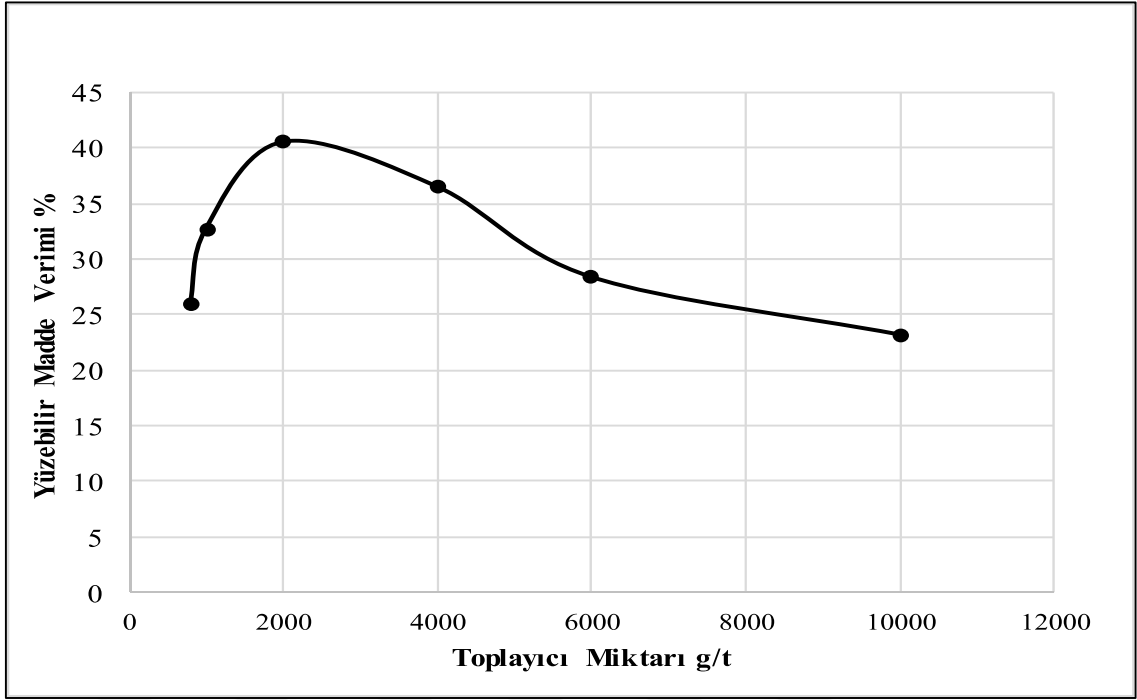


**Şekil 5.2.** Bastırıcı miktarının yüzebilir madde verimine etkisi (%10 katı oranı; 100 g/t MIBC; 2.000 g/t mazot; 4 L/d hava akış hızı; 4 dakika flotasyon süresi)

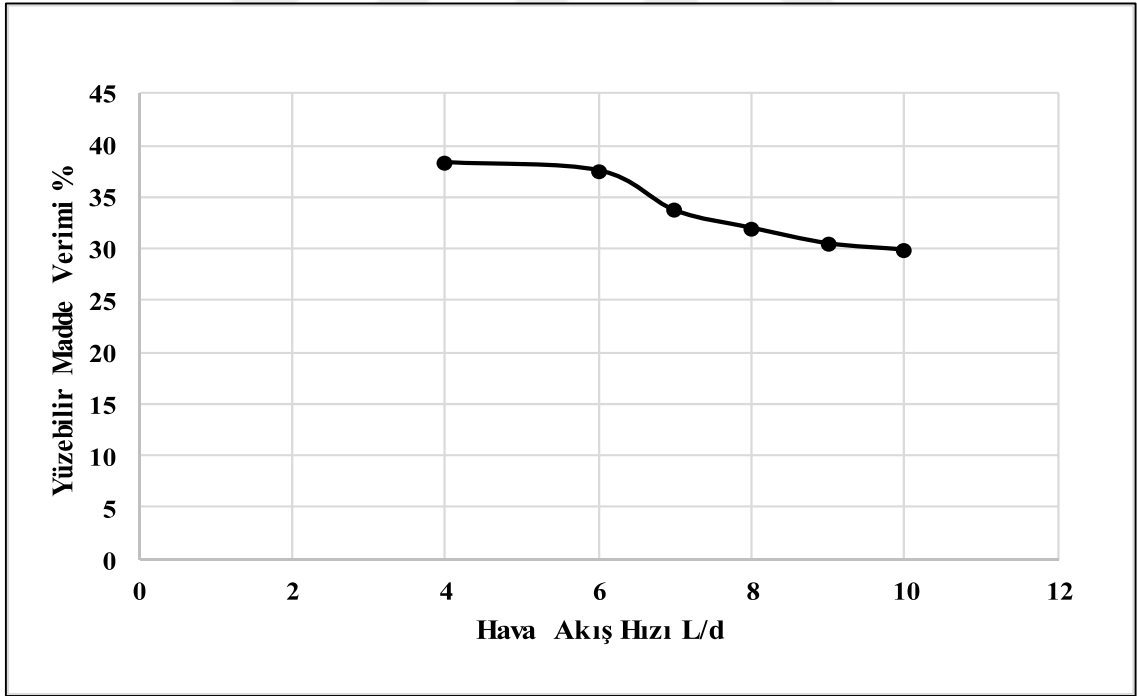
Bastırıcı miktarı için gerçekleştirilen ön flotasyon deneylerinde 750-7.000 g/t aralığında çalışılmış ve %34,91-40,09 arası yüzebilir madde verimleri elde edilirken, maksimum yüzebilir madde verimi 2.000 g/ton bastırıcı miktarı ile elde edilmiştir. Bu değerden sonra bastırıcı miktarının artırılması yüzebilir madde miktarında düşüşe neden olmuştur (Şekil 5.2). Bu nedenle farklı deneysel değişkenlerin kombinasyonlarının incelendiği deneysel çalışmalarda 750-7.000 g/t bastırıcı miktarı ile çalışılmasına karar verilmiştir.

Toplayıcı miktarı çalışma aralıklarının test edildiği ön flotasyon deneylerinde 800-10.000 g/t aralığında çalışılmış ve %23,2-40,59 arası yüzebilir madde verimleri elde edilirken, 2.000 g/t toplayıcı miktarı ile maksimum yüzebilir madde verimi elde edilmiştir (Şekil 5.3).





**Şekil 5.3.** Toplayıcı miktarının yüzebilir madde verimine etkisi (%10 Katı Oranı; 100 g/t MIBC; 2.000 g/t sodyum silikat; 4 L/d hava akış hızı; 4 dakika flotasyon süresi)



**Şekil 5.4.** Hava akış hızının yüzebilir madde verimine etkisi (%10 katı oranı; 100 g/t MIBC; 2.000 g/t sodyum silikat; 4 dakika flotasyon süresi)

Köpük akış hızını arttıran en önemli değişken hücreye beslenen hava akış hızıdır. Bu durumda artan hava akış hızı ile birlikte yüzebilir madde veriminin artması beklenebilir ancak hava akış hızı artışı ile yüzebilir madde veriminde düşüş olduğu gözlenmektedir. Bu duruma hava akış hızı artışının kabarcık boyutlarını büyütmesi ve

buna bağılı olarak kabarcık yüzey alanının azalmasının neden olabileceğı düşünölmektedir. En yüksek yüzebilir madde verimi (%40,59) çalışılan en düşük hava akış hızı (4 L/d) ile elde edilmiştir (Şekil 5.4).

## 5.2. Flotasyon Deneyi Sonuçları

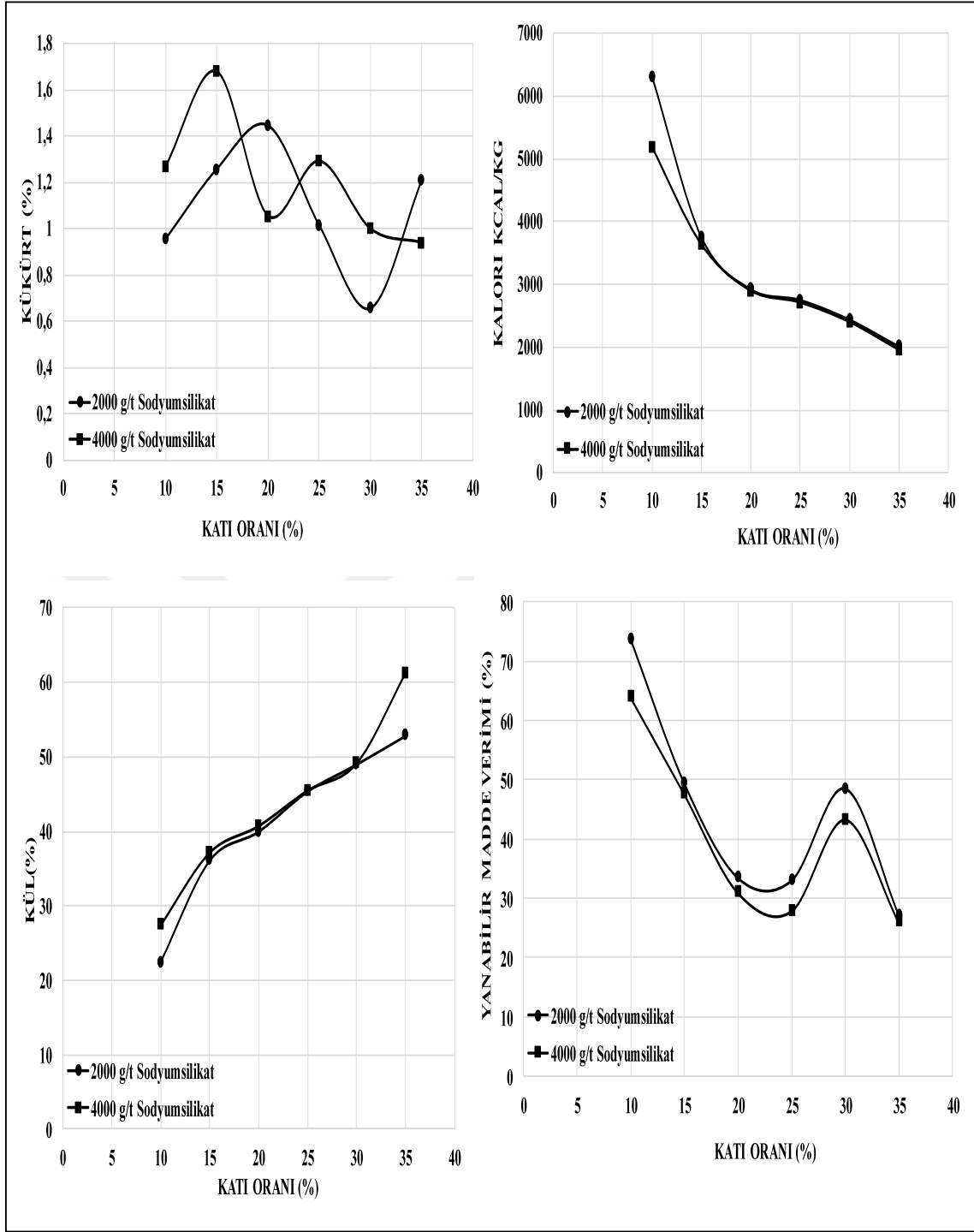
Lavvar tesisinde, tikiner altından alınan şlamlı malzeme ile yapılan ön flotasyon deneyleri sonucunda malzemenin düşük miktarlarda da olsa yüzdürölebildiğı gözlemlenmiştir. Ancak ürün kalitesi açısından bir değerlendirme yapılmamıştır. Bunun sonucunda çalışmanın ikinci aşamasında farklı deneysel değişken kombinasyonları ile deneyler gerçekleştirilerek şlam'ın tesise kazandırılma potansiyeli incelenmiştir. Bu aşamada flotasyon performansı, yanabilir madde verimi ve elde edilen ürün kalitesi (kül-kükürt-uçucu madde-kalori) açısından ele alınmıştır.

