



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



FARKLI TUZLARIN LİNYİT KÖMÜRÜNÜN

FLOTASYONUNA OLAN ETKİSİ

Mustafa Kamil DİŞ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TUZLARIN LİNYİT KÖMÜRÜNÜN
FLOTASYONUNA OLAN ETKİSİ ETKİSİ
Mustafa Kamil DİŞ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: **27/01/2020**

Tez Danışmanı:
Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

ÇANAKKALE

Mustafa Kamil DİŞ tarafından Doç. Dr. Mustafa ÇINAR yönetiminde hazırlanan ve 27/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Farklı Tuzların Linyit Kömürünün Flotasyonuna Olan Etkisi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

Başkan

Prof. Dr. İlhan GÜLGÖNÜL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ş. Erkan YERSEL

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Mustafa Kamil DİŞ

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Mustafa ÇINAR, alıŐma sÜresince tÜm zorlukları benimle göğüsleyen, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Mustafa Kamil DİŞ
anakkale, Ocak 2020



SİMGELER VE KISALTMALAR

μm	Mikron metre
dk	Dakika
g/t	Gram/ton
sn	Saniye
kg	Kilogram
t	Ton
mm	Milimetre
cm	Santimetre
g	Gram
dm^3	Desimetre küp
Kcal	Kilokalori
MIBC	Metil izobütil karbinol

ÖZET

FARKLI TUZLARIN LİNYİT KÖMÜRÜNÜN FLOTASYONUNA OLAN ETKİSİ

Mustafa Kamil DİŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

27/01/2020, 57

Ülkemiz linyit kaynakları yönünden zengin olmakla birlikte, kömürlerin kalite probleminden dolayı kullanımını kısıtlıdır. Bu kısıtlamanın sebebi kömürlerin içerdiği yüksek kül, kükürt ve nem içeriğinden kaynaklanmaktadır. Kömürün yapısında yer alan bu safsızlıklar özellikle linyitlerin kullanım alanlarında çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu kapsam dahilinde, mevcut çalışmada linyitlerin kalitesinin artırılmasına yönelik olarak Çan Bölgesi linyitleri ile flotasyon deneyleri yapılmıştır. Taneciklerin flotasyon sırasında oluşan kabarcığa yapışabilmesi için parçacıkların hava kabarcıkları ile çarpışması gerekir. Küçük tane boyutları için flotasyon performansı yüksektir ancak toplamda kabarcıklara yapışan tanecik miktarı düşüktür. Büyük taneciklerin ise kabarcıklarla çarpışma olasılığı yüksektir. Bu durumda kabarcıkları köpüğe aktarmak zordur. Tane boyutundaki küçülmeye uygun olarak, kabarcık çapı azalmalıdır. Bu çalışma esas olarak, çeşitli tuzların, özellikle de tuz flotasyonunda kullanılanların (KCl, NaCl, CaCl₂, MgCl₂) varlığında farklı tuz konsantrasyonlarına dayanarak flotasyon hücresinde meydana gelen kabarcıkların sayısını ve boyutunu belirlemek ve bu tuzların varlığında gazyağının flotasyon verimine olan etkilerini saptamak için yapılmıştır. Çan linyit kömürü ile yapılan flotasyon deneylerinde de linyitin flotasyon kabiliyetinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Linyit kömürünün flotasyon yöntemi ile yüzdürülebilirliğini artırma amacıyla son yıllarda özellikle bitümlü kömürlerin zenginleştirilmesinde pozitif etkinin görüldüğü tuzlu su ortamında flotasyon tekniği uygulanarak linyit flotasyonu yapılmıştır. Flotasyon deneylerinde teknik kalite NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ tuzları kullanılarak farklı tuz konsantrasyonlarında (10^{-2} – 10^{-1} – 5×10^{-1} ve 1 Molar) hazırlanan tuz çözeltileriyle, farklı bir flotasyon reaktifi kullanılmaksızın flotasyon deneyleri yapılmıştır. Tuzlarla yapılan flotasyon deneyleri sonrasında CaCl₂>MgCl₂>NaCl>KCl şeklinde yüzen ürün miktarında bir artış olduğu görülmüştür. Çift

değerlikli tuzlarla hazırlanan tuzlu su ortamında linyit tek değerlikli tuzlarla hazırlanan tuz su ortamına göre daha iyi flotasyon davranışı sergilemiş ve flotasyon verimlerinde daha yüksek elde edilmiştir. Flotasyon deneyleri bu tuzların 1 Molar çözeltilerinde gazyağının farklı miktarları (200 g/t, 600 g/t, 1000 g/t, 1400 g/t, 2000 g/t) eklenerek tekrar edilmiş, gazyağının tuzlu ortamda linyit flotasyonuna çift değerlikli tuzlarda verimi arttırdığı saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Linyit, Tuzlu Ortam, Flotasyon, Kömür, Gazyağı



ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT SALTS ON THE FLOTATION OF LIGNITE COAL

Mustafa Kamil Diş

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Mining Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÇINAR

01/27/2020, 57

Although our country is rich in lignite resources, its use is limited due to the quality problem. The reason for this restriction is due to the high ash, sulfur and moisture content of the coals. These impurities in the structure of coal cause environmental problems, especially in the areas of lignite use. Within this scope, flotation experiments were carried out with lignites of Çan Region in order to improve the quality of lignites in the present study. In order for the particles to adhere to the bubble formed during flotation, the particles must collide with the air bubbles. The flotation performance is high for small grain sizes, but the total amount of particles adhering to the bubbles is low. Large particles are likely to collide with bubbles. In this case, it is difficult to transfer the bubbles to the foam. In accordance with the reduction in grain size, the bubble diameter should be reduced. This study was conducted mainly to determine the number and size of bubbles in the flotation cell based on different salt concentrations in the presence of various salts, especially those used in salt flotation (KCl, NaCl, CaCl₂, MgCl₂), and to determine the effects of kerosene on flotation efficiency in the presence of these salts. Flotation experiments with Çan lignite showed that the lignite flotation ability was very low. In order to increase the floatability of lignite coal by flotation method, lignite flotation has been performed by applying flotation technique in salty water environment where positive effect has been observed especially in the enrichment of bituminous coal in recent years. In the flotation experiments, flotation experiments were performed with salt solutions prepared at different salt concentrations (10^{-2} - 10^{-1} - 5×10^{-1} and 1 Molar) using technical quality NaCl, KCl, CaCl₂ and MgCl₂ as the salt, without using a different flotation reagent. After flotation experiments with salts, it was observed that there was an increase in the amount of floating product in the form of CaCl₂>MgCl₂>NaCl>KCl. In the saline medium prepared with divalent salts, lignite showed

better flotation behavior than salty water medium prepared with univalent salts and flotation yields were higher. Flotation experiments were repeated by adding different amounts of kerosene (200 g / t, 600 g / t, 1000 g / t, 1400 g / t, 2000 g / t) in 1 molar solutions of these salts.

Keywords: Lignite, Saline Environment, Flotation, Coal, Kerosene.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Kömür	3
1.2.1. Oluşumlarına Göre Kömür Türleri	5
1.2.2. Çan Linyitleri.....	6
1.2.3. Linyitin Enerji Sektöründe Kullanımı	8
1.2.4. Kömür Zenginleştirme.....	9
1.3. Flotasyon	9
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	19
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	19
3.1.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	21
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Kırma ve Eleme İşlemi.....	26
3.2.2. Eleme İşlemi	27
3.2.3. Öğütme İşlemi	27
3.2.4. Görüntü Alma ve İşleme	27
3.2.5. Flotasyon Deneyleri.....	28
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	29
4.1. Farklı Konsantrasyonlardaki Tuzların Varlığında Flotasyon Hücreindeki Kabarcık Boyutu ve Değişikliğinin Belirlenmesi	29
4.1.1. Kabarcık Sayısı Ölçümleri	30

