



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

**ÇORUM/İSKİLİP LİNYİT KÖMÜRÜNDEN FLOTASYON
YÖNTEMİYLE TEMİZ KÖMÜR ELDE EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuba UZUNALP
(20199221002)**

**Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem KAYA**

**SİVAS
HAZİRAN 2022**

Tuba UZUNALP'in hazırladığı ve “**ÇORUM/İSKİLİP LİNYİT KÖMÜRÜNDEN FLOTASYON YÖNTEMİYLE TEMİZ KÖMÜR ELDE EDİLMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Doç. Dr. Özlem KAYA
	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yakup CEBECİ
	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

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

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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





Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Tuba UZUNALP, 2022

ETİK

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

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

03.05.2022

Tuba UZUNALP

ÖZET

ÇORUM/İSKİLİP LİNYİT KÖMÜRÜNDEN FLOTASYON YÖNTEMİYLE TEMİZ KÖMÜR ELDE EDİLMESİ

Tuba UZUNALP

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özlem KAYA

2022, 70 +xv sayfa

Bu çalışmada, Çorum/İskilip linyit kömüründen flotasyon yöntemiyle temiz kömür elde edilmesi araştırılmıştır. Flotasyonda bastırıcı miktarı, toplayıcı ve köpürtücü reaktiflerin türü ve miktarı ve köpük alma süresinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca temizleme ve süpürme devreleri ile suyla sürüklenme (entrainment) faktörü (P_i)'nin süreye bağlı olarak değişimi belirlenen optimum flotasyon koşullarında incelenmiştir. Sonuçlar ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir.

Toplayıcı reaktif türü ve miktarının incelendiği deneylerde; gazyağı, mazot, fuel oil gibi klasik toplayıcı reaktifler ile Dehpa, Cyanex-272 ve LIX-984 ticari organik bazlı reaktiflerin etkileri araştırılmıştır. %100 Dehpa (20 kg/ton) ve %100 mazot (32 kg/ton) iki toplayıcı reaktif (toplam 52 kg/ton) kullanarak %61.92 ağırlıkça verim, %66.59 yanabilir verim ve %46.38 kül uzaklaştırma ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bastırıcı reaktif (sodyum silikat) miktarının incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar; flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma açısından değerlendirilmiş ve belirgin bir etkisi olmadığından deneylerde bastırıcı kullanılmamıştır. Köpürtücü reaktif türünün incelendiği deneylerde; çamyağı, metil isobütil karbinol (MIBC) ve Dowfroth 250 (DF-250) reaktiflerinin etkileri araştırılmıştır. Köpürtücü reaktif 200 g/ton çamyağı olarak belirlenmiştir. Köpük alma süresinin incelendiği deneylerde; sürenin (45, 90, 135, 180 ve 240 saniye) flotasyona etkisi araştırılmış ve köpük alma süresi 3 dakika olarak belirlenmiştir.

Belirlenen optimum flotasyon koşullarında; Çorum/İskilip linyit kömürünün külü %36.01'den %31.18'e düşürülmüştür.

Belirlenen optimum flotasyon koşullarında temiz kömüre iki kademe temizleme ve artığa bir kademe süpürme flotasyonları uygulanmıştır. Temizleme flotasyonunda nihai temiz kömürde kül uzaklaştırma %61.98 olarak elde edilmiştir. Süpürme flotasyonunda ise ağırlıkça verim %4.50, yanabilir verim %4.29 olarak elde edilmiştir.

Suyla sürüklenme (entrainment) faktörü (P_i)'nün etkisi köpük alma süresine (45, 90, 135, 180 ve 240 saniye) bağlı olarak belirlenen optimum flotasyon koşullarında incelenmiş; süreye bağlı olarak belirgin bir değişim olmamıştır.

Anahtar kelimeler: Flotasyon, linyit, Dehpa, Cyanex-272, LIX-984, suyla sürüklenme (entrainment) faktörü (P_i), verim, yanabilir verim, kül uzaklaştırma

ABSTRACT

OBTAINING CLEAN COAL FROM ÇORUM/İSKİLİP LIGNITE COAL WITH THE FLOTATION METHOD

Tuba UZUNALP

Master of Science Thesis

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA

2022, 70 + xv pages

In this study, it was investigated to obtain clean coal from Çorum/İskilip lignite coal with a flotation method. In flotation, the amount of depressant, the type and amount of collector and frother reagents, and the effects of flotation time were investigated. In addition, the cleaning and scavenging circuits and the variation of entrainment factor (P_i) depending on the time were investigated under optimum flotation conditions. The results were evaluated in terms of yield (%), combustible yield (%), and ash rejection (%).

In the experiments in which the type and amount of collector reagent were examined; the effects of classical collector reagents such as kerosene, diesel oil, fuel oil, and organic-based reagents such as Dehpa, Cyanex-272, and LIX-984 were investigated. In the use of 100% Dehpa (20 kg/ton) and 100% diesel (32 kg/ton) two collector reagents (total 52 kg/ton), the best results were obtained with 61.92% yield, 66.59% combustible recovery and 46.38% ash rejection. The results were obtained from the experiments in which the amount of depressant reagent (sodium silicate) was examined; it was evaluated in terms of flotation efficiency and ash rejection, and no suppressant was used in the experiments since it had no significant effect. In the experiments examining the frother reagent type; the effects of pine oil, methyl isobutyl carbinol (MIBC), and Dowfroth 250 (DF-250) reagents were investigated. The frother reagent was determined as 200 g/t pine oil. In the experiments examining the flotation time; the effect of time (45, 90, 135, 180, and 240 seconds) on flotation was investigated and the flotation time was determined as 3 minutes.

Under the determined optimum flotation conditions; The ash of Çorum/Iskilip lignite coal was reduced from 36.01% to 31.18%.

Under the determined optimum flotation conditions, two-stage cleaning flotations were applied to the concentrate and one-stage scavenger flotation was applied to the residue. In the cleaning flotation, ash rejection was obtained as 61.98% in the final clean coal. In scavenging flotation, the yield was 4.50% and the combustible recovery was 4.29%.

The effect of the entrainment factor (P_i) was investigated under determined optimum flotation conditions on the flotation time (45, 90, 135, 180, and 240 seconds); there was no significant change depending on time.

Keywords: Flotation, lignite, Dehpa, Cyanex-272, LIX-984, entrainment factor (P_i), yield, combustible recovery, ash rejection

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleriyle çalışmalarında yol gösteren, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam, Doç. Dr. Özlem KAYA'ya çok teşekkür ederim.

Bilgi ve deneyimleri ile yardımını esirgemeyen Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi kıymetli hocam, Prof. Dr. Yakup CEBECİ'ye; Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim görevlisi Mehmet İbrahim KULAKSIZ 'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince yardımını esirgemeyen eşim Serhat, kızım Zeynep Gaye, oğlum Emre Göktuğ'a ve aileme desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KÖMÜRÜN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Kömürün Özellikleri.....	4
2.1.1 Kömürün fiziksel özellikleri.....	4
2.1.2 Kömürün kimyasal özellikleri	5
2.1.3 Kömürün petrografik özellikleri	5
2.2 Kömürün Sınıflandırılması	8
2.3 Kömür Türleri	12
2.3.1 Turba	12
2.3.2 Linyit	12
2.3.3 Taş kömürü	13
2.3.4 Antrasit	13
2.3.5 Grafit	13
2.3.6 Odun kömürü	14
2.3.7 Kok kömürü	14
2.4 Kömürün Kısa Analizi	14
2.4.1 Isıl değer	14
2.4.2 Nem oranı	14
2.4.3 Kül oranı.....	15
2.4.4 Uçucu madde oranı	15
2.5 Kömür Rezervleri	15
2.5.1 Dünya kömür rezervleri	15
2.5.2 Türkiye kömür rezervleri.....	17
2.6 Kömür Hazırlama ve Temizleme Yöntemleri.....	19
3. FLOTASYON	20
3.1 Flotasyonun Tanımı.....	20

3.2 Flotasyon Makineleri	22
3.2.1 Mekanik hücreler	22
3.2.2 Jet flotasyonu	22
3.2.3 Jameson flotasyonu	22
3.3 Flotasyon Reaktifleri	23
3.3.1 Toplayıcı (kollektör) reaktifler	23
3.3.2 Köpürtücü reaktifler	24
3.3.3 Diğer yardımcı reaktifler	25
3.4. Kömür Flotasyonu	26
3.4.1 Tane boyutu etkisi.....	27
3.4.2 Kömür petrografik yapısı	27
3.4.3 Katı oranı etkisi.....	27
3.4.4 Temas açısı	28
3.4.5 Pülp pH değeri	28
3.5 Flotasyonda Yapılmış Çalışmalar	28
4. MATERYAL VE METOT	32
4.1 Materyal.....	32
4.2 Metot.....	34
4.2.1 Numune hazırlama işlemleri.....	34
4.3. Analizler.....	36
4.3.1 Elek analizi	36
4.3.2 Kömür kısa analizi	37
4.4 Flotasyon Deneylerinin Yapılışı.....	39
4.5 Hesaplamalar.....	41
5. FLOTASYON DENEY SONUÇLARI.....	42
5.1 Toplayıcı Cinsi ve Miktarının Etkisi	42
5.2 Bastırıcı Miktarının Etkisi	49
5.3 Köpürtücü Cinsi ve Miktarının Etkisi	50
5.4 Köpük Alma Süresinin Etkisi	52
5.5 Flotasyonda Temizleme ve Süpürme Devreleri	54
5.6 Flotasyonda Suyla Sürüklenme (Entrainment)	56
6. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	64

EK 1 Flotasyon Deney Sonuçları.....	64
A Toplayıcı reaktif cinsi ve karışımlarının flotasyona etkisi (Şekil 5.1).....	64
B Bastırıcı miktarının (%100 Dehpa + %100 Mazot ayrı ayrı kullanıldığında) flotasyona etkisi (Şekil 5.3).....	66
C Köpürtücü (Çamyağı) miktarının flotasyona etkisi (Şekil 5.4)	66
D Köpük alma süresinin flotasyona etkisi (Şekil 5.5)	66
E Flotasyonda temizleme ve süpürme devreleri akım şeması (Şekil 5.6)	67
F Flotasyonda su kazanımı (Şekil 5.7).....	67
G Flotasyonda sürüklenme faktörü (P_i) (Şekil 5.8).....	67
EK 2 Flotasyon Deney Fotoğrafları	68
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Kömürleşme aşamaları (TKİ, 2022)	3
Şekil 2.2 Doğada karbon çevrimi (Özpeker, 1991).....	6
Şekil 2.3 Kömür türleri (MTA, 2022)	11
Şekil 2.4 Dünya kömür rezervlerinin dağılımı (ETKB, 2022)	16
Şekil 2.5 Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payları (ETKB, 2022)	17
Şekil 2.6 Türkiye linyit madeni haritası (http://cografyaharita.com/haritalarim), Erişim Tarihi: 24.07.2022.....	18
Şekil 3.1 Genel düz flotasyon mekanizması (https://www.metalurjik.com/flotasyon-deneyi), Erişim Tarihi: 01.06.2022.	20
Şekil 3.2 Flotasyonda köpük, reaktif ve mineral etkileşimi (Yılmazel, 2010).	21
Şekil 3.3 Flotasyonda kullanılan toplayıcıların gruplandırılması	24
Şekil 3.4 Flotasyon makinesine göre çeşitli kabarcık oluşumu	25
Şekil 4.1 Numune hazırlama akım şeması.....	35
Şekil 4.2 Kümülatif elek altı (K.E.A) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü) eğrileri	36
Şekil 4.3 Elektro-magnetik etüv.....	38
Şekil 4.4 Termal-desing fırın	38
Şekil 4.5 Halkalı değirmen.....	38
Şekil 4.6 Çubuklu değirmen.....	38
Şekil 4.7 Flotasyon akım şeması	40
Şekil 5.1 Toplayıcı reaktif cinsi ve karışımların flotasyona etkisi	45
Şekil 5.2 Toplayıcı reaktif cinslerinin flotasyona etkileri.....	47
Şekil 5.3 Bastırıcı (Sodyum Silikat) miktarının (%100 Dehpa ve %100 Mazot) flotasyona etkisi	50
Şekil 5.4 Köpürtücü (Çamyağı) miktarının flotasyona etkisi	52
Şekil 5.5 Köpük alma süresinin flotasyona etkisi	53
Şekil 5.6 Flotasyonda temizleme ve süpürme devreleri akım şeması	55
Şekil 5.7 Flotasyonda su verimi	57
Şekil 5.8 Flotasyonda suyla sürüklenme faktörü (P_i)	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kömürlerin petrografik yapı unsurları (Nakoman, 1971)	7
Çizelge 2.2 Petrografik açıdan kömürdeki mineral maddeler (Nakoman, 1971)	8
Çizelge 2.3 Uluslararası genel kömür sınıflaması (DPT, 2001)	9
Çizelge 2.4 Farklı ranklarda kömür özellikleri (DPT, 2001)	10
Çizelge 2.5 Genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT, 2001) ..	11
Çizelge 2.6 Linyit ile turbayı ayırtlayan ölçütler	12
Çizelge 2.7 Enerji hammadde üretimi (ton) (MAPEG, 2022)	18
Çizelge 3.1 Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler (Laskowski ve ark., 1994) ..	26
Çizelge 4.1 Flotasyonda kullanılan reaktifler ile kimyasal malzemelerin kullanım amacı ve yoğunlukları	32
Çizelge 4.2 Kömür numunesi elek analizi sonuçları	36
Çizelge 4.3 Kömür numunesi kimyasal analiz sonuçları	38
Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan toplayıcı reaktifler ve karışımları	42
Çizelge 5.2 Toplayıcı reaktif cinsi ve miktarının incelenmesinde flotasyon deney ...	43
Çizelge 5.3 Dehpa ve mazot ayrı ayrı iki toplayıcı reaktif olarak kullanıldığında ...	48
Çizelge 5.4 Bastırıcı miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları	49
Çizelge 5.5 Köpürtücü reaktif cinsi incelenmesinde flotasyon deney koşulları	51
Çizelge 5.6 Köpürtücü reaktif cinsinin flotasyona etkisi	51
Çizelge 5.7 Çamyağı miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları	51
Çizelge 5.8 Köpük alma süresi incelenmesinde flotasyon deney koşulları	53
Çizelge 5.9 Temizleme ve süpürme flotasyonu deney koşulları	54
Çizelge 5.10 Temizleme ve süpürme devreleri flotasyon deney sonuçları	54
Çizelge 5.11 Flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney koşulları	56
Çizelge 5.12 Flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney sonuçları	56

KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BP	: British Petrol
DF-250	: Dowfroth 250
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
KB	: Kalkınma Bakanlığı
KEA	: Kümülatif elek altı
KEÜ	: Kümülatif elek üstü
KİT	: Kamu İktisadi Teşebbüsü
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MIBC	: Metil İzobütil Karbinol
MÖİK	: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SCÜ	: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
TBMM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri

1. GİRİŞ

Enerji kaynakları, teknolojinin gelişmesi ve nüfus artışı ile birlikte ihtiyaçların karşılanmasında daha çok talep edilmektedir. Bu nedenle, ülkemizde ve dünyada enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı, yeni kaynak arayışına yöneltmekte ya da üretim sırasında oluşan artıkların dönüştürülerek değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Enerji hammaddeleri içerisinde, maden kökenli kaynaklarda özellikle fosil kökenli enerji kaynaklarının (petrol, doğalgaz, kömür), dünya genelinde hammadde olarak kullanımı oldukça fazladır (KB, 2018). Enerji kaynaklarının kullanımına yönelik yapılan tahminlerde fosil yakıt olan kömürün, enerji ihtiyacını karşılamadaki payının artacağı öngörülmektedir (MTA, 2022). Avrupa Birliği 2020 yılı enerji talep tahmininde enerji kaynakları payları arasındaki artışın en fazla kömürde olduğunu belirtmektedir (DPT, 2001).

Dünya üzerinde fosil yakıtların dağılımı heterojen olduğundan ve politik sebeplerle birlikte, farklı açılardan dezavantajlar içermesi ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Diğer taraftan ülkeleri teknolojiye, enerji üretiminde oluşan artıkların kazanılması için üretim mekanizmaları geliştirilmesi sonucuna götürmektedir (Onat, 2018).

Kömür; elektrik üretiminde, ısınmada, demir çelik, çimento sanayi ve termik santraller gibi birçok endüstri alanında hammadde olarak kullanılan en yaygın enerji kaynaklarından biridir (ETKB, 2022). Kömür kaynaklarının, ülkemizde sadece üçte birinin etüt ve fizibilite çalışmaları tamamlanmış olduğundan, çok az bir bölümü rezerv olarak nitelendirilmektedir. Arama ve rezerv geliştirme çalışmalarında, son zamanlarda önemli bir kömür kaynağı artışı sağlanmıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonucunda, 2005-2019 yılları arasında yeni kömür sahaları keşfedilmiş ve 3 sahada toplam 10.82 milyar ton rezerv artışı sağlanmıştır (MTA; TKİ, 2022).

Kömürde, üretim ve taşıma esnasında açığa çıkan ince kömürün kazanılması, talep edilen enerji ihtiyacının karşılanmasında alternatiflerden biri olmaktadır. Temiz kömürün elde edilmesinde, kömürde bulunan kül, kükürt, nem, uçucu madde, fosfor ve alkali içeriklerin azaltılması kömür hazırlama ve temizleme yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır (Özdemir, 2013). Kömürün temizlenmesinde flotasyon ve

flokülasyon genellikle lavvarda yıkama suyu içinde kalan ince boyuttaki (-0.5 mm) kömürün kazanılmasında uygulanan yöntemlerdir (Atak ve Önal, 1991).

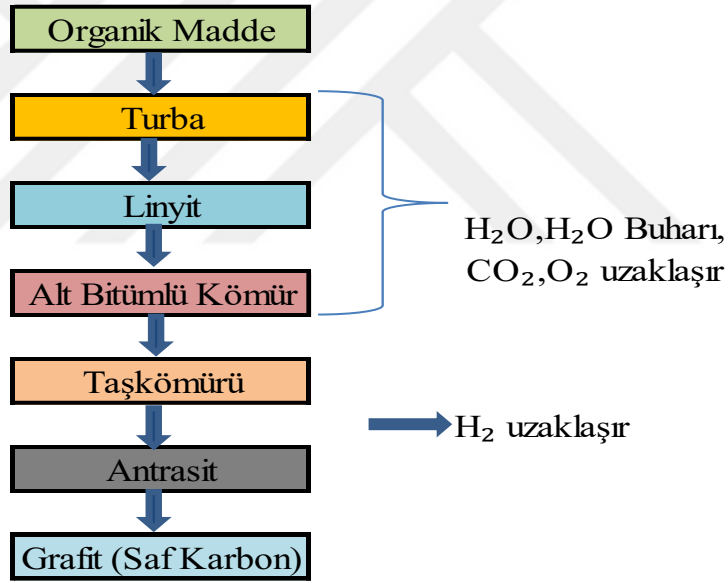
Ülkemizdeki linyit kömürleri, nem ve kül içeriği yüksek ve ısı değerleri düşük olmakla birlikte ısı değerleri yüksek çok farklı linyit kömürleri de bulunmaktadır. Isı değerleri genellikle 600 ile 6000 kcal/kg arasında ve ortalama nem içeriği %41.8 dolaylarındadır. Flotasyonla temizleme yapılarak linyitlerimizin kül oranını düşürmek buna bağlı olarak da ısı değerlerini yükseltmek mümkün olmaktadır (Kural, 1991).

Bu tez çalışmasında, ince boyutlu (-500 μ m) Çorum/İskilip linyit kömürünün flotasyon yöntemiyle temizlenmesinde, flotasyon reaktiflerinin (bastırıcı, toplayıcı, köpürtücü) etkisi ve köpük alma süresi incelenmiş ve optimum flotasyon koşulları belirlenmiştir. Ayrıca optimum flotasyon koşullarında temizleme flotasyonu, süpürme flotasyonu ile suyla sürüklenme (entrainment) faktörü (P_i) süreye bağlı olarak araştırılmıştır.

2. KÖMÜRÜN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Kömür, bitki topluluklarının elverişli ortamlarda çürümeden kalabilmesi ve zamanla biyokimyasal, fiziksel ve termik etkiler sonucu değişime uğramasıyla oluşmaktadır. Karbon ve yanıcı gazlar açısından zengin, organik kökenli bir kayaç olan kömür, bitkisel atık olan organik (maseral) ve inorganik (mineral) maddelerin yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle sıkışması sonucunda katılaşmasıyla oluşan heterojen yapılıdır ve birçok madde içermektedir. Kömürün kısmi ayrışma ve kimyasal dönüşümü ile gerçekleşen bu oluşum sürecine ise kömürleşme denir. Kömürleşme aşamalarına bağlı olarak gerçekleşen bu olay sonucunda metamorfizmanın şartlarına ve miktarına göre kömür ve türlerinin oluşmasına kömürleşme derecesi (rank) denir. Şekil 2.1’de kömürleşme aşamaları verilmiştir (TKİ, 2022).

KÖMÜRLEŞME



Şekil 2.1 Kömürleşme aşamaları (TKİ, 2022)

Kömürleşme bitki, hava ve yüzeysel sulardan alınan CO₂ ile başlar. Hava ve sudaki CO₂'in büyük bir kısmını bitkiler özümseyerek canlı kalabilmeleri için gerekli olanları bünyelerinde tutarlar, kalanı ise solunum yolu ile geri döner, doğal denge bu şekilde korunur. Suda çözülen CO₂ karbonatlı kayaçlar ve organik tortullar birikerek değişime uğrar ve tekrar bu döngüye katılır (Özpeker, 1991).

2.1 Kömürün Özellikleri

2.1.1 Kömürün fiziksel özellikleri

Yoğunluk: Kömür ve gözenekli maddeler için üç çeşit yoğunluktan bahsedilebilir. Bu yoğunluklar; gerçek (reel) yoğunluk, görünür yoğunluk ve tanecik yoğunluğudur (Mahajan & Walker, 1978).

Kömür yoğunluğu, inorganik madde içeriğine ve nem yüzdesine bağlı olarak artmakta ve 1.1 ile 2.2 g/cm³ arasında değişmektedir. Turba kömürün ise 1.0 g/cm³ yoğunlukta ve linyit kömürlerinin ise 0.5-1.30 g/cm³ yoğunlukta olduğu kabul edilmektedir (TKİ, 2022).

Gaz emme (adsorpsiyon): Kömürde adsorpsiyon olayı doğrudan doğruya rank özelliğine bağlıdır. Kömürleşme derecesi (rank) azaldıkça kömür, doymuş buhar basıncında %10 ile %15 oranında iken koklaşabilen kömürlerde, %2 civarında gazı adsorbe eder ve rank artıkça emilen gazın miktarı da artar. Düşük ısılarda adsorpsiyon daha hızlı ve daha geniş alanda gerçekleşmektedir (Nakoman, 1971).

Gözeneklilik: Kömürleşme derecesine bağlı olarak gözeneklilik %3 ile %25 aralığında değişiklik göstermektedir.

Flüoresans: Kömürlerin flüoresans özellikleri, yansıma özellikleri ile zıt değerlerdir. Yansıma değerleri düşük olan turba, linyit ve diğer kömürlerde flüoresans özellikleri yüksek değerlere sahiptir (TKİ, 2022).

Refleksiyon (yansıtma): Kömürlerin ışığı yansıtma nitelikleri direkt olarak ranka bağlı yani etkilendikleri metamorfizmanın mertebesi ile ilgilidir (Nakoman, 1971).

Kömür yaşı ilerledikçe yansıtması da, bitkisel bileşenlerde oluşan başkalaşma sebebiyle artmaktadır. Kömürlerin birçoğunda temel fiziksel bileşeni vitrinitin yansıtması da yaşı ile beraber artış göstermektedir (Küçükbayrak ve ark 1991).