### 5.2.1. Farklı deneysel değişken kombinasyonlarında katı oranı ve bastırıcı miktarının flotasyon verimi ve ürün kalitesine etkisi

Farklı deneysel değişken kombinasyonlarının denendiğı ikinci aşamada ilk olarak 100 g/t köpürtücü, 2.000 g/t toplayıcı, 1.450 dev/dakika karıştırma hızı, 4 L/d hava akış hızı ve 4 dakika flotasyon süresi sabit tutularak 2.000 g/t ve 4.000 g/t bastırıcı miktarları için değişen katı oranlarında (%10-15-20-25-30-35) flotasyon deneyleri gerçekleştirilerek flotasyon performansı ve ürün kalitesi açısından değerlendirme yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5.1 ve şekil 5.5'te sunulmaktadır. 2.000 g/ton bastırıcı miktarı ile çalışıldığında en optimum sonuçlar %0,95 kükürt, 6.312 kalori, %22,4 kül ve %73,69 yanabilir madde verimi ile %10 katı oranında elde edilmiştir. 4.000 g/ton bastırıcı miktarında ise optimum sonuçlar, %1,27 kükürt, 5.188 kalori, %27,45 kül ve %63,89 yanabilir madde verimi ile yine %10 katı oranı ile elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışılan bu deney setinde %10 katı oranı ve 2.000 g/t Sodyum silikat kullanımında en düşük kül ve kükürt ile en yüksek ısı değeri ve yanabilir verimine sahip ürün elde edilmiştir. Artan katı oranı ile birlikte kalori miktarı ve yanabilir verim düşerken kül miktarı artmaktadır. Sabit karbon miktarı ise kalori miktarıyla uyumlu bir şekilde artan katı oranıyla birlikte düşmektedir (Tablo 5.1). Çalışılan her iki bastırıcı miktarı karşılıklı değerlendirildiğinde birbirine yakın değerlerde ve benzer eğilim göstermişlerdir (Şekil 5.5).

**Tablo 5.1.** 2.000 g/t ve 4.000 g/t sodyum silikat kullanımında tuncbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi  
(MIBC: 100 g/t; mazot: 2.000 g/t; hava akış hızı: 4 L/d; flotasyon süresi: 4 Dakika)

| Sodyum Silikat<br>Miktarı<br>(g/t) | Katı Oranı<br>(%) | Kükürt<br>(%) | Kalori<br>KCal/Kg | Kül<br>(%) | Nem<br>(%) | Uçucu Madde<br>Miktarı<br>(%) | Uçucu Madde<br>Miktarı Kuru<br>(%) | Kül Kuru<br>(%) | Sabit Karbon<br>(%) | Yanabilir<br>Madde Verimi<br>(%) |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|------------|------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| 2.000                              | 10                | 0,95          | 6.312             | 22,44      | 3,55       | 34,02                         | 35,27                              | 23,27           | 41,46               | 73,69                            |
|                                    | 15                | 1,26          | 3757              | 36,082     | 4,9        | 27,299                        | 28,05                              | 49,596          | 28,96               | 49,37                            |
|                                    | 20                | 1,44          | 2922,6            | 39,9814    | 3,245      | 22,0815                       | 25,54                              | 47,0806         | 23,7862             | 33,38                            |
|                                    | 25                | 1,01          | 2751,8            | 45,39      | 4,87       | 25,6521                       | 27,90                              | 46,05           | 24,56               | 32,90                            |
|                                    | 30                | 0,66          | 2439,8            | 49,035     | 3,65       | 22,345                        | 29,78                              | 51,11           | 25,01               | 48,43                            |
|                                    | 35                | 1,21          | 2015,3            | 52,9       | 13,45      | 18,25                         | 25,06                              | 46,3            | 13,9                | 27,13                            |
| 4.000                              | 10                | 1,27          | 5188,3            | 27,45      | 13,2       | 21,24                         | 24,47                              | 31,62           | 43,91               | 63,89                            |
|                                    | 15                | 1,68          | 3632,7            | 37,15      | 4,78       | 27,82                         | 29,21                              | 39,01           | 31,77               | 47,58                            |
|                                    | 20                | 1,05          | 2894,6            | 40,709     | 7,005      | 22,4926                       | 28,02                              | 52,111          | 28,97               | 30,92                            |
|                                    | 25                | 1,29          | 2706,3            | 45,45      | 11,2       | 17,29                         | 19,47                              | 51,18           | 29,35               | 27,81                            |
|                                    | 30                | 1,00          | 2395              | 49,1       | 12,04      | 14,81                         | 16,84                              | 55,82           | 27,34               | 43,25                            |
|                                    | 35                | 0,94          | 1950,1            | 61,2       | 2          | 24,79                         | 25,30                              | 62,45           | 12,26               | 25,94                            |



**Şekil 5.5.** 2.000 g/t ve 4.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi

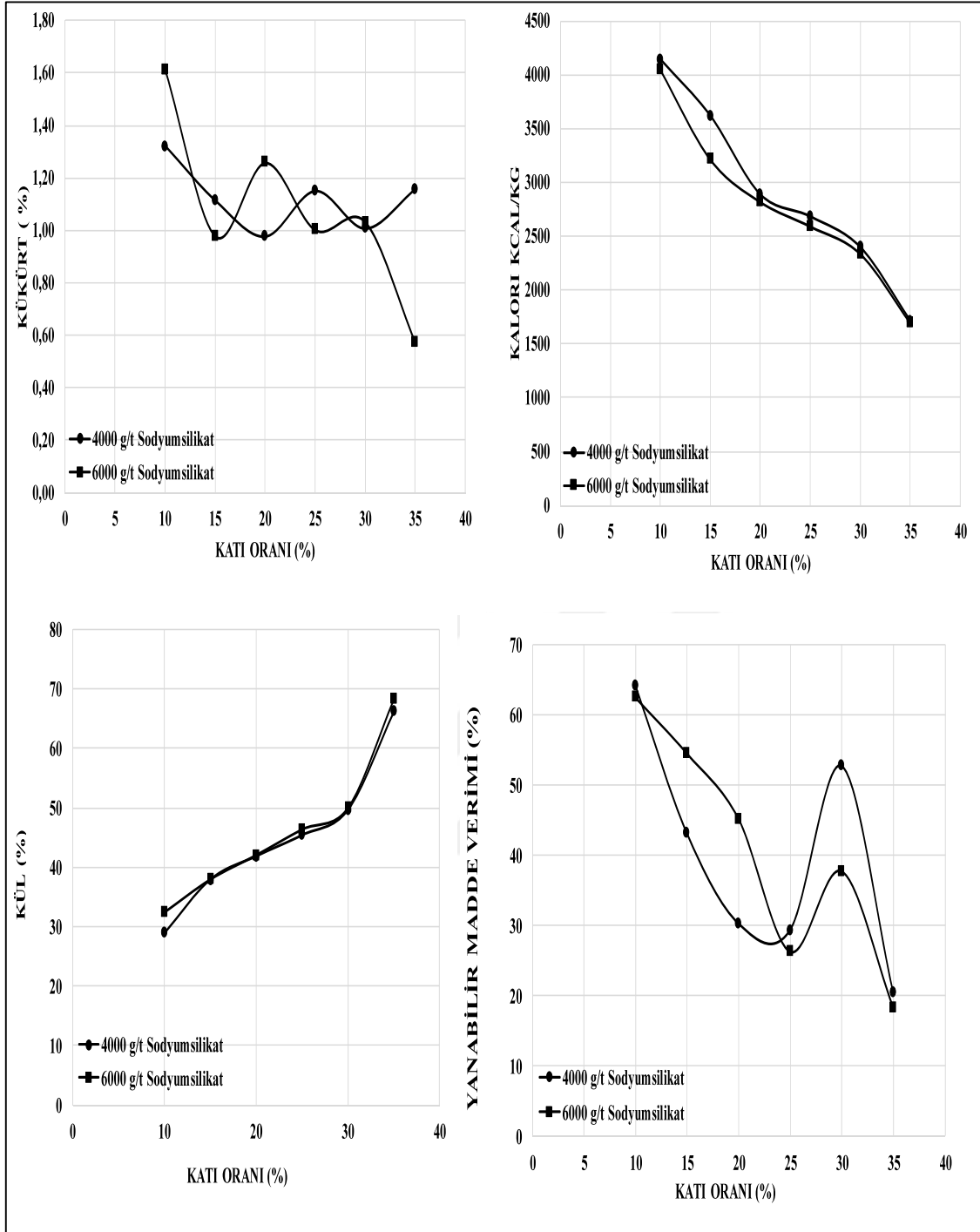
Farklı deneysel değişken kombinasyonlarının denendiği ikinci aşamada ikinci olarak 150 g/t köpürtücü, 4.000 g/t toplayıcı, 1.450 dev/dakika karıştırma hızı, 6 L/d hava akış hızı ve 6 dakika flotasyon süresi sabit tutularak 4.000 g/t ve 6.000 g/t bastırıcı miktarları için değişen katı oranlarında (%10-15-20-25-30-35) flotasyon deneyleri gerçekleştirilerek flotasyon performansı ve ürün kalitesi açısından değerlendirme

yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5.2 ve şekil 5.6'da sunulmaktadır. 4.000 g/ton bastırıcı miktarı ile çalışıldığında en optimum sonuçlar %1,32 kükürt, 4.140 kalori, %28,96 kül ve %64,20 yanabilir madde verimi ile %10 katı oranında elde edilmiştir. 6.000 g/ton bastırıcı miktarında ise optimum sonuçlar, %1,61 kükürt, 4.042 kalori, %32,53 kül ve %62,51 yanabilir madde verimi ile yine %10 katı oranı ile elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışılan bu deney setinde %10 katı oranı ve 4.000 g/t Sodyum silikat kullanımında en düşük kül ve kükürt ile en yüksek ısı değere sahip ürün elde edilmiştir (Tablo 5.2). Ancak elde edilen sonuçlar bir önceki deney setiyle kıyaslandığında bir önceki deney setinde sabit tutulan deneysel değişkenler ve 2.000 g/t bastırıcı - %10 katı oranı ile ürün kalitesi ve verim açısından daha iyi sonuç elde edildiği görülmektedir (Tablo 5.1; Şekil 5.5). Bir önceki deney setinde, %10 katı oranı ve 4000 g/t bastırıcı kullanıldığında gerçekleştirilen deneysel çalışma ile 5.188 kalori, %27 kül ve %63,89 yanabilir madde verimi olan ürün elde edilirken bu sette köpürtücü miktarı (150 g/t), toplayıcı miktarı (4.000g/t) ve hava akış hızı (6 L/d) ile flotasyon süresindeki (6 dakika) artışlar köpüğe gelen malzeme miktarında fazla değişikliğe sebep olmamakla birlikte ürün kalitesinin düşmesine sebep olmuştur. Bu nedenle bu sette gerçekleştirilen deneyler ile daha iyi bir zenginleştirme işlemi gerçekleştirilememiştir.

Bu deney setinde de artan katı oranı ile birlikte kalori miktarı ve yanabilir verim düşerken kül miktarı artmakta ve çalışılan her iki bastırıcı miktarı karşılıklı değerlendirildiğinde birbirine yakın değerlerde ve benzer eğilim gösterdikleri görülmektedir (Şekil 5.6). İnce kömür tanecikleri için daha düşük pülp yoğunluğunda çalışılması gerektiği geçmişte yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir (Öney, 1993; Oruç 1996). Bu aşamaya kadar gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda en kaliteli ürünler %10 katı oranıyla yapılan çalışmalarda elde edilmiştir (Şekil 5.6). Ancak burada amaç 2.500 Kcal/Kg üstü malzeme elde etmek olduğu için nispeten fazla yüzebilir madde elde edilebilirliğinin test edilmesi açısından diğer deney setleri için yüksek katı oranları denenmeye devam edilmiştir.

**Tablo 5.2.** 4.000 g/t ve 6.000 g/t sodyum silikat kullanımında tuncbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi  
(MIBC: 150 g/t; Mazot:4.000 g/t; Hava Akış Hızı: 6 L/d; Flotasyon Süresi: 6 Dakika)

| Sodyum Silikat<br>Miktarı (g/t) | Katı Oranı<br>(%) | Kükürt<br>(%) | Kalori<br>KCal/Kg | Kül<br>(%) | Nem<br>(%) | Uçucu<br>(%) | Uçucu Kuru<br>(%) | Kül Kuru<br>(%) | Sabit Karbon<br>(%) | Yanabilir Madde Verimi<br>(%) |
|---------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| 4.000                           | 10                | 1,32          | 4140,00           | 28,96      | 2,36       | 17,99        | 20,75             | 31,23           | 30,20               | 64,20                         |
|                                 | 15                | 1,11          | 3614,80           | 37,99      | 3,16       | 28,04        | 29,38             | 44,95           | 30,86               | 43,10                         |
|                                 | 20                | 0,98          | 2885,00           | 41,92      | 6,22       | 23,58        | 25,15             | 44,70           | 30,16               | 30,28                         |
|                                 | 25                | 1,15          | 2680,00           | 45,46      | 5,67       | 25,99        | 26,92             | 46,9,3          | 27,91               | 29,32                         |
|                                 | 30                | 1,01          | 2394,60           | 49,75      | 4,82       | 25,54        | 26,85             | 49,99           | 19,98               | 52,70                         |
|                                 | 35                | 1,16          | 1711,60           | 66,30      | 1,85       | 20,80        | 21,03             | 67,10           | 21,88               | 20,53                         |
| 6.000                           | 10                | 1,61          | 4042,40           | 32,53      | 2,83       | 18,88        | 23,41             | 38,11           | 28,88               | 62,51                         |
|                                 | 15                | 0,98          | 3210,80           | 38,06      | 3,15       | 29,87        | 30,84             | 39,30           | 29,86               | 54,54                         |
|                                 | 20                | 1,26          | 2817,00           | 42,15      | 2,92       | 26,51        | 27,90             | 43,51           | 30,50               | 45,24                         |
|                                 | 25                | 1,00          | 2590,35           | 46,47      | 2,99       | 20,64        | 25,50             | 51,00           | 28,20               | 26,29                         |
|                                 | 30                | 1,03          | 2335,40           | 50,12      | 8,46       | 24,29        | 26,54             | 54,75           | 18,71               | 37,76                         |
|                                 | 35                | 0,57          | 1692,40           | 68,41      | 1,64       | 19,49        | 19,81             | 69,55           | 10,64               | 18,40                         |



**Şekil 5.6.** 4.000 g/t ve 6.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi

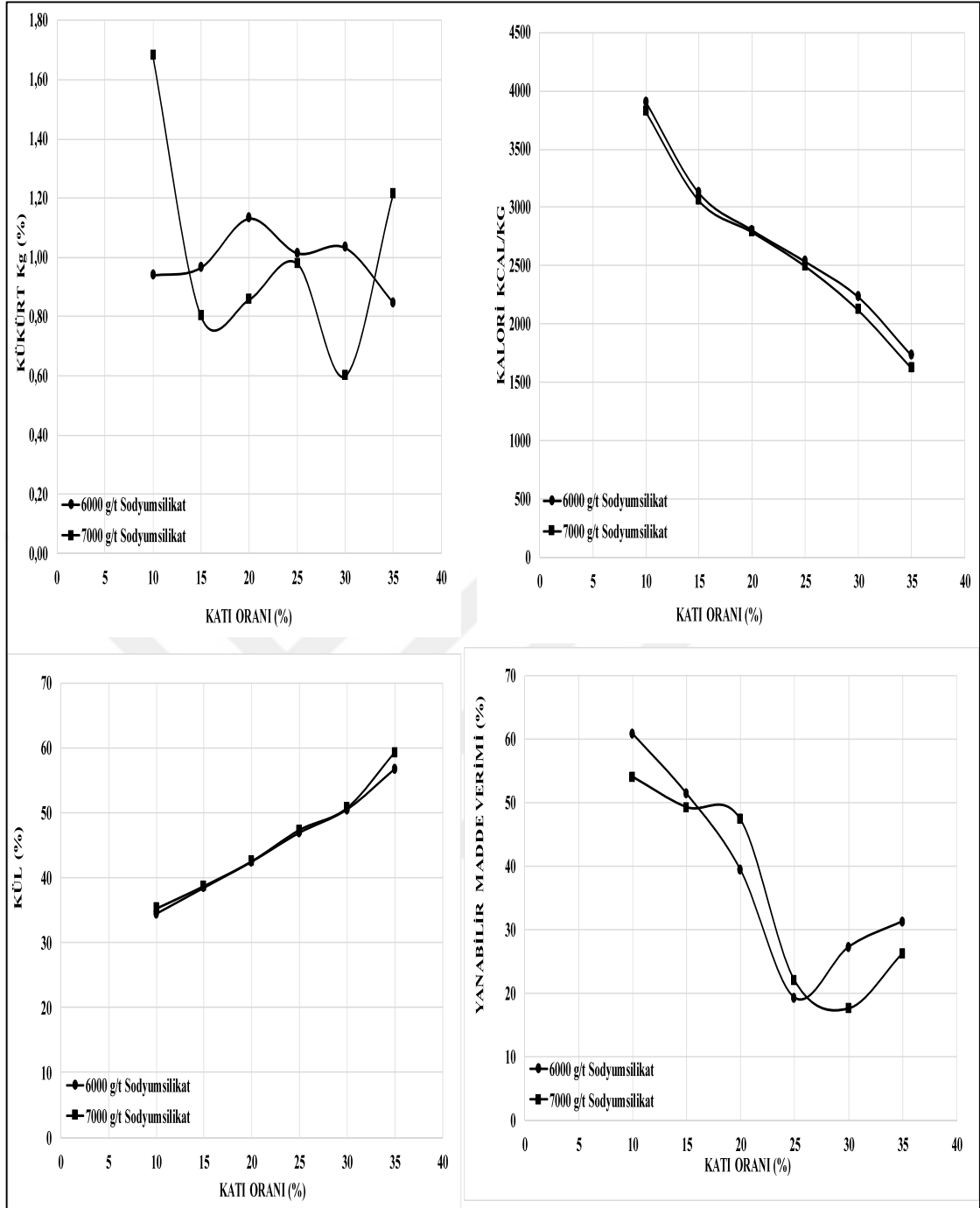
Farklı deneysel değişken kombinasyonlarının denendiği ikinci aşamada üçüncü olarak 200 g/t köpürtücü, 6.000 g/t toplayıcı, 1.450 dev/dakika karıştırma hızı, 7 L/d hava akış hızı ve 7 dakika flotasyon süresi sabit tutularak 6.000 g/t ve 7.000 g/t bastırıcı miktarları için değişen katı oranlarında (%10-15-20-25-30-35) flotasyon deneyleri gerçekleştirilerek flotasyon performansı ve ürün kalitesi açısından değerlendirme yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5.3 ve şekil 5.7’de



sunulmaktadır. 6.000 g/t bastırıcı miktarı ile çalışıldığında en optimum sonuçlar %0,94 kükürt, 3.900 KCal/Kg kalori, %34,35 kül, %60,85 yanabilir madde verimi ile %10 katı oranında elde edilmiştir. 7.000 g/t bastırıcı miktarında ise optimum sonuçlar %1,68 kükürt, 3.800 KCal/Kg kalori, %35,24 kül, %54,03 yanabilir madde verimi ile yine %10 katı oranında elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışılan bu deney setinde %10 katı oranı ve 6.000 g/t Sodyum Silikat kullanımında en düşük kül ve kükürt ile en yüksek ısı değeri ve yanabilir madde verimine sahip ürün elde edilmiştir (Tablo 5.3). Deneysel çalışmalarda reaktif miktarları ve diğer değişkenler arttıkça deneyler neticesinde elde edilen numuneler, optimum sonuçtan uzaklaşmakta ve ürün kalitesi düşmektedir. Kalorifik değeri anlamında optimum koşullardan itibaren yarıya yakın bir düşme olmasına karşın yanabilir madde veriminde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