4.1.2. Ortalama Kabarcık Çapı Ölçümleri.....	32
4.2. Flotasyon Deneyleri	34
4.2.1. Saf Su İçerisinde Yapılan Flotasyon Deneyi.....	34
4.2.2. Saf Suda Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri	34
4.3. Tuz Flotasyonu.....	36
4.3.1. Sodyum Klorür Tuzu ile Yapılan Linyit Flotasyonu Deneyleri.....	36
4.3.2. Sodyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri ..	37
4.3.3. Potasyum Klorür Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri.....	39
4.3.4. Potasyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri	41
4.3.5. Magnezyum Klorür Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri	42
4.3.6. Magnezyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri	44
4.3.7. CaCl ₂ Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri	46
4.3.8. Kalsiyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri	47
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Çan Linyit Havzası 1/25000 ölçekli haritası	8
Şekil 2. Potasyum klorür tuzu.....	20
Şekil 3. Magnezyum klorür tuzu.....	20
Şekil 4. Kalsiyum klorür tuzu	21
Şekil 5. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı	22
Şekil 6. Eleme işlemlerinde kullanılan Tyler elek serisi	22
Şekil 7. Çubuklu değirmen	23
Şekil 8. Flotasyon cihazı	24
Şekil 9. pH metre	25
Şekil 10. Hassas terazi	25
Şekil 11. Etüv.....	26
Şekil 12. Deney setinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 13. Cam flotasyon hücresine ait görüntü	29
Şekil 14. Görüntü işleme aşamaları	30
Şekil 15. Görüntü analizi kullanılarak işlenen fotoğraflardaki konsantrasyona göre kabarcık sayıları değişimi.....	31
Şekil 16. MgCl ₂ Tuzu çözeltilisinde konsantrasyona bağlı kabarcık değişimleri.....	31
Şekil 17. Görüntü analizi ile işlenmiş fotoğraflar	32
Şekil 18. Görüntü analizi kullanılarak işlenen fotoğraflardaki konsantrasyona göre ortalama kabarcık çapı değişimi	33
Şekil 19. Saf suda yapılan linyit flotasyonu	34
Şekil 20. Gazyağı miktarına bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim	35
Şekil 21. NaCl tuzu çözeltilisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim.....	37
Şekil 22. 10 ⁻² M (a) ve 1 M (b) NaCl tuzu çözeltilisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim	37
Şekil 23. 1 M NaCl tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim ..	38
Şekil 24. 1 M NaCl tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim.....	39
Şekil 25. 10 ⁻² M (a) ve 1M (b) KCl çözeltilisinde linyit flotasyonlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim.....	40
Şekil 26. KCl tuzu çözeltilisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim.....	40
Şekil 27. 1 M KCl tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim	41
Şekil 28. 1 M KCl tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim ..	42
Şekil 29. 10 ⁻² M (a) ve 1M (b) MgCl ₂ tuzu çözeltilisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim	43
Şekil 30. MgCl ₂ tuzu çözeltilisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim.....	43
Şekil 31. 1 M MgCl ₂ tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim.....	45
Şekil 32. 1 M MgCl ₂ tuzu çözeltilisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim	45

Şekil 33. CaCl ₂ tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim.....	46
Şekil 34. 10 ⁻² M (a) ve 1M (b) CaCl ₂ tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim	47
Şekil 35. 1 M CaCl ₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim	48
Şekil 36. 1 M CaCl ₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim.....	49
Şekil.37 Tuz flotasyonu deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim	50
Şekil 38. Farklı tuzların 1 M çözeltilerinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim	51



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. 2017 yılı Dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar	2
Tablo 2. Kömür türlerine ait kimyasal içerikler	6
Tablo 3. Çan linyitlerine ait 2008-2018 üretim miktarları.....	7
Tablo 4. Çan linyitlerine ait rezerv ve kalorifik değerler	7
Tablo 5. Saf suda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri	35
Tablo 6. Sodyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	36
Tablo 7. 1 M NaCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri	38
Tablo 8. Potasyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	39
Tablo 9. 1 M KCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	41
Tablo 10. Magnezyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri	42
Tablo 11. 1 M MgCl ₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	44
Tablo 12. Kalsiyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	46
Tablo 13. 1 M CaCl ₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri.....	48
Tablo 14. Tuz flotasyonu deneylerinde molarite değişimlerine bağlı yüzen linyit miktarları	49
Tablo 15. Gazyağı miktarındaki değişime bağlı elde edilen yüzen linyit miktarları.....	51

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kömür, günümüz dünyasında termik santrallerde elektrik üretimi, konutlarda ısınma amaçlı ve çimento, tuğla-kiremit, şeker fabrikaları vb. sanayilerde de enerji gereksinimi için tüketilen fosil bir yakıttır. Dünyada vazgeçilmez enerji kaynaklarından birisidir. Fakat kömürün fosil bir yakıt olması ve kömürleşme evresinde bünyesine istenmeyen safsızlıkların dahil olması onun kullanıldığı sektörlerde birtakım negatif etkilere neden olmaktadır. Bunlardan en önemlisi kömürün yandığında çevreye verdiği zarardır. Kömürün yapısında yer alan veya üretimi sırasında kömüre karışan kül yapıcı, kükürt, nem, uçucu madde, fosfor ve alkali gibi istenmeyen safsızlıkların kömürün kullanım sektörlerine gelmeden önce birtakım fiziksel, fiziko-kimyasal, kimyasal ve biyolojik yöntemleri içeren kömür hazırlama/zenginleştirme işlemleriyle kömürden uzaklaştırılması bir endüstriyel zorunluluktur. Bu kapsamda, günümüzde ince boyutlarda kömür zenginleştirme yöntemlerinden biri olan flotasyon yöntemi kömürlerin zenginleştirilmesinde uygulanan yaygın yöntemlerden biridir. Kömür doğal hidrofob olan bir maddedir. Fakat kömürlerin hidrofobitesi kömür türüne göre değişmektedir. Kömür kalitesi arttıkça yani linyitlerden bitümlü kömürlere gidildikçe kömürlerin flotasyon kabiliyetleri artmaktadır. Bu artış, bitümlü kömürlerdeki düşük nem, yüksek karbon, kül, uçucu maddelerden kaynaklanmaktadır. Bunların yanı sıra linyit kömürlerinin hidrofilik karakter sergilemesi onun karboksil ve hidroksil türü oksijen içeren grupları yüksek miktarda bünyesinde barındırmasıdır (Sayın, 2019). Kısaca, linyitlerin flotasyon kabiliyeti onların içerdiği karbon ve kül içeriği ile değiştiği uzun zamandır bilinen bir gerçektir. Linyitlerin hidrofilik karakter sergilemesi onların yüksek miktarda gazyağı, mazot vb. petrol türevi toplayıcılarla bile yüzdürülmesi zordur (Özdemir, Çinku, Uslu, Kılıç ve Çelik, 2013). Yüksek miktarlarda petrol türevi yağların kullanılması tanelerin agremerasyonuna neden olmakta, bu da flotasyonla mineral madde ve kömürün birbirinden ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca yüksek miktarlarda yağ kullanımı ekonomik bir zenginleştirme yöntemi değildir. Bundan dolayı flotasyonla daha etkili ve ekonomik bir yöntemle zenginleştirme yapılması gerekmektedir. Yüksek konsantrasyondaki tuzların solüsyon ve ara tane yüzeylerini etkilediği, kabarcıklar ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirdiği dolayısıyla da minerallerin flotasyonunu etkilediği öteden beri bilinmektedir (Hüyükpınar, 2010).

Gelişen teknoloji ile beraber yenilenen enerji anlayışı, temiz çevre ve düşük emisyon hedeflerini taşımakta olsa da geçmişten günümüze var olan fosil yakıt tüketiminin yerini

tamamen alamamaktadır. Artan enerji ihtiyacı, kömür ve diğer fosil yakıt kazanımı metodlarında da gelişmeler sağlamaktadır. İçeriğindeki %0,5-8 civarındaki kükürt sebebiyle çevre sorunlarına sebep olabilen kömürün zenginleştirilmesi ve çevreye zararlı içeriğin uzaklaştırılması yöntemleri araştırılmaktadır (Hüyükpınar, 2010).

Kömürün dünya genelinde yaygın biçimde kullanımını ülkelerin sahip oldukları yeraltı zenginlikleri sıralamasında önem arz etmektedir. Bu sebeple kömür, diğer fosil yakıtlar gibi belli bölgelerde değil hemen hemen her ülkede bulunması, enerji üretiminde ihtiyacın karşılanmasında stabil bir kaynak olması, petrol ve diğer fosil yakıtlardaki fiyat dalgalanmalarına karşı alternatif bir enerji kaynağı olması sebebiyle önemli bir yakıt haline gelmiştir. Günümüzde elektrik üretiminin %38,3'lük bir kısmı kömür kullanılarak sağlanmaktadır (Aydın, 2009)

Tablo 1

2017 yılı Dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar (Sayın, 2019)

Enerji Türü	Enerji Üretimindeki Paydası
Kömür	38,3
Gaz	22,9
Hidroenerji	16,3
Nükleer	10,2
Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Gelgit Enerjisi	6,6
Petrol	3,3
Diğer	2,3

Ülkemizde doğalgaz ve petrol varlığının ihtiyacı karşılayacak düzeyde olmayışı, gelişen teknoloji ile birlikte artan enerji taleplerini karşılamak üzere yüksek verimde ve düşük emisyon değerlerine sahip alternatif yakıt arayışı, kömür ithalatının artmasına sebep olmaktadır. Bu artış ile birlikte yerli enerji kaynaklarının ülke kalkınmasına olan katma değeri giderek azalmakta, bu sebeple yerli enerji kaynaklarının kullanılabilirliği konusunda çalışmalar sürdürülmektedir. Son otuz yılda dünya genelinde kömür üretimi yaklaşık iki kat artmıştır. Bu üretim artışının başlıca sebebi Çin ve diğer asya ülkelerinin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasıdır. Son on yılda Asya-Pasifik Bölgesi'nin toplamındaki elektrik enerjisi üretim artışı yaklaşık 2 kat olup, elektrik üretiminde en yoğun olarak kullanılan kaynak kömür olmuştur (Sayın, 2019).