Yüzey alanı: Kömürde yüzey alanı kömürleşme derecesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Koklaşabilen taş kömürlerinde yüzey alanı en az seviyede iken linyitlere doğru yüzey alanı artmaktadır (Kural, 1991).

Plastiklik: Kömürün ısıtılmasıyla meydana gelen ergime, yumuşama, hacmin azalması ve artması, katılaşma olayları gibi şekil değişikliğine neden olan plastikleşme özelliklerinde basıncın değeri, ısının ve kömür derecesinin bir fonksiyonudur (Nakoman, 1971).

Elektrik iletkenliği ve  zdiren : K m rl r yüksek rankta yarı iletken niteliğe sahip olurlar. Bu niteliğe kömürdeki aromatik tabakalar arasındaki yük aktarımının neden olduğu, incelemelerde ortaya konmuştur. Kömürde rank arttıkça uçucu madde içeriği azalır ve iletkenlikte artabilmektedir (Koç, 2006).

Kömürün özdirenci, k m rleştme derecesine bağlı olarak (yaşı-rank) azda olsa yükselmekte fakat bu özdirenç y kselişı %87 ve üzerindeki karbon ihtivasında hızlı olabilmektedir. Bunun nedeni kömürün grafitimsi yapısal özelliğinin bu aralıkta artmasıdır (Van Krevelen, 1961).

Mikrosertlik (mikrod rte): K m rl rin oluştumunda hangi metamorfik seviyeye eriştikleri yani rankları için mikrosertlik temel unsurlardan biridir. Mohs'a göre minerallerin sertliği mineral taneciklerinin yer değiştirmeye gösterdiği karşı kuvvettir ve k m rleştme derecesine bağlı olarak kömürün sertliği artmaktadır (Nakoman, 1971).

2.1.2 Kömürün kimyasal  zellikleri

Kömür; k m rleştme derecesine bağlı olarak farklı özelliklere sahip karmaşıık yapıda, heterojen bir maddedir. Kömürün gruplandırmasında temel olan sabit karbon, nem, uçucu madde içerikleri, ısııl değer ile hidrojen ve oksijen içerikleri kömür cinslerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Koç, 2006).

Kömürün, kükürt miktarı artıkça oksidasyona uğraması daha da kolaylaştılmaktadır. (Nakoman, 1971). Kömürün yapısındaki organik madde bileşeninde; sabit karbon içeriği yüzde olarak %70-95 civarında iken, hidrojen %2-6 oranındadır. Kömürde bulunan kükürt içeriği kömürün kalitesini belirleyen bileşenlerden biridir. Kömürdeki azot içeriği protein kaynağı zengin bitkilerden sağlandığından rankla beraber değiştiklik göstermez (TKİ, 2022).

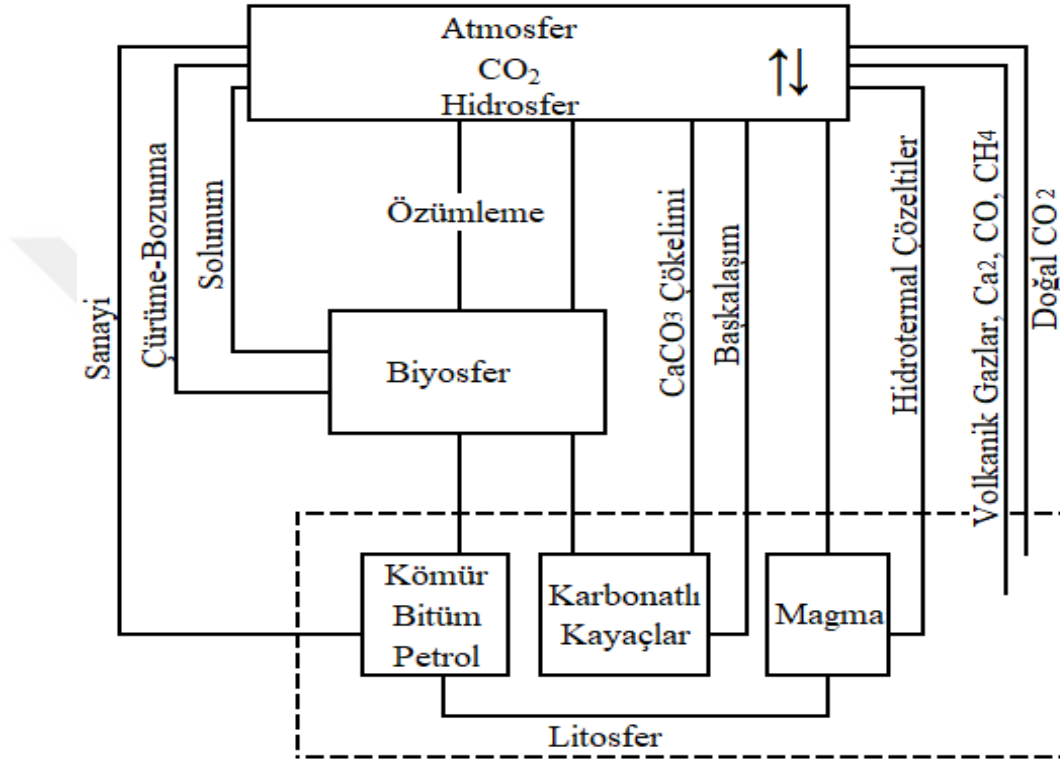
2.1.3 Kömürün petrografik  zellikleri

Kömür organik (maseral) ve inorganik (mineral) bileşenlerden oluştılmaktadır. Kömür makropetrografik ve mikropetrografik bir yapıya sahiptir (Kural, 1991).

Makropetrografik organik bileşenlerine litotip denilirken, mikropetrografik bileşenlerine maseral (latince yumuşıama anlamına gelmektedir) adı verilmektedir. Maserallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri çok çeşitlilik göstermektedir ve türleri ancak mikroskopta ayırt edilebilir, kristalize değildir. Kömürün ana bileşeni; karbon,

hidrojen, oksijen, azot ve kükürt elementleridir. Kömürü oluşturan temel unsur karbondur, bu sebeple kömür karbon döngüsüne oldukça bağımlıdır. Kömür oluşumunda iki faz daha çok benimsenmiştir. Bu iki faz;

- Biyokimyasal faz (turbalaşma)
- Dinomokimyasal (başkalaşma-kömürleşme) fazdır. Şekil 2.2’de doğada karbon çevrimi verilmiştir (Özpeker, 1991).



Şekil 2.2 Doğada karbon çevrimi (Özpeker, 1991)

Uluslararası Kömür Petrolojisi Komitesi tarafından kabul edilen Stopes-Heerlen sistemine göre taş kömürleri vitren, klaren, düren ve füzen organik bileşenlerinden oluşur; kahverengi kömürler ve linyitler hüminit (vitrit), liptinit (eksinit), inertinit maserallerinden oluşmaktadır. Çizelge 2.1’de kömürlerin petrografik yapı unsurları ve Çizelge 2.2’de petrografik açıdan kömürdeki mineral maddeler verilmiştir (Kural, 1991; Nakoman, 1971).

Çizelge 2.1 Kömürlerin petrografik yapı unsurları (Nakoman, 1971)

Mikroskopik Yapı Maddeleri			Makroskopik Yapı Maddeleri
Maseraller (Elemanter Elemanlar)	Maseral Grupları	Mikrolitotipler	Litotipler (Gözle Görülür Tabaka ve Kısımlar)
Kollinit Telinit	Vitrinit	Vitrinit Vitrinertit Klarit Düro-Klarit Klaro-Dürit Dürit Füzit	Vitren
Sporinit Kütinit Alginit Rezinit	Ekzinit		Klaren
Füzinit Sömifüzinit Sklerotinit Mikrinit	İnertinit		Düren Füzen

Çizelge 2.2 Petrografik açıdan kömürdeki mineral maddeler (Nakoman, 1971)

Mineraller	Senjenetik (Kömürün Bünyesinde)		Epijenetik (Kırık ve Çatlaklarda)
	Su ve Hava Akımları ile Taşınanlar	Oluşumu Kömürle Aynı Zamanda Olanlar	
Killer	İllit, Serisit, Kaolinit, Leverrierit, Montmorillonit vb.		
Spatik Karbonatlar		Siderit, Konkresyonları, Dolomit (Ankerit), Kalsit	Kalsit Ankerit
Sülfürler		Pirit, Kalkopirit, Sfalerit Konkresyonları, Melnikovit	Pirit, Markasit, Blend, Kalkopirit, Galen
Oksitler		Limonit, Hematit	Götit
Kuvars	Kuvars Taneleri	Kalsedun ve Kuvars	Kalseduan, Kuvars
Klorür ve Sülfatlar		Kaya Tuzu, Tenardit, Jibs	

2.2 Kömürün Sınıflandırılması

Kömür oluşumu ve yataklanma durumu, nem, kül ve uçucu madde içerikleri, sabit karbon, kükürt ve mineral madde içerikleri ile jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler açısından kömürler çok farklılık gösterirler. Bu nedenle pek çok ülkede kömürlerin birbirine yakın özellikleri ve benzer değerleri dikkate alınarak sınıflandırılması zorunlu hale gelmiştir (MÖİK, 2009).

Kömür üretiminde, tüketiminde ve teknolojisinde ilerlemiş ülkeler kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yapmış ayrıca uluslararası genel bir

sınıflama ile ortak standartlar geliştirmişlerdir. Çizelge 2.3’de uluslararası genel kömür sınıflaması verilmiştir (DPT, 2001).

Çizelge 2.3 Uluslararası genel kömür sınıflaması (DPT, 2001)

A. Sert Kömürler	B. Kahverengi Kömürler
1-Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede) 2-Koklaşmayan Kömürler a) Bitümlü Kömürler b) Antrasit	1-Alt Bitümlü Kömürler (4.165–5.700 kcal/kg arasında ısı değerde olup topaklaşma özelliği göstermez) 2-Linyit (4.165 kcal/kg’ın altında ısı değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Uluslararası Kömür Kurulu çeşitli ülkelerden alınan numuneler üzerinde çalışmalar yapmış, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama oluşturulmuştur. Yapılan bu sınıflamada; ısı değeri, uçucu madde içeriği, sabit karbon içeriği, koklaşma ve kekleşme nitelikleri esas alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır:

Sert Kömürler: Nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg’ın üzerinde ısı değerdedir.

Uçucu madde içeriği, ısı değeri ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kahverengi Kömürler: Nemli ve külsüz bazda 5700 kcal/kg’ın altında ısı değere sahiptir. Toplam nem içeriği ve ısı değere göre alt sınıflara ayrılırlar (DPT, 2001).

Kömürler sabit karbon ve uçucu madde içerikleri ile ısı değerleri dikkate alınarak antrasit, bitümlü kömürler, alt bitümlü kömürler ve linyit kömürler olmak üzere 4 temel sınıfa ayrılırlar (Keskin,1988).

Uluslararası kömür sınıflamasında bir başka sınıflamada, kömür rankı esas alınarak bir sınıflama yapılmıştır. Çizelge 2.4’te farklı ranklarda kömür özellikleri ve Çizelge 2.5’te genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri verilmiştir (DPT, 2001). Şekil 2.3’de kömür türleri verilmiştir (MTA, 2022).

Çizelge 2.4 Farklı ranklarda kömür özellikleri (DPT, 2001)

Kömürleşme Derecesi (Rank)	Uçucu Madde İçeriği % Ağırlık, Nemli, Külsüz	Sabit Karbon İçeriği % Ağırlık, Nemli, Külsüz	Isıl Değer kcal/kg, Mineral Maddesiz	Nem İçeriği % Ağırlık
1-Linyit	69-44	76-62	8.300-6.300	52-30
2-Alt Bitümlü	52-40	80-71	11.500-8.300	30-12
3-Bitümlü				
a. Yüksek Uçuçulu B	50-29	86-76	13.000-10.500	15-2
b. Yüksek Uçuculu C				
c. Yüksek Uçuculu A	49-31	88-78	14.000	5-1
d. Orta Uçuculu	31-22	91-86	14.000	5-1
e. Düşük Uçuculu	22-14	91-86	14.000	5-1
4-Antrasit	14-2	99-91	14.000	5-1

Turbadan grafitte doğru gidildikçe metamorfizma etkisiyle sabit karbon içeriği ve ısı değeri artarken su ve uçucu madde içeriği azalmaktadır (Kemal, 1991).

Çizelge 2.5 Genel sınıflamada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (DPT, 2001)

Linyit	Alt Bitümlü Kömürler	Bitümlü Kömürler	Antrasit
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılğan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl Değeri; 4.610 kcal/kg'ın altında	Isıl Değeri; 4.610-6.390 kcal/kg arasında	Isıl Değeri;5.390-7.700 kcal/kg arasında	Isıl Değeri; 7.000 kcal/kg'ın üzerinde
Uçucu madde ve nem içerikleri yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek



Linyit



Bitümlü Kömür (taş kömürü)



Antrasit

Şekil 2.3 Kömür türleri (MTA, 2022)

2.3 Kömür Türleri

2.3.1 Turba

Bataklıklarda ağaç ve başka bitki kalıntıları, serbest oksijen etkisinde kalarak hızla çürüyüp bozulmaya başlar. Ancak yağ, reçine, mum gibi bazı bölümlerinin oksidasyona dayanması ve bir dizi olayın beraber gerçekleşmesiyle turbalar oluşur. Kömürleşmenin ilk aşaması turbalardır. Turbalarda karbonlaşma tam olarak gerçekleşmediğinden kömür özellikleri göstermezler.

Turbaların nem oranı yüksek, sertliği azdır, odunumsu yapıya sahip ve renkleri sarı, kahverengi, siyah olabilir. Turbaların kimyasal bileşimleri, başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak değişiklik göstermekle beraber %56-57 sabit karbon, %5-6 hidrojen, %34-36 oksijen ve %0.5-2 azot ortalama değerlerine sahiptir (Kural ve Ökten, 1991).

Turba ile linyit arasındaki fark net değilse de ikisini ayırt edebilmek için bazı ölçütler kullanılabilir. Çizelge 2.6'da linyit ile turbayı ayırtlayan ölçütler verilmiştir (Özpeker, 1991).

Çizelge 2.6 Linyit ile turbayı ayırtlayan ölçütler

	Turba	Linyit
Nem %	>75	≤75
Sabit Karbon %	<60	≥60
Serbest Selüloz	Var	Yok
Kesilebilirlik	Evet	Hayır

2.3.2 Linyit

Linyit kömürü, turbalar ile bitümlü kömür (taş kömür) arasında oldukça geniş bir aralıkta yer alır. Linyit kömürleri başlıca iki gruba ayrılır.

- Linyit
- Kahverengi kömürdür.

Linyitin ısı değeri 8.300 kcal/kg'dan daha düşüktür. Ocak çıkışı linyitlerin nemi %30-40 aralığında değişiklik göstermektedir. Linyitin yoğunluğu 0.5 ile 1.30 g/cm³ civarındadır (Keskin, 1988).

Kahverengi kömür olarak da bilinen linyitler düşük sabit karbon içeriğine sahiptir. Linyitlerde uçucu madde içeriği yüksek, kükürt ve nem içerikleri fazladır. Linyit kömürü kırılğan yapılı, çabuk toz halinde ufalanan ve ısı değerleri düşük kömürlerdir.

Linyit kömürünü, sert ve yumuşak olarak iki ana gruba ayırılır. Sert linyitlerin nem oranı genellikle %20'nin altındadır. Yumuşak linyitler %35-75 arasında nem içerir, su ile temasta kolaylıkla şişer ve çok az parça sağlamlığına sahiptir. Nem oranı artıkça tozlanma artar ve sağlamlık azalır. Sert linyitler, yumuşak linyitler ile bitümlü kömür oluşumuna kadar geniş bir alanda yer alır (Kemal ve Arslan, 1999).

2.3.3 Taş kömürü

Sabit karbon oranları yüksek olan taş kömürleri genellikle uçucu madde içeriği düşük, ısı değeri yüksek, siyah renkte, blok şeklinde kırılan, sert, sıkı ve parlak bir görünümündedir. Orijinal nem oranları oldukça azdır (%1-2) nadiren su miktarı %7'nin üzerine çıkar ve sağlam bir yapıdadır. Taş kömürü taşıma ve depolama esnasında linyit kömürü gibi kolaylıkla bölünmez ve bütünlüğünü genellikle korur. Diğer kömür türlerine göre daha yüksek ısı değere sahiptir (Kemal, 1991).

Koklaşabilir taş kömürü yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliği gösterir ve bu kömürler metalürjik kömür olarak isimlendirilir (DPT, 2009).

2.3.4 Antrasit

Antrasit kömürü katı fosil yakıtların en kaliteli olanıdır. %95'i sabit karbondan meydana gelir ve nem oranı düşüktür. Taş kömürüne kıyasla ısı değeri düşüktür, bunun nedeni yüksek sıcaklıklara yavaş çıkıyor olmasıdır. Doğada oldukça az miktarda bulunur bu yüzden ulaşılması zordur. Parlak renkli, sert ve dayanıklı olan antrasitin tutuşturulması güçtür. Yavaş tutuşan antrasit hafif alevli ve dumanlı yanmaktadır. Yakıt dışında farklı kullanım alanları da vardır (Özpeker, 1991).

2.3.5 Grafit

Doğada, daha çok metamorfik zonlarda, şist ve mermerle beraber magmatik kayalar yakınlarında bulunurlar. Yumuşak dokulu, yağsı ve ince levha formundadır. Kristal, pul ve amorf gibi şekillerde olmakla birlikte en iyi formu kristal grafitir. Grafitin çok geniş bir kullanım alanı vardır. Grafit; yağlayıcı olarak, dökümde, elektronik malzeme yapımında, motorlarda, boyacılıkta, kurşun kalem yapımı gibi pek çok üretim alanında yer almaktadır (MTA, 2022).

2.3.6 Odun kömürü

Havasız ortamda ağaç veya odunun yavaş yavaş yanması sonucu kömürleşmeye başlayan kısmı, odun kömürünü oluşturur. Kimyasal olarak ayrışma sonucunda oluşan odun kömürü hava olmadığında kül oluşturacak kadar yanmaz, havasız ortamda yanma koşullarına bağlı olarak uçucu madde bünyeden uzaklaşır (Göker ve Akbulut, 1994).

2.3.7 Kok kömürü

Havasız bir ortamda kömürün ısıtılmasıyla (900 °C gibi), bünyesinde bulunan uçucu maddeler uzaklaşır, geride kalan sert ve iyi pişmiş kısımda sabit karbon içeriği artar. Bu işlem sonucunda oluşan sert ve gözenekli yapı, kok kömür olarak adlandırılır, metalürji sanayinde kullanılır (Ateşok, 1991).

2.4 Kömürün Kısa Analizi

2.4.1 Isıl değer

Kömürün ısı değeri, türüne ve organik yapısında bulunan yanmayan madde miktarına bağlı olarak farklılık gösterir. Kömürün kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan ısı değeri, oksijen ve nem içeriği daha fazla olan genç kömürlerde düşük değerdedir. Isıl değeri birim ağırlıktaki katı bir yakıtın tamamen yanması ile açığa çıkan ısı biriminin sayısal ifadesidir. Kömürün kalorimetrede, oksijenli bir ortamda elektrikle yakılması ve meydana gelen ısının belli miktardaki suyun derecesini yükseltmesi ile ölçüm yapılır. Alt ısı değeri ise kömürün normal şartlarda içerdiği gazlar ve yakma sırasında suyun yoğunlaşmasıyla çıkan ısının, üst ısı değerinden çıkarılması ile elde edilir (Kural, 1991).

2.4.2 Nem oranı

Kömürde nem miktarı oldukça önemlidir, kömürün mekanik ve fiziksel özellikleri içerdiği nem miktarı ve bağlanma şekliyle doğrudan ilgilidir. Tüvenan kömürlerde, taş kömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60, turbalarda ise %60'ın üzerinde nem içermektedir. Kömürde nem üç şekilde bulunur;

- **Bünye nemi:** Fiziksel olarak yani adsorpsiyon ve kapiler kuvvet ile kömüre bağlı olan su, bünye nemi ya da higroskopik nem olarak adlandırılır.
- **Kaba nem:** Kömür yüzeyindeki boşlukları dolduran suya kaba nem denir.

- **Molekül suyu:** Kömüre kimyasal olarak bağlanan hidrat suyudur ve kömürün toplam nem miktarı içindeki payı düşüktür.

2.4.3 Kül oranı

Kömürün yanması ile bünyesinde bulunan mineral maddeler değişime uğrar ve yanmayan bu kısım külü oluşturur. Kül, hidrat su kaybı, karbonatların ve sülfürlerin bölünmesi, alkali metal klorürlerin uçucu hale gelmesi ve yanma sonucu oluşan metal oksitlerin, organik ve piritik kükürdün bir bölümünü kükürt trioksit halinde tutması ve sıcaklık yeteri kadar yüksek ise oksitler ve silikatların tepkimeye girerek bileşik oluşturmasıdır. Temel olarak kömür bünyesinde bulunan yanmayan inorganik madde içeriğidir.

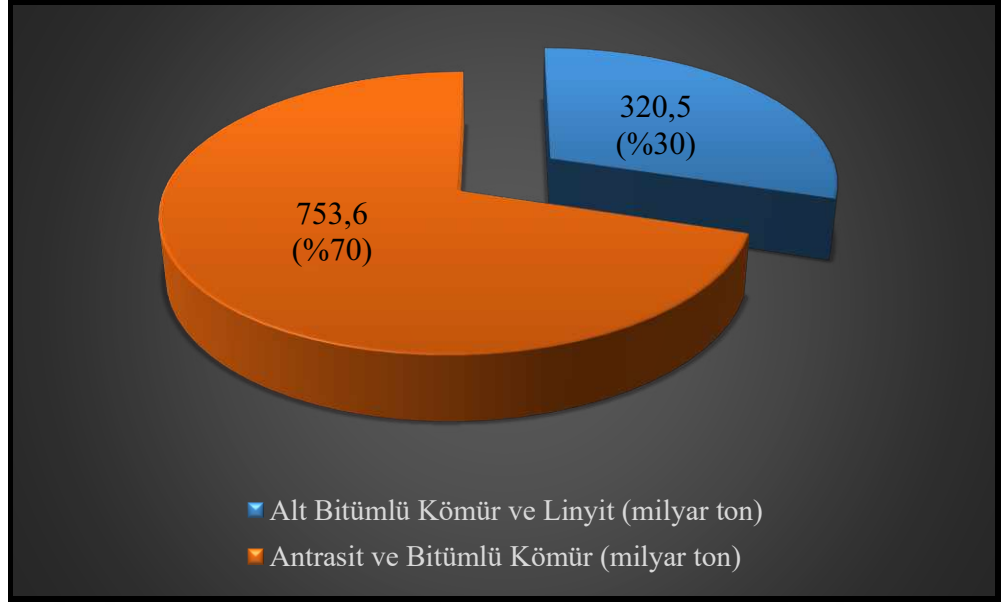
2.4.4 Uçucu madde oranı

Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar. Kömürden çoğunluğu hidrojen, karbonmonoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı ve uçucu gazlardan oluşan katran buharları ve karbondioksitle su buharı gibi yanmayan gazları içeren uçucu madde çıkışı olur. Kömürde, kaba ve bünye nemi uçucu maddeye dahil değildir fakat ayrışma sonucu oluşan su buharı uçucu madde içinde kabul edilir. Kömürleşme derecesine bağlı olarak uçucu madde bileşimi ve miktarı değişir. Linyit kömürlerinde uçucu madde içeriği %69-44 aralığında değişmektedir (Küçükbayrak ve ark., 1991).