**Tablo 5.3.** 6.000 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi  
(MIBC: 200 g/t; mazot:6.000 g/t; hava akış hızı: 7 L/d; flotasyon süresi: 7 dakika)

| Sodyum Silikat<br>Miktarı<br>(g/t) | Katı Oranı<br>(%) | Kükürt<br>(%) | Kalori<br>KCal/Kg | Kül<br>(%) | Nem<br>(%) | Uçucu<br>Madde Miktarı<br>(%) | Uçucu<br>Madde Miktarı<br>(%) | Kül Kuru<br>(%) | Sabit Karbon<br>(%) | Yanabilir Madde<br>Verimi<br>(%) |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| 6.000                              | 10                | 0,94          | 3900,92           | 34,35      | 15,77      | 15,24                         | 18,10                         | 40,78           | 41,12               | 60,85                            |
|                                    | 15                | 0,96          | 3120,70           | 38,37      | 4,76       | 26,71                         | 28,05                         | 40,29           | 31,66               | 51,41                            |
|                                    | 20                | 1,13          | 2802,80           | 42,39      | 6,33       | 24,08                         | 24,51                         | 46,77           | 27,86               | 39,38                            |
|                                    | 25                | 1,01          | 2533,50           | 46,85      | 5,50       | 22,38                         | 25,16                         | 61,24           | 24,92               | 19,21                            |
|                                    | 30                | 1,03          | 2230,00           | 50,46      | 3,90       | 24,28                         | 25,27                         | 52,50           | 22,23               | 27,17                            |
|                                    | 35                | 0,85          | 1728,49           | 56,70      | 5,25       | 17,58                         | 22,34                         | 61,24           | 19,74               | 31,25                            |
| 7.000                              | 10                | 1,68          | 3816,90           | 35,24      | 12,20      | 25,37                         | 32,97                         | 45,79           | 27,24               | 54,03                            |
|                                    | 15                | 0,80          | 3056,85           | 38,71      | 3,53       | 24,90                         | 27,33                         | 39,81           | 17,81               | 49,24                            |
|                                    | 20                | 0,86          | 2787,80           | 42,50      | 4,39       | 24,10                         | 24,74                         | 50,32           | 29,30               | 47,30                            |
|                                    | 25                | 0,98          | 2495,00           | 47,32      | 4,26       | 25,95                         | 28,35                         | 50,42           | 23,05               | 21,97                            |
|                                    | 30                | 0,60          | 2117,60           | 50,70      | 4,78       | 25,79                         | 28,78                         | 59,97           | 23,02               | 17,50                            |
|                                    | 35                | 1,22          | 1621,00           | 59,24      | 3,39       | 20,17                         | 23,12                         | 64,50           | 17,89               | 26,17                            |



**Şekil 5.7.** 6.000 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi

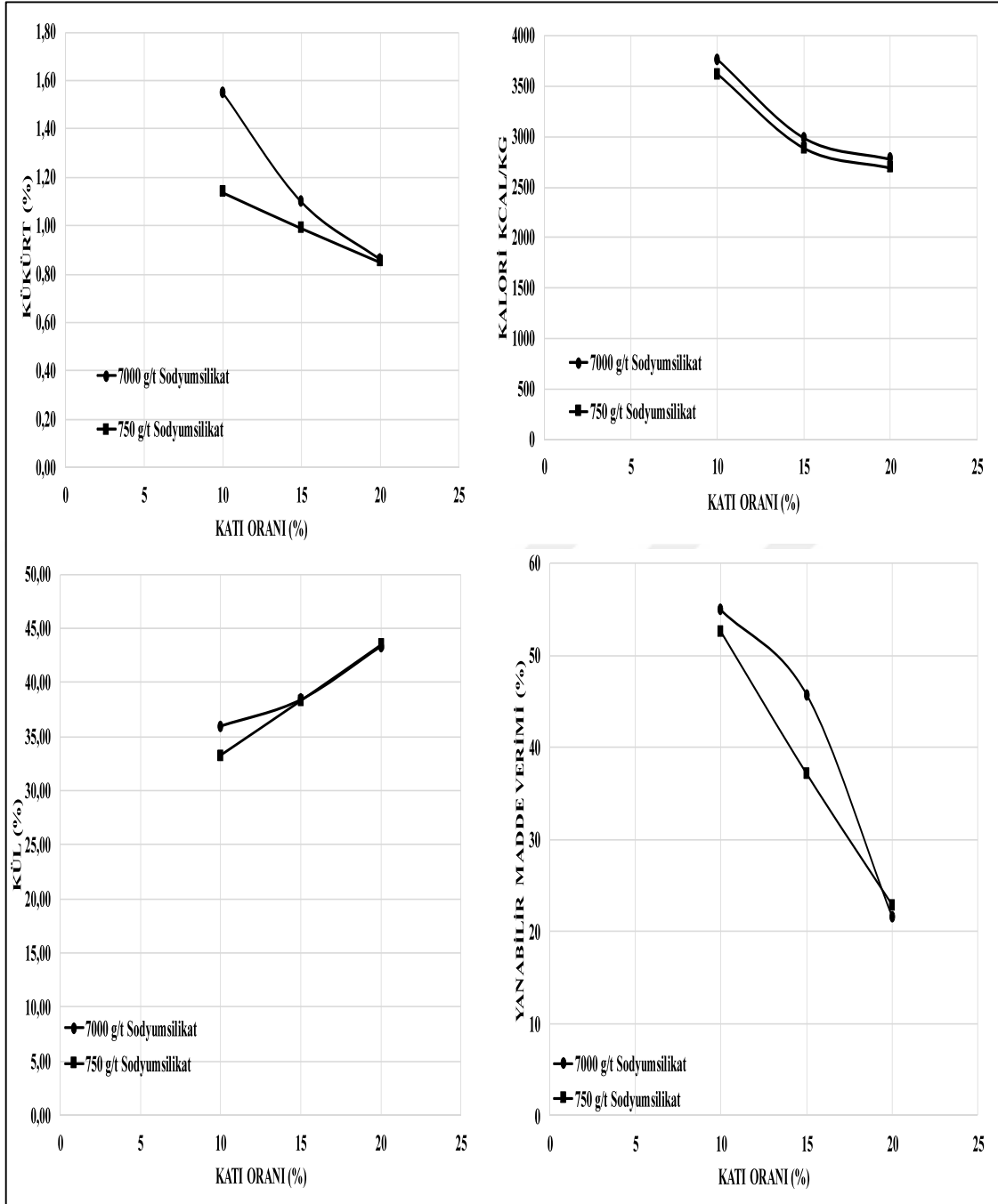
Farklı deneysel değişken kombinasyonların denendiği ikinci aşamada, dördüncü olarak 75 g/t köpürtücü, 800 g/t toplayıcı, 1.450 dev/dakika karıştırma hızı ve 8 L/d hava akış hızı ile 8 dakika flotasyon süresi sabit tutularak, 750 g/t ve 7.000 g/t bastırıcı miktarları için değişen katı oranlarında (% 10-15-20) flotasyon deneyleri gerçekleştirilerek flotasyon performansı ve ürün kalitesi açısından değerlendirme yapılmıştır. Yüksek katı oranlarının deney sonuçlarını olumsuz etkilediği gözle bile tespit

edilebilir halde geldiği için deney setinde %20'den yüksek katı oranlarında çalışılmamıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5.4 ve şekil 5.9'da sunulmaktadır. 750 g/t bastırıcı ile çalışıldığına optimum sonuçlar, %1,14 kükürt, 3.617 KCal/Kg kalori, %33,25 kül ve %52,6 yanabilir madde verimi %10 katı oranında elde edilmiştir. 7.000 g/t bastırıcı miktarında ise optimum sonuçlar, %1,55 kükürt, 3.761 KCal/Kg kalori, %35,90 kül ve %54,96 yanabilir madde verimi ile yine %10 katı oranı ile elde edilmiştir.

Bu deney setinde köpürtücü miktarının azaltılmasından kaynaklı olarak köpük miktarında azalma olduğu gözlenmiştir. Köpük miktarının azalmasıyla köpüğe yapışan tanecik miktarında da azalma olmuştur, dayanımların azalmasıyla sönen veya birbirine karışan kabarcıklarda flotasyon performansını azaltmıştır.