Kömürün kullanımına etki eden en önemli parametrelerden biri tane boyutudur. Konutlarda ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılabilir kömürlerin boyutları 125 mm'nin üstünde olması tercih edilir. 18-50 mm'nin altındaki boyutlar konutlar ve küçük boyutlu sanayi ocaklarında, 18 mm'nin altındaki boyutlar ise sanayide ve pulvarize halinde kullanılmaktadır (Ateşok, 2014).

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, düşük flotasyon kabiliyetine sahip olan Çan linyit kömürünün yağ flotasyonuna alternatif olarak, tuzlu ortamda flotasyon kabiliyetini ortaya koymak ve ayrıca tuzlu ortamda yağ varlığının flotasyon yöntemiyle yüzebilirliğini araştırmaktır. Bu kapsamda öncelikle Çan linyitinin toplayıcı olarak gazyağının kullanıldığı flotasyon deneyleri yapılmıştır. Daha sonra tek (NaCl, KCl) ve çift (MgCl₂, CaCl₂) değerlikli tuzların linyitin yüzebilirliği üzerine olan etkisinin araştırıldığı tuz flotasyonu deneysel çalışmaları yapılmıştır. Tuz flotasyon çalışmalarında toplayıcı ve köpürtücü gibi hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmamıştır. Son olarak tek ve çift değerlikli tuzlar varlığında gazyağının linyit kömürünün flotasyonla yüzebilirliği araştırılmıştır.

1.2. Kömür

Kömür, oluşum olarak bolzulmuş, zaman içerisinde ısı farklılıklarına bağlı değişimler geçirmiş, bitkisel yapıların oluşturduğu, içeriğinde birçok organik türevleri barındıran, yapısındaki karbona bağlı olarak yakıldığında ısı ve enerji açığa çıkaran organik bir kayadır. Kömürün oluşumu esnasında fiziksel ve kimyasal olayların binlerce hatta milyonlarca yıl sürdüğü, bu esnada kömürü oluşturan bitki türleri ve ortam koşullarının oldukça farklı karakteristik özelliklere sahip olması sebebiyle dünya üzerindeki kömür yatakları birbirlerinden çok farklı olabilmektedir. Hatta aynı yatağın farklı kısımlarında da farklılıklar gözlenebilir. Kömürün meydana gelmesi, bataklık şartlarında organik türevlerin bu ortamdaki birikimlerinin sıcaklık ve zamana bağlı olarak başkalaşım geçirmesi ile açıklanabilir. Bu başkalaşım süreci; turba, linyit, yarı bitümlü kömür, bitümlü kömür ve antrasit gibi oluşum yapılarını meydana getirir. Bu oluşumun ilk evresinde, organik türevlerin kimyasal bozunuma uğraması ve bu bozunma sonrasında oluşan ortamın asidik düzeyinin bu ortamda hücresel varlıkların yaşamına uygun olmamasına sebep olmuştur. İkinci evrede ise bu oluşumun basınç ve sıcaklığın zaman faktörüne bağlı değişmesidir. Kömür içerisindeki oksijen ve hidrojen varlığının azalması, karbon ve ısı özelliklerinin artması, uğradığı bu başkalaşıma bağlı olarak değişir. Bu değişim ise kömürün kalitesini

belirler. Bu kimyasal içeriğe bağı özellikler linyitten antrasite kadar kömür kombinasyonunu oluşturur (Sayın, 2019).

Kömür, diğ er fosil yakıtlardan farklı olarak gözenekli bir yüzey yapısına sahiptir ve bu özellik kömür içeriğine organik yapıların girişini kolaylaştıracak yüzey alanı yaratmaktadır. Kömür ve kimyası üzerine çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Bu araştırmalarda her bir kömür kombinasyonu için farklı karakteristik kimyasal özelliğe sahip olduğu, bu özelliklerin kömürün farklı kullanım alanlarında işlevselliğ in için kritik öneme sahip olmasının yanında yanma olaylarının araştırılmasında ise bu derece öneme sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Kömürün içeriğindeki kül yapıcı maddeler, kömür yapısındaki ve yan kayadaki inorganik yapılardan ileri gelmektedir. Kömür, içerik olarak homojen değildir. Kömürleşen kısım ve oluşum sürecine göre farklılık gözlenebilir. Sınıflandırmada belirleyici olan içeriğindeki sabit karbon yüzdesi, kalorifik değ er, uçucu madde, nem, hidrojen ve oksijendir (Sayın, 2019).

Kömür içeriğindeki kükürt oluşumu, sülfat, piritik, organik ve elementer kükürt olarak dört grupta incelenir. Sülfat ve elementer kükürt oluşumlarına az rastlanmaktadır. Piritik kükürt kömür içeriğinde farklı boyutlarda bulunabilir. Mikro boyuttaki pirit oluşumunu uzaklaştırmak için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler uygulanması gerekir. Kömürü meydana getiren bitkisel varlıkların içeriğindeki kükürt ise kömürün kimyasal yapısına bağı halde bulunan organik kükürtü oluşturur (Sayın, 2019).

Genç oluşuma sahip kömürlerin daha fazla özgül yüzeye sahip olmaları sebebiyle bünyelerine oksijen alabilme yetenekleri daha yüksektir ve bu kömürler oksijene karşı çok daha fazla duyarlıdır. Oksidasyon, kömürün özgül ağırlığında artışa sebep olur. Yüzeye yakın ocaklarda atmosfer etkilerine maruz kalan, üretilikten sonra stok halde bekletilen kömürlerde oksidasyon meydana gelmektedir. Oksidasyona uğramış kömür dağılabilir, kırılğan bir yapıya geçtiğ i için küçük tanecikler haline dönüşebilir. Bu dönüşüm hazırlama safhasında zorluklara yol açar. Oksidasyona maruz kalmaları, kömürlerin temas açılarında düşüş e sebep olmaları neticesinde yüzme veriminde olumsuz etki yaratır (Ateşok, 2014).

Kömürün hazırlanma duyarlılığında, dolayısıyla yanma veriminde etkili olan fiziksel özellikleri de önem teşkil etmektedir. İçeriğindeki bünye ve yüzey rutubeti kömürün taşınmasından kullanılmasına kadar etkili olabilmektedir. Kömür hazırlama işlemleri sırasında kömür ve artık maddelerin özgül ağırlığı ayırıştırma işlemini belirler. Sertlik dereceleri kömürlerin içerdiğ i karbon ve uçucu maddelerin yüzdelere göre farklılık gösterir. Sertlik derecesi olarak en yüksek dereceye sahip olan antrasittir (Mohs 2,73-3,0). Parça boyut dağılımı, mukavemet, dağılabilirlik, öğütülebilirlik, gözenek yapısı, elektrik

iletkenliği, ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri ise diğer yanma verimini ve hazırlama işlemlerindeki maliyeti belirleyici özellikleridir (Ateşok, 2014).

1.2.1. Oluşumlarına Göre Kömür Türleri

Antrasit: Oluşum olarak en eski ve karbon içeriği olarak en zengin kömür türüdür. Yapısında %90-95 karbon ihtiva eder. Fiziksel olarak parlak siyah ve sert olan antrasitin yoğunluğu 1,4–1,7 kg/dm³ dür. Kalorifer değeri 7300-8000 Kcal/kg olması ve içeriğinde kükürt ve fosfor miktarlarının azlığı sebebiyle endüstriye daha uygundur. Oluşumu 300 milyon yıla dayandığından antrasit rezervlerine sık rastlanılmamaktadır (Hüyükpınar, 2010).

Taş Kömürü: Oluşum olarak 200-250 milyon yıla dayanmakta olan taş kömürü, fiziksel olarak parlak veya mat siyah olarak bulunmaktadır. Yoğunluğu 1,3 kg/dm³ olup kalorifer değeri 4500-7500 Kcal/kg'dır. İçeriğinde %80-90 karbon, %3–5 oksijen, %11–34 uçucu madde, %15 nem ve %5–6 hidrojen ihtiva eder. Sanayide geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde Zonguldak Havzası'nda taşkömürü rezervleri yer almaktadır (Hüyükpınar, 2010).