2.5 Kömür Rezervleri

2.5.1 Dünya kömür rezervleri

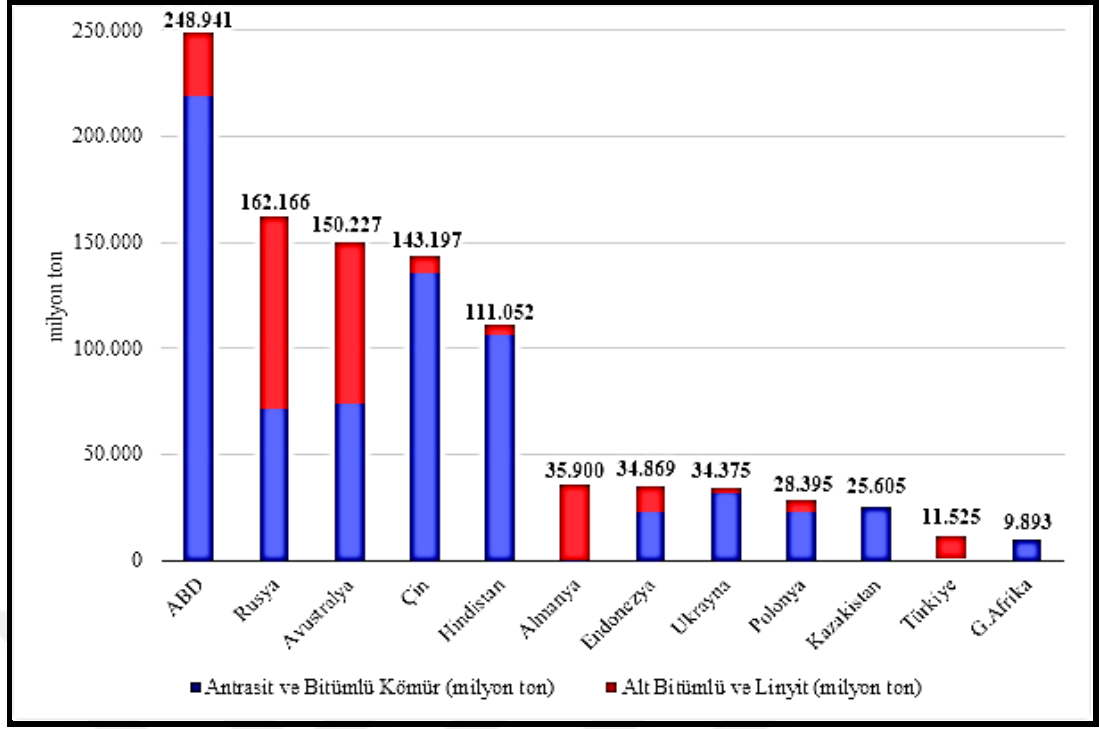
2021 yılı BP (British Petrol) verilerine göre, 2020 sonu itibarıyla dünyada toplam görünür rezerv; bitümlü kömürler, alt bitümlü kömürler, linyit ve antrasitte 1.07 trilyon tondur. Toplam rezervin 753.6 (%70) milyar tonu antrasit ve (bitümlü kömür) ait iken alt bitümlü ve linyit kömürlerin payı 320.5 (%30) milyar tondur. Şekil 2.4'de dünya kömür rezervlerinin dağılımı, kömür kategorilerine göre verilmiştir (ETKB, 2022).



Şekil 2.4 Dünya kömür rezervlerinin dağılımı (ETKB, 2022)

Ülkeler bazında dünya antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinin büyük bir kısmı %29.1'i (218.94 milyar ton), Amerika Birleşik Devletlerine aittir. ABD'yi %17.9 payla Çin (135.07 milyar ton), %14.1'i Hindistan (105.98 milyar ton), %9.8'i Avustralya (73.72 milyar ton) ve %9.5 ile Rusya (71.72 milyar ton) takip etmektedir.

Alt bitümlü ve linyit kömür rezervlerinde; dünyada en büyük paya %28.2'lik oranla (90.45 milyar ton) Rusya Federasyonu sahiptir. Diğer ülkelerde ise sıralama şöyledir; %23.9 Avustralya (76.51 milyar ton), %11.2 Almanya (35.90 milyar ton), %9.4 ABD (30.00 milyar ton), %3.7 Endonezya (11.73 milyar ton) ve %3.4 ile (10.98 milyar ton) Türkiye yer almaktadır. Şekil 2.5'de dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payları verilmiştir (ETKB, 2022).



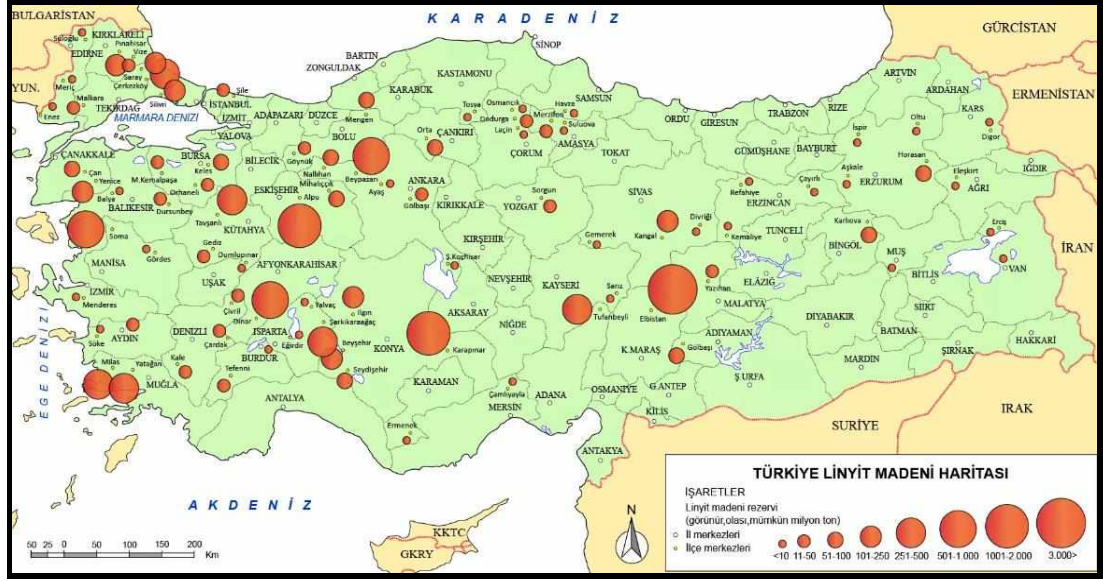
Şekil 2.5 Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payları (ETKB, 2022)

2020 yılında kömür, dünya birincil enerji tüketiminde %27.2'lik oranla sıralamada petrolden sonra gelmektedir. Kömür elektrik üretiminde dünya genelinde, %35.1'lik payla birinci sıradadır.

2.5.2 Türkiye kömür rezervleri

Türkiye'nin 19.32 milyar ton linyit kömür rezervi olup bunun yaklaşık 2.12 milyar tonu Türkiye Kömür İşletmelerinin kontrolünde bulunmaktadır. Ülkemizde 2022 Mart sonunda rödovanslı (imtiyazlı) sahalar dahil toplam 8.95 milyon ton tüvenan kömür, 7.42 milyon ton satılabilir kömür üretimi yapılmıştır.

Fosil enerji kaynağı kömürün, kullanılması esnasında ortaya çıkan emisyonları azaltılarak Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması ve AB ile Türkiye çevre yasal düzenlemelerine uygun hale getirilmesi, hammadde başına üretilen enerji miktarının arttırılması, düşük kalorili linyit kömürlerinin temiz kömür teknolojileri uygulanarak kazanılması ve kömür kalitesinin arttırılması öne çıkmaktadır (TBMM, KİT Komisyonu, 2022). Şekil 2.6'da Türkiye linyit madeni haritası verilmiştir.



Şekil 2.6 Türkiye linyit madeni haritası (<http://cografyaharita.com/haritalarim>, Erişim Tarihi: 24.07.2022)

Türkiye’de toplam kömür kaynağı yaklaşık olarak 20.84 milyar ton olup 19.32 milyar tonu linyit ve asfaltit (%92.7) ve 1.52. milyar tonu (%7.3) taş kömürüne aittir (ETKB, 2022). Ülkemizde 2015-2020 yılları arasındaki enerji hammadde üretimi Çizelge 2.7’de verilmiştir (MAPEG, 2022).

Çizelge 2.7 Enerji hammaddeleri üretimi (ton) (MAPEG, 2022)

Maden Adı	Kurum	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Asfaltit		2.444.416,729	2.187.974	1.808.405	1.404.858	1.567.277	837.112
Bitümlü Şist		86.837,00	385.165	385.051	394.242	372.028	288.185
Linyit	EÜAŞ	15.419.856,67	20.137.855	21.174.499	15.245.265	13.267.974	10.855.125
	TKİ	29.569.004,51	28.629.988	28.572.069	23.307.478	24.330.886	12.432.171
	Diğer Kamu	1.574.208,68	120.722	778.089	84.501	213.501	399.816
	Özel Sektör	38.248.452,39	44.104.896	46.493.038	45.666.248	40.083.687	35.043.058
	Toplam	84.811.522,25	92.993.461	97.017.695	84.303.492	77.896.048	58.730.170
Taş Kömürü	TTK+ Rödövanşçılar	1.613.624,18	1.805.118	1.620.682	1.764.028	1.881.664	2.074.049
Kömür Genel Toplamı		88.956.400,15	97.371.718	100.831.833	87.866.620	81.717.017	61.929.516

Taş kömürü kömürü ısı değeri 6.200-7.250 kcal/kg arasında değişiklik gösterirken linyit kömürü ısı değeri 1.000-4.200 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki linyit kaynağının %79’u alt ısı değeri 2.500 kcal/kg’nın altındadır (ETKB, 2022).

2.6 Kömür Hazırlama ve Temizleme Yöntemleri

Kömür bünyesinde; kil, kum ve karbonat mineralleri gibi farklı özelliklere sahip birçok madde bulunmaktadır. Daha temiz kömür elde etmek için tüvenan kömürden istenmeyen bu mineralleri ayırmak amacıyla kömür temizleme işlemi yapılmaktadır.

Kömür hazırlamada, elle ayıklama yöntemi ilkel bir yöntem olmakla birlikte birçok tesiste uygulanmaktadır. Genellikle kömür temizleme yapılmadan önce 100-150 mm'lik bir elekten geçirilerek elek üstü malzeme yapısına göre elle ayıklanır veya 100-150 mm altına kırılarak elek altı ile birlikte temizleme tesisine gönderilir (Akgül, 2011).

Teknolojik gelişmeyle beraber çeşitli makineler farklı çalışma prensipleri ile kömür ve yantaş arasındaki fiziksel özelliklerden yararlanarak ayırma yapmaktadır.

Kömür hazırlama ve temizlemede; yoğunluk ve renk farklılığı, boyut, şekil, ufalanma, esneklik, sürtünme katsayısı, manyetik duyarlılık ve iletkenlik özellikleri dikkate alınarak ayırma yapan yöntemler kullanılmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2012).

Kömür temizlemede boyuta göre en yaygın kullanılan yöntemler;

- İri kömür için ($\sim +10$ mm) jig, ağır ortam ayırıcılar;
- İnce kömür için ($\sim 0.5-10$ mm arası) jigler, ağır ortam ayırıcılar, sarsıntılı masalar;
- Çok ince boyut (~ 0.5 mm) için ise flotasyon yöntemidir (Akgül, 2011).

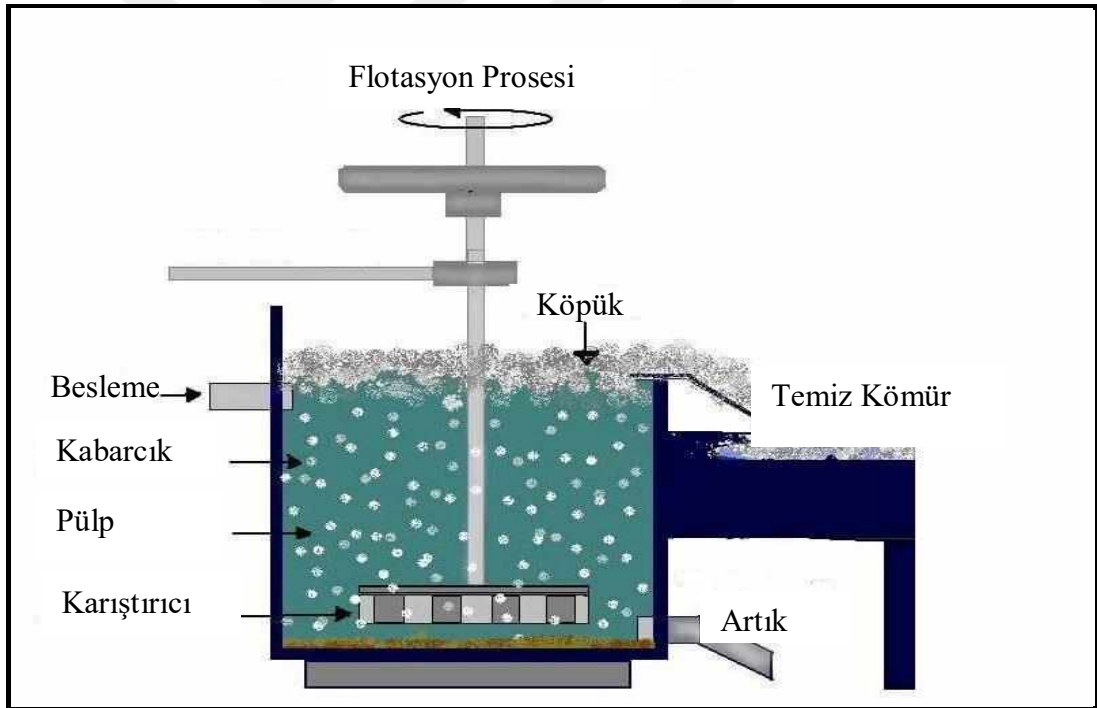
3. FLOTASYON

3.1 Flotasyonun Tanımı

Flotasyon, kömürlerin ince boyuta ($-200\ \mu\text{m}$ ya da daha ince) öğütülerek su ile meydana getirilen pülpte, çeşitli özellikte reaktifler kullanılarak, değerli mineralleri yantaşından ayıran ve minerallerin seçimli ayrışmasını sağlayan fiziko-kimyasal temizleme yöntemidir (Keskin, 1988).

Flotasyon, pülp içinde tanelerin yüzey kimyasal özelliklerinden kaynaklanan, taneler arasında ıslanma farklılıkları ile yapılmaktadır (Yekeler ve Yazar, 1999).

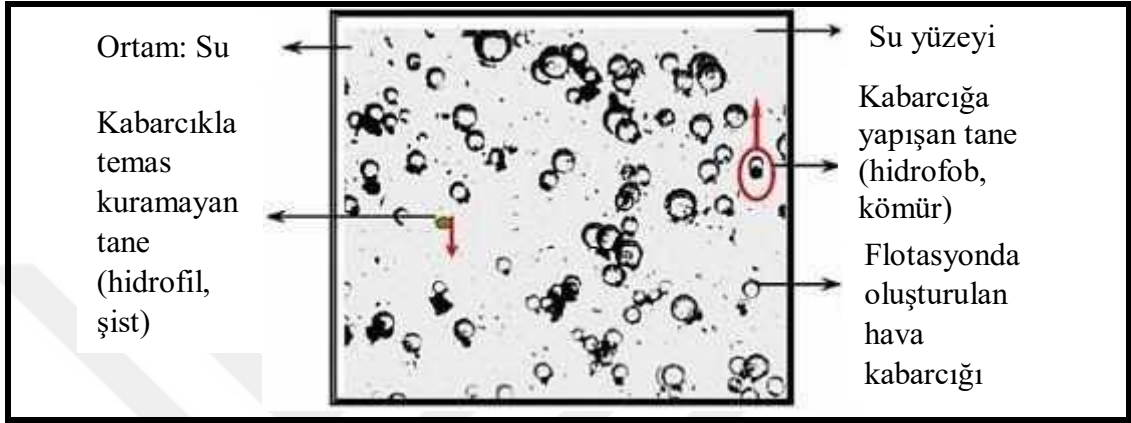
Taneler pülpte oluşturulan hava kabarcıkları aracılığıyla birbirinden ayrılır. Hava kabarcığına temas eden hava sever tanelerin tutunarak yukarı doğru, su sever tutunamayan tanelerin ise aşağı doğru hareket etmesi temeline dayanmaktadır. Şekil 3.1’de genel düz flotasyon mekanizması verilmiştir.



Şekil 3.1 Genel düz flotasyon mekanizması (<https://www.metalurjik.com/flotasyon-deneyi>, Erişim Tarihi: 01.06.2022)

Flotasyon, karmaşık bir prosestir ve ön şartı pülp fazında katıların tamamen süspansiyonunun sağlanmasıdır. Pülpte enerji girişini yükseltmek üzere hava kabarcığı- katı tane bağı dengesi azaltılarak, flote edilebilen maksimum tane boyutu düşürülmelidir (Hui & Amed, 1999).

Flotasyonda üç temel faz söz konusudur. Birbirine benzer olan bu fazlar; katı, sıvı ve gaz fazlarıdır. Fazların her birinin yüzey enerjileri mevcuttur. Söz konusu bu enerjiler yüzey gerilim enerjisidir. Sıvının cinsi ve sıvı içinde bulunan başka maddelere bağlı olarak ortamın hareketiyle etkileşimi farklılık göstermektedir (Keskin, 1988). Şekil 3.2’de flotasyonda, köpük, reaktif ve mineral etkileşimi verilmiştir.



Şekil 3.2 Flotasyonda köpük, reaktif ve mineral etkileşimi (Yılmazel, 2010)

- **Gaz fazı:** Flotasyonda, mineral tanelerinin hava kabarcıklarına tutunarak yüzmesini sağlamak için hava kullanılır. Bazen oksidasyonun önüne geçmek için azot ve su buharı gibi kimyasal reaksiyona girmeyen gazlarda kullanılır.
- **Sıvı fazı:** Flotasyonda sıvı fazı genellikle seyreltik su çözeltisi olur, sıcaklıkla değişen polimer yapıdadır. Pülpte önemli olan hidrojen iyonu (pH) karışımı flotasyonu etkilemektedir.
- **Katı fazı:** Katı fazı minerallerin molekül yapısına göre; moleküler, iyonik, heteropolar, metalik ve yarı metalik olarak kristalleşirler, flotasyonda söz konusu olan mineraller genellikle yarı metalik kristal yapıdadır (Yılmazel, 2010).

Flotasyonda, üç parametrenin doğru seçimi başarılı bir temizlemeye ulaştırabilir:

- Flotasyon kimyası (uygun flotasyon koşulları ve reaktifleri)
- Flotasyon zamanı (flotasyon birim hücrelerinin hacmini ve sayısı belirlemek)
- Karıştırma şiddeti ve hava miktarı (flotasyon makinasının tipini ve güç gereksinimini belirlemek (Hoşten, 2002).

- Cevher maksimum boyutunun 0.5-0.2 mm aralığında ve %15-35 katı oranında ayarlanması (Yılmaz, 2019).

3.2 Flotasyon Makineleri

Flotasyon, ince boyutta kömürlerin temizlenmesinde en büyük potansiyele sahiptir. 1920 yılından beri bitümlü kömürlerin -0.5 mm'lik fraksiyonlarının yıkanmasında kullanılmaktadır. Fakat mekanik hücre, flotasyondaki olumsuz şartlardan dolayı istenen verim ve kül içeriğinde temiz kömür üretimini engellemektedir. Bu nedenle 1980'li yıllardan sonra flotasyon teknolojisinde pek çok yenilik olmuştur (Yılmazel, 2010).

3.2.1 Mekanik hücreler

Flotasyonda kullanılan en eski makinelerdir. Mekanik hücrelerde karıştırma işleminin üç temel işlevi vardır. Bunlar:

- Taneleri askıda tutmak
- Pülpün hücre içerisindeki çevirimini sağlamak
- Hücre içindeki havalandırmanın sağlanmasıdır.

Bu mekanik hücrelerin en büyük sakıncası karıştırma sonucu meydana gelen türbülansla kabarcığa tutunan tanelerin birbirinden ayrılmasıdır (Aksarı, 1998).

3.2.2 Jet flotasyonu

Jet flotasyonunda 20 μm 'nin altındaki boyutlarda dahi etkili bir ayırma yapabilmektedir. Pülp ayrıca karıştırma işlemine gerek duymaksızın yüksek basınçla dar bir kesitten havayla beraber geçirilerek enerji ile yüklenmekte ve bu enerji pülpün karıştırılmasında kullanılmaktadır. Diğer sistemlere göre kabarcık miktarı fazla ve kabarcık çapı küçüktür. Bu durum flotasyon süresinin çok kısılmasına neden olmaktadır. Jet flotasyonu 0.8 m³'lük bir hücre ile saatte 7 ton kömürü temizleme işlemi yapabilmektedir (Yılmazel, 2010).

3.2.3 Jameson flotasyonu

Pülp ve hava aynı yönde (eş zamanlı) hücre tabanına doğru inen bir boru içerisinde karışarak ayırmanın gerçekleştiği hücreye aktarılmaktadır. Yükselen tane ile yüklenmiş kabarcıklar yıkama suyuyla yıkanan köpük tabakasına girerler. Jameson hücresinde tanelerin kalma sürelerinin az olması sebebiyle tek aşamada istenilen performans

elde edilememektedir. Bu nedenle Jameson hücresinde atığın bir bölümü tekrar hücreye beslenerek flotasyon tekrar edilir (Aksarı, 1998).

3.3 Flotasyon Reaktifleri

Flotasyonda ara yüzeyler; reaktifler, gazlar ve mevcut durumun iyonik yapısı, hidrodinamik, enerji ve kinetik gibi birçok faktörün etkisinde kalmaktadır (Yekeler ve Yazar, 1999). Flotasyonda bu durumları düzenlemek amacıyla çeşitli özelliklere sahip toplayıcı, köpürtücü ve diğer reaktifler kullanılarak proses işler duruma getirilmektedir (Ersoy, 2014).

3.3.1 Toplayıcı (kollektör) reaktifler

Toplayıcı reaktifler organik bileşiklerdir iyonlaşan veya iyonlaşmayan bileşikler olabilirler. Mineral yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayarak mineral yüzeyini su iten duruma getirirler. İyonlaşan toplayıcılar karmaşık moleküllerdir ve simetrik olmayan yapıları vardır. Toplayıcılar çift gruptur ve bünyelerinde; su iten özelliğe sahip kutuplu olmayan hidrokarbon grup ve su ile reaksiyona giren kutuplu grup içerir.