**Tablo 5.4.** 750 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat kullanımında tunçbilek linyit kömürünün flotasyonuna katı oranının etkisi  
(MIBC: 75 g/t; mazot:800 g/t; hava akış hızı: 8 L/d; flotasyon süresi: 8 dakika)

| Sodyum Silikat Miktarı (g/t) | Katı Oranı (%) | Kükürt (%) | Kalori KCal/Kg | Kül (%) | Nem (%) | Uçucu Madde Miktarı (%) | Uçucu Madde Miktarı Kuru (%) | Kül Kuru (%) | Sabit Karbon (%) | Yanabilir Madde Verimi (%) |
|------------------------------|----------------|------------|----------------|---------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------|------------------|----------------------------|
| 7.000                        | 10             | 1,55       | 3761,00        | 35,90   | 7,60    | 22,65                   | 29,40                        | 58,10        | 34,56            | 54,96                      |
|                              | 15             | 1,10       | 2985,90        | 38,36   | 8,25    | 20,72                   | 27,44                        | 38,88        | 32,23            | 45,71                      |
|                              | 20             | 0,86       | 2774,40        | 43,30   | 8,40    | 17,74                   | 29,93                        | 44,16        | 32,42            | 21,68                      |
| 750                          | 10             | 1,14       | 3617,09        | 33,25   | 4,21    | 26,79                   | 28,69                        | 40,32        | 29,22            | 52,60                      |
|                              | 15             | 0,99       | 2887,00        | 38,28   | 7,65    | 20,45                   | 24,50                        | 39,21        | 25,44            | 37,18                      |
|                              | 20             | 0,85       | 2690,00        | 43,46   | 6,35    | 18,21                   | 25,90                        | 48,09        | 31,66            | 22,93                      |



Şekil 5.8. 750 g/t ve 7.000 g/t sodyum silikat miktarları için katı oranına bağlı olarak kükürt, kalori, kül ve yanabilir madde verimlerinin değişimi

### 5.2.2. Tartışma

Kütahya ili, Tunçbilek ilçesinde bulunan lavvar tesisindeki tikiner altı kaçak şamlı malzemenin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilerek tesis veriminin artırılması ve şlamın ekonomiye kazandırılmasının amaçlandığı bu çalışmada ilk olarak şlamın yüzebilirliğini test etmek amacıyla değişen köpürtücü, toplayıcı, bastırıcı konsantrasyonları ile değişen hava akış hızı ve flotasyon sürelerinde ön deneyler

gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmalarda optimum köpürtücü miktarı 100 g/t; toplayıcı miktarı 2.000 g/t; bastırıcı miktarı 2.000 g/t olarak belirlenmiştir. Flotasyon performansının sadece yüzebilir madde verimi dikkate alınarak değerlendirildiği bu aşamada kömürün %40 civarında yüzdürülebildiği görülmüştür.

Flotasyonda birçok parametre birbiri ile yakından ilişkilidir. Bu yüzden flotasyonu etkileyen bütün faktörleri karşılıklı dikkate almak gereklidir. Bir parametredeki değişiklik otomatik olarak diğer parametreleri (yanabilir madde verimi, kül oranı vb.) birlikte dikkate alınmalıdır. Bu amaçla ön optimizasyon çalışmalarından sonra dört farklı deney seti halinde, çalışılan tüm deneysel değişkenlerin (toplayıcı miktarı, bastırıcı miktarı, katı oranı, hava akış hızı, flotasyon süresi) farklı kombinasyonlarda karşılıklı etkileşiminin incelendiği flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Flotasyon performansının yanabilir madde verimi ve elde edilen ürün kalitesi (kül-kükürt-uçucu madde-kalori) açısından ele alındığı bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar toplu halde tablo 5.5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.5.** Flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen veriler

| Numune No | Katı Oran (%) | MIBC Miktarı g/t | Sodyum Silikat Miktarı g/t | Mazot Miktarı g/t | Hava Akış Hızı (L/d) | Flotasyon Süresi (dakika) | Kükürt (%) | Nem (%) | Uçucu Madde Miktarı (%) | Kül (%) | Uçucu Madde Miktarı Kuru (%) | Kül Kuru (%) | Sabit karbon (%) | Kalori KCal/Kg | Yanabilir Madde Verimi (%) |
|-----------|---------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|------------|---------|-------------------------|---------|------------------------------|--------------|------------------|----------------|----------------------------|
| 1         | 100           | 2.000            | 2.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 0,95       | 3,55    | 34,02                   | 22,44   | 35,27                        | 23,27        | 41,46            | 6.312,00       | 73,69                      |
| 2         | 100           | 4.000            | 2.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 1,27       | 13,20   | 21,24                   | 27,45   | 24,47                        | 31,62        | 43,91            | 5188,30        | 63,89                      |
| 3         | 150           | 4.000            | 4.000                      | 4.000             | 6                    | 6                         | 1,32       | 2,36    | 17,99                   | 28,96   | 20,75                        | 31,23        | 30,20            | 4140,00        | 64,20                      |
| 4         | 150           | 6.000            | 4.000                      | 4.000             | 6                    | 6                         | 1,61       | 2,83    | 18,88                   | 32,53   | 23,41                        | 38,11        | 28,88            | 4042,40        | 62,51                      |
| 5         | 200           | 6.000            | 6.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 0,94       | 15,77   | 15,24                   | 34,35   | 18,10                        | 40,78        | 41,12            | 3900,92        | 60,85                      |
| 6         | 200           | 7.000            | 6.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 1,68       | 12,20   | 25,37                   | 35,24   | 32,97                        | 45,79        | 27,24            | 3816,90        | 54,03                      |
| 7         | 75            | 7.000            | 800                        | 800               | 8                    | 8                         | 1,55       | 7,60    | 22,65                   | 35,90   | 29,40                        | 58,10        | 34,56            | 3761,00        | 54,96                      |
| 8         | 75            | 750              | 800                        | 800               | 8                    | 8                         | 1,14       | 4,21    | 26,79                   | 33,25   | 28,69                        | 40,32        | 29,22            | 3617,09        | 52,6                       |
| 9         | 50            | 750              | 10.000                     | 9                 | 9                    | 9                         | 1,21       | 8,36    | 28,70                   | 38,41   | 30,56                        | 41,44        | 26,68            | 3600,80        | 54,23                      |
| 10        | 50            | 1.000            | 1.000                      | 10                | 10                   | 10                        | 1,21       | 6,40    | 28,26                   | 35,00   | 29,69                        | 39,48        | 28,98            | 3531,60        | 48,2                       |
| 11        | 100           | 2.000            | 2.000                      | 4                 | 4                    | 4                         | 1,26       | 4,90    | 27,30                   | 36,08   | 28,05                        | 49,60        | 28,96            | 3757,00        | 49,37                      |
| 12        | 100           | 4.000            | 2.000                      | 4                 | 4                    | 4                         | 1,68       | 4,78    | 27,82                   | 37,15   | 29,21                        | 39,01        | 31,77            | 3632,70        | 47,58                      |
| 13        | 150           | 4.000            | 4.000                      | 6                 | 6                    | 6                         | 1,11       | 3,16    | 28,04                   | 37,99   | 29,38                        | 44,95        | 30,86            | 3614,80        | 43,11                      |
| 14        | 150           | 6.000            | 4.000                      | 6                 | 6                    | 6                         | 0,98       | 3,15    | 29,87                   | 38,06   | 30,84                        | 39,30        | 29,86            | 3210,80        | 54,54                      |
| 15        | 200           | 6.000            | 6.000                      | 7                 | 7                    | 7                         | 0,96       | 4,76    | 26,71                   | 38,37   | 28,05                        | 40,29        | 31,66            | 3120,70        | 51,41                      |
| 16        | 200           | 7.000            | 6.000                      | 7                 | 7                    | 7                         | 0,80       | 3,53    | 24,90                   | 38,71   | 27,33                        | 39,81        | 17,81            | 3056,85        | 49,24                      |
| 17        | 75            | 7.000            | 800                        | 8                 | 8                    | 8                         | 1,10       | 8,25    | 20,72                   | 38,36   | 27,44                        | 38,88        | 32,23            | 2985,90        | 45,71                      |
| 18        | 75            | 750              | 800                        | 8                 | 8                    | 8                         | 0,99       | 7,65    | 20,45                   | 38,28   | 24,50                        | 39,21        | 25,44            | 2887,00        | 37,18                      |
| 19        | 50            | 750              | 10.000                     | 9                 | 9                    | 9                         | 1,11       | 5,46    | 25,36                   | 36,46   | 27,64                        | 38,99        | 27,19            | 2711,19        | 31,41                      |
| 20        | 50            | 1.000            | 1.000                      | 10                | 10                   | 10                        | 1,02       | 6,38    | 19,99                   | 39,01   | 23,79                        | 41,01        | 28,85            | 2651,00        | 33,92                      |
| 21        | 100           | 2.000            | 2.000                      | 4                 | 4                    | 4                         | 1,44       | 3,25    | 22,08                   | 39,98   | 25,54                        | 40,08        | 23,79            | 2922,60        | 33,38                      |
| 22        | 100           | 4.000            | 2.000                      | 4                 | 4                    | 4                         | 1,05       | 7,01    | 22,49                   | 40,71   | 28,02                        | 52,11        | 28,97            | 2894,60        | 30,92                      |
| 23        | 150           | 4.000            | 4.000                      | 6                 | 6                    | 6                         | 0,98       | 6,22    | 23,58                   | 41,92   | 25,15                        | 44,70        | 30,16            | 2885,00        | 30,28                      |
| 24        | 150           | 6.000            | 4.000                      | 6                 | 6                    | 6                         | 1,26       | 2,92    | 26,51                   | 42,15   | 27,90                        | 43,51        | 30,50            | 2817,00        | 45,00                      |
| 25        | 200           | 6.000            | 6.000                      | 7                 | 7                    | 7                         | 1,13       | 6,33    | 24,08                   | 42,39   | 24,51                        | 46,77        | 27,86            | 2802,80        | 39,38                      |
| 26        | 200           | 7.000            | 6.000                      | 7                 | 7                    | 7                         | 0,86       | 4,39    | 24,10                   | 42,50   | 24,74                        | 50,32        | 29,30            | 2787,80        | 47,3                       |
| 27        | 75            | 7.000            | 800                        | 8                 | 8                    | 8                         | 0,86       | 8,40    | 17,74                   | 43,30   | 29,93                        | 44,16        | 32,42            | 2774,40        | 21,68                      |
| 28        | 75            | 750              | 800                        | 8                 | 8                    | 8                         | 0,85       | 6,35    | 18,21                   | 43,46   | 25,90                        | 48,09        | 31,66            | 2690,00        | 22,93                      |