Linyit: Oluşum olarak 60 milyon yıl kadar öncesine dayanan linyit, oluşumunu tamamlayamayan kömür türlerindedir. İçeriğinde kükürt ihtiva etmesi, linyit kullanımını sınırlamaktadır. İçeriğinde %65-70 karbon, %25 oksijen ve %5 hidrojen ihtiva eder. Linyit, düşük kalorifik değere sahip, içeriğinde kül ve nem oranı yüksek olması sebebiyle büyük ölçüde termik santral yakıtı olarak kullanılmaktadır. Dünya toplam kömür rezervlerinin yaklaşık çeyreğini oluşturmaktadır. Ülkemiz, linyit rezervi açısından oldukça zengin bir potansiyele sahip durumdadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), dünyadaki toplam kömür rezerv miktarının yaklaşık 311 milyar ton (%34,8) Avrupa-Avrasya ülkeleri, 288 milyar ton (%32,3) Asya-Pasifik ülkeleri, 245 milyar ton (%27,5) Kuzey Amerika ülkeleri, 33 milyar ton (%3,7) Afrika-Doğu Akdeniz ülkeleri ve 14,6 milyar ton (%1,6) Orta ve Güney Amerika ülkelerinin yeraltı zenginliği olarak potansiyel enerji kaynağı olduğu tahmininde bulunmaktadır. Dünya Enerji Konseyi ise dünya toplam kömür rezervinin %90'dan fazla miktarının (892 milyar ton) dokuz ülkede bulunduğu bilgisini vermiştir. Bu rezervin 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu ise alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu linyit olarak değerlendirilebilecek kömür olduğu görüştüdedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ülkemizde arama faaliyetleri sonucunda linyit rezervi miktarında artış gözlenmektedir. Dünya linyit/alt bitümlü kömür rezerv miktarının yaklaşık %3,2'si ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizde linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan' da bulunmaktadır (Gündoğan, Yaraç ve Bogatır, 2018).

Turba: En genç oluşumlu kömür türü olup kalorifer değeri çok düşüktür. İçeriğinde %60 karbon, %30 ve daha fazla oksijen ve %6 kadar hidrojen içerir. Genellikle bataklık alanlarda yataklanmalarına rastlanır (Hüyükpınar, 2010).

Tablo 2

Kömür türlerine ait kimyasal içerikler (Ateşok, 2014)

	Doğal Nem (%)	Kuru ve Külsüz Baza Göre, %			
		Karbon	Hidrojen	Oksijen	Uçucu Mad. (900 °C)
Odun	20	50	6,0	42-43	75
Turba	90	60	5,5	32-33	65
Kahverengi Kömür	60-40	60-70	5,0	25	50
Linyit	40-20	65-75	5,0	16-25	40-50
Alt Bitümlü	20-10	75-80	4,5-5,5	12-21	45
Bitümlü	10	75-90	4,5-5,5	5-20	18-40
Yarı Bitümlü	5	90-92	4,0-4,5	4-5	5-20
Antrasit	5	92-94	3,0-4,0	3-4	1-5

1.2.2. Çan Linyitleri

Çan bölgesindeki kömür rezervi 1940'ta saptanarak 1979 yılına kadar özel kuruluşlarca işletilmiştir. 1979 yılından bu yana ısınma amaçlı olarak devlet nezdinde işletimi sürmektedir. Çan linyitlerinin içeriğinde yaklaşık %5 kükürt bulunmaktadır. Bu sebeple tüketimin çoğu Çan Termik Santrali'nde yapılmaktadır. Bunun yanı sıra sanayi tesislerine toz kömür olarak da verilebilmektedir. Çevre emisyon mevzuatı standartlarında üretim gerçekleştiğinde ise konutlarda kullanılmak üzere kömür temini de gerçekleşmektedir. Üretilen linyitin %90'ı 18 Mart Çan Termik Santrali, %10'luk miktarı parça ve toz kömür olarak piyasaya verilmektedir (<https://cli.gov.tr>).

Tablo 3

Çan linyitlerine ait 2008-2018 üretim miktarları (<https://cli.gov.tr>)

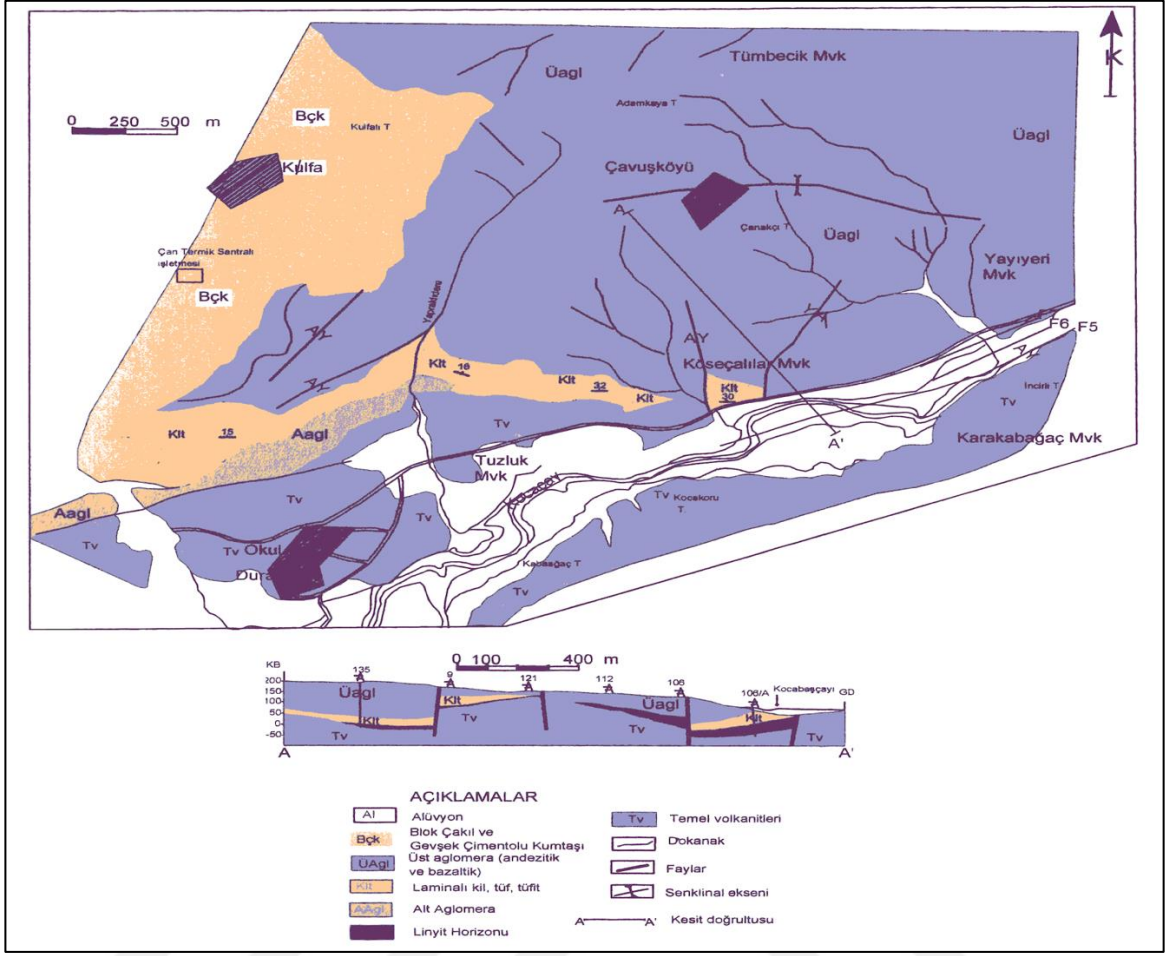
Yıl	Planlanan Üretim (t)	Gerçekleştirilen Üretim (t)
2008	2.025.000	1.772.272
2009	1.880.000	2.524.034
2010	1.750.000	1.167.405
2011	1.700.000	2.054.989
2012	1.735.000	1.879.662
2013	2.040.000	1.997.303
2014	1.785.000	1.948.734
2015	1.785.000	1.229.788
2016	1.785.000	1.567.768
2017	1.785.000	2.172.600
2018	3.060.000	2.881.904

Tablo 4

Çan linyitlerine ait rezerv ve kalorifik değerler (<https://cli.gov.tr>)

Görünür Rezerv	80.302.588 ton
Üretilbilir Rezerv	59.182.958 ton
Ortalama Kömür Kalınlığı	17,62 ton
Toplam Dekapaj	5.108.199 ton
Ortalama Toprak-Kömür Oranı	10,18 m ³ /ton
Yoğunluk	1,4 ton/m ³
Orj. Kömürün Ortalama Alt Isı Değeri	3.023 kcal/kg
Orj. Kömürün Ortalama Nemi	%23,65
Orj. Kömürün Ortalama Külü	%27,73
Orj. Kömürün Ortalama Kükürtü	%4,20

Çan linyitleri rezervi; Çanakkale İli, Çan İlçesi sınırları içerisinde 19.000 dönümlük bir arazi içerisinde yer almakta olup açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Kömür, dekapaj ile üzeri açılan kömür damarından yükleyiciler ve kamyonlar vasıtasıyla üretilmektedir. Üretilen kömür temel işlemlerden geçirilerek termik santrale ve piyasaya verilmektedir (<https://cli.gov.tr>)



Şekil 1. Çan Linyit Havzası 1/25000 ölçekli haritası (<https://cli.gov.tr>)

1.2.3. Linyitin Enerji Sektöründe Kullanımı

Artan nüfus, teknolojik gelişmelere bağlı sanayileşme, yaşam koşullarının değişmesi dünya genelinde enerji ihtiyacında sürekli artış göstermektedir. Bu artışa bağlı talepleri karşılamak üzere kısıtlı türde enerji kaynağı olduğu açıktır. Petrol, doğalgaz ve nükleer enerji bu ihtiyaçları karşılamada ilk sırada gelen enerji kaynaklarıdır. Uzun vadede bu ihtiyaçları karşılayabilecek yeterli rezervin olduğu hakkında bir görüş sunmak doğru değildir. Güneş ve rüzgar enerjisi konusunda ise önümüzdeki yıllarda kullanılabilirlik açısından olumlu gelişmeler yaşanmaktadır. Ancak az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji taleplerini karşılamaları açısından sahip oldukları kömür rezervlerini kullanmaları zorunlu hale gelmektedir (Ateşok, 2014).