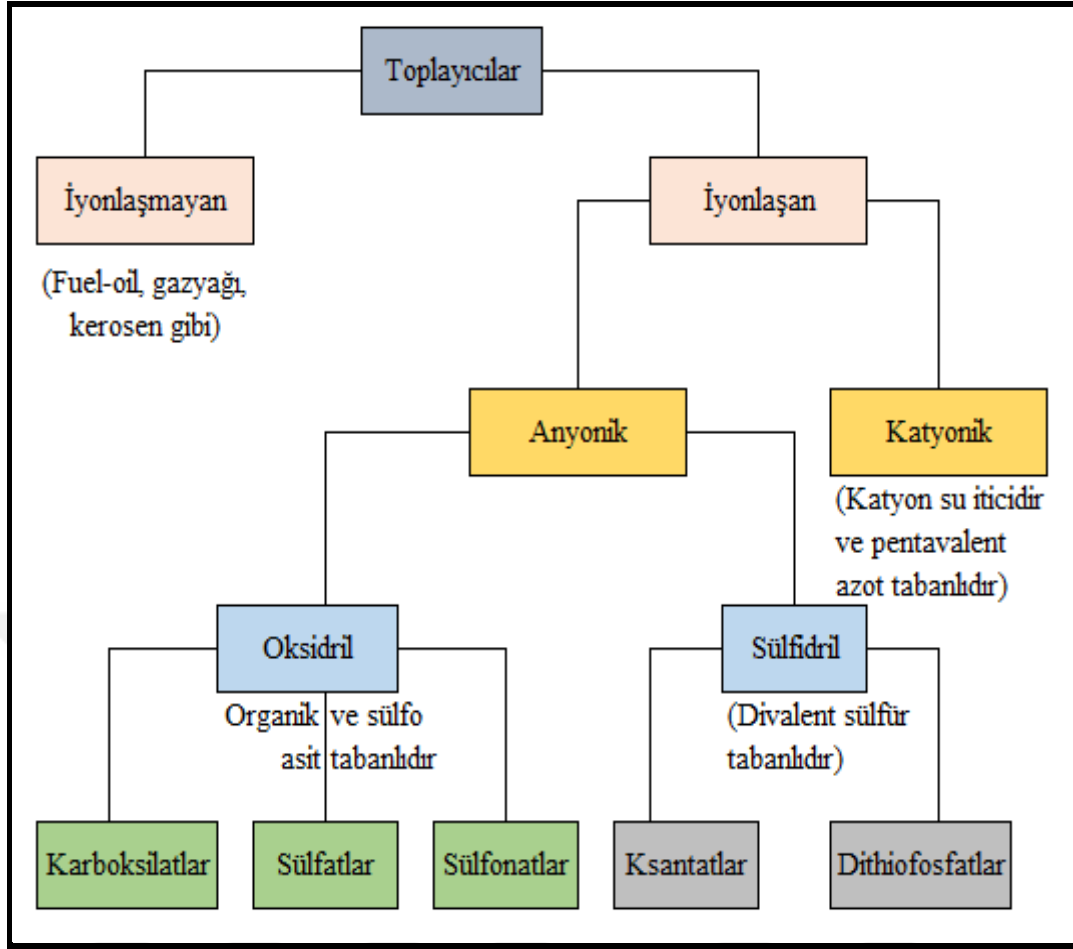
Genellikle hidrokarbonlarda ve kovalent bağlı bileşiklerde molekül yapısı simetrik olup çift kutuplu moment yoktur bu maddelere kutupsuz maddeler denir.

Kutuplu olmayan maddeler kutuplu olan su gibi sıvı ile ilişki kuramaz ve ıslanamazlar. Bazı organik reaktifler kullanılarak ıslanabilen mineraller hidrofobik yüzey özelliği kazanabilir, bu reaktiflere toplayıcı reaktif adı verilir.

Flotasyonda kömür kısmen doğal hidrofob özelliğe sahip olmasına rağmen reaktiflerin özelliklerine ve miktarına bağlı olarak çeşitli organik bileşiklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür bileşikler genellikle nötr yağlar olan toplayıcı reaktiflerdir (Yeşilyurt, 2014).

Flotasyonla temizleme yönteminde, toplayıcı reaktifler; mineral çeperini kaplayarak yüzeyi hidrokarbon tabakası ile kaplayan mineralin hava kabarcığına tutunmasını ve oluşan köpükten temiz ürünün ya da ters flotasyon işleminde artığın alınmasını sağlayan kimyasallardır.

Flotasyonda iyonlaşan toplayıcılar anyonik ve katyonik olarak gruplandırılabilirler. Şekil 3.3’de flotasyonda kullanılan toplayıcıların gruplandırılması verilmiştir (Bulut ve Göktepe, 2012).



Şekil 3.3 Flotasyonda kullanılan toplayıcıların gruplandırılması

3.3.2 Köpürtücü reaktifler

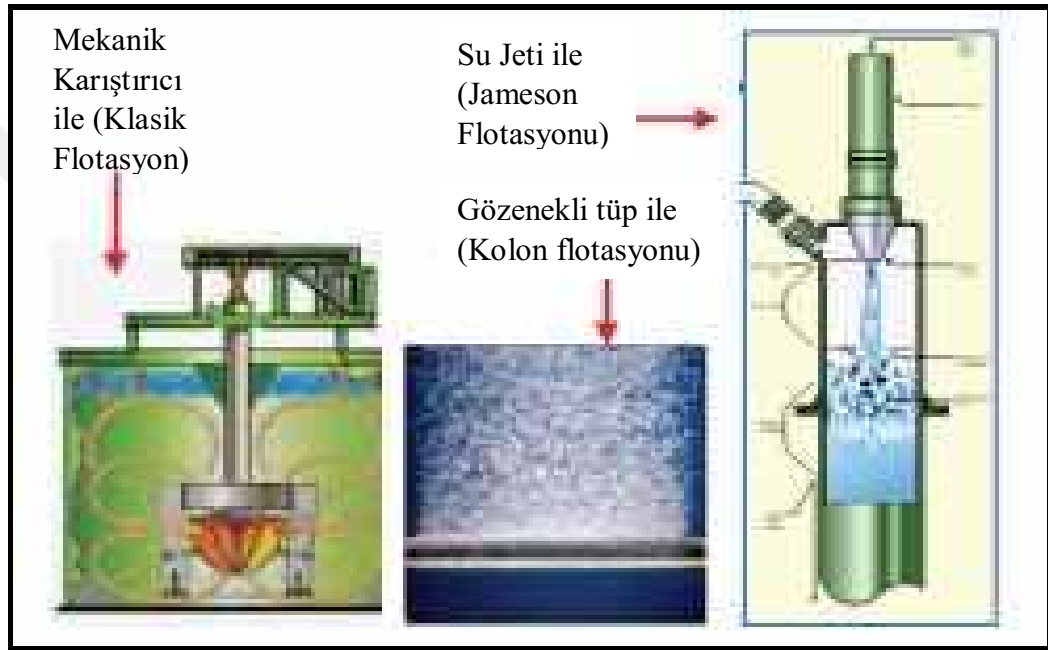
Köpürtücü reaktifler ince kabarcıklar oluşturarak flotasyon şartlarını değiştirirler ve sağlam kalmalarını sağlayarak kömür taneleri ile köpük temasını artırıp taşınmalarını kolaylaştırırlar. Köpüğün direncinin artması tanelerin hava kabarcığına tutunmasına ve yüzey özelliği kazanmalarına yardımcı olurlar. Köpürtücü reaktifler aynı zamanda gerçekleşecek hava-su ara yüzey gerilimlerini indirgeyerek kabarcıkların birleşmesini engellemektedirler.

Köpürtücü reaktif, kutuplu-kutuplu olmayan bileşikler olup yüzey gerilimini düşürerek sağlam hava kabarcığı oluşumunu sağlar. Köpürtücü reaktif suda çözünmelidir, aksi halde köpük oluşmaz ya da yeterli boyutta köpük olmaz. Köpürtücünün taşıma kapasitesi flotasyona beslenecek kömür veya cevherin tane boyutunu etkiler. Kullanılan reaktif miktarı, su ile orantılı olarak değişir ve cevher miktarına bağlı değildir. Flotasyonda reaktif sarfiyatını azaltmak için köpürtücünün sıvı-gaz fazları arasında kalan yüzeyde, iyi bir aktivite ve iyi bir taşıma yeteneğine

sahip olması gerekmektedir. Flotasyonda iyi bir köpüğün özelliği ise küçük kabarcıklı ve dayanıklı olmasıdır (Ethem, 1974).

Kömür flotasyonunda genellikle köpürtücü olarak, alkoller (MIBC, oktanol hegzanol), çamyağı, poliglilkoller (DF-200, DF-250, DF-40) ve kresilik asit kullanılmaktadır (Yeşilyurt, 2014).

Flotasyonda hava kabarcığı oluşumu kullanılan flotasyon makinesinin türüne göre farklı şekillerde olabilir. Şekil 3.4’de flotasyon makinesine göre çeşitli kabarcık oluşumu verilmiştir (Hacıfazlıoğlu, 2007).



Şekil 3.4 Flotasyon makinesine göre çeşitli kabarcık oluşumu

3.3.3 Diğer yardımcı reaktifler

Flotasyonda, aktifleştiriciler (canlandırıcı), bastırıcılar ve pH düzenleyici gibi yardımcı maddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ortamda mevcut toplayıcı reaktif hidrofobik olması istenen mineral taneleri yüzeyinde yeteri kadar etkili olmadığında bir miktar aktifleştirici ile aktif hale getirilir. Bastırıcılar toplayıcı reaktifin etkisinden kurtarıp ayrışmayı sağlamak amacıyla kullanılır. Flotasyonda suyun pH değeri oldukça önemlidir. Asidik veya bazik ortam flote olayına aksi yönde etki edebileceğinden pH derecesi kontrol edilmelidir (Keskin, 1988). Çizelge 3.1’de kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler (Laskowski ve ark., 1994)

Reaktif	Örnek	Açıklama
Toplayıcılar	Suda çözünmez, yağlı hidrokarbonlar, gazyağı, fuel oil.	Emülsiyon flotasyonunda kullanılır. Toplayıcılar kömür taneciklerini bağlar.
Köpürtücüler	Suda çözünen yüzey aktif maddeler, metil isobütil karbinol, alifatik alkoller.	Köpük dayanıklılığı, köpürtücünün yağ/ su arayüzeyine ve kömür yüzeyine adsorblanmasıyla sağlanır. Toplayıcı özelliği de vardır.
Canlandırıcılar	Emülsiyonlaştırıcılar	Düşük kalorili kömürlerde yüzeye adsorblanarak aktifleştirir.
Bastırıcı- Dağıtıcı	Organik kolloitler, dekstrin, karboksi metil, selüloz vb.	Kömür üzerine adsorblanarak hidrofilik yapar.
İnorganik Tuzlar	Sodyum klorür, kalsiyum klorür, sodyum sülfat, vb.	Yüzebilirliği artırır. Daha çok metalürjik kömürlerde kullanılan bir yöntemdir. Reaktif kullanılmadan da uygulanabilir.

3.4. Kömür Flotasyonu

Kömürün organik kısmı genellikle hidrofobik yapıdadır. Bu organik kısmı temiz kömür olarak kazanılmakta olup inorganik olan hidrofilik kısmı ise flotasyonda artık olarak elde edilir. Kömür flotasyonu organik yapının seçimli olarak hava kabarcığına yapışması temeline dayanmaktadır. Seçimlilik taneciklerin hava kabarcığına yapışma niteliğine ve tanecik-su etkileşimine bağlı olarak yapılmaktadır (Pawlik ve Laskowski 2003).

Kömür flotasyonu diğer metalik minerallerin flotasyonu ile kıyaslandığında daha kolaydır. Kömür flotasyonu için boyutun 0.5 mm'nin altında olması yeterlidir. Hatta pratikte 0.7-1.0 mm'ye kadar kömür taneleri flote edilebilir.

Flotasyonda hidrokarbon yağı ve köpürtücü etkisiyle kömür parçacıkları yüzeyindeki atomlar, su moleküllerinin affinitesine ihtiyaç duymadan yüzeyleri ince bir hidrokarbon tabakasıyla kaplanır. Daha sonra hava kabarcıklarına tutunurlar ve köpükle beraber su yüzeyinde toplanarak alınır (Keskin, 1988).

Kömür flotasyonunda etkili olan temel faktörler şunlardır;

- Flote edilecek kömür tane boyutu,
- Kömürün petrografik yapısı,
- Pülp katı oranı,
- Temas açısı,
- Pülp pH değeri ve kullanılan reaktiflerdir.

3.4.1 Tane boyutu etkisi

Kömürün seçimli olarak temizlenmesinde serbestleşme derecesi yani uygun tane boyutu oldukça önemli bir etkidir. Elektroforetik hareket teorisine göre flotasyonda parçacık-kabarcık çarpışmasında belirli bir kritik tane boyut altında sıfır olmakta ve 10 µm boyutu altında kalan tüm parçalar eşit olarak yüzmektedirler (Canpolat, 2003).

3.4.2 Kömür petrografik yapısı

Kömürlerin petrografik yapısı flotasyon başarısında önem arz etmektedir ve kömür yapısı vitrinit olan düritten daha kolay flote edilmektedir. Kömür oksit ve yüksek uçucu içeriğine sahip ise flote etmek zorlaşırken uçucu içeriği düşük ve oksidasyonu az olan kömürler daha kolay flote edilirler (Keskin, 1988).

3.4.3 Katı oranı etkisi

Kömürde katı oranı mümkün olduğu kadar düşük tutulursa temiz kömür elde etmek o kadar kolaylaşmaktadır. Katı oranı yükseldikçe verim artarken flotasyonda seçimlilik azalır (Canpolat, 2003).

Kömür flotasyonunda verimli bir ayrışma sağlayabilmek için su-katı madde oranlarının iyi ayarlanması gerekir, ortalama olarak ağırlıkça %20-25 oranında katı oranı ile başarılı sonuçlar alınmaktadır (Keskin, 1988).

3.4.4 Temas açısı

Flotasyon yeteneğini belirleyen parametrelerden biri olan temas açısı karbon içeriğine göre değişiklik gösterir. Kömürde orta derecede uçucu kısım içeren bitümlü kömürlerin doğal hidrofobluğu gösteren temas açısı 60 °C'nin üzerindedir. Düşük karbonlu linyit kömürlerde ise temas açısı hızla düşmektedir (Atak ve Önal, 1991).

3.4.5 Pülp pH değeri

Flotasyonda mineralin yüzme kabiliyetleri, ortamın asidik ve bazik olması ile değişir. Su içerisinde H^+ ve OH^- iyonları durumuna göre asidik ve bazik ortam olarak değerlendirilir. Herhangi bir madde ilave edilmediği takdirde H^+ ve OH^- iyonları birbirine eşittir ve nötr $pH=7$ 'dir. Ortamın pH değeri 7'den büyük ise bazik, 7'den küçük ise asidik ortam olarak kabul edilir. Minerallerin yüzey elektrik yükleri pH derecesine göre değişmektedir. Kömürde ortamı asidik yapmak için H_2SO_4 , HCl , HF gibi asitler, ortamı bazik yapmak için de $NaOH$, Na_2O , CaO kullanılır (Yılmazel, 2010).

3.5 Flotasyonda Yapılmış Çalışmalar

Diş, (2020) Çan Bölgesi linyit kömürlerinin flotasyonunda, KCl , $NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ tuzlarının farklı karışımları kullanılarak etkisi araştırılmıştır. Flotasyon hücresinde oluşan kabarcık sayısı ve boyutu belirlenerek bu tuzların eşliğinde gazyağının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir. Linyitin hidrofobluğunu arttırmak için tuzlu su ortamında flotasyon tekniği uygulanmıştır. Teknik kalite KCl , $NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ tuzları 10-2, 10-1, 5x10-1 ve 1 Molar karışımlarında tuz çözeltileriyle beraber başka reaktif kullanılmadan temizlenmiştir. Yapılan deneylerde yüzen ürün miktarında artış sıralaması $CaCl_2 > MgCl_2 > NaCl > KCl$ şeklinde elde edilmiştir. Tuzlu su ortamı çift değerlikli tuzlarla hazırlandığında linyit flotasyonunda, tek değerlikli tuzlarla hazırlanan su ortamına göre daha iyi performans göstermiş ve flotasyon verimi artmıştır. Tuzların 1 Molar çözeltilerinde gazyağı 200, 600, 1000, 1400 g/ton miktarlarında kullanılarak tekrarlanmış, gazyağının tuzlu ortamda linyit flotasyonunda çift değerlikli tuzlarda verimini arttırdığı belirtilmiştir.

Kaya ve Taşdöğen, (2020) çalışmalarında Sivas/Gemerek ilçesine ait linyit numunesinde, ince boyut (-500 μm) kömür tanelerinin flotasyon yöntemi ile temizlenmesinde etkili olan parametreler araştırılmıştır. Deneylerde; bastırıcı reaktif olarak sodyum silikat 0-1000 g/ton, toplayı reaktif gazyağı 50-3000 g/ton, köpürtücü

reaktif MIBC 15-1000 g/ton miktarlarında kullanılarak, flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optimum flotasyon koşulları; -500 µm tane boyutu, katı oranı %10, pülp pH değeri 2, kondüsyon süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bastırıcı reaktif 250 g/ton sodyum silikat, toplayıcı reaktif 250 g/ton gazyağı ve köpürtücü reaktif 100 g/ton MIBC kullanılarak temiz kömürde; ağırlıkça verim %37.18, yanabilir verim %40.11 ile kül içeriği %19.08'den düşürülerek %12.70 olarak elde etmişlerdir.

Şahinoğlu, (2019) çalışmasında Artvin/Yusufeli Müzret bölgesine ait kömür numunesinde tanelerin hidrofobluğunu arttırmak amacıyla 4 farklı toplayıcı reaktif kullanılarak kömür flotasyonu performansını araştırmıştır. Deneylerinde mazot, fuel oil, ayçiçek yağı, ve atık ayçiçek yağı olmak üzere %35.65 yüksek kül ve %7.91 kükürt içeriği ile -0.25 mm toz boyutunda kömür flotasyon performansını incelemiştir. Çalışmalarında; en yüksek yanabilir verim toplayıcı reaktif mazot kullanıldığında %87.48 ve kül uzaklaştırma fuel oil kullanıldığında %58.36 olarak elde edilmiştir. Flotasyonda petrol kökenli yağlar yerine kolaylıkla bulunabilecek bitkisel yağların kullanılabilirliği sonucuna ulaşmışlardır. Atık ayçiçek yağının flotasyonda yanabilir verim %84.19 ve kül uzaklaştırma %56.17 olarak elde edilmiş deneylerde diğer yağların etkisine benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Gan Cheng ve ark., (2019) çalışmalarında iç Moğolistan'ın Huolinhe Kömür Sahası'ndaki linyit kömürü kullanılarak flotasyonunda toplayıcı optimizasyonu ve etki mekanizmaları araştırılmıştır. Linyitin fiziko-kimyasal özellikleri analiz edilmiş, parçacık boyutu ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile tespit edilmiştir. Linyit, altı farklı toplayıcı kullanılarak iki farklı emülsifiye toplayıcı ile flotasyon tepkileri karşılaştırılmış indüksiyon süresi düşürülmüş ve süre; dizel>gazyağı>emülsifiye gazyağı>emülsifiye dizel olarak sıralanmış, C1 (isimsiz toplayıcılardan biri) flotasyon performansı ile tutarlı çıkmıştır. C1 ve emülsifiye toplayıcılar iri kömürün yüzdürülmesinde (-500+250 µm) katkı sağlayarak, yüzdürme performansını önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Şalgalı İlikay, (2019) çalışmasında Konya/İlgın yöresine ait düşük kaliteli linyit kömürünün flotasyonu NaCl, MgCl₂ ve CaCl₂ inorganik tuzları varlığında reaktif olarak gazyağı ve köpürtücü kullanılarak ve kullanılmadan incelenmiştir. Ayrıca zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri yapılarak linyit kömürü geniş pH aralığında negatif bir yüzey şarjı sergilediği ve isoelektrik noktaya (iep) sahip olmadığı anlaşılmıştır. Linyitte negatif şarjının büyüklüğü 10⁻² M karışımı üzerinde önemli

ölçüde azaldığı ve flotasyon reaktifi kullanılmadan linyitin flotasyonunda benzer değerden daha yüksek tuz karışımlarında düşük derecede olduğu tespit edilmiştir. Kömürde temas açıları artan tuz karışımları ile artış göstermiştir. Linyit flotasyonu yüksek reaktif kullanımında ve flotasyonda reaktif kullanılmadan yüksek inorganik tuz derişimlerinde istenilen başarıya ulaşılammıştır. Ancak linyitin flotasyonu gazyağı ve MIBC reaktiflerinde başarılı olmuştur. Kül içeriğı %25.02 olan linyit kömüründe %19 kül içeriğine sahip bir temiz kömürde %51.2 yanabilir verimle 10^{-1} $MgCl_2$ ve 8 kg/ton gazyağı karışımında elde edilmiştir. $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ tuzlarının linyit flotasyonunda NaCl tuzundan daha etkili olduğu görülmüştür.

Yeşilyurt, (2014) çalışmasında Zonguldak Bölgesine ait alt bitümlü şlam kömürünün flotasyon performansı çeşitli toplayıcı reaktiflerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, filtrasyon ve flotasyon esnasında yantaş taşınma davranışları araştırılmıştır. Çalışmada Hidrofil-Lipofil denge değerleri 4.8 ile 18.4 arasında değişen Triton X-15, X-114, X-100, X-102, X-165, X-305 ve X-705 non-iyonik sürfaktanları ve yağlı toplayıcılar olan motorin ve gazyağı flotasyon+filtrasyon karakteristikleri mukayese edilmiştir. Deneylerden önce bitümlü kömür şlamı (200 μm 'nin üzerinde) $d_{80}=120 \mu m$ ve $d_{50}=38 \mu m$ boyutları olarak belirlenmiştir. Toplayıcı reaktiflerde en uygun miktar 50 g/ton non-iyonik sürfaktanlarla beraber MIBC 75-100 g/ton optimum köpürtücü olarak belirlenmiştir. Yalnızca MIBC 100 g/ton miktarında X-15, X-102 ve X-114 toplayıcılar kullanıldığında ayırma eşik değerinin üzerine çıkmıştır. Motorin ve gazyağı toplayıcıları kullanıldığında Triton-X non-iyonik sürfaktanlardan ayırmada daha etkili olmuştur. Motorin ve gazyağı toplayıcı reaktifleri 75 g/ton ve köpürtücü 75-100 g/ton miktarı en uygun miktar olarak belirlenmiş ve %17 kül içeriğı lavede sırayla %62 ve %64 ayırma etkinliklerine ulaşılmıştır. Temiz kül içeriğine sahip lave üretiminde gazyağı daha etkili olmuştur. Sürfaktanların tümünde elde edilen %17 küllü temiz kömür ile en fazla su taşınması X-15 reaktifinde olmuştur. Sürfaktanların tamamında elde edilen %17 küllü ürünler aynı koşullarda filtrasyon uygulanmış en düşük özgül kek direnci gösteren X-15 diğer sürfaktanlar ve yağlı toplayıcılardan daha başarılı olmuştur. Çalışmaların tamamında flotasyon ile filtrasyon performansları beraber değerlendirildiğinde yağlı toplayıcıların flotasyon başarısına rağmen lipofilik non-iyonik sürfaktan ile en iyi flotasyon verimi elde edilmiştir.

Hacıfazlıoğlu, (2011) çalışmasında, Zonguldak bitümlü şlam kömürünün Jameson hücresi kullanılarak flotasyonda en uygun toplayıcı ve köpürtücü türünü incelemiştir. Köpürtücü reaktifte 4 farklı tipte (MIBC, Dowfroth 250, çamyacı, 2-etil hegzanol) ve dört farklı özellikte toplayıcı (gazyağı, fuel oil, motorin, benzin) kullanılarak araştırılmıştır. Flotasyonda en yüksek verim; köpürtücü olarak MIBC, toplayıcı olarak gazyağı ile ve en düşük küllü temiz kömürlerde; 2-etil hegzanol köpürtücüsü ve toplayıcı olarak benzin kullanılarak elde edilmiştir. Jameson hücresinde optimum reaktifler kullanılarak %48.80 kül içeren bitümlü kömür şamlarından %78 yanabilir verim, %15.48 kül içeren koklaşabilir özellikte temiz kömür elde edildiği belirtilmiştir.