Tablo 5.5. (devamı) Flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen veriler

| Numune No | Katı Oranı (%) | MIBC Miktarı g/t | Sodyum Silikat Miktarı g/t | Mazot Miktarı g/t | Hava Akış Hızı (L/d) | Flotasyon Süresi (dakika) | Kükürt (%) | Nem (%) | Uçucu Madde Miktarı (%) | Kül (%) | Uçucu Madde Miktarı Kuru % <sub>1</sub> | Kül Kuru (%) | Sabit karbon (%) | Kalori KCal/Kg | Yanabilir Madde Verimi (%) |       |
|-----------|----------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|------------|---------|-------------------------|---------|-----------------------------------------|--------------|------------------|----------------|----------------------------|-------|
| 29        | 25%            | 50               | 750                        | 10.000            | 9                    | 9                         | 0,91       | 5,46    | 19,90                   | 44,58   | 27,43                                   | 47,64        | 30,14            | 2470,00        | 20,17                      |       |
| 30        |                | 50               | 1.000                      | 1.000             | 10                   | 10                        | 1,15       | 6,41    | 21,14                   | 45,28   | 29,10                                   | 49,92        | 27,15            | 2.385,50       | 24,72                      |       |
| 31        |                | 100              | 2.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 1,01       | 4,87    | 25,65                   | 45,39   | 27,90                                   | 46,05        | 24,56            | 2751,80        | 32,9                       |       |
| 32        |                | 100              | 4.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 1,29       | 11,20   | 17,29                   | 45,45   | 19,47                                   | 51,18        | 29,35            | 2706,30        | 27,81                      |       |
| 33        |                | 150              | 4.000                      | 4.000             | 6                    | 6                         | 1,15       | 5,67    | 25,99                   | 45,46   | 26,92                                   | 46,93        | 27,91            | 2680,00        | 29,32                      |       |
| 34        |                | 150              | 6.000                      | 4.000             | 6                    | 6                         | 1,00       | 2,99    | 20,64                   | 46,47   | 25,50                                   | 51,00        | 28,20            | 2590,35        | 26,29                      |       |
| 35        |                | 200              | 6.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 1,01       | 5,50    | 22,38                   | 46,85   | 25,16                                   | 61,24        | 24,92            | 2533,50        | 19,21                      |       |
| 36        |                | 200              | 7.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 0,98       | 4,26    | 25,95                   | 47,32   | 28,35                                   | 50,42        | 23,05            | 2495,00        | 21,97                      |       |
| 37        |                | 75               | 7.000                      | 800               | 8                    | 8                         | 0,99       | 3,88    | 27,30                   | 48,52   | 29,21                                   | 51,60        | 31,05            | 2460,86        | 17,17                      |       |
| 38        |                | 200              | 750                        | 10.000            | 9                    | 9                         | 0,92       | 5,56    | 28,40                   | 48,84   | 30,02                                   | 52,38        | 17,45            | 2309,00        | 22,28                      |       |
| 39        |                | 75               | 1.000                      | 4.000             | 6                    | 10                        | 0,98       | 4,16    | 23,92                   | 41,60   | 27,12                                   | 49,00        | 31,82            | 2618,84        | 25,98                      |       |
| 40        |                | 30%              | 100                        | 2.000             | 2.000                | 4                         | 4          | 0,66    | 3,65                    | 22,35   | 49,04                                   | 29,78        | 51,11            | 25,01          | 2439,80                    | 48,43 |
| 41        |                |                  | 100                        | 4.000             | 2.000                | 4                         | 4          | 1,00    | 12,04                   | 14,81   | 49,10                                   | 16,84        | 55,82            | 27,34          | 2395,00                    | 43,25 |
| 42        |                |                  | 150                        | 4.000             | 4.000                | 6                         | 6          | 1,01    | 4,82                    | 25,54   | 49,75                                   | 26,85        | 49,99            | 19,98          | 2394,60                    | 52,7  |
| 43        |                |                  | 150                        | 6.000             | 4.000                | 6                         | 6          | 1,03    | 8,46                    | 24,29   | 50,12                                   | 26,54        | 54,75            | 18,71          | 2335,40                    | 37,76 |
| 44        | 200            |                  | 6.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 1,03       | 3,90    | 24,28                   | 50,46   | 25,27                                   | 52,50        | 22,23            | 2230,00        | 27,17                      |       |
| 45        | 200            |                  | 7.000                      | 6.000             | 7                    | 7                         | 0,60       | 4,78    | 25,79                   | 50,70   | 28,78                                   | 59,97        | 23,02            | 2117,60        | 17,5                       |       |
| 46        | 75             |                  | 7.000                      | 800               | 8                    | 8                         | 0,98       | 2,93    | 24,80                   | 52,83   | 25,55                                   | 54,43        | 20,03            | 2084,20        | 18,94                      |       |
| 47        | 50             |                  | 750                        | 800               | 8                    | 8                         | 1,21       | 3,41    | 23,53                   | 51,11   | 27,99                                   | 55,06        | 21,89            | 2177,00        | 22,66                      |       |
| 48        | 75             |                  | 1.000                      | 4.000             | 6                    | 10                        | 0,99       | 2,48    | 23,81                   | 51,71   | 29,39                                   | 54,60        | 21,58            | 2285,71        | 19,02                      |       |
| 49        | 100            |                  | 2.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 1,21       | 13,45   | 18,25                   | 52,90   | 25,06                                   | 56,30        | 13,90            | 2015,30        | 27,13                      |       |
| 50        | 100            |                  | 4.000                      | 2.000             | 4                    | 4                         | 0,94       | 2,00    | 24,79                   | 61,20   | 25,30                                   | 62,45        | 12,26            | 1950,10        | 25,94                      |       |
| 51        | 35%            |                  | 150                        | 4.000             | 4.000                | 6                         | 6          | 1,16    | 1,85                    | 20,80   | 66,30                                   | 21,03        | 67,10            | 21,88          | 1711,60                    | 20,53 |
| 52        |                |                  | 150                        | 6.000             | 4.000                | 6                         | 6          | 0,57    | 1,64                    | 19,49   | 68,41                                   | 19,81        | 69,55            | 10,64          | 1692,40                    | 18,4  |
| 53        |                |                  | 200                        | 6.000             | 6.000                | 7                         | 7          | 0,85    | 5,25                    | 17,58   | 56,70                                   | 22,34        | 61,24            | 19,74          | 1728,49                    | 31,25 |
| 54        |                |                  | 200                        | 7.000             | 6.000                | 7                         | 7          | 1,22    | 3,39                    | 20,17   | 59,24                                   | 23,12        | 64,50            | 17,89          | 1621,00                    | 26,17 |
| 55        |                | 200              | 750                        | 10.000            | 9                    | 9                         | 1,26       | 14,88   | 14,21                   | 61,50   | 17,55                                   | 69,99        | 9,89             | 1200,30        | 18,86                      |       |

Tablodan da görülebileceği gibi artan katı oranları ile elde edilen ürün kalitesinde düşüş gözlenmektedir. Bütün deney setleri için optimum sonuçlar, %10 katı oranıyla yapılan çalışmalarda elde edilmiştir ve artan katı oranı ile kül oranı da artarken kalori değeri düşmüştür. İnce kömür tanecikleri için daha düşük pülp yoğunluğunda çalışılması gerektiği geçmişte yapılan flotasyon çalışmalarında da tespit edilmiştir (Öney, 1993; Oruç, 1996; Ayhan vd., 2003).

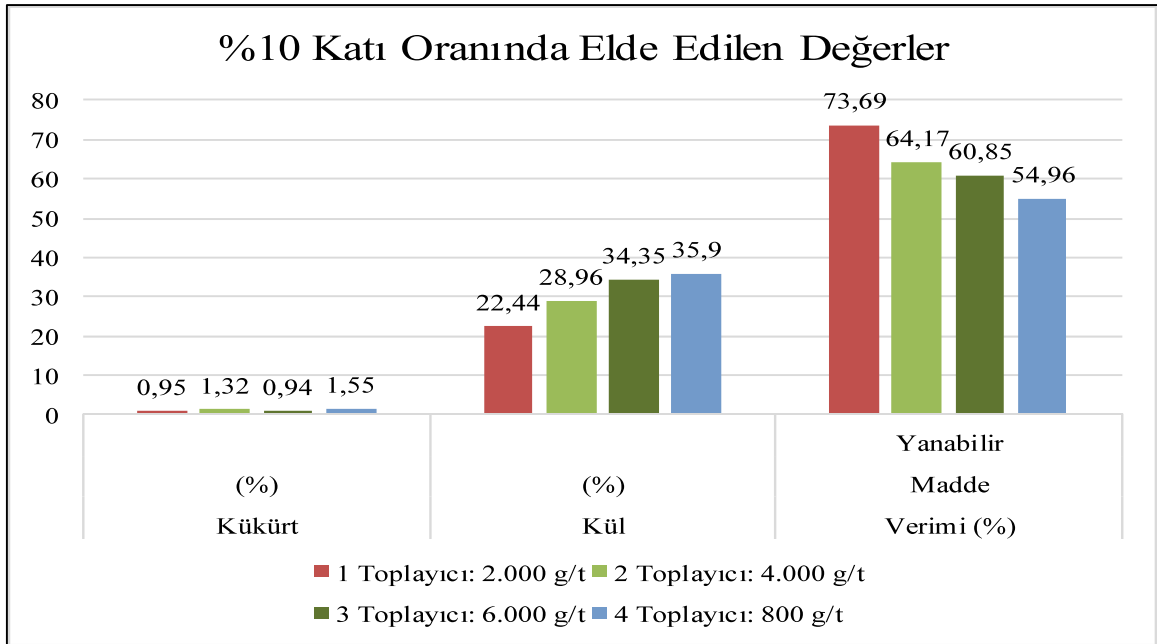
Bu noktadan hareketle çalışılan diğer parametrelerin karşılaştırılabilmesi amacıyla %10 katı oranıyla gerçekleştirilen tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da özetlenmiştir.