Linyit üretimi büyük ölçekte açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Üretilen linyitin çok büyük bir kısmı termik santrallerde yakıt olarak, çeşitli ülkelerde ise endüstri ve konut ısınma sistemlerinde briket haline getirilerek kullanım alanı bulmaktadır.

1.2.4. Kömür Zenginleştirme

Ocaktan çıkarılan kömürlerin enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için bazı işlemlerden geçirilmesi, yanma veriminin ve emisyon değerlerinin günümüz ihtiyaçlarını karşılaması gerekir. Üretim sırasında kömür ile birlikte kazılan yan kayaç, üretim sırasında kullanılan malzemelerden kopan parçalar ve artıklar gibi maddeler de karışmaktadır. Bu karışan yabancı maddeler kömürün yanma verimini ve kül oranını etkiler. Ayrıca kömürün içeriğindeki nem oranı kömürün yanma verimini, kalorifik değerlerini etkileyen faktörlerden biridir. Kömür türüne göre boyutları, kullanım alanını belirleyen en önemli parametredir. Bu sebeple boyutlandırma da kömür zenginleştirme safhalarında yer alır. Kömür zenginleştirme işlemlerinde kömür boyutu yöntemi belirleyici başlıca parametredir. Toz kömürler 0,6 mm.'den küçük tane boyutuna sahip kömürlerdir. Diğer bir boyut sınıfı ise orta boyutlu kömür olup, boyut aralıkları 6-0,6 mm'dir. 6 mm'den büyük tane boyutuna sahip kömürler ise iri kömür olarak sınıflandırmak mümkündür (Bethell, 1988). Kömürün yaş veya kuru olarak zenginleştirilmesi de yöntemleri belirler. Kömürün kuru olarak zenginleştirilmesinde optik ayırıcılar kullanılmaktadır. Bu yöntemde iri boyutlu kömürler zenginleştirilebilir. Kömürün yaş olarak zenginleştirilmesinde ise birçok yöntem kullanılmaktadır. Statik ve dinamik ortam ayırıcıları, jigler, yaş sarsıntılı masalar, su siklonları, spiraller, reichert konileri vb. yaş kömür zenginleştirme yöntemlerine örnektir. Toz kömürü zenginleştirmede ise kullanılan en yaygın yöntem flotasyondur (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

1.3. Flotasyon

Flotasyon, ince taneli mineralleri sıvı içerisinde ayırma yöntemidir. Bu yöntemde suyu sevmeyen (hidrofobik) taneler sıvı içerisine beslenen hava kabarcıklarına tutunarak sıvı yüzeyine ulaşır, suyu seven (hidrofilik) taneler ise sıvı içerisinde batarlar. Ayrılmak istenen taneciklerin yüzey özellikleri farklı olmalıdır. Flotasyon yoluyla doğal yüzebilme yeteneğine sahip kömür, grafit, kükürt gibi mineraller yan kayaçtan kolayca ayrılabilir. Flotasyon yöntemiyle boyutları 0,5 mm ile kolloid büyüklüğe (1-2 mikron metre) kadar olan aralıklardaki cevherlere uygulanabilir. Yöntemin veriminin artırılabilmesi için ilk kriter iyi bir öğütme ile serbestleşmenin sağlanabilmesidir. Flotasyonda toplayıcılar, canlandırıcılar, bastırıcılar, dağıtıcılar, pH ayarlayıcılar ve köpürtücüler kullanılmaktadır. Prosesde kullanılan mekanik makinelerde pervane yardımıyla karıştırma yapılarak süspansiyon içerisindeki maddelerin homojenliği sağlanmaktadır. Denver, Wemco hücreleri örnek verilebilir. Mekanik dışı makinelerde ise basınçlı hava ile karıştırma yapılmaktadır. Örnek, kolon ve Jameson hücreleridir. Flotasyonda tane boyu, özgül ağırlık, pülpte katı oranı, hava

kabarcığı boyu, karıştırma hızı, kondisyon süresi, cevherin pülpde bulunma süresi, parça yüzey yükü, pH, reaktif cinsi, reaktif miktarı, köpük stabilitesi ve yıkama suyu gibi parametreler işlemi etkiler (Durgut, 2018).

Bu yöntem uzun yıllar, özellikle taşkömürü ve antrasitin kazanılmasında tercih edilmektedir. Flotasyon, kömür yüzeyinin hidrofobik özellik göstermesine, dolayısıyla kömürün yüzebilir bir yeteneğe sahip olmasına dayanmaktadır. Flotasyon işlemiyle pirit ve şist gibi safsızlıkların uzaklaştırılması mümkün olmaktadır (Özbayoğlu, 1988). Kömürün kimyasal yapısındaki farklılıklar yüzebilir özelliğinde değişikliklere sebep olur. Karbon içeriği arttıkça oksijen, hidrojen ve uçucu madde oranı azalmaktadır. Araştırmalarda en yüksek yüzebilirlik veriminin %89 karbon içeriğine sahip kömürde olduğu saptanmıştır. Bu karbon oranına sahip kömürde temas açısı ise 60 derece olarak ölçülmüştür. Linyitlerin karbon oranları taşkömürü ve antrasitlere oranla düşük olması sebebiyle içeriğindeki nem miktarı yüksektir. Bu sebeple linyit, hidrofilik özellik sergilemektedir (Atak ve Tolun, 2014).

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Marrucci ve Nicodemo (1967), elektrolit konsantrasyonu arttırıldığında pülp bölgesindeki kabarcık boyutunun azaldığını, sulu çözelti içerisinde elektrolit mevcudiyeti olduğunu bulmuşlardır. Onlar bu kabarcık birleşmesinin azalmasının elektrolit valans gibi yüzey gerilimi büyüklüğüne bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Li ve Somasundaran (1991), flotasyon verimliliğinin kabarcıkların birleşme derecesine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Bunlar daha sonra kömür flotasyonun düşük konsantrasyonda azaldığını, yüksek tuz konsantrasyonunda arttığını doğrulamışlardır. Örneğin kendi çalışmalarında 0,1 M NaCl tuz konsantrasyonu üstündeki herhangi bir artış ile kömür flotasyonun arttığını göstermiştir. Bunların çalışmalarında 0,1 M'a kadar tuz konsantrasyonunun artması ile kömür flotasyonunun azaldığı gösterilmiştir.

Craig, Ninham ve Pashley (1993), tuz çözeltilerindeki kabarcık birleşmesinin azalmasını araştırmışlardır. Test sonuçlarında kabarcık birleşiminin %50 azalması ile geçiş konsantrasyonu ve elektrolitlerin valans değeri arasında belirli bir ilişki olduğu görülmüştür.

Kurşun (2001), yapmış olduğu çalışmada kolon flotasyonunda kabarcık çapı ve dağılımının performansı etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğunu belirtmiştir. Kabarcık çapının büyümesi, hava tutunumu miktarını arttırmakta, bunun sonucunda kolon flotasyonu çalışma koşullarının bozulduğunu ifade etmiştir. Kolon flotasyonunun çalıştığı kabarcıklı akış rejiminde, kabarcığın 2 mm'nin altında olduğu durumlarda en iyi sonuçların elde edildiğini belirtmiştir.