Yılmazel, (2010) çalışmasında, Çatalağzı termik santraline (ÇATES) beslenen lavuar artıkları temizlenmesinde flotasyon koşullarını incelemiştir. Yaptığı deneylerde 1 litrelik flotasyon hücresi, devir sayısı 1300-1500 ve pH % 6.5-7, katı oranı %10-30, toplayıcı 300-3375 g/ton, köpürtücü 30-337.5 g/ton olarak belirlemiştir. Çalışmasında optimum flotasyon koşullarında %96.91 verim elde etmiş ve sonuçları Yates yöntemi kullanılarak yorumlamıştır. Sonuç olarak ÇATES'te kullanılan lavuar artıkları flotasyonda, kok kömür derecesinde ısı değere ulaştığı belirtilmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

Flotasyon yöntemiyle temiz kömür elde edilmesinde kullanılan linyit kömür numunesi Çorum/İskilip Yılmaz Madencilik San. ve Tic. A.Ş linyit işletmesinden numune alma yöntemlerine uygun olarak temin edilmiştir. Flotasyon deneylerinde kullanılan reaktifler ile kimyasal malzemelerin kullanım amacı ve yoğunlukları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Flotasyonda kullanılan reaktifler ile kimyasal malzemelerin kullanım amacı ve yoğunlukları

Reaktif Adı	Kullanım Amacı	Yoğunluk (g/cm ³)
Gazyağı	Toplayıcı	0.77
Mazot	Toplayıcı	0.81
Fuel oil	Toplayıcı	0.99
Dehpa (C ₁₆ H ₃₅ PO ₄)	Toplayıcı	0.93
Cyanex-272 (C ₁₆ H ₃₅ PO ₂)	Toplayıcı	0.92
LIX-984 (C ₁₆ H ₂₇ NO ₂)	Toplayıcı	0.93
Sodyum Silikat (Na ₂ SiO ₃)	Bastırıcı	2.40
Çamyağı	Köpürtücü	0.95
Metil İzobütil Karbinol (MIBC) (C ₆ H ₁₄ O)	Köpürtücü	0.80
Dowfroth 250 (DF-250) (C ₇ H ₁₆ O ₃)	Köpürtücü	0.97
Sülfürik Asit (H ₂ SO ₄)	pH ayarlayıcı	1.84
Sodyum Hidroksit (NaOH)	pH ayarlayıcı	2.13
Aseton (C ₃ H ₆ O)	Kimyasal çözücü	0.79

Çalışmada kullanılan reaktiflerin bazı özellikleri ise aşağıda verilmiştir:

Gazyağı: Petrolün distile edilmesiyle elde edilen (toplam hacmin %10-25’i) renksiz, yağlı, hızla alevlenebilen ve keskin kokusu olan bir sıvıdır. Fraksiyonlu distilasyon sonucunda üretilen karbon zincirleri karışımı genellikle her molekülü 6 ile 16 arasında karbon atomu içermektedir. Düşük viskozite ve yüzey gerilimine sahip olmakla birlikte saf parafin içeren ticari yağdır.

Mazot: Parafin, naften, olefin içeren karmaşık hidrokarbon bileşiğidir. Akaryakıt olarak da kullanılan mazot, ham petrol damıtma tortusu şeklinde elde edilen sıvı bir yakıttır.

Fuel oil: Koyu renkte az akışkan bir özelliğe sahip petrol ürünüdür. Kükürt değeri en çok %1.5 olan fuel oil, kal-yak (kalorifer yakıtı) olarak da bilinmektedir.

Dehpa: Molekül formülü $C_{16}H_{35}PO_4$, molekül ağırlığı 322 g/mol ve 0.97 saflık derecesine sahiptir. Dehpa çok yönlü kullanılan bir ekstraktandır ve kimyasal adı dietil hegzil fosforik asit olarak bilinir. Solvent ekstraksiyon, saflaştırma, temizleme, ayırım ve metal tuzlarını geri kazanma işlemlerinde sıkça kullanılır. Dehpa, alifatik, aromatik organik solventlerin içinde çözünebildiği gibi alkol içerisinde de çözünürlüğe sahiptir. Genellikle Dehpa için kullanılan solventler, kerosen veya Shellsol D70'dir.

Cyanex-272: Molekül formülü $C_{16}H_{35}PO_2$, molekül ağırlığı 290 g/mol, saflık derecesi 0.87'dir.

LIX-984: Cognis firmasının geliştirmiş olduğu %50 LIX 84-I ve %50 LIX 860 NI ($C_{16}H_{27}NO_2$) karışımli bir üründür. Molekül ağırlığı LIX 84-I: 263 g/mol ve LIX 860 NI: 297 g/mol'dür. Yoğunluk: LIX 84-I: 0.91 g/cm³, LIX 860 NI: 0.95 g/cm³ ve 0.97 saflık derecesine sahiptir.

Sodyum silikat (Na_2SiO_3): Katı ya da sulu çözelti içerisinde kullanılabilen saf bileşimleri bulunan renksiz veya beyaz renkli olan kimyasal bir bileşiktir. Bastırıcı reaktif olarak kullanılır.

Çamyağı: Çeşitli çam türlerinden, özellikle Pinus sylvestris'den, kütüklerin, iğnelerin, dalların ve konilerin buharla damıtılmasıyla elde edilen uçucu bir yağdır. Renksiz ve soluk sarı sıvı görünüşe sahiptir.

Metil isobütil karbinol (MIBC): Alifatik bir alkol olan MIBC renksiz, stabil ve hafif kokuludur. Mineral flotasyonunda kullanılabilen kırılğan köpük oluşumunu sağlayan köpürtücüler arasında yer almaktadır. Nötral özelliğe sahip köpürtücü olmasından dolayı hem asidik hem de bazik pülpte kullanıma olanak sağlamaktadır. Molekül ağırlığı 102.17 g/mol'dür.

Dowfroth 250 (DF-250): Orta moleküler ağırlıklı bir glikol eter köpürtücüdür. Molekül ağırlığı 148.2 g/mol'dür.

Sülfürik asit (H_2SO_4): Güçlü ve aşındırıcı bir mineral asididir. Hafif viskozite ve keskin kokuya sahip olup su ve diğer çözücülerde kolaylıkla çözünür. H_2SO_4 , molekül ağırlığı 98 g/mol ve saflık derecesi 0.95-0.98 aralığında yer alır.

Sodyum hidroksit (NaOH): Diğ er bir adıyla kostik, beyaz renkte nem çekici bir maddedir. Suda kolaylıkla     n r ve yumuşak, kaygan ve sabun hissi veren bir     lti oluşturur. NaOH, molekül ağırlığı 40 g/mol'dür.

Aseton (C₃H₆O): Kireçle doyrulmu  odun asidinin kuru damıtılmasıyla elde edilen renksiz, kolay alev alan bir sıvıdır. Molekül ağırlığı 58 g/mol, saflık derecesi 0.995'dir.

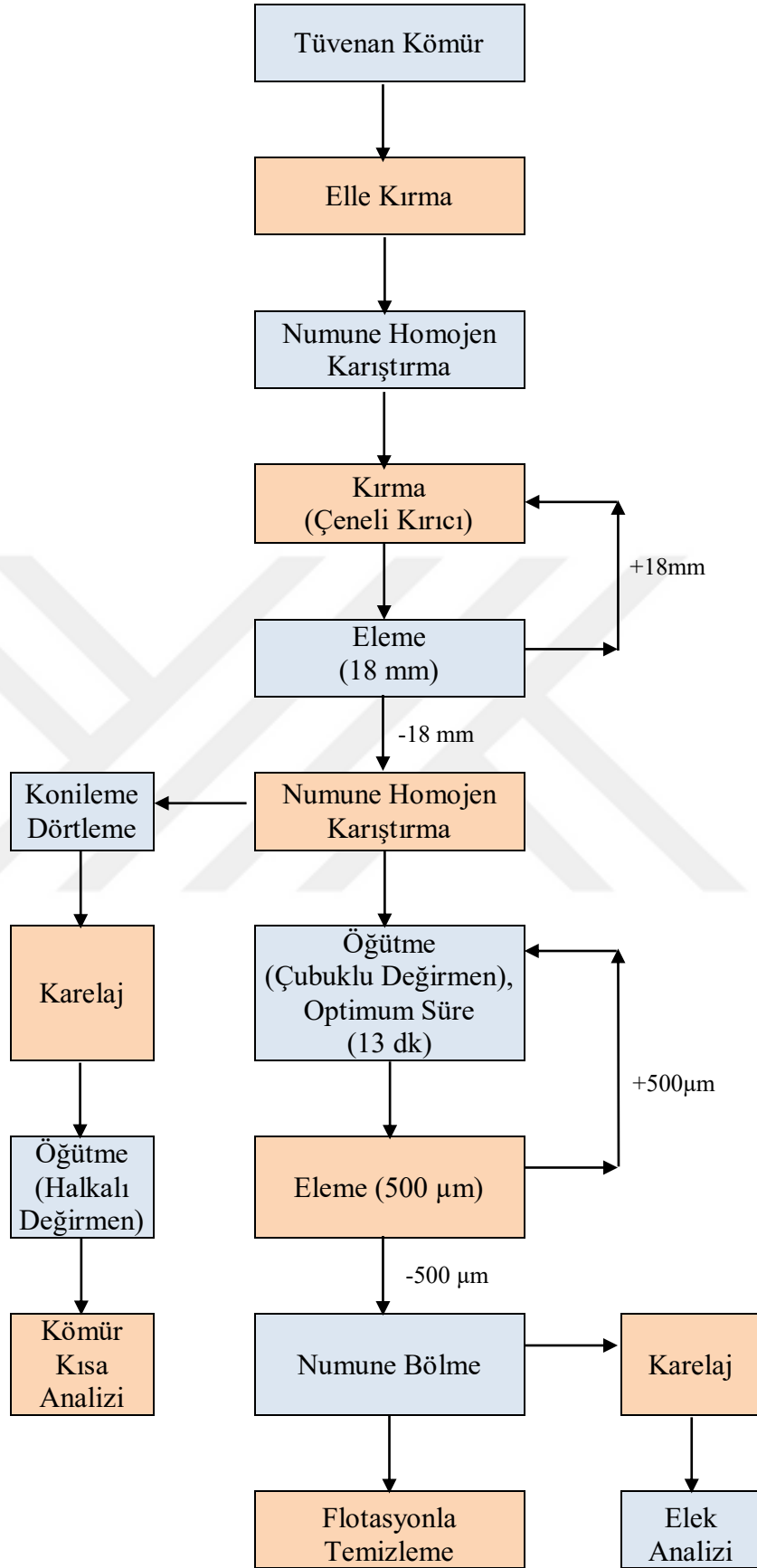
4.2 Metot

4.2.1 Numune hazırlama işlemleri

Flotasyon deneylerinde kullanılan  orum/ skilip linyit kömür numunesi önce elle balyozla kırılmış ve numunenin tamamı çeneli kırıcıda kapalı devre -18 mm boyutuna hazırlanmıştır. Daha sonra konileme dörtleme yöntemiyle numune azaltılarak karelaj ile tüvenan cevherin analizi için numune alınmıştır. Numuneler Jones ızgarası ile homojen olarak bölünerek uygun bir ortamda stoklanmı tır.

Optimum     tme süresini belirlemek amacıyla 5, 10, 12, 13, 14 ve 15 dakika gibi farklı s relerde     tme yapılmıştır.     tme; 19.6 cm çapında, 30 cm uzunluğunda laboratuvar tipli  ubuklu değırmende; 66 dev/dk dönme hızında, 19 adet muhtelif (1.9-2.3-3 cm)  aplarda, 28 cm uzunluğunda, 18.17 kg ağırlığında çubuk şarj oranında kuru olarak yapılmıştır.  orum/ skilip linyit kömür numunesi için optimum     tme süresi 13 dakika olarak belirlenmi tır.

Belirlenen optimum     tme s resinde (13 dakika) kömür numunesinin tamamı -500  m boyutuna     t lm  t r. Daha sonra otomatik numune bölme cihazında 250 g olacak şekilde bölünerek numuneler torbalara konulmuş ve deneylerde kullanılmak üzere stoklanmı tır. Şekil 4.1'de deneylerde kullanılan kömür numunesi hazırlama akım şeması verilmiştir.



Şekil 4.1 Numune hazırlama akım şeması

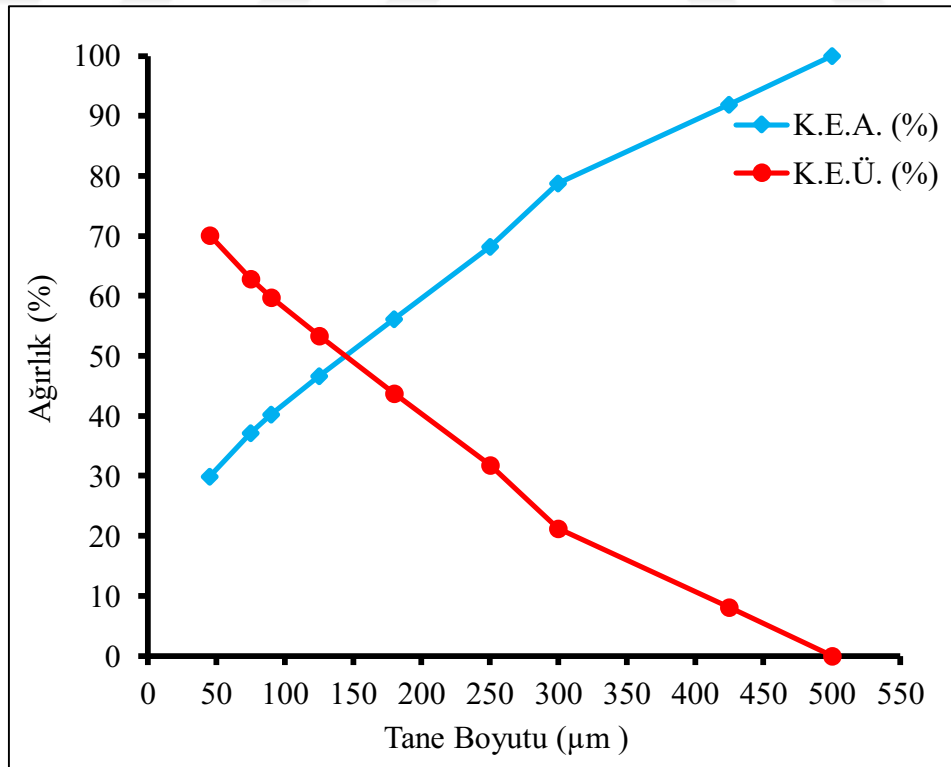
4.3.Analizler

4.3.1 Elek analizi

Deneyleerde, kullanılacak kömür numunesinin tane boyut dağılımını belirlemek için öğütme sonrası karelej yöntemi ile numune alınarak yaş elek analizi yapılmıştır. Çizelge 4.2’de elek analizi sonuçları, kümülatif elek altı (K.E.A.) ve kümülatif elek üstü (K.E.Ü.) değerleri hesaplanarak verilmiştir. Şekil 4.2’de ise K.E.A. ve K.E.Ü. eğrileri çizilmiştir.

Çizelge 4.2 Kömür numunesi elek analizi sonuçları

Tane İriliği (μm)	Kümülatif Elek Altı (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)
500	100.00	-
425	91.86	8.14
300	78.74	21.26
250	68.20	31.80
180	56.18	43.82
125	46.66	53.34
90	40.26	59.74
75	37.12	62.88
45	29.91	70.09



Şekil 4.2 Kümülatif elek altı ve kümülatif elek üstü eğrileri

4.3.2 Kömür kısa analizi

Tüvenan kömür çeneli kırıcıda kırılmış ve numune azaltma yöntemi ile kömür numunesinden temsili örnek alınarak halkalı değirmende öğütülmüştür. Kömür kısa analizi ASTM D3172-13 standardına göre yapılmıştır. Nem analizi ASTM D3173-11 standardına göre yapılmıştır. Sabit tartımları $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de alınan krozelere 1'er g kömür numunesi konularak M5040 elektro-magnetik marka etüvde (Şekil 4.3) 2 saat bekletilmiş ve desikatörde soğutulduktan sonra tartımları alınmıştır. Kül analizi ASTM D3174-12 standardına göre yapılmıştır. Etüvde kurutulan kömür numunesinden krozelere 1 g konulduktan sonra Lenton-termal-desing marka fırında (Şekil 4.4) 900°C 'de 4 saat bekletilmiş ve desikatörde soğutulduktan sonra tartımları alınmıştır. Daha sonra kömür numunesi nem (%) ve kül (%) değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Isıl değeri ise IKA C 4000 Adiabatic marka kalorimetrede ölçülmüştür. Kömür numunesinin kısa analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da öğütme işleminde kullanılan değirmenler gösterilmiştir.

Nem (%) ;

$$\text{Nem (\%)} = \frac{(A+B) (g) - C(g)}{B (g)} \times 100$$

A: Kroze ağırlığı (g)

B : Orijinal numune ağırlığı (g)

C : Kroze + kurutulmuş kömür ağırlığı (g)

Kül (%);

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

A: Kroze ağırlığı (g)

B : Kurutulmuş numune ağırlığı (g)

C : Kroze + kül ağırlığı (g)

Çizelge 4.3 Kömür numunesi kısa analiz sonuçları

Orijinal Kömürde Nem (%)	Havada Kuru Kömürde Nem (%)	Kuru Kömürde Kül (%)	Kuru Kömürde Isıl Değer (kcal/kg)	Uçucu Madde Miktarı (%)
9.08	20.97	36.01	3260	44.04



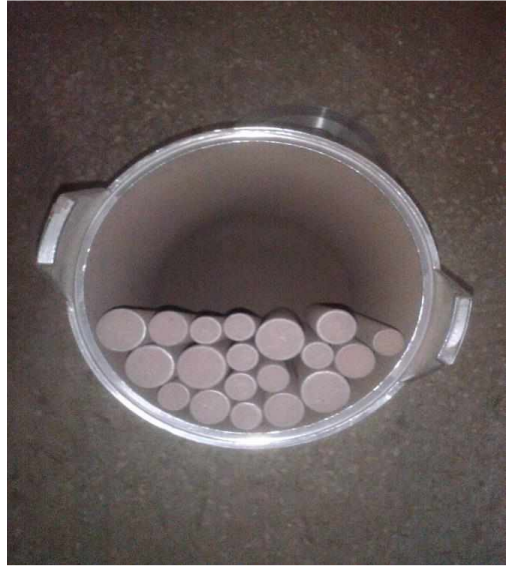
Şekil 4.3 Elektro-magnetik etüv



Şekil 4.4 Termal-desing fırın



Şekil 4.5 Halkalı değirmen



Şekil 4.6 Çubuklu değirmen

4.4 Flotasyon Deneylerinin Yapılışı

Flotasyon yöntemiyle temiz kömür elde edilmesi deneylerinde, -500 µm tane boyutunda Çorum/İskilip linyit kömürü kullanılmıştır.

Deneyler; hızı ayarlanabilen Denver tipi dijital göstergeli, karıştırıcı çapı 9.5 cm 4 delikli pervanesi olan flotasyon makinesinde, 1.5 litre hacme sahip flotasyon selülünde musluk suyu kullanılarak yapılmıştır. Flotasyonda uygulanan yöntem aynı olmakla birlikte, değişik flotasyon reaktiflerinin türü ve miktarının flotasyon performansına etkileri araştırılmıştır. Deneyler;

Numune Miktarı: 100 g

Su Miktarı: 1000 cc

Katı Oranı : % 9

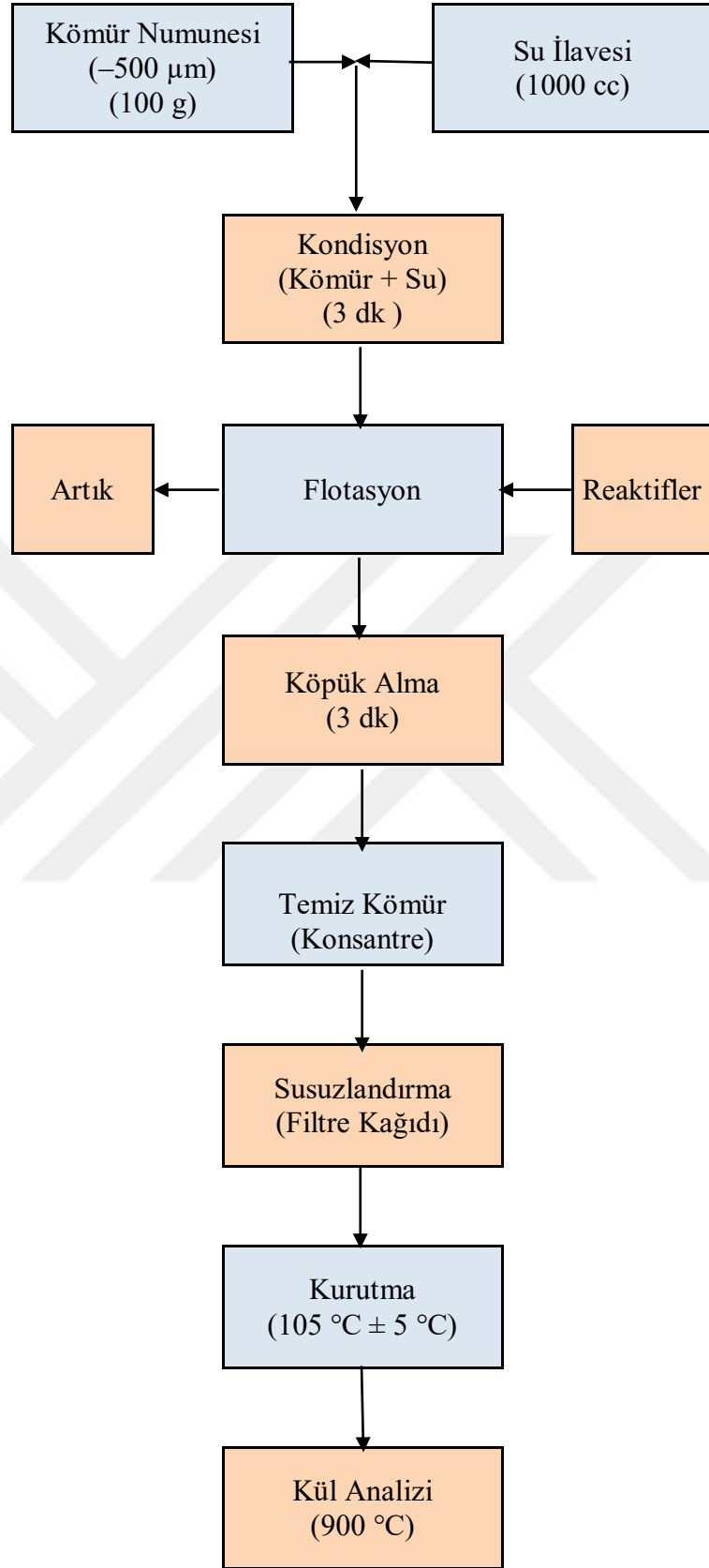
Karıştırma Hızı: 1100 dev/dk

Kondisyon Süresi: 3 dk

Köpük Alma Süresi: 3 dk koşullarında yapılmıştır.

Deneylerde bastırıcı reaktif Na_2SiO_3 kullanılarak ve kullanılmadan flotasyon ön deneyleri yapılmıştır. Numuneden 100 g alınarak Denver D-12 flotasyon cihazındaki selüle konulmuş ve 1000 cc su eklenmiştir. Kondisyon için 3 dakika süre verilmiş pülpte homojen bir dağılım elde edilmiştir. Flotasyon reaktifleri bastırıcı, toplayıcı sırasıyla ilave edilerek 3'er dakika kondisyon süresi verilmiştir. Köpürtücü reaktif ilave edilip 3 dakika kondisyon verildikten sonra flotasyon cihazının hava musluğu açılmıştır. Oluşan köpükten temiz kömür alınmış ve selülde kalan artılla birlikte ayrı ayrı filtre edilerek susuzlandırılmıştır. Çorum/İskilip linyitinin flotasyon akım şeması Şekil 4.7'de verilmiştir.