**Tablo 5.6.** Tüm deney setleri için %10 katı oranında elde edilen sonuçlar

| Deney Seti | Sabit Deney Koşulları                                                | Sodyum Silikat Miktarı (g/t) | Kükürt (%) | Kalori Kcal/Kg | Kül (%) | Yanabilir Madde Verimi |
|------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|----------------|---------|------------------------|
| 1          | Toplayıcı: 2.000 g/t                                                 | 2.000                        | 0,95       | 6.312          | 22,44   | 73,69                  |
|            | Köpürtücü: 100 g/t<br>Hava Akış Hızı: 4 L/d<br>Flotasyon Süresi: 4 d | 4.000                        | 1,27       | 5.188,3        | 27,45   | 63,89                  |
| 2          | Toplayıcı: 4.000 g/t                                                 | 4.000                        | 1,32       | 4.140          | 28,96   | 64,20                  |
|            | Köpürtücü: 150 g/t<br>Hava Akış Hızı: 6 L/d<br>Flotasyon Süresi: 6 d | 6.000                        | 1,61       | 4.042,40       | 32,53   | 62,51                  |
| 3          | Toplayıcı: 6.000 g/t                                                 | 6.000                        | 0,94       | 3.900,92       | 34,35   | 60,85                  |
|            | Köpürtücü: 250 g/t<br>Hava Akış Hızı: 7 L/d<br>Flotasyon Süresi: 7 d | 7.000                        | 1,68       | 3.816,90       | 35,24   | 54,03                  |
| 4          | Toplayıcı: 800 g/t                                                   | 7.000                        | 1,55       | 3.761          | 35,90   | 54,96                  |
|            | Köpürtücü: 75 g/t<br>Hava Akış Hızı: 8 L/d<br>Flotasyon Süresi: 8 d  | 750                          | 1,14       | 3.617          | 33,25   | 52,60                  |

%10 katı oranı ile yapılan çalışmada toplayıcı miktarında değişime göre elde edilen verim değerleri toplu şekilde incelendiğinde, en yüksek yanabilir madde verimi ile en düşük kül oranlarının 2.000 g/t toplayıcının kullanıldığı çalışmada elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.9). 800 g/t toplayıcı kullanılan çalışmada ise en düşük değerlerin elde edildiği, kül ve kükürt değerlerindeki olumsuz yönde değişim görülebilmektedir.

**Şekil 5.9.** Tüm deney setleri için toplayıcı miktarına göre %10 katı oranında elde edilen sonuçlar

Bu çalışma da optimum koşullar; %10 katı oranı 100 g/t MIBC, 2.000 g/t sodyum silikat, 2.000 g/t mazot, 4 L/d hava akış hızı, 4 dakika flotasyon süresi olarak belirlenmiştir. Deneysel koşullarda çalışılan reaktif miktarları ve diğer değişkenler arttıkça deneyler neticesinde elde edilen numuneler, optimum sonuçtan uzaklaşmakta ve ürün kalitesi düşmektedir. Flotasyonda toplayıcılar, kömür tanelerinin hava kabarcığına bağlanmasını sağlayarak verimin artmasına yardımcı olur ancak optimum miktardan fazla toplayıcı ilavesi, killerin ve bağlı tanelerin de yüzmesine neden olarak ürün kalitesini düşürür. Ayrıca çoğu araştırmacıya göre, hava hızı arttıkça verim bir maksimum verecek şekilde artmakta ve kritik bir noktadan sonra aşırı kül artması nedeniyle azalmaya geçmektedir. Belirli bir değerden sonra artan hava akış hızının kabarcıkların birleşmesine neden olarak akış koşullarını bozduğu ve kabarcık yüzey alanını azaltarak verimin düşmesine neden olduğu literatürdeki çalışmalarla da desteklenmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009). Yine artan flotasyon süresi ile birlikte elde edilen ürünün kalitesinin düşmesi de beklenen bir durumdur. Ancak burada amaç asgari 2.500 Kcal/Kg ve üstü ürün elde etmek olduğu için uzun flotasyon süreleri de denenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma ile 721-916 KCal/Kg arasında ısı değere sahip, orijinal bazda %1,14 kükürt içerikli, orijinal bazda %56,85, kuru bazda %71,50 kül içeren şamlı malzemeden optimum koşullarda yapılan deneyler sonucunda; 6.312 KCal/Kg ısı değere sahip, %0,95 kükürt içerikli, orijinal bazda %22,44, kuru bazda %23,27 küllü temiz kömür %73,69 yanabilir madde verimi ile elde edilmiştir. Bu koşullarda daha fazla flotasyon süresi ile kabul edilebilir bir kalori derecesinde daha fazla miktarda ürün elde etmek mümkün olabilir.

Hâlihazırda şlam kaybını azaltmak ve ince boyutlu kaçak malzemenin ekonomik olarak değerlendirilmesini sağlamak amacıyla tesis için fizibilite çalışmalarına başlanmıştır. Benzer bir çalışma TKİ tarafından da yapılmaktadır. Tesisin revize edilmesi ile beraber yaklaşık %20 civarında olan şlam kaybının azalması beklenmektedir. Senede yaklaşık olarak 450-500.000 ton civarı kömür yıkanan bu tesiste 90.000 ton civarında şlam kaybı olmaktadır. Bu da hemen hemen yıllık pazarlaması yapılan kömürle aynı miktara denk gelmektedir. 1.000-6.000 KCal/Kg arasında ısı değeri skalası olan bu malzemenin tamamının zenginleştirilmesi halinde ortalama %36,47 yanabilir madde verimine sahip temiz ürün elde edilecektir. Yaklaşık 90.000 ton kaçak olduğu düşünüldüğü zaman, 25.000 ton civarında satılabilir ürün anlamına gelir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada tesisin verimiyle aynı düzeyde kömürün kaçak olarak kaydedilmesi ve işletme verimiyle, karlılığı azaltması nedeniyle, Kütahya ili, Tunçbilek ilçesinde bulunan bir lavvar tesisindeki tikiner altı kaçak şlamlı malzemenin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilerek söz konusu şlamın ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı, flotasyon süresi, hava akış hızı ve katı oranı çalışılan deneysel parametrelerdir.

Bu amaçla gerçekleştirilen ve flotasyon performansının sadece yüzebilir madde verimi dikkate alınarak değerlendirildiği ön flotasyon deneylerinde şlamın yüzebilirliğini test etmek amacıyla değişen köpürtücü, toplayıcı, bastırıcı konsantrasyonları ile değişen hava akış hızı ve flotasyon sürelerinde ön deneyler gerçekleştirilmiş ve kömür yaklaşık %40 civarında yüzdürülebilmektedir. Ön flotasyon deneylerinde, optimum köpürtücü miktarı 100 g/t; toplayıcı miktarı 2.000 g/t; bastırıcı miktarı 2.000 g/t olarak belirlenmiştir.

Ön optimizasyon çalışmalarından sonra dört farklı deney seti halinde, çalışılan tüm deneysel değişkenlerin (toplayıcı miktarı, bastırıcı miktarı, katı oranı, hava akış hızı, flotasyon süresi) farklı kombinasyonlarda karşılıklı etkileşiminin incelendiği flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada flotasyon performansı, deney sonunda elde edilen ürünler üzerinde kül, kalori, kükürt, uçucu madde, nem, sabit karbon ve verim değerleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, 4 L/d hava akış hızında, 4 dakika flotasyon süresinde, %10 katı oranı, 2.000 g/t Sodyum silikat, 2.000 g/t mazot ve 100 g/t MIBC kullanılarak gerçekleştirilen en yüksek verim değerine sahip deney sonucu ile 6.312 KCal/Kg ısı değere sahip %0,95 kükürt ve %22,44 kül içerikli satılabilir kömür %73,69 yanabilir madde verimi ile elde edilmiştir.

### 6.2. Öneriler

Tez çalışması sonucunda, incelenen tesiste kaçak olarak, ekonomik kayba ve verim düşüşüne neden olan 0,5 mm'den daha ince boyutlu şlamlı kömürlerin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilerek geri kazanılabileceği görülmüş ve bu ürünün piyasa standartlarına uygun bir ürün olarak pazarlanabileceği anlaşılmıştır.

TKİ sektör raporuna göre 2015 yılında Türkiye genelinde 58,4 milyon ton kömür üretilmiştir. Bu kömürlerin bir kısmı lavvar tesislerinde yıkılarak zenginleştirilmektedir ve yıkama sonucunda zenginleştirme kayıpları da yaşanmaya devam etmektedir. Tunçbilek bölgesinde yaklaşık 20.000.000 ton kadar şlamlı malzeme bulunmaktadır ve her sene bu miktarda artış olacaktır.

Uygun pazarın oluşturulması durumunda kurulacak olan 20 ton/saat kapasiteli küçük bir tesisle lavvarda yıkama sonucunda oluşan, yaklaşık 90.000 ton civarı şlamlı malzeme bir yılda zenginleştirilebilir. Zenginleştirme sonucunda 25.000 ton kadar satılabilir ürün elde edilebilir. Deneyler sonucunda elde edilen numunenin üst ısı değeri 6.312 KCal/Kg olarak tespit edilmiştir. Bu ürün doğrudan pazarlanabilir ancak rezervlerin iktisatlı kullanılması açısından bakıldığında, kendinden daha düşük kalorili kömürlerle karıştırılarak, düşük kalorili kömürlerin kullanımı artırılabilir. Böylelikle kaçaktan kaynaklı kömür kaybı azaltılabilir ve verim düşüşü nedeniyle oluşan maliyetler azaltılabilir ayrıca daha kaliteli kömürlerin üretimi sonraki yıllara devredilebilir. Ortalama olarak kömür yıkama ve tüvenan üretim maliyetlerine ise %25 civarında olumlu etkisi olacağı öngörülmüştür.

Tunçbilek lavvar tesisinde %21 civarındaki kaçak göz önüne alındığında kaçak malzemeye yapılan zenginleştirme çalışması sonucunda elde edilen kömürün ısı değeri skalası incelendiğinde, alt ısı değeri 1.200 KCal/Kg ve üst ısı değeri 6.312 KCal/Kg arasında değişmektedir. Isı değerleri farklı deney setlerinde elde edilmiştir. Bu kapsamda piyasa ihtiyaçları ve talepler değerlendirilerek deneysel parametrelere dayalı bir flotasyon tesisi tasarlanabilir. Kömüre oluşan talebe göre örneğin 4.500 KCal/Kg ısı değere sahip kömür sanayi amaçlı kullanıma doğrudan sunulabilir veya 3.000 KCal/Kg ısı değere sahip ürün elde etmek için bir tesis tasarlanarak daha yüksek kalorili başka kömürle karıştırılarak üretim miktarı artırılabilir. Bu işlemler sonucunda yapılacak seçime göre ocakta üretim azaltılsa bile şlamlı malzemenin geri kazanılmasıyla aynı miktarda ürün satışa sunulabilir.