Özdemir ve diğerleri (2013), yapmış oldukları çalışmada NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂ tuzları içerisinde Türk linyit ve taşkömürlerinin hiçbir flotasyon kimyasalı (kollektör ve köpürtücü) kullanılmadan yüzebilirliği araştırılmıştır. Bunun yanı sıra zeta potansiyel ve köpük stabilite testleri de yapılmıştır. Flotasyon deneyleri, taşkömürünün hiçbir kimyasal kullanılmadan sadece tuzlu su ortamında yüzmesinin mümkün olduğunu gösterirken linyit kömürünün yüzmesinin mümkün olmadığını ortaya koymuştur. Bulmuş oldukları sonuçlara göre Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² iyonlarının kömür flotasyonu üzerinde iyon spesifik etkisi olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Hampton ve Nguyen (2009), kömür flotasyonuna su ve sodyum klorür çözeltilerindeki hidrofobik yüzeylerde çözülmüş gazların birikiminin etkilerini araştırmışlardır. Çözünen gazlar, nötron yansıtma ölçüleriyle ortaya konduğu gibi, tercihen hidrofobik katı-su arayüzünde birikebilir düzeydedir. Bu çalışmada, su ve sodyum klorür çözeltilerinde

hidrofobik bir yüzeyde çözülmüş gazların birikimini incelemek için atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) kullanılmıştır. Solvent değişim yöntemi, AFM görüntülemeye uygun ara yüzde biriktirilmiş gaz alanlarını yapay olarak oluşturmak için kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün görüntüleme üzerindeki ikincil etkisini en aza indirmek için model yüzeyler olarak düz grafit yüzeyler kullanılmış, 1 M'a kadar olan NaCl konsantrasyonunun önceden var olan nano-kabarcıkların, nano-topakların ve nano-kabarcık-nano-topak kompozitlerinin geometrisi ve popülasyonu üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi olduğu bulunmuştur. Bulguların tuzlu sudaki kömür flotasyonu üzerindeki etkileri sudaki hidrofobik yüzeyler, kabarcık-partikül eklenmesi ve partiküller arasındaki hidrofobik çökeltme arasındaki çekicilik açısından tartışılmaktadır.

Özdemir, Taran, Hampton, Karakashev ve Nyguen (2009), kuyu suyu varlığında kömür flotasyonunun yüzey kimyasını araştırmışlardır. Tuz çözeltilerinde kömür flotasyonunun artırılmasını açıklamak için çeşitli teoriler önerilmiştir. Bu çalışmada, tuzlu sudaki kömür flotasyonunun yüzey kimyası, kabarcık partikül bağlanma süresi deneyleri, zeta potansiyel ölçümleri, temas açısının döngüsel ölçümleri ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak incelenmiştir. Bağlanma süresi deneyleri, deiyonize sudaki kabarcık-parçacık ekinin anlık ve parçacık boyutundan bağımsız olduğunu göstermiştir. İçme suyu içerisindeki bağlantı, parçacık boyutunun artmasıyla artan, daha uzun süre gerektirmiştir. Yassı bir kömür yüzeyindeki temas açısının döngüsel ölçümleri, ilerleyen (maksimum) ve geri kalan (minimum) temas açısının ölçtüğü gibi, karbon hidrofobikliğin, tuz iyonlarının varlığında değişmediğini göstermiştir. Zeta potansiyel ölçümleri hem kömür partiküllerinin hem de hava kabarcıklarının kuyu suyuna negatif olarak yüklendiğini göstermektedir. AFM çalışmaları, kuyu suyunun kömür partikülleri ve hava kabarcıkları arasındaki itici yüzey kuvvetlerini azalttığını, ancak yapışma kuvvetini çok az etkilediğini göstermiştir. Genel sonuçlar, tuzlu sudaki kömür flotasyonunun artırılmasının, daha önce önerildiği gibi tamamen yüzey kimyası özelliklerine bağlı olmadığını göstermektedir. Sonuçlara göre kömür parçacıkları herhangi bir köpürtücü ve toplayıcı kullanmadan daha çok Na^+ ve Mg^{2+} içeren kuyu suyu ile yüzdürülmüştür.

Xia, Xing ve Gui (2019), düşük ranklı kömürlerin flotasyonunda daha iyi yüzey adsorpsiyonu için yağ toplayıcıların ön dağılımını araştırmışlardır. Düşük dereceli kömür yüzeyindeki su moleküllerinin önceden adsorpsiyonu, kollektörlerin adsorpsiyonunu baskılar ve yüzdürme sırasındaki yüzey hidrofobikliğini azaltır. Bu çalışmada, yağ moleküllerinin adsorpsiyonunu arttırmak için yenilikçi bir yüzdürme akış şeması, yani yağlı kollektör ön-dispersiyonu önerilmiştir. Yağlı kollektörün ön dispersiyonu, flotasyonun geri

kazanılmasını, geleneksel akış şemasına kıyasla %5-10 oranında artırır. Temel petrol/su-kömür etkileşimi mekanizmaları deney ve simülasyon birleştirilerek incelenmiştir. Sonuçlar, yağ damlacıklarının bir hava ortamında düşük dereceli kömür yüzeyinde hızlı bir şekilde adsorbe edildiğini ve özellikle temas açısının bir su damlasından daha küçük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, su ortamında, yağ damlacıklarının düşük dereceli kömür yüzeyindeki temas açısı büyük ve karardır. Kömür, yağ ve su adsorpsiyon konfigürasyonlarının moleküler dinamik simülasyonları, su molekülleri düşük dereceli kömür yüzeyini çevrelediğinde, yağ moleküllerinin kendi kendilerine toplandığını ortaya koymuştur. Buna karşılık, su molekülleri, yağ molekülleri düşük dereceli kömür yüzeyinde önceden emildiğinde, büyük ölçüde itilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi ölçümleri, yağlı kollektörlerin adsorpsiyon kapasitelerinin, kollektör ön dispersiyonu ile geliştiğini doğrulamıştır. Böylece su, kömür adsorpsiyonu, petrol ve düşük dereceli kömür arasında tam temas sağlanarak kontrol edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Bu bulgu, düşük dereceli kömür flotasyonunu arttırmak için kabul edilebilecek teknik bir değişiklik olduğunu göstermiştir.

Li, Deng, Cao, Wang, Ran ve Zhang (2017), sodyum klorürün ince bir kömür numunesinin flotasyonu üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Sonuçlar, kömür flotasyonunun yüksek oranda sodyum klorür konsantrasyonundaki değişikliklere bağlı olduğunu göstermiştir. Sodyum klorür konsantrasyonundaki artış, yanıcı kazanımın yanı sıra konsantre kül içeriğinin de artmasına neden olmuştur. Farklı sodyum klorür konsantrasyonlarına sahip pülplerdeki köpük stabilitesi ve parçacık büyüklüğü dağılımı ölçülmüş, sonuçlar köpük stabilitesindeki artışın ve partikül boyutundaki genişlemenin flotasyondaki kömür partiküllerinin geri kazanılması için uygun olduğunu göstermiştir. Temel mekanizma, saf kömür parçacıklarının zeta potansiyeli ve pülp reolojisi incelenmesi üzerine kurulmuştur. Pülp reolojisi ölçümleri, köpük stabilitesindeki değişikliklerin pülp viskozitesindeki değişikliklere bağlı olduğunu ve sonuçta kömür parçacıklarının geri kazanılmasını arttırdığını açıkça göstermiştir. Zeta potansiyelindeki azalma, partiküllerin içindeki elektrostatik itişin azalmasından kaynaklanan partikül çökmesinden dolayı pulptaki partikül boyutundaki artışa sebep olduğunu göstermiştir.

Zhijun, Jiongtion ve Liqiang (2013), kil ve kalsiyum iyonlarının kömür flotasyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kil ve kalsiyum iyonlarının kömür flotasyonu üzerindeki etkilerini incelemek için üç tekli mineralin mikroflotasyonu, karışık kömür-kaolinit ve karışık kömür-montmorillonit incelenmiştir. Sonuçlar, flotasyon konsantresinin kül içeriğinin kil minerallerinin varlığında %3 arttığını ve kül içeriğinin, kil minerallerinin varlığında ve yüksek Ca^{+2} konsantrasyonunda %3 artacağını göstermiştir. Taramalı elektron

mikroskobu (SEM) görüntüleri ve elementel spektrum analizi, kilin kömür yüzeyinde tabaka yapan ince kil parçacıklarının kömür flotasyonunu etkileyebileceğini göstermiştir. Kil tabakası, Ca^{+2} varlığında daha kolay uyarılmıştır.

Jaiswal, Tripathy ve Banerjee (2015), kömürü ters yüzdürme işlemi konusunda çalışma yapmışlardır. Flotasyon, kömürün doğal hidrofobik doğası nedeniyle, partikül büyüklüğünün 0,5 mm'nin altındaki kömür tanelerinin yüzdürülebilmesi için en etkili yöntemlerden biridir. Buna karşın, kömür partiküllerinin bastırıldığı ve gang partiküllerinin yüzdüğü ters yüzdürme işlemi, kömürdeki kükürt içeriğini en aza indirmek için alternatif bir süreç olarak geliştirilmiştir. Bu yöntem ayrıca kömürde bulunan mineral maddeyi yüzdürerek kömürün kül içeriğini azaltmak için de uygulanabilir. Bu nedenle, farklı kömür türlerini işlemekten geçiren bu sürecin mekanizması ve performansı aktif bir araştırma konusu haline gelmiş ve birçok literatür yayınlanmıştır. Araştırmalara rağmen, bu süreç henüz kömür hazırlama endüstrisinde uygulama alanı bulamamıştır. Bu çalışmada, işlemin temel mekanizmasını, kullanılan değişkenlerin ve kimyasalların performansa etkilerini anlamak için çaba gösterilmiştir.