Flotasyon temiz kömürleri $105 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de etüvde 2 saat kurutulmuş nem (%) ve ağırlıkça verimi (%) hesaplanmıştır. Etüvde kurutulan temiz kömürün $900 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de kül analizi yapılmış daha sonra kül uzaklaştırma (%) ve yanabilir verim (%) hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 Flotasyon akım şeması

4.5 Hesaplamalar

Flotasyon deneylerinden elde edilen temiz kömürlerde, ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) ile kömür temizleme hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Aşağıda hesaplamalarda kullanılan formüller verilmiştir:

Ağırlıkça verim (%);

Kömürün flotasyon yöntemiyle temizleme sonucunda ne kadarının temiz kömür olarak kazanıldığının yüzde olarak ifadesidir.

$$AV (\%) = \frac{K (g)}{B (g)} \times 100$$

AV: Ağırlıkça verim (%)

K : Temiz kömür ağırlığı (g)

B : Beslenen kömür ağırlığı (g)

Yanabilir verim (%);

Flotasyon yöntemiyle temizleme sonucunda temiz kömürün beslenen kömürden ne oranda inorganik ve organik maddeyi bünyesine aldığı yüzde olarak ifadesidir.

$$YV (\%) = \frac{K(g) \times (100-k)}{B(g) \times (100-b)} \times 100$$

YV : Yanabilir verim (%)

K : Temiz kömür ağırlığı (g)

k : Temiz kömür külü (%)

B : Beslenen kömür ağırlığı (g)

b : Beslenen kömür külü (%)

Kül uzaklaştırma (%);

Beslenen kömür külünün flotasyon yöntemiyle temizleme sonucunda ne kadarının artığa gittiğinin yüzde olarak ifadesidir.

$$KU (\%) = \frac{T(g) \times t(\%)}{B (g) \times b(\%)} \times 100$$

KU : Kül uzaklaştırma (%)

T : Artığın ağırlığı (g)

t : Artığın külü (%)

B : Beslenen kömür ağırlığı (g)

b : Beslenen kömür külü (%)

5. FLOTASYON DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, Çorum/İskilip linyit kömürünün flotasyon yöntemiyle temizlenmesinde; bastırıcı reaktif miktarı, toplayıcı ve köpürtücü reaktiflerin cinsi ve miktarları ve köpük alma süresinin flotasyonda etkisi araştırılmıştır. Ayrıca flotasyonda temizleme ve süpürme devreleri ve suyla sürüklenme faktörü (P_i) incelenmiştir. Deney sonuçları ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırmaya (%) bağlı olarak değerlendirilmiştir.

5.1 Toplayıcı Cinsi ve Miktarının Etkisi

Flotasyon yöntemiyle temiz kömür elde edilmesinde flotasyon verimini arttırmak için farklı toplayıcı reaktif karışımları hazırlanarak ön deneyler yapılmıştır. Fakat yaygın olarak literatürde (Leonard, 1991) kullanılan toplayıcı reaktif miktarında kabul edilebilir verimle temiz kömür elde edilememiştir. Örneğin %1 LIX-984 + %99 mazot karışımı 2000 g/ton kullanıldığında %16.25'lik flotasyon verimi ile temiz kömüre ulaşılmıştır. Temiz kömür veriminin yetersiz olması nedeniyle flotasyon verimini arttıran toplayıcı reaktiflerin farklı karışımlarda kullanımı araştırılmıştır.

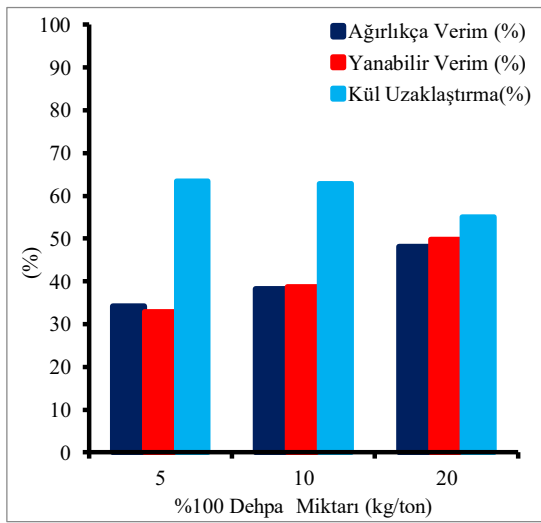
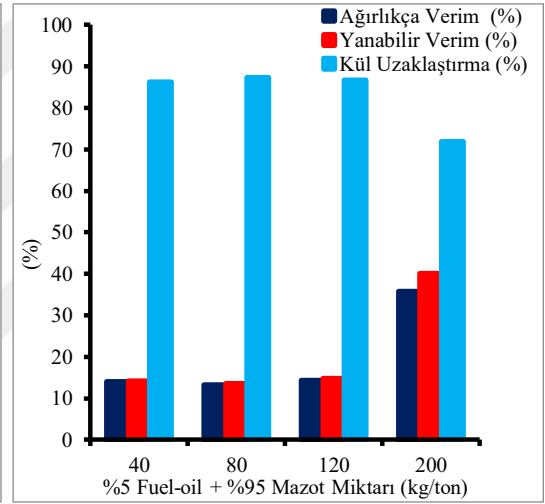
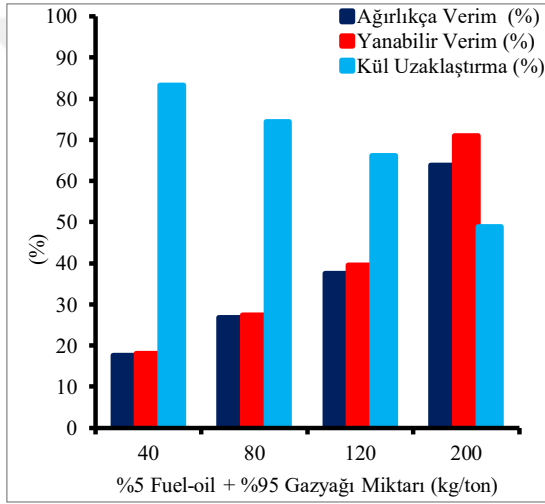
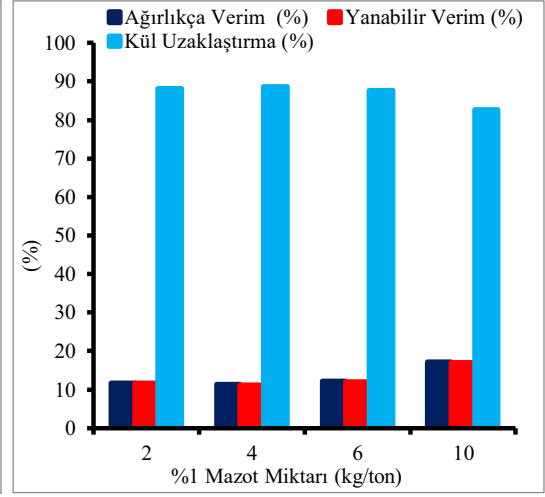
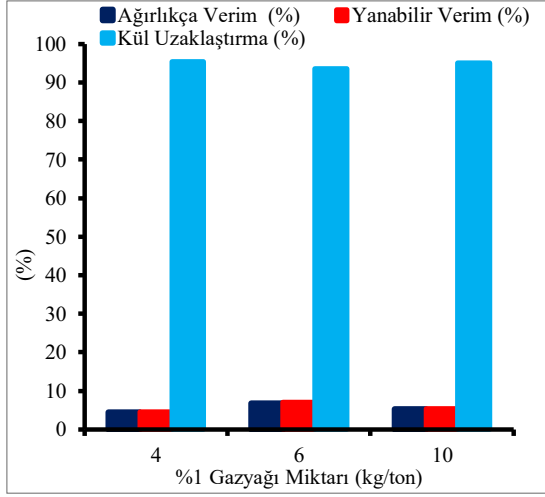
Deneylerde toplayıcı reaktif olarak 6 farklı reaktif ile farklı karışımları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi ancak yüksek (200 kg/ton) miktarda kabul edilebilir verim değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler oldukça yüksek reaktif miktarına karşılık gelmektedir. Deneylerde kullanılan toplayıcı reaktifler ve karışımları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.2'de toplayıcı reaktif cinsi ve miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları verilmiştir.

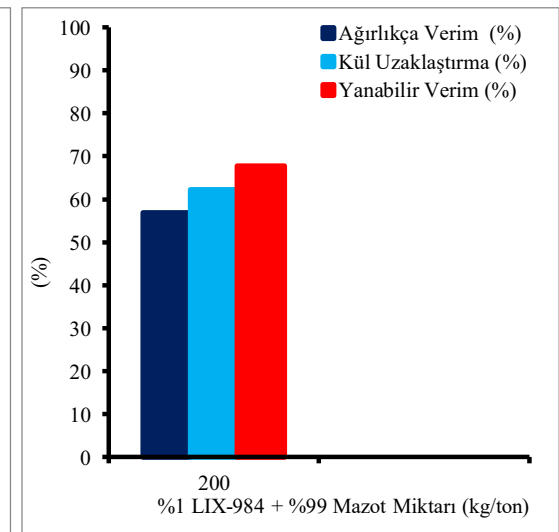
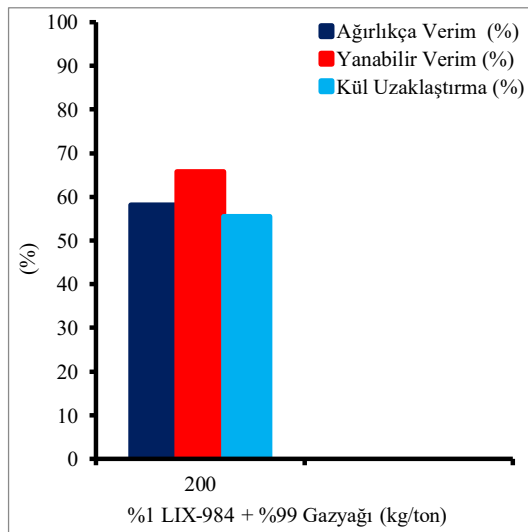
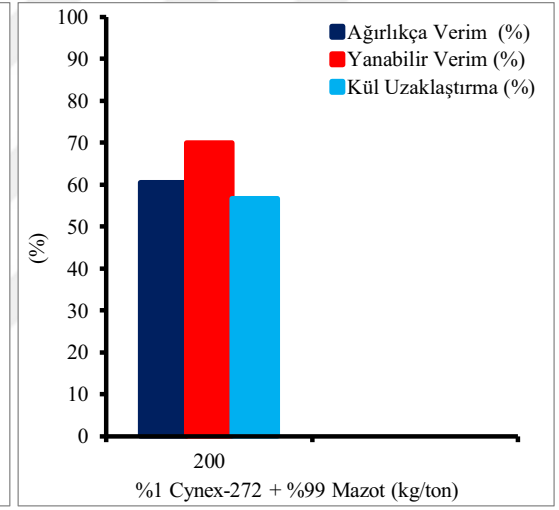
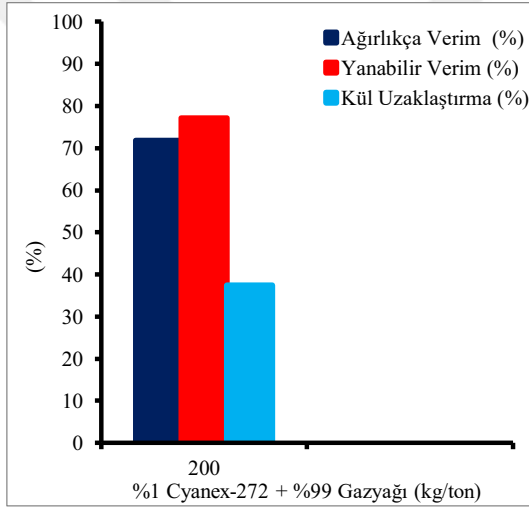
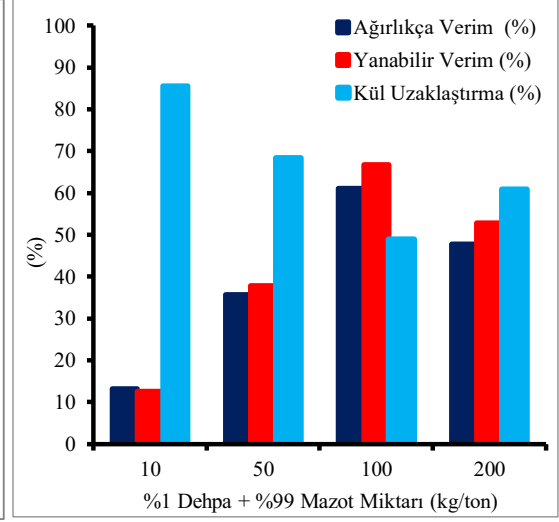
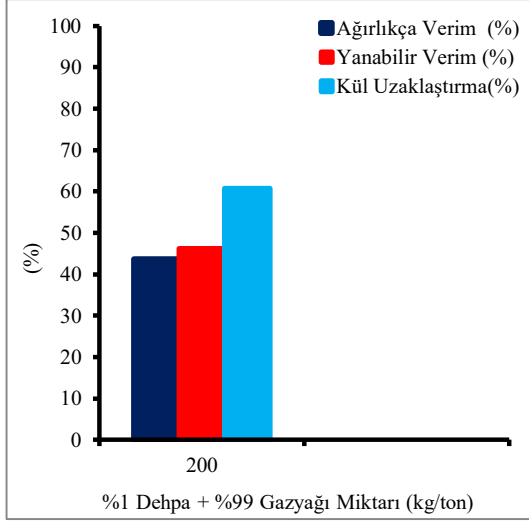
Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan toplayıcı reaktifler ve karışımları

Reaktif Adı	Karışımlar
Gazyağı	%1
Mazot	%1
Fuel oil + Gazyağı	%5 Fuel oil + %95 Gazyağı
Fuel oil + Mazot	%5 Fuel oil + %95 Mazot
Dehpa	Saf (%100)
Dehpa + Gazyağı	%1 Dehpa + %99 Gazyağı
Dehpa + Mazot	%1 Dehpa + %99 Mazot
Cyanex-272 + Gazyağı	%1 Cyanex-272 + %99 Gazyağı
Cyanex-272 + Mazot	%1 Cyanex-272 + %99 Mazot
LIX-984 + Gazyağı	%1 LIX-984 + %99 Gazyağı
LIX-984 + Mazot	%1 LIX-984 + %99 Mazot

Çizelge 5.2 Toplayıcı reaktif cinsi ve miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları

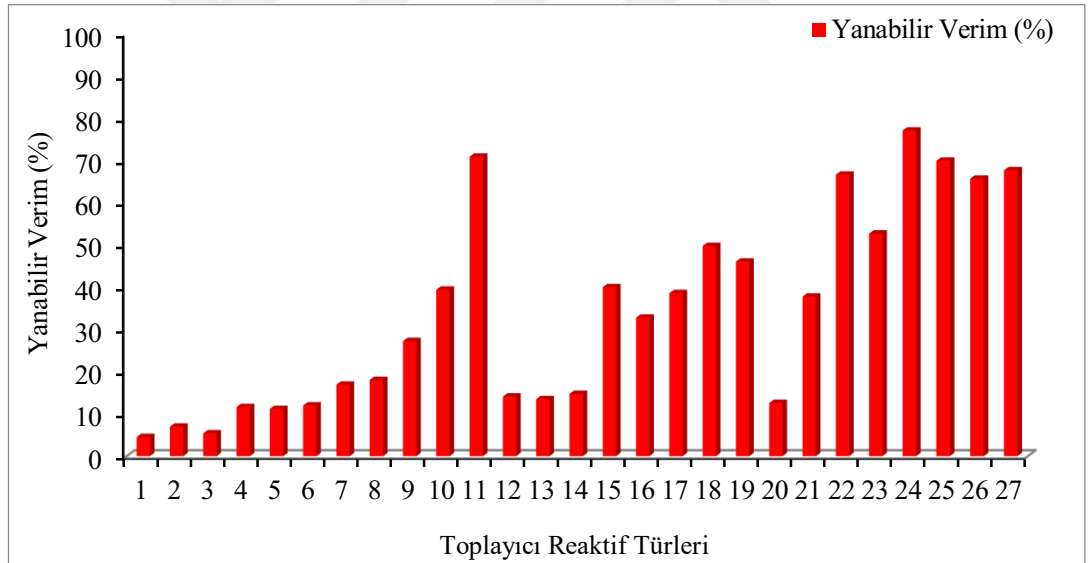
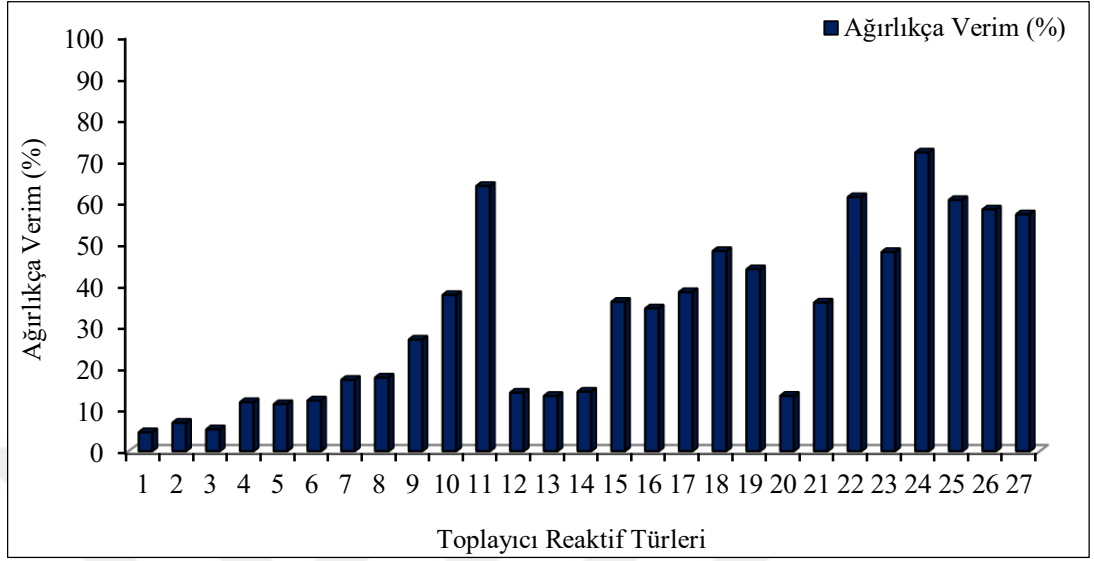
Toplayıcı Reaktif	Parametreler		Değerler
Gazyağı Mazot Fuel oil Dehpa Cyanex-272 LIX-984	Tane Boyutu		-500 µm
	Su Miktarı		1000 cc
	Pülp Katı Oranı		% 9
	Bastırıcı (Na ₂ SiO ₃)		-
	Toplayıcı Reaktif (kg/ton)	%1 Gazyağı	4, 6, 10
		%1 Mazot	2, 4, 6, 10
		%5 Fuel oil + %95 Gazyağı	40, 80, 120, 200
		%5 Fuel oil + %95 Mazot	40, 80, 120, 200
		%100 Dehpa	5, 10, 20
		%1 Dehpa + %99 Gazyağı	200
		%1 Dehpa + %99 Mazot	10, 50, 100, 200
		%1 Cyanex-272 + %99 Gazyağı	200
		%1 Cyanex-272 + %99 Mazot	200
		%1 LIX-984 + %99 Gazyağı	200
		%1 LIX-984 + %99 Mazot	200
		%100 Dehpa ; %100 Mazot	20; 32, Toplam = 52
	Köpürtücü (Çamyacı)		200 g/ton
	Köpük Alma Süresi		3 dk
	Karıştırma Hızı		1100 dev/dk

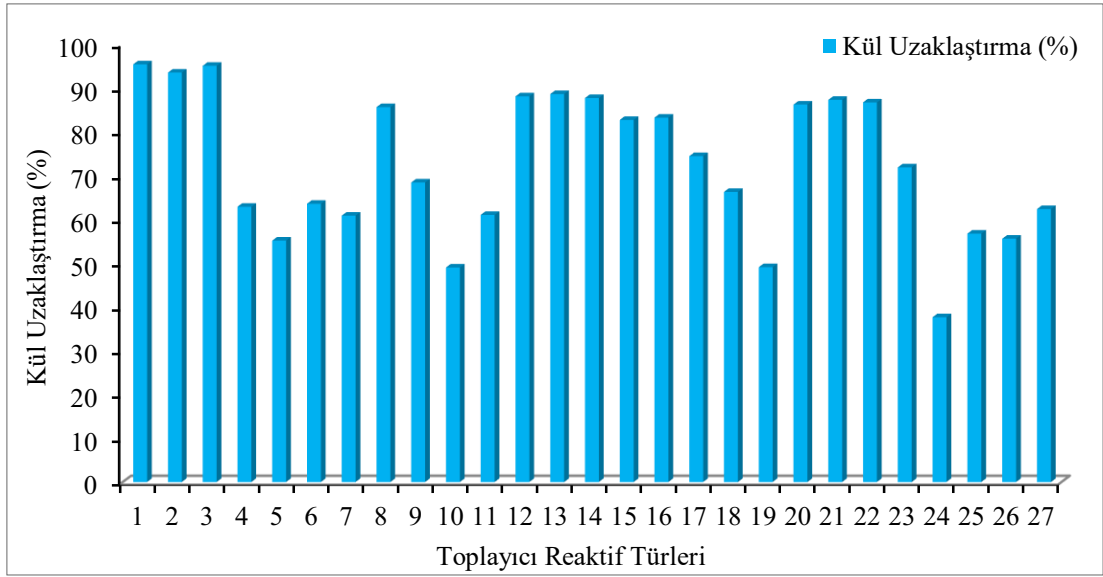




Şekil 5.1 Toplayıcı reaktif cinsi ve karışımların flotasyona etkisi

Şekil 5.2’de toplayıcı reaktif cinslerinin ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%), ve kül uzaklaştırmaya (%) bağlı olarak flotasyona etkileri verilmiştir.





Şekil 5.2 Toplayıcı reaktif cinslerinin flotasyona etkileri

1	%1 Gazyağı	4 kg/ton	15	%5 Fuel oil + %95 Mazot	200 kg/ton
2	%1 Gazyağı	6 kg/ton	16	%100 Dehpa	5 kg/ton
3	%1 Gazyağı	10 kg/ton	17	%100 Dehpa	10 kg/ton
4	%1 Mazot	2 kg/ton	18	%100 Dehpa	20 kg/ton
5	%1 Mazot	4 kg/ton	19	%1 Dehpa + %99 Gazyağı	200 kg/ton
6	%1 Mazot	6 kg/ton	20	%1 Dehpa + %99 Mazot	10 kg/ton
7	%1 Mazot	10 kg/ton	21	%1 Dehpa + %99 Mazot	50 kg/ton
8	%5 Fuel oil + %95 Gazyağı	40 kg/ton	22	%1 Dehpa + %99 Mazot	100 kg/ton
9	%5 Fuel oil + %95 Gazyağı	80 kg/ton	23	%1 Dehpa + %99 Mazot	200 kg/ton
10	%5 Fuel oil + %95 Gazyağı	120 kg/ton	24	%1 Cyanex-272 + %99 Gazyağı	200 kg/ton
11	%5 Fuel oil + %95 Gazyağı	200 kg/ton	25	%1 Cyanex-272 + %99 Mazot	200 kg/ton
12	%5 Fuel oil + %95 Mazot	40 kg/ton	26	%1 LIX-984 + %99 Gazyağı	200 kg/ton
13	%5 Fuel oil + %95 Mazot	80 kg/ton	27	%1 LIX-984 + %99 Mazot	200 kg/ton
14	%5 Fuel oil + %95 Mazot	120 kg/ton			

Deneylerde, ilk olarak gazyağı, mazot ve fuel oil gibi klasik toplayıcı reaktifler kullanılmış ve flotasyona etkisi incelenmiştir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi gazyağı 6 kg/ton miktarında kullanıldığında, en yüksek ağırlıkça verim %6.81, yanabilir verim %7.02 ve kül uzaklaştırma %93.56 olarak elde edilirken; mazot 10 kg/ton miktarında kullanıldığında en yüksek ağırlıkça verim %17.10, yanabilir verim %17.00 ve kül uzaklaştırma %82.71 olarak elde edilmiştir. %5 Fuel oil + %95 gazyağı ve %5 fuel oil + %95 mazot karışımı 200 kg/ton miktarında kullanıldığında sırayla en yüksek ağırlıkça verim %63.82, yanabilir verim %71.01 ve kül uzaklaştırma %48.96; ağırlıkça verim %35.82, yanabilir verim %40.13 ve kül uzaklaştırma %71.84 olarak

elde edilmiştir. Klasik toplayıcı reaktifler (gazyağı, mazot ve fuel oil) kullanılarak yapılan deneyler flotasyon verimi açısından değerlendirildiğinde beklenen etki görülmemiştir (Şekil 5.2).