%21 şlam kaybının yarı yarıya azaltılması durumunda ortalama 2.500 KCal/Kg ısı değere sahip ürünün geri kazanılmasıyla yılda 50.000 ton daha satılabilir kömür elde edilebilir. Kazanılacak bu kömürün piyasa değeri, MİGEM tarafından belirlenen ısı katsayısı üstünden hesaplandığında (2017 senesi için kalori başına 0,060TL) yaklaşık 7.500.000 TL civarında olacaktır. Kaçak yapan şlamlı kömürlerin geri kazanılması sayesinde, işletmenin geliri arttırılacak ve atık durumundaki bir malzemenin geri kazanımı ile bölge ve ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

Şlam havuzlarında ki malzemelerin zenginleştirildikten sonra uygun oranda ve kalorige kömürle karıştırılarak termik santrallere beslenmesi durumu da söz konusudur. Bu sayede ülkemizin dışa bağımlı olan enerji ihtiyacı bir nebze olsa yerli kaynaklarla

giderilebilecektir. Âtıl durumda bulunan bir malzeme kazanılarak, mikro ölçekte işletmeler ve bölge, makro ölçekte ise ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Yine bu ürünün geri kazanılması için kurulacak olan tesislerin AR-GE faaliyetleri ile yeni teknolojilerin üretilmesi durumu da söz konusu olacaktır. Termik santrallerin geneli kömürü öğütür ve %60'ı 90 mikrometre (Önal, Doğan ve Yüce 1992) altına inecek şekilde hazırlar. Burada flotasyona tabi tutulan malzeme, 500 mikrometre daha ince boyutta olacağı için öğütmeden önce kırma prosesine tabi tutulmayacak bu sayede maliyetler düşecektir. Bunun yanında santrallere hazır kömür beslemek yerine flotasyonla geri kazanılmış malzeme beslenmesi neticesinde kömürden daha ucuza mal edilmiş bir ürünle elektrik üretilmiş olacak ve üretim maliyetlerinde de düşüş olması mümkün olacaktır.

Tüm bunlar değerlendirildikten sonra, tesis verimi ile işletme veriminin artması birincil kazanımlar olarak kaydedilmiştir. Çevre açısından da kazanım sağlayan bu çalışma sayesinde invert atık sınıfında yer alan şamların kapladığı stok alanları küçülmüş olacaktır. Şlam organik bir malzeme olduğundan çevre kirliliği açısından yüksek bir risk taşımamaktadır. Şlam stok sahaları rehabilite edilerek geri kazanılabilecek alanlar olmasından dolayı diğer maden sahaları kadar önemlidir. Bu malzemelerin depolandığı havuzların inşası, taşınması ve çevreye olan etkisinin önlenmesi için çok fazla zaman ve kaynak harcanmaktadır. Üstelik mevcut çevre kanunları ve yönetmelikleri de bu malzemenin stoklanması için ek maliyetler oluşturmaktadır. İçerik bakımından organik olmasına rağmen şlam havuzlarının setlerinin yıkılması halinde pek çok kazaya sebebiyet verdiği, işletme sahalarında faaliyet alanlarını daralttığı defalarca gözlemlenmiştir. Bu malzemeler eski zenginleştirme yöntemlerinin verim düşüklüğü ve kömürün bolluğu nedeniyle hep göz ardı edilmiş ve atık muamelesi görmüşlerdir. Ancak yapılan bu çalışmalar ile geçmiş dönemlerde ve günümüzde yaşanan kayıp ve kaçaklardan ülkenin enerji politikaları açısından kazanç sağlayacağı ve ithalatı azaltacağı bir kaynak doğacaktır. Zenginleştirmeye sağlanan kazanım sayesinde rezervleri kısıtlı olan linyit yataklarımız daha efektif tüketilecek ve sürdürülebilir kalkınma adına gelecek nesillere daha az tüketilmiş kaynaklarla birlikte verimli üretim yöntemleri sayesinde ilerleyen mühendislik çalışma alanları ve daha temiz bir doğa bırakılacaktır. Kısaca bu ve benzeri ürünlerin teknolojik ve ekonomik koşullar el verdiği sürece geri kazanılması her anlamda kazanç anlamına gelmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aksani, B., 1998, Flotasyon Kolonları Temel Çalışma Prensipleri ve Ayırma İşlemine Etki Eden Parametreler. *Madencilik*, 37, 41-54.
- Atak, Ş. ve Tolun, R., 1994, Cevher Hazırlama El Kitabı, Flotasyon. İstanbul: YMGV Yayınları, İstanbul, 207.
- Ayhan, F. D., Abakay, H. ve Kahraman, F., 2003, Şırnak Asfaltitlerinden Külün Flotasyon Yöntemi İle Uzaklaştırılması. *Madencilik Dergisi*, 42(1), 27-34.
- Bayat, O., 2008, Tunçbilek Kömür Yıkama Tesisi Ara Ürünün Jameson Hücresinde Flotasyonu. *Madencilik*, 47(1), 27-34.
- Bentli, İ., ve Kaya, M., 2004, Kütahya Değirmisaz -0,5 mm Linyit Kömürünün Modifiye Flotasyon Hücresinde Zenginleştirilmesi, *Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 02-04.06.2004, Zonguldak, 371.
- Bulut, G. ve Göktepe, F., 2012, Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXV(1), 41-46.
- Cebeci, Y., 2002, The Investigation of the Floatability Improvment of Yozgat Ayrıdam Lignite Using Various Collectors. *Fuel*, 81, 281-289.
- Ceylan, K., Küçük, M. Z., 2004, Effectiveness Of The Dense Medium and the Froth Flotation Methods in Cleaning Some Turkish Lignites. *Energy Conversion and Management*, 45, 1407-1411.
- Çilek, E., 2013, Mineral Flotasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No:59, 165.
- Doruöz, A., 2002, Tunçbilek Termik Santrali Cüruflarındaki Yanmamış Karbonun Flotasyon Yöntemiyle Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 20.
- DPT. 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu Enerji Maddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, Ankara, DPT: 2605-ÖİK:616, 130.
- Englund, E. J. and Heravin., N., 1992, Conditional Similation, Partical Application For Sampling Optimization, in Soares, A., ed, *Geostatics*, 2, 613-623.
- Gülsuna, G., 2007, Linyit Kömürü Ara Ürününün Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 9.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2009, İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu için Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliştirilmesi Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 229.

- Hacıfazlıoğlu, H., 2011, Jameson Hücresinde Bitümlü Şlam Kömürünün Flotasyonu için En Uygun Köpürtücü ve Toplayıcı Tipinin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2(1), 34-41.
- Huang, Y. ve Takaoka, M., 2003, Chlorobenzenes Removal From Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash By Surfactant-Assisted Column Flotation. *Chemosphere*, 52, 735-743.
- Jia, R.G., Harris, H. and Fuerstenau, D. W., 2002, Chemical Reagents for Enhanced Coal Flotation. *Coal preparation*, 22, 123-149.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 2010, Kömür Teknolojisi (Genişletilmiş 5. Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 394.
- Kemal, M., 1991, Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri. *Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri*, YMGV, 270-282.
- Ocakoğlu, F., 2015, Kömür Jeolojisi Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65.
- Oruç, M., 1996, Kömür Flotasyonuna Etki Eden Bazı Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 72.
- Önal, G., Doğan Z. ve Yüce, H., 1992, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 552.
- Öney, Ö., 1993, The Enrichment of Zonguldak Fine Coal by Flotation, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, 129.
- Öney, Ö., ve Bilgin, E., 2016, Zonguldak İnce Taşkömürlerinin Optimal Flotasyon Parametrelerinin Verimlilik İndeksi ile Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 759-769.
- Özcan, M., Özel, G., Demirkol, Ö. ve Babıyığıt, S., 2016, TKİ Kömür Sektör Raporu, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 61.
- Sis, H., Özbayoğlu G. ve Sarıkaya M., 2003, Comparison Of Non-Ionic And Ionic Collectors In The Flotation Of Coal Fines. *Minerals Engineering*, 16, 339-401.
- Sönmez, H., 2007, Tunçbilek Lavvarı Tikiner Altı İri Atık Kömürlerin Modifiye Flotasyon Kolonu ile Zenginleştirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 45.
- Sönmez, İ. ve Cebeci, Y., 2006, Performance Of Classic Oil And Lubricating Oils in Froth Flotation Of Ukraine Coal. *Fuel*, 85, 1866-1870.
- Stach, E., Mackowsky, M. T., Teichmüller, M., G., Taylor, H. and Chandra, D., 1982, Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535.
- Şener, M., 2011, Türkiye Jeolojisi Ders Notları, 100.

- TKİ, 2009, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kömür (Linyit) Sektör Raporu, Ankara, 19.
- Tsai, S. C., 1982, Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization, Elsevier, Newyork, 375.
- Türkkan, S. Y., 2006, Tunçbilek Tikiner Altı Atık Kömürlerinin Kolon Flotasyonu Yöntemi ile Kazanılması Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59.
- Yılmazel, H. ve Vapur, H., 2012, Çatalağızı Termik Santralinde (Çates) Kullanılan Lavvar Artıklarındaki Kömürün Kazanımında Optimum Flotasyon Koşullarının Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 55(4), 3-13.





## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mustafa Kutkan KARAOĞLAN  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Çankaya/Ankara 01.06.1990  
**e-mail** : mkutkan@gmail.com

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                                | Bitirme Yılı |
|---------------|----------------------------------------------|--------------|
| Lise          | Cumhuriyet Lisesi, Çankaya, Ankara           | 2007         |
| Üniversite    | Ömer Halis Demir Üniversitesi Merkez, Niğde  | 2013         |
| Yüksek Lisans | Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü | 2018         |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl  | Kurum         | Görevi                       |
|------|---------------|------------------------------|
| 2013 | Eltemtek A.Ş. | Proje Mühendisi              |
| 2014 | KİAŞ          | İşletme ve Kontrol Sorumlusu |

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

Karaoğlu, M. K. ve Önen, V. (2018-Mayıs). İnce Boyutlu Tunçbilek Linyit Kömürünün Flotasyonla Zenginleştirilmesi, 3. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, 2.