Demirbaş (2002), kömür köpüğü flotasyonu, farklı yöntemler ile kömürlerin demineralizasyonu ve kükürt giderme konusunda çalışma yapmıştır. Kömürler hem organik hem de inorganik maddeler içeren heterojen, kompleks ve kristalimsi olmayan makromoleküllerdir. Kömürün inorganik malzemeleri, hemen hemen tüm kömür kullanım sistemlerinde önemli bir rol oynayan bir dizi inorganik bileşen, özellikle kükürt içermektedir. İnorganik materyallerini organik kısımdan çıkarmak için bazı teknikler kömür üzerine uygulanmıştır. En uygun yöntemlerden biri, piritli sülfürün kömürden uzaklaştırılması için köpük flotasyonudur. Bu yöntemle linyitten yüksek kükürt giderilmesi mümkün olmuştur. Alkali kükürt giderme ve oksidensülfürizasyon ayrıca yüksek kükürt kömürleri için etkili uygulanabilir yöntemler olduğu vurgulanmıştır.

Peng ve Wang (2014), tuzlu suyun mineral flotasyonuna etkisini araştırmışlardır. Tatlı su kaynaklarının azalması ve tahliye edilen suyun kalitesine ilişkin katı düzenlemelerden dolayı, gittikçe daha fazla sayıda yüzdürme tesisinin yeraltı suyu, deniz suyu kullanması veya yüksek miktarda elektrolit içeren geri dönüşüm suyu kullanması gerekir. Tuzlu suyun (tuz çözeltilerinin) mineral flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmak için birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, tuzlu su kullanarak mineral flotasyon tesislerinde karşılaşılan sorunları çözmek için etkili yollar mevcut değildir. Bu çalışma, tuzlu suyun, yüzeyin ıslanabilirliği, kabarcık-parçacık çarpışması ve bağlanması, mineral parçacık etkileşimleri ve köpüklenme gibi yüzdürme işleminde yer alan ara yüzey olayları üzerindeki etkisini ele

alan yayınlanmış makalelerin bir derlemesini sunmuştur. Yapılan bu çalışma, tuzlu suyun mineral flotasyonunda kullanılmasıyla ilgili farklı sorunlara değinmek ve gelecekteki araştırmaların yönlerini belirtir bir araştırma olmuştur.

Nguyan (2007), flotasyon işlemine ayrıntılarıyla ele alan bir çalışma yapmıştır. Flotasyon, hücrenin taşma ağızından akan süspansiyon yüzeyinde partikül bakımından zengin bir köpük oluşturmak üzere yükselen hava kabarcıklarına su itici hidrofobik parçacıkların tutturulmasıyla seçici bir ayırma işlemidir. Su çeken veya hidrofilik parçacıklar kabarcıklara yapışmaz ve boşaltılacak tabana yerleşirler. Yüzdürme, yüz yıldıan fazla bir süredir mineral endüstrisinin iş gücü olmuştur ve atıkların geri dönüşüm için temizlenmesi, su arıtılması ve plastiklerin, ham yağların, atık suların ve hatta mikroorganizmaların ayrılması gibi birçok diğer alanda önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu çalışma, yüzdürmenin fiziksel, kimyasal ve mühendislik yönlerini ve aralarındaki etkileşimleri gözden geçirmektedir.

Somasundaran ve Wang (2006), flotasyon ajanlarının uygulanması ve yapı-özellik ilişkileri hakkında çalışmada bulunmuşlardır. Yapılan bu çalışma flotasyon ajanlarının uygulanmasına ve bunların yapı-özellik ilişkilerine odaklanmaktadır. Molekülün her grubunun flotasyonda ayrı bir rolü vardır. Molekülün genel özelliği, tüm gruplardan kümülatif bir özelliktir. Bu nedenle, çeşitli yapısal bölümleri olan bir reaktif molekülü, tek tek gruplara ayrılabilir ve tüm moleküler özellik üzerindeki etkisi değerlendirilebilir. Bir kollektörün en az iki temel özelliğe sahip olması gerekir, yani istenen mineral parçacıklarında adsorpsiyon ve yüzeylerinin hidrofobikleştirilmesi. Kömür gibi bu tür doğal hidrofobik mineraller için kollektör olarak kullanılan kutupsal olmayan yağlar dışında, en yaygın kollektör molekülleri yukarıdaki özellikleri elde etmek için minerofilik ve hidrofobik bölümlere sahiptir. Toplayıcı-metalik iyon bileşiklerinin çözünürlük ürünleri, minerofilik grupta kükürt bağlayıcı atom içeren ksantratlar, merkaptanlar ve tiyofosfatlar gibi sülfür mineral toplayıcıların, bakır (II) için afiniteye sahip elementlerin iyonları ile düşük çözünürlüğe sahip ürünlerin bileşiklerini oluşturabildiğini göstermiştir.

Bournival, Zhang ve Ata (2019), tuzlu sularda kömür flotasyonuna elektolit arayüzlerin etkilerini ve endüstriyel uygulamaları konusunda çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kömür hazırlama tesislerinin tatlı su tüketimini azaltmak için giderek artan bir şekilde alternatif su kaynaklarına yönelmekte olduğu, bu alternatif kaynakların iyonik içerikte önemli ölçüde değişebilir olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma, çözünmüş inorganik elektrolitlerin kömür flotasyonu üzerindeki etkisini tartışmaktadır. Artan süreç izlemenin, tuzların flotasyon süreci üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı

tartışılmaktadır. İzlemedeki pragmatik bir yaklaşım, önemli faktörleri önemsiz olanlardan tuzlu suda yüzdürme ünitelerinin performansını kontrol eden önemsizlerden ayırmak için esastır. İnorganik elektrolitlerin hava-su arayüzü ve katı-sıvı arayüzü üzerindeki etkileri endüstriyel sonuçların yorumlanmasına yardımcı olmak için gözden geçirilmiştir.

Grabiec, Mlynarczykowska ve Tupek (2016), Polonya sert kömürünün tuzlu suda flotasyonu konusunda çalışma yapmışlardır. Proses suyunun (tuzlu su) kullanılmasıyla, konsantre içindeki kül içeriği %6 ve artıklarda %70'e kadar çıkmıştır. Kömür için flotasyon uygulayan zenginleştirme tesisleri, teknolojik işlemlerde hala yeraltı suyunu kullanmaktadır. Su kalitesi, özellikle sudaki tuzların içeriği ve türü, temel olarak işlem sırasında temas halinde olan fazların, katı, gaz ve sıvı fazların yüzey özelliklerini etkiler. Bu fazların özellikleri ve aralarındaki etkileşimler, temel yüzdürme işlemlerinin ortaya çıkma olasılığını belirler. Çarpışma, yapışma ve ayrılma ve nihayetinde teknolojik parametrelerle ifade edilen yükseltme işleminin etkileridir. Bu çalışma, model bir hammadde olarak kömür için yüzdürme etkinliği analizinin sonuçlarını sunmuştur. Değerlendirmenin amacı, hammadelerin değişken tuzluluk içerisinde flotasyon testlerine dayanan nitel parametrelerini içermektedir. Temel amaç, proses suyu kalitesinin seyri ve flotasyonun etkinliği üzerindeki etkisini belirlemek olmuştur.

Yoon ve Sabey (1982), tuz flotasyonu yöntemiyle, yapısında yüksek kül bulunan kömür numunesinde 27 farklı inorganik elektrolit ile test etmişlerdir. Çeşitli tuz çözeltilerinin performansı ayırma verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Rasgele 0,07 mol/L konsantrasyonda en iyi sonuçlar $CuSO_4$ /sub 4/%68 ayırma verimi ile elde edilmiş, bu hem bir köpürtücü hem de bir kolektör kullanılarak geleneksel yüzdürme tekniği ile elde edilen %61'lik ayırma verimi ile karşılaştırılabilir. Tuz yüzdürme işleminin diğer avantajları, iyileştirilmiş kükürt uzaklaştırma potansiyelinde ve hızlı yüzdürme kinetiğidir. Tuz çözeltilerinin köpürtülebilirliği, iki kez damıtılmış su kullanılarak konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Genel olarak, tuz çözeltilerinin köpürebilirliği, beklenen aksine, çözeltilerin yüzey geriliminin artmasıyla artar. Bunun muhtemel bir açıklaması, elektrolitlerin varlığında kabarcıkların birleşmesinin engellenmesidir. Bir bitümlü kömür numunesinin elektroforetik mobilitesi, çeşitli tuz çözeltilerinde pH'ın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. 0,07 mol/L'de, üç değerlikli katyonların tuzlarının kömürün hareketliliğini negatiften pozitif doğru çevirdiği, ancak tek değerli katyonların tuzlarının sadece çift katmanlı sıkıştırma nedeniyle hareketliliği azalttığı bulunmuştur. En ilginç sonuçlar iki değerli katyonların tuzları ile elde edilmiştir; Kömür numuneleri, geniş bir pH aralığında sıfır hareketlilik sergiler. Aynı zamanda, bu iki değerli tuzlar kullanıldığında tuz

yüzdürmenin kinetiği maksimum hale gelmiştir. Daldırma ölçümlerinin temas açısı ve ısı, kömürün hidrofobikliğinin, elektrolitlerin varlığında artmadığını göstermiştir. Elektrolitlerin ana rolü, belki de kabarcık partikül yapışma işlemini kolaylaştıran kömür partikülleri etrafındaki zeta potansiyelini azaltmaktır.