Deneylerde daha sonra Dehpa, Cyanex-272 ve LIX-984 gibi ticari organik bazlı toplayıcı reaktifler kullanılmış ve flotasyona etkisi araştırılmıştır. Dehpa; 20 kg/ton kullanıldığında en yüksek ağırlıkça verim %48.10, yanabilir verim %49.88 ve kül uzaklaştırma %55.06 olarak elde edilmiştir. Toplayıcı reaktif miktarları arttırılarak farklı karışımlarda deneyler yapılmıştır.

Toplayıcı reaktif olarak %1 Dehpa + %99 mazot karışımında, kullanılan reaktif miktarına bağlı olarak flotasyon verimlerinde artış olurken kül uzaklaştırmada ise bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 5.1). Toplayıcı reaktif %1 Dehpa + %99 mazot 100 kg/ton miktarında kullanıldığında; en yüksek ağırlıkça verim %61.13, yanabilir verim %66.77 ve kül uzaklaştırma %48.88 olarak elde edilmiştir.

Flotasyon verimindeki artışa, kül uzaklaştırmadaki azalış eşlik etmektedir. Bu nedenle flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma birlikte değerlendirilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak daha az reaktif miktarında yüksek verim elde etmek için; deneylerde iki toplayıcı reaktif kullanılmıştır. Toplayıcı reaktif olarak %100 Dehpa ve %100 mazot ayrı ayrı kondisyon süreleri verilerek sıra ile ilave edilmiştir. Çizelge 5.3'te Dehpa ve mazot ayrı ayrı iki toplayıcı reaktif olarak kullanıldığında elde edilen flotasyon deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.3 Dehpa ve mazot ayrı ayrı iki toplayıcı reaktif olarak kullanıldığında flotasyon deney sonuçları

Toplayıcı Reaktifler (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
Dehpa (20) Mazot (32)	61.92	46.38	66.59

Bu iki toplayıcı reaktif kullanılarak yapılan deneylerde, toplayıcı reaktif cinsi ve miktarının incelendiği diğer tüm deneylere göre daha düşük miktarlarda daha yüksek flotasyon verimi elde edilmiş ve kül uzaklaştırma ise %46.38 olarak elde edilmiştir. Reaktif miktarına göre daha ekonomik olan ayrı ayrı iki toplayıcı reaktif %100 Dehpa ve %100 mazotun kullanıldığı deney sonuçları optimum değer olarak kabul

edilmiştir. Diğer parametrelerin etkileri incelenirken bu toplayıcı reaktifler (Dehpa 20 kg/ton; mazot 32 kg/ton = 52 kg/ton) kullanılmıştır.

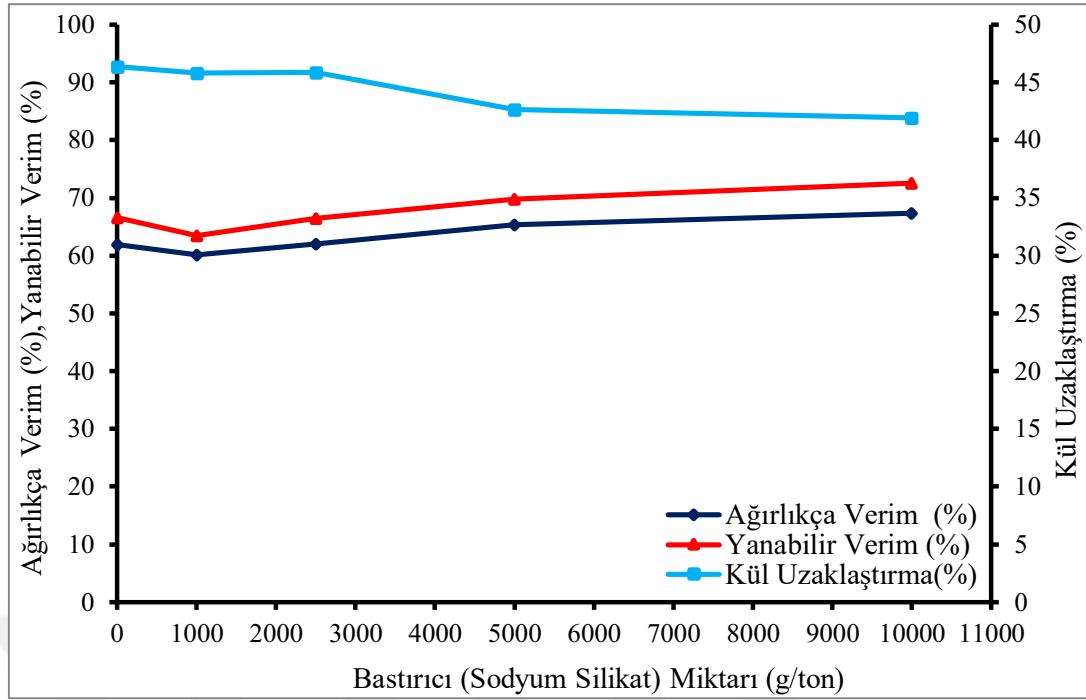
5.2 Bastırıcı Miktarının Etkisi

Linyit kömür numunesinin bünyesinde bulunan kül oluşturan mineral maddeleri kömürden uzaklaştırmak ve seçimli bir ayırma yapmak için flotasyonda bastırıcı reaktif olarak sodyum silikatın (Na_2SiO_3) etkisi incelenmiştir.

Toplayıcı reaktif cinsi ve miktarının incelendiği deneylerde miktar ve kül uzaklaştırma açısından en iyi sonuçların elde edildiği toplayıcı reaktif olarak belirlenen %100 Dehpa ve %100 mazot (ayrı ayrı iki toplayıcı reaktif) kullanılarak yapılan deneylerde Na_2SiO_3 (0, 1000, 2500, 5000 ve 10000 g/ton) miktarının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Çizelge 5.4’de bastırıcı reaktif miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları, Şekil 5.3’te bastırıcı (sodyum silikat) miktarının flotasyona etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.4 Bastırıcı miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları

Bastırıcı Reaktif	Parametreler	Değerler
Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)	Tane Boyutu	-500 μm
	Su Miktarı	1000 cc
	Pülp Katı Oranı	% 9
	Bastırıcı	0, 1000, 2500, 5000, 10000 g/ton
	Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
	Köpürtücü (Çamyağı)	200 g/ton
	Köpük Alma Süresi	3 dk
	Karıştırma Hızı	1100 dev/dk



Şekil 5.3 Bastırıcı (Sodyum Silikat) miktarının (%100 Dehpa ve %100 Mazot) flotasyona etkisi

Deneyler, Na_2SiO_3 miktarına bağlı olarak ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir. Bastırıcı reaktif Na_2SiO_3 kullanmadan ve kullanılarak yapılan deney sonuçları incelendiğinde; Na_2SiO_3 , 10000 g/ton miktarında kullanıldığında en yüksek ağırlıkça verim %67.35, yanabilir verim %72.57 ve kül uzaklaştırma % 41.93 olarak elde edilmiştir.

Bastırıcı reaktif miktarına bağlı olarak yapılan deneyler incelendiğinde; flotasyon veriminde artış gözlenmiştir. Kül uzaklaştırma açısından değerlendirildiğinde; bastırıcı reaktif kullanılarak (%41.93) ya da kullanılmadan (%46.38) yapılan deney sonuçlarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Ekonomik açıdan da bastırıcı reaktif kullanılmadan en uygun sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle diğer parametrelerin etkisi incelenirken bastırıcı reaktif kullanılmamıştır.

5.3 Köpürtücü Cinsi ve Miktarının Etkisi

Köpürtücü reaktif cinsinin incelendiği deneylerde MIBC, DF-250 ve çamyağının flotasyona etkisi araştırılmıştır. MIBC, DF-250 ve çamyağı, 200 g/ton miktarında kullanılmıştır. Çizelge 5.5’de köpürtücü reaktif cinsinin incelendiği flotasyon deney koşulları, Çizelge 5.6’da köpürtücü reaktif cinsinin flotasyona etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.5 Köpürtücü reaktif cinsi incelenmesinde flotasyon deney koşulları

Köpürtücü Reaktif	Parametreler	Değerler
Çamyağı MIBC DF-250	Tane Boyutu	-500 µm
	Su Miktarı	1000 cc
	Pülp Katı Oranı	% 9
	Bastırıcı	-
	Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
	Köpürtücü	200 g/ton
	Köpük Alma Süresi	3 dk
	Karıştırma Hızı	1100 dev/dk

Çizelge 5.6 Köpürtücü reaktif cinsinin flotasyona etkisi

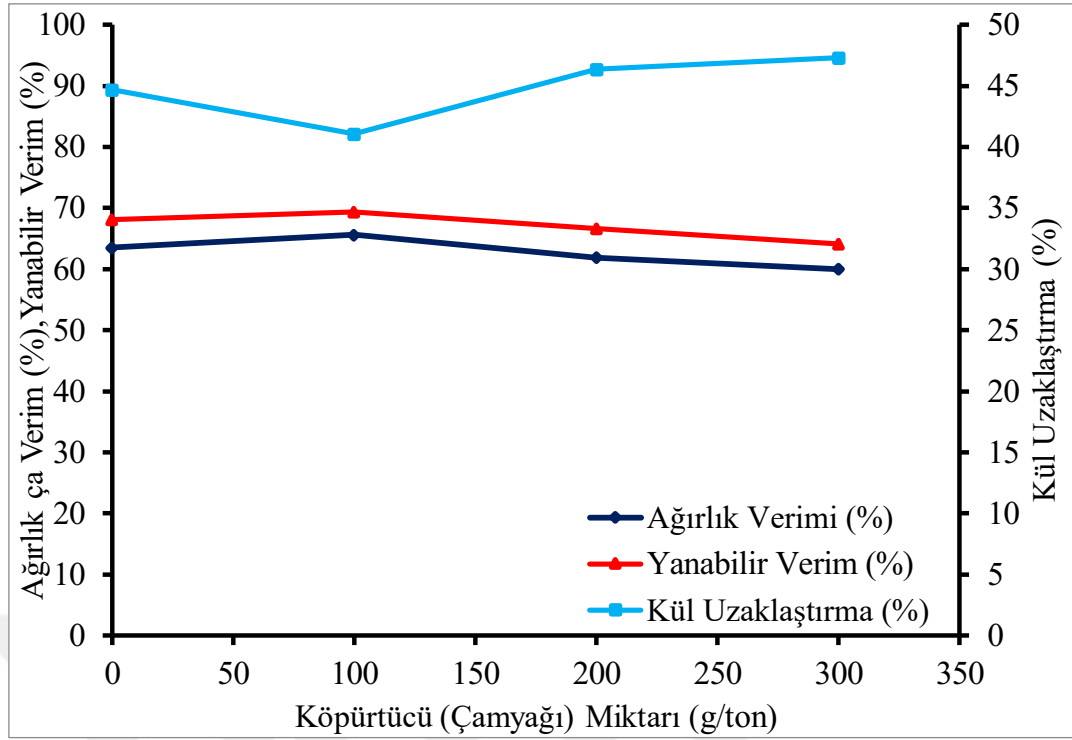
Köpürtücü Reaktif Cinsi	Miktarı (g/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
Çamyağı	200	61.92	46.38	66.59
MIBC	200	62.59	45.15	66.96
DF-250	200	61.04	46.91	65.51

Deneyler, köpürtücü cinsine bağlı olarak ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir. Köpürtücü reaktiflerin flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma değerlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Köpürtücü reaktif olarak çamyağı belirlenmiştir.

Bastırıcı reaktif kullanmadan, toplayıcı reaktif olarak belirlenen %100 Dehpa (20 kg/ton) ve %100 mazot (32 kg/ton) kullanılarak çamyağı (0, 100, 200, 300 g/ton) miktarının flotasyona etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.7’de köpürtücü (çamyağı) miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları verilmiştir. Şekil 5.4’de köpürtücü (çamyağı) miktarının flotasyona etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.7 Çamyağı miktarının incelenmesinde flotasyon deney koşulları

Köpürtücü Reaktif	Parametreler	Değerler
Çamyağı	Tane Boyutu	-500 µm
	Su Miktarı	1000 cc
	Pülp Katı Oranı	% 9
	Bastırıcı	-
	Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
	Köpürtücü	0, 100, 200, 300 g/ton
	Köpük Alma Süresi	3 dk
	Karıştırma Hızı	1100 dev/dk



Şekil 5.4 Köpürtücü (Çamyacı) miktarının flotasyona etkisi

Deneyler, köpürtücü reaktif (çamyacı) miktarına bağlı olarak ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir. Köpürtücü reaktif olarak çamyacının kullanıldığı deneylerde; flotasyon verim değerlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş ve 200 g/ton çamyacı miktarı optimum değer olarak kabul edilmiştir. Diğer parametrelerin etkisi incelenirken bu miktar kullanılmıştır.

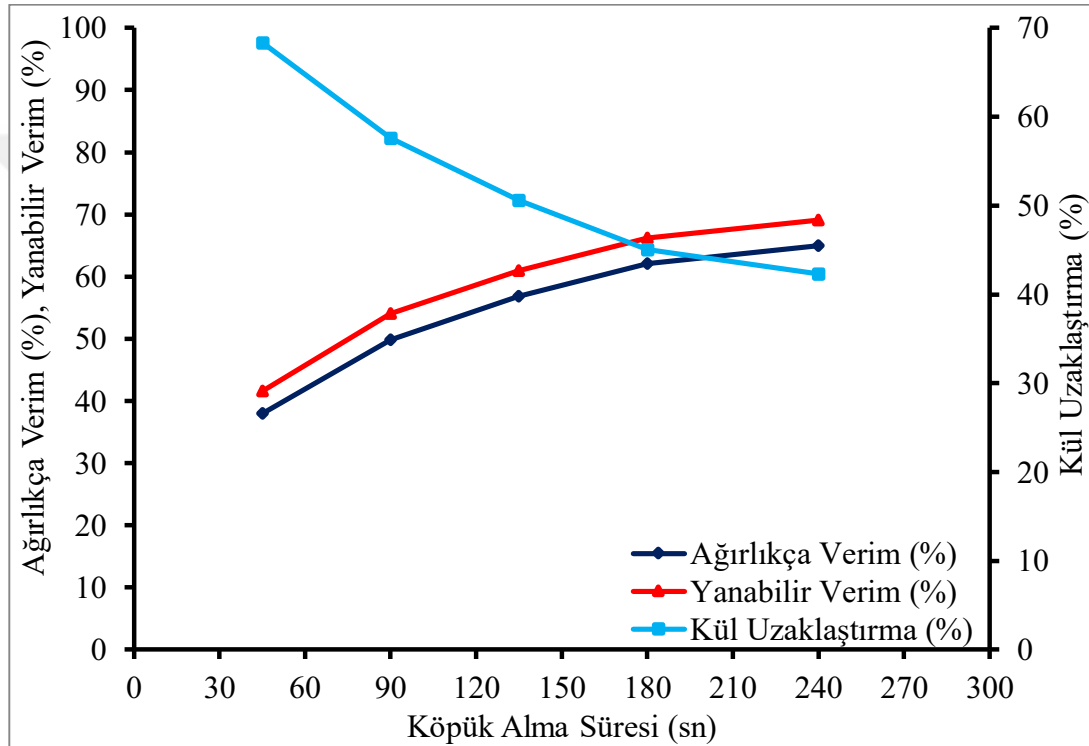
5.4 Köpük Alma Süresinin Etkisi

Flotasyonda; minerallerin hava kabarcığına tutunarak yüzey özelliği kazanması ve oluşan köpükle birlikte taşınarak tanecikle kabarcık temasının uygun sürede sağlanmasında köpük alma süresi oldukça önemli bir etkidir.

Köpük alma süresinin incelendiği deneylerde; sürenin (45, 90, 135, 180 ve 240 sn) flotasyona etkisi araştırılmıştır. Çizelge 5.8’de köpük alma süresinin incelenmesinde flotasyon deney koşulları, Şekil 5.5’de köpük alma süresinin flotasyona etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.8 Köpük alma süresi incelenmesinde flotasyon deney koşulları

Parametreler	Değerler
Tane Boyutu	-500 μm
Su Miktarı	1000 cc
Pülp Katı Oranı	% 9
Bastırıcı	-
Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
Köpürtücü (Çamyağı)	200 g/ton
Köpük Alma Süresi	45, 90, 135, 180, 240 sn
Karıştırma Hızı	1100 dev/dk



Şekil 5.5 Köpük alma süresinin flotasyona etkisi

Deneyler; flotasyon süresine bağlı olarak ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir. Köpük alma süresi 45 saniyede en düşük ağırlıkça verim %38.01, yanabilir verim %41.58 ve kül uzaklaştırma %68.33 olarak elde edilirken; 240 saniyede en yüksek ağırlıkça verim %64.99, yanabilir verim %69.08 ve kül uzaklaştırma %42.28 olarak elde edilmiştir. Köpük alma süresi arttıkça flotasyon veriminde artış görülmüştür. Kül uzaklaştırma açısından değerlendirildiğinde; artan süre ile beraber kül uzaklaştırma düşmüştür. Köpük alma süresi 180 saniyede ağırlıkça verim %62.12, yanabilir verim %66.17 ve kül uzaklaştırma %45.07 olarak elde edilmiştir. Bu nedenle ekonomik açıdan daha uygun süre olan 180 saniye köpük alma süresi olarak seçilmiştir.

5.5 Flotasyonda Temizleme ve Süpürme Devreleri

Flotasyonla temizleme işleminde, elde edilen temiz kömürden külü uzaklaştırmak ve artıktaki oluşabilecek temiz kömür kaçaklarını geri kazanmak amacıyla tekrar temizleme ve süpürme flotasyonu yapılmaktadır.

Deneyde; temiz kömüre (yüzen) temizleme flotasyonu ve artığa (batan) süpürme flotasyonu optimum olarak belirlenen flotasyon koşullarında uygulanmıştır. Çizelge 5.9’da temizleme ve süpürme flotasyonu deney koşulları, Çizelge 5.10’da temizleme ve süpürme devreleri flotasyon deney sonuçları verilmiştir. Şekil 5.6’da flotasyonda temizleme ve süpürme devrelerinde uygulanan akım şeması gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 Temizleme ve süpürme flotasyonu deney koşulları

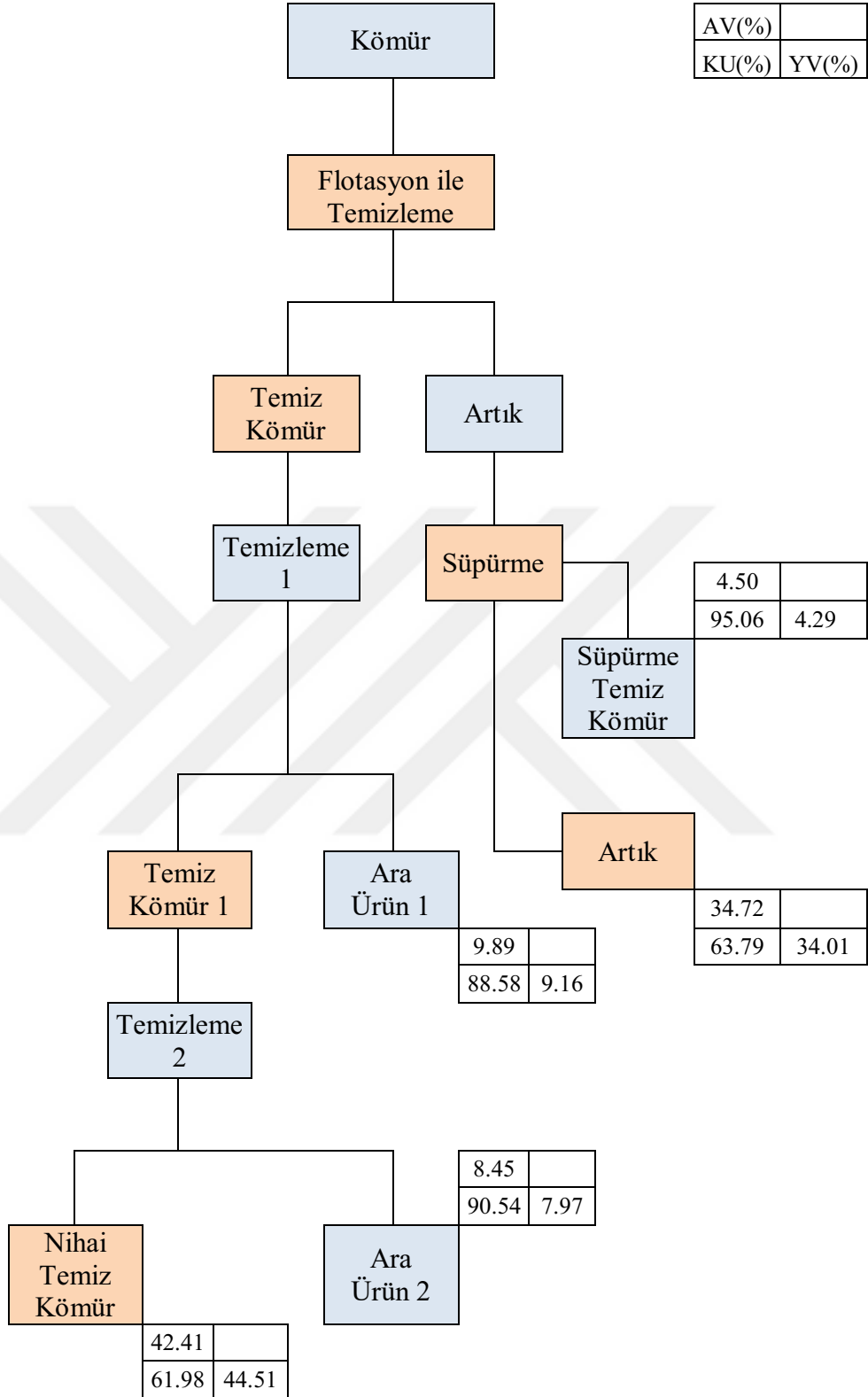
Parametreler	Değerler
Tane Boyutu	-500 μm
Su Miktarı	1000 cc
Pülp Katı Oranı	% 9
Bastırıcı	-
Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
Köpürtücü (Çamyağı)	200 g/ton
Köpük Alma Süresi	3 dk
Karıştırma Hızı	1100 dev/dk

Çizelge 5.10 Temizleme ve süpürme devreleri flotasyon deney sonuçları

Devre Ürünleri	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
Nihai Temiz Kömür	42.41	61.98	44.51
Ara Ürün 1	9.89	88.58	9.16
Ara Ürün 2	8.45	90.54	7.97
Süpürme Temiz Kömür	4.50	95.06	4.29
Artık	34.72	63.79	34.01

Deneyde; temizleme ve süpürme flotasyon devreleri ürünleri ağırlıkça verim (%), yanabilir verim (%) ve kül uzaklaştırma (%) açısından değerlendirilmiştir.

Flotasyonda; temiz kömüre iki kademe temizleme flotasyonu ve artığa bir kademe süpürme flotasyonu uygulanmıştır. Temiz kömür külü %31.18’den iki kademe temizleme flotasyonu sonucu külü %29.09 ve kül uzaklaştırma %61.98 olarak elde edilmiştir. Süpürme flotasyonu sonucunda süpürme devresinden temiz kömür kazanılmış ve ağırlıkça verim %4.50, yanabilir verim %4.29 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.6 Flotasyonda temizleme ve süpürme devreleri akım şeması

5.6 Flotasyonda Suyla Sürüklenme (Entrainment)

Minerallerin; flotasyonda oluşan köpüğe tutunarak yüzmesi dışında küçük tanelerin suyla beraber sürüklenerek temiz kömür olarak alınması da söz konusu olabilmektedir.

Yapılan çalışmada; minerallerin suyla birlikte sürüklenerek (entrainment) temiz kömüre taşınmasını araştırmak için, sürüklenme faktörü P_i 'nin süreye (45, 90, 135, 180 ve 240 sn) bağlı olarak değişimi seçilen optimum flotasyon koşullarında incelenmiştir. Çizelge 5.11'de flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney koşulları, Çizelge 5.12'de flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.11 Flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney koşulları

Parametreler	Değerler
Tane Boyutu	-500 μm
Su Miktarı	1000 cc
Pülp Katı Oranı	% 9
Bastırıcı	-
Toplayıcı	Dehpa (20 kg/ton) ve Mazot (32 kg/ton)
Köpürtücü (Çamyağı)	200 g/ton
Köpük Alma Süresi	3 dk
Karıştırma Hızı	1100 dev/dk

Çizelge 5.12 Flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme deney sonuçları

Süre (sn)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)	Kül Verimi (%)	Sürüklenme Faktörü (P_i)
45	45.55	61.48	49.51	38.52	1.87
90	59.69	48.93	64.54	51.07	1.88
135	68.00	41.05	73.09	58.95	1.81
180	72.84	36.17	78.03	63.82	1.75
240	77.42	31.93	82.69	68.07	1.75

Flotasyonda; minerallerin suyla birlikte sürüklenmesi süreye bağlı olarak suyla sürüklenme faktörü (P_i) açısından incelenmiştir. Deneyde, temiz kömürde köpükle kazanılan su ile katı verimleri değerlendirilmiş ve suyla sürüklenme faktörü (P_i) hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan formüller (Kirjavainen, 1989) aşağıda verilmiştir. Şekil 5.7'de flotasyonda su verimi, Şekil 5.8'de flotasyonda sürüklenme faktörü (P_i) gösterilmiştir.

Suyla sürüklenme faktörü (P_i);

$$R_k = 1 - \exp(-P_i R_w)$$

P_i : Suyla sürüklenme (entrainment) faktörü

R_k : Kül verimi

R_w : Su verimi

Kül verimi (%);

$$R_k (\%) = \frac{K (g) \times k (\%)}{B (g) \times b (\%)} \times 100$$

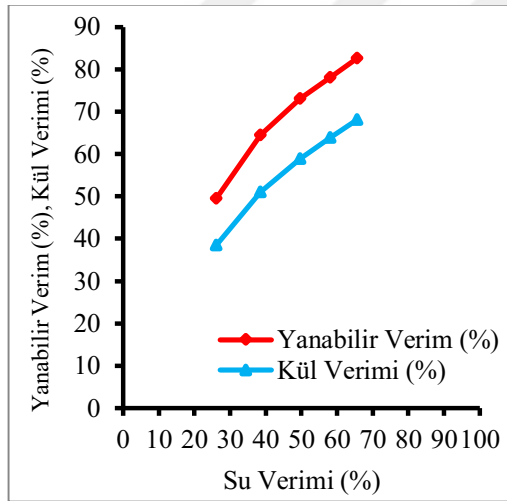
R_k : Kül verimi

K : Temiz kömür ağırlığı (g)

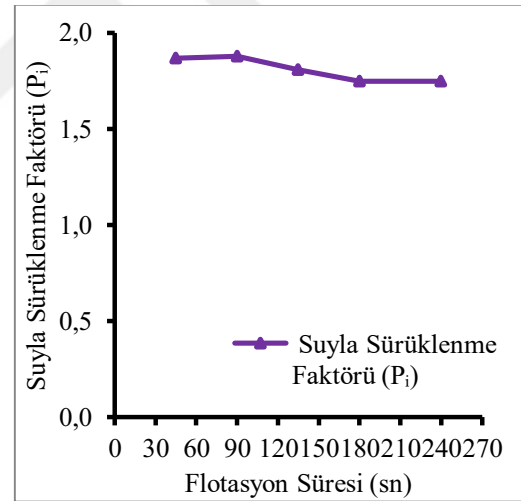
k : Temiz kömür külü (%)

B : Beslenen kömür ağırlığı (g)

b : Beslenenin külü (%)



Şekil 5.7 Flotasyonda su verimi



Şekil 5.8 Flotasyonda suyla sürüklenme faktörü (P_i)

Kömürdeki minerallerin suyla birlikte sürüklenerek temiz kömürle taşınması optimum flotasyon koşullarında incelenmiş ve temiz kömürde su kazanımı değerlendirildiğinde artış gözlenmiştir. Bu konuda benzer çalışmalar yapılmış ve sürüklenme faktöründeki değişiklik araştırılmıştır (Akgül, 2011). Temiz kömürdeki mineraller flotasyonda benzer davranış göstermiş ve suyla sürüklenme (entrainment) faktöründe (P_i) süreye (45, 90, 135, 180 ve 240 sn) bağlı olarak belirgin bir değişim olmamıştır.

6. SONUÇLAR

Çorum/İskilip linyit kömür numunesi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar:

1. Bastırıcı reaktif olarak kullanılan Na_2SiO_3 miktarının flotasyona etkisinin incelendiği deneylerde;
 - ✓ Bastırıcı reaktif Na_2SiO_3 , 10000 g/ton miktarında kullanıldığında en yüksek ağırlıkça verim %67.35, yanabilir verim %72.57 ve kül uzaklaştırma % 41.93 olarak elde edilmiştir.
 - ✓ Kül uzaklaştırma açısından değerlendirildiğinde; bastırıcı reaktif kullanılarak (%41.93) ya da kullanılmadan (%46.38) yapılan deneylerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Ekonomik açısından da bastırıcı reaktif kullanılmadan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak bastırıcı reaktif kullanılmamıştır.
2. Toplayıcı reaktif cinsinin ve miktarının incelendiği deneylerde;
 - ✓ Toplayıcı reaktif olarak gazyağı, mazot, fuel oil, Dehpa, Cyanex-272, LIX-984 ve karışımları kullanılmış, toplayıcı reaktif %100 Dehpa (20 kg/ton) + %100 mazot (32 kg/ton) toplam 52 kg/ton olarak belirlenmiştir.
 - ✓ Belirlenen toplayıcı reaktif %100 Dehpa (20 kg/ton) + %100 mazot (32 kg/ton) ayrı ayrı kondüsyon sürelerinde sıra ile ilave edilerek kullanıldığında, flotasyona etkisinin incelendiği deneyde; ağırlıkça verim %61.92, yanabilir verim %66.59 ve kül uzaklaştırma %46.38 olarak toplam 52 kg/ton miktarında elde edilmiştir.
3. Köpürtücü reaktif cinsinin ve miktarının incelendiği deneylerde;
 - ✓ MIBC, DF-250 ve çamyağının flotasyona etkisi incelenmiş ve köpürtücü reaktif olarak çamyağı belirlenmiştir.
 - ✓ Köpürtücü reaktif olarak çamyağı miktarının flotasyona etkisinin incelendiği deneylerde; flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma açısından değerlendirilmiş ve 200 g/ton çamyağı miktarı optimum olarak belirlenmiştir.
4. Köpük alma süresinin flotasyon performansına etkisinin incelendiği deneylerde;

Köpük alma süresi (45, 90, 135, 180 ve 240 sn); ağırlıkça verim, yanabilir verim ve kül uzaklaştırma açısından değerlendirilmiş ve 3 dk optimum süre olarak belirlenmiştir.

5. Temizleme ve süpürme devreleri flotasyon deney sonuçları incelendiğinde;

Flotasyonda; temiz kömür külü %31.18'den iki kademe temizleme flotasyonu sonucunda nihai temiz kömür külü %29.09 ve kül uzaklaştırma %46.38 olarak elde edilmiştir. Süpürme flotasyonu sonucunda kazanılan temiz kömürde, ağırlıkça verim %4.50, yanabilir verim %4.29 olarak elde edilmiştir.

6. Flotasyonda minerallerin suyla sürüklenme (entrainment) faktörü P_i 'nin süreye bağlı olarak değişiminin incelendiği deneylerde;

Belirlenen optimum flotasyon koşullarında, minerallerin suyla sürüklenme faktöründe (P_i) süreye (45, 90, 135, 180 ve 240 sn) bağlı olarak belirgin bir değişimin olmadığı görülmüştür.

7. Flotasyonda belirlenen optimum proses parametreleri; toplayıcı reaktif %100 Dehpa (20 kg/ton) + %100 mazot (32 kg/ton) toplam 52 kg/ton, köpürtücü reaktif çamyacı 200 g/ton ve flotasyonda köpük alma süresi 3 dk olarak belirlenmiştir.

Belirlenen optimum flotasyon koşullarında yapılan deneylerde; ağırlıkça verim %61.92, yanabilir verim %66.59 olarak elde edilmiş ve tüvenan kömür külü %36.01'den %31.18'e düşürülmüştür. Ayrıca temiz kömüre, iki kademe temizleme ve bir kademe süpürme flotasyonu uygulanması sonucunda külü %31.18'den %29.09'a düşürülmüştür.

Çorum/İskilip linyit kömürünün belirlenen optimum flotasyon koşullarında temiz kömür elde edilmesinde endüstriyel çaptaki çalışmalarda uygulanmasının ekonomik olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Flotasyon yöntemiyle kömür temizleme işleminde kül uzaklaştırma yüksek düzeyde sağlanamadığından termik santrallerde yakıt olarak kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül, E.,** (2011). Taşkömürü flotasyonunda seçimliliği etkileyen bazı faktörlerin etkilerinin incelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 62s, Sivas.
- Aksarı, B.,** (1998). Flotasyon kolonları temel çalışma prensipleri ve ayırma işlemine etki eden parametreler, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 37(2), 21-40s.
- ASTM International:** D 3174-12 “Standart Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal”
- ASTM International:** D 3172-13 “Standart Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke”
- ASTM International:** D 3173-11 “Standart Test Method for Moisture in The Analysis Sample of Coal and Coke”
- Atak, S. ve Önal, G.** (1991). Kömür hazırlama ve tesisleri. Kömür, **Kural, O.** (Ed.), *İTÜ Mühendislik Fakültesi*, 236-374, İstanbul.
- Ateşok, G.,**(1991). Kömürün koklaştırılması. Kömür, **Kural, O.** (Ed.), *İTÜ Mühendislik Fakültesi*, 512-612, İstanbul.
- Bulut, G. ve Göktepe, F.,** (2012). Madencilik ve cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan kimyasallar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), Eskişehir.
- Canpolat, L.,** (2003). Taş kömürünün yağ aglomerasyonu, flotasyonu ve yağ aglomerasyonu-flotasyon yöntemiyle zenginleştirilebilirliğinin incelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 88s, Sivas.
- Cheng G. ve ark.,** (2019). Optimization of collector and its action mechanism in lignite flotation, *Powder Technology*, 182-189.
- Coğrafyaharita,** (2022). Türkiye linyit madeni haritası. <http://cografyaharita.com/haritalarim/>4, Erişim Tarihi: 24.07.2022
- Diş, M.K.** (2020). Farklı tuzların linyit kömürünün flotasyonuna olan etkisi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 57 s, Çanakkale.
- DPT,** (2001). Sekizinci beş yıllık kalkınma planı. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu. Enerji hammaddeleri alt komisyonu çalışma grubu, *Devlet Planlama Teşkilatı yayın no:2605*, 130s, Ankara.

- DPT**, (2009). Dokuzuncu beş yıllık kalkınma planı. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu. Enerji hammaddeleri (linyit-taş kömürü-jeotermal) çalışma grubu, *Devlet Planlama Teşkilatı yayın no:2794*, 322s, Ankara.
- Ersoy, Ö.F.**, (2014). Isıl işlemin Türk linyitlerinin tek ve çift değerlikli tuzlar varlığında flotasyonuna etkisinin araştırılması. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), 114s, İstanbul.
- Ethem, M.Y.** (1974)Reaktifler üzerine temel bilgiler. *Bilimsel Madencilik Dergisi*,13 (4),20-34.Retrieved from <http://www.mining.org.tr/tr/pub/issue/32655/36242>
- ETKB**, (2022). Tabi kaynaklar, kömür. *Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı*. <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-komur>. Erişim Tarihi: 30.05.2022
- Göker Y. , Akbulut T.** (1994). Odun kömürü ve seyyar madeni kömür ocaklarında üretimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, seri: B, 44(3-4).
- Hacıfazlıoğlu, H.**, (2007). Alternatif flotasyon yöntemlerinin tanıtılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 46(3), 23-41.
- Hacıfazlıoğlu, H.**, (2011). Jameson hücreinde bitümlü şlam kömürün flotasyonu için en uygun köpürtücü ve toplayıcı tipinin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2(1), 33-43.
- Hacıfazlıoğlu, H.**, (2012). Kuru kömür zenginleştirme yöntemlerinin tanıtılması bazı ve Türk kömürlerinin temizlenmesi için FGX cihazının denenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 51(2-3), 29-42s.
- Hoşten, Ç.** (2002). Cevher hazırlama ve zenginleştirme Temel işlemlerinin Tasarımı. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ODTÜ yayınları*, şubat, 184 s, Ankara.
- Hui, S.& Ahmed, N.**, (1999). Cevher ve kömür hazırlamada yenilikler. İri tane flotasyonunda enerji dağılımının etkisi, Eylül, **Atak, S., ve ark.** (Ed.), *Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları*, 71-76, İstanbul.
- Kaya, Ö. ve Taşdoğan, N.**, (2020). An experimental study on the effects of some process parameters on lignite flotation. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects*, 42 (19), 2397-2404.
- KB**, (2018). 11. Kalkınma Planı. *Kalkınma Bakanlığı, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyon Raporu*. Ankara.
- Kemal, M.**, (1991). Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Önal, G., Ateşok, G., *Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları*, 270-282s.

- Kemal, M., Arslan, V.,** (1999). Kömür teknolojisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, İzmir.
- Keskin, Y.** (1988). Kömür. Hazırlama yöntemleri. *İlkadım matbaası*, 232s, Zonguldak.
- Kirjavainen, V.M.** (1989). Application of a Probability Model for the Entrainment of Hydrophilic Particles in Froth Flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 27, 63-74.
- Koç, S.**(2006). Linyitlerin gazlaştırılmasına mineral madde içeriğinin etkisi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), 71s, Ankara.
- Kural, O.** (1991). Linyit ve kullanım alanları. Kömür. 294-332, *Kurtiş matbaası*, 975s. İstanbul.
- Kural, O. ve Ökten, G.** (1991). Diğer önemli karbonlu maddelerin tanıtılması. Kömür, **Kural, O.** (Ed.) *İTÜ Mühendislik Fakültesi*, *Kurtiş matbaası*, 842-872, İstanbul.
- Küçükbayrak, S. ve ark.,** (1991). Kömürün fiziksel ve diğer bazı teknolojik özellikleri. Kömür, **Kural, O.**(Ed.)*İTÜ Mühendislik Fakültesi*, 75-102, İstanbul.
- Leonard, J. W.,** (Ed.) (1991). Coal Preparation. *Society For Mining, Metallurgy, And Exploration, Inc. Littleton, Colorado*.
- Mahajan, O.P. & Walker, P.L.** (1978). Kömürün fiziksel ve diğer bazı teknolojik özellikleri. Kömür, **Kural, O.** (Ed.) *Kurtiş matbaası*, 75-102, İstanbul.
- MAPEG,** (2022). Maden istatistikleri. Maden üretim değerleri. *Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü*. <https://mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik> Erişim Tarihi: 29.05.2022
- MÖİK,** (2009). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu. *Enerji hammaddeleri çalışma grubu*. Ankara.
- MTA,** (2022). Enerji hammadde arama ve araştırmaları. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari> Erişim Tarihi: 30.05.2022
- MTA,** (2022). Kömür. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/komur>, Erişim Tarihi:18.04.2022
- MTA,** (2022). Yer Bilimleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*. <https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/> Erişim Tarihi: 29.05.2022

- Nakoman, E.** (1971). Kömür. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü yayınlarından, Eğitim Serisi*, no.8, Ankara.
- Onat, N.** (2018). *Akıllı Ulaşım sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* 1(1), (8-15)
- Özdemir, O.** (2013). *Specific Ion Effect of Chloride Salts on Collectorless Flotation of Coal, Physicochem, Probl. Miner. Process.* 49(2), 2013, 511-524.
- Özpeker, I.** (1991). Kömür oluşumu petrografisi ve sınıflandırılması. Kömür, (8-74) (Ed.) Orhan KURAL, *Kurtiş matbaası*, 957s. İstanbul.
- Pawlik M, Laskowski JS,** (2003). Coal reverse flotation. Part II. Batch flotation tests. *Coal Preparation*, 23(3), 113-127.
- Şahinoğlu, E.** (2019). Kömür flotasyonunda farklı yağların performanslarının karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1), 253-262.
- Şalgah İlikay, İ.,** (2019). İnorganik tuzların linyit flotasyonuna etkisi. *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*, 44s, Konya.
- TBMM Meclis Haber,** (2022). TBMM Kamu İktisadi Teşebbüsleri (KİT) Komisyonu. *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) 2019 ve 2020 yılı hesapları*. <https://meclishaber.tbmm.gov.tr>, Erişim Tarihi:25.05.2022
- TKİ,** (2022). Enerji ve Kömür. *Türkiye Kömür İşletmeleri Müdürlüğü*. <https://www.tki.gov.tr/enerji-ve-komur>, Erişim Tarihi:25.04.2022
- Van Kerevelen, D.W.,** (1961). Kömürün fiziksel ve diğer bazı teknolojik özellikleri. Kömür, 75-102s, (Ed.) Orhan KURAL, *Kurtiş matbaası*, 957s. İstanbul.
- Yekeler, M., Yarar, B.** (1999). Cevher ve kömür hazırlamada yenilikler. *VII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildirileri Kitabı. Atak, S., ve ark.* (Ed.), *Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları*, 95-100s, İstanbul.
- Yeşilyurt, Z.** (2014). Farklı yapıdaki non-iyonik sürfaktanların bitümlü kömür şlamı üzerinde flotasyon ve gang taşıma davranışları ile filtrasyon performanslarının incelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)*, 83s. İstanbul.
- Yılmaz, B.N.,** (2019). Niğde (Ulukışla-Madenköy) Bolkardağı sülfürlü kurşun-çinko kompleks cevherini optimum flotasyon şartlarının belirlenmesi. *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 52s, Konya.
- Yılmazel, H.,** (2010). Çatalağzı termik santralinde (ÇATES) kullanılan lavvar artıklarındaki kömürün kazanımında optimum flotasyon koşullarının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 81s, Adana.

EKLER

EK 1 Flotasyon Deney Sonuçları

A Toplayıcı reaktif cinsi ve karışımlarının flotasyona etkisi (Şekil 5.1)

A1 %1 Gazyağı miktarının flotasyona etkisi

Gazyağı (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
4	4.54	95.44	4.54
6	6.81	93.56	7.02
10	5.23	95.10	5.42

A2 %1 Mazot miktarının flotasyona etkisi

Mazot (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
2	11.75	88.11	11.68
4	11.27	88.63	11.22
6	12.14	87.72	12.06
10	17.10	82.71	17.00

A3 %5 Fuel oil + %95 Gazyağı miktarının flotasyona etkisi

Fuel oil + Gazyağı (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
40	17.63	83.23	18.11
80	26.73	74.40	27.37
120	37.47	66.20	39.55
200	63.82	48.96	71.01

A4 %5 Fuel oil + %95 Mazot miktarının flotasyona etkisi

Fuel oil + Mazot (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
40	14.02	86.23	14.16
80	13.23	87.31	13.54
120	14.26	86.71	14.81
200	35.82	71.84	40.13

A5 %100 Dehpa miktarının flotasyona etkisi

Dehpa (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
5	34.21	63.48	32.92
10	38.17	62.80	38.72
20	48.10	55.06	49.88

A6 %1 Dehpa + %99 Gazyağı miktarının flotasyona etkisi

Dehpa + Gazyağı (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
200	43.69	60.77	46.20

A7 %1 Dehpa + %99 Mazot miktarının flotasyona etkisi

Dehpa + Mazot (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
10	13.27	85.64	12.65
50	35.64	68.38	37.90
100	61.13	48.88	66.77
200	47.87	60.94	52.83

A8 %1 Cyanex-272 +%99 Gazyağı miktarının flotasyona etkisi

Cyanex-272 +Gazyağı (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
200	71.92	37.48	77.21

A9 %1 Cyanex-272 +%99 Mazot miktarının flotasyona etkisi

Cyanex-272 + Mazot (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
200	60.44	56.65	70.05

A10 %1 LIX-984 + %99 Gaz yağı miktarının flotasyona etkisi

LIX-984 + Gaz yağı (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
200	58.14	55.49	65.80

A11 %1 LIX-984+%99 Mazot miktarının flotasyona etkisi

LIX-984 + Mazot (kg/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
200	56.96	62.29	67.80

B Bastırıcı miktarının (%100 Dehpa + %100 Mazot ayrı ayrı kullanıldığında) flotasyona etkisi (Şekil 5.3)

Sodyum silikat (Na₂SiO₃) (g/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
0	61.92	46.38	66.59
1000	60.10	45.79	63.41
2500	62.01	45.87	66.45
5000	65.32	42.66	69.81
10000	67.35	41.93	72.57

C Köpürtücü (Çamyacı) miktarının flotasyona etkisi (Şekil 5.4)

Çamyacı (g/ton)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
0	63.52	44.67	68.14
100	65.64	41.07	69.41
200	61.92	46.38	66.59
300	60.02	47.34	64.17

D Köpük alma süresinin flotasyona etkisi (Şekil 5.5)

Süre (sn)	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
45	38.01	68.33	41.58
90	49.88	57.57	54.07
135	56.80	50.61	60.97
180	62.12	45.07	66.17
240	64.99	42.28	69.08

E Flotasyonda temizleme ve süpürme devreleri akım şeması (Şekil 5.6)

Ürünler	Ağırlıkça Verim (%)	Kül Uzaklaştırma (%)	Yanabilir Verim (%)
Nihai Temiz Kömür	42.41	61.98	44.51
Ara ürün 1	9.89	88.58	9.16
Ara ürün 2	8.45	90.54	7.97
Süpürme Temiz Kömür	4.50	95.06	4.29
Artık	34.72	63.79	34.01

F Flotasyonda su kazanımı (Şekil 5.7)

Su Kazanımı (g)	Kül Verimi (%)	Kül İçeriği (%)	Yanabilir Verim (%)
26.10	38.52	30.45	49.51
38.51	51.07	30.81	64.54
49.64	58.95	31.22	73.09
58.19	63.82	31.12	78.03
65.71	68.07	31.64	82.69

G Flotasyonda sürüklenme faktörü (P_i) (Şekil 5.8)

Süre (sn)	Sürüklenme Faktörü (P_i)
45	1.87
90	1.88
135	1.81
180	1.75
240	1.75

EK 2 Flotasyon Deney Fotoğrafları