Sobhy ve Tao (2013), ince kömür parçacıklarının ve bunlarla ilişkili temellerin nano kabarcık kolonu flotasyonu konusunda çalışma yapmışlardır. Köpük flotasyonu, yaygın olarak kullanılan, maliyet etkin bir partikül ayırma işlemidir. Bununla birlikte, yüksek performansı kömür için yaklaşık 50 ila 600 µm ve mineraller için 10 ila 100 µm arasında değişen dar bir partikül büyüklüğü ile sınırlıdır. Bu aralığın dışında, köpürme flotasyonunun etkinliği, özellikle zayıf hidrofobikliğe sahip yüzdürülmesi zor parçacıklar (örneğin, oksitlenmiş kömür) için önemli ölçüde azalır. Bu çalışmada, bir hidrodinamik kaviteyi nano-kabarcık üretici içeren özel olarak tasarlanmış bir yüzdürme kolonu kullanılarak bir Illinois ince kömür numunesinin geri kazanılmasını arttırmayı amaçlamıştır. Çoğunlukla 1 µm'den daha küçük olan nano kabarcıklar, kömür pülplerinde çözünmüş havadan elde edilen hidrofobik kömür parçacıkları üzerinde seçici olarak oluşturulabilir. Sonuçlar -150 µm kömürün geri kazanımının proses çalışma koşullarına bağlı olarak nano kabarcıkların varlığında %5-50 arttığını göstermektedir. Nano kabarcıklar ayrıca işlem ayırma verimliliğini de önemli ölçüde arttırmıştır. Nano kabarcık flotasyon işleminin diğer önemli avantajları, nano kabarcıkların su içinde doğal olarak çözünen havadan üretilmesi ve böylece daha düşük işletme maliyetlerinin ortaya çıkması nedeniyle daha düşük köpürtme dozu ve hava tüketimidir.

Polat, Polat ve Chander (2003), kömür flotasyonunda fiziksel ve kimyasal etkileşimler üzerine çalışma yapmışlardır. Kömür yüzdürme, birkaç fazı (parçacıklar, yağ damlacıkları ve hava kabarcıkları) içeren karmaşık bir işlemdir. Bu fazlar aynı anda birbirleriyle ve destekleyici bir reaktifin molekülleri ve suda çözünmüş iyonlar gibi diğer türlerle etkileşime girer. Fiziksel ve kimyasal etkileşimler flotasyon işleminin sonucunu belirler. İnce kömür partikülleri arasındaki fiziksel ve kimyasal etkileşimler, özellikle yüksek dereceli kömürler için birikmeye yol açabilir. Selektif olmayan partikül toplanmasının, kömür flotasyonundaki seçicilik problemlerinin ana nedeni olduğu söylenebilir. Flotasyon öncesi veya sırasında fiziksel (şartlandırma) veya kimyasal (promotörler) ön işlem ile ele alınmalıdır. Yağ damlacıkları ve kömür parçacıkları arasındaki etkileşimler gerçekte lehte olsa da yağ damlacıklarının az miktarda ince hidrofobik parçacıklarla dengelenmesi seçiciliğin azalmasına ve yağ tüketiminin artmasına neden olabilir. Bu problemler, yağ damlacıklarını emülsifiye ederken kömür yüzeyini uygun partikül-partikül, partikül-damlacık ve partikül-

kabarcık temasını değiştiren destekleyicilerin kullanılmasıyla çözülebilir. Bununla birlikte, düzenleyicilerin rolü değişik kömür tipleri için farklı olabilir. Düşük dereceli kömürlerin hidrofobikliğini artırmak için düzenleyici kullanılabilirken, asıl rolleri yüksek dereceli kömürler için emülsifikasyon ve agregasyon kontrolü olabilir. Bu çalışmada, kömür flotasyonundaki çeşitli fazların, flotasyon pülpündeki fiziksel ve kimyasal etkileşimlerinin, bu etkileşimleri etkileyen ana parametrelerin ve bu etkileşimlerin de flotasyon sürecini nasıl etkilediğinin ayrıntılı bir açıklaması yapılmıştır.



BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çan Linyiti: Bu çalışmada Çan Bölgesine ait linyit numunesi kullanılmıştır. Alınan numuneler laboratuvar ölçeğinde çeneli kırıcı ile kırılarak boyutlandırılmış, daha sonra çubuklu tip değirmende öğütülerek -212 mikron boyutuna indirilmiştir. Hazırlanan numuneler oksidasyona karşı dipfrizde muhafaza edilmiştir. Yapılan her flotasyon deneyi öncesinde hazırlanan 149,5 gr numune +38 mikron elekten geçirilerek yaş eleme yapılmış, şlam etkisi ortadan kaldırılmıştır. Çeneli kırıcıda boyutlandırılan numunelerden şahit numune hazırlanarak muhafaza altına alınmıştır.

Sodyum Klorür Tuzu: Yapılan bu çalışmada NaCl tuzu ile hazırlanan çözeltilerde kullanılmak üzere Emboy Kimya firmasından alınan teknik kalite sodyum klorür tuzu kullanılmıştır. Bu tuza ait özellikler şu şekildedir,

Formül: NaCl

Molar kütle: 58,44 g/mol

Erime noktası: 801 °C

Yoğunluk: 2,16 g/cm³

İçinde çözüldüğü madde: Su, Amonyak, Metanol, Gliserin, Formik asit, Propilen, Glikol, Formamit (<https://emboykimya.com.tr>).

Potasyum Klorür Tuzu: Potasyum klorür çözeltisi hazırlamak için Emboy Kimya firmasından alınan kokusuz, beyaz kristalli, kristallerinde yüzey merkezli dizilim gösteren teknik kalite potasyum klorür tuzu kullanılmıştır. Bu tuzun özellikleri şu şekildedir,

Formül: KCl

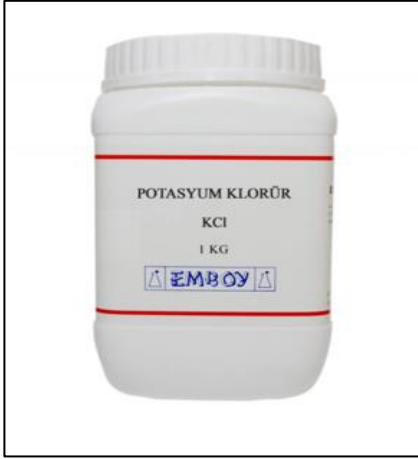
Molar Kütle: 74,5513 g/mol

Erime Noktası: 770 °C

Kaynama Noktası: 1.420 °C

Yoğunluk: 1,98 g/cm³ (<https://emboykimya.com.tr>).

Kullanılan potasyum klorür tuzu Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. Potasyum klorür tuzu

Magnezyum Klorür Tuzu: Magnezyum klorür tuzu ile yapılan flotasyon deneylerinde Emboy Kimya firmasından alınan 1 kg'lık plastik ambalajda bulunan teknik kalite magnezyum klorür tuzu kullanılmıştır. Bu tuza ait özellikler,

Formül: $MgCl_2$

Molar Kütle: 95,211 g/mol

Erime Noktası: 714 °C

Kaynama Noktası: 1.412 °C (<https://emboykimya.com.tr>).

Kullanılan magnezyum klorür tuzu Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. Magnezyum klorür tuzu

Kalsiyum Klorür Tuzu: Kalsiyum klorür, kalsiyum ve klorun tuz formudur. Bu bileşik tipik iyonik halojenür gibi hareket eder ve oda sıcaklığında katıdır. Emboy Kimya firması' na ait 1 kg'lık paketlenmiş şekilde temin edilen teknik kalite kalsiyum klorür tuzunun özellikleri şu şekildedir,

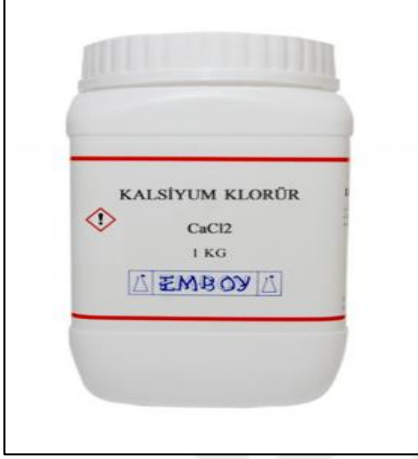
Formül: CaCl_2

Molar Kütle: 110,98 g/mol

Erime Noktası: 772 °C

Yoğunluk: 2,15 g/cm³ (<https://emboykimya.com.tr>).

Kullanılan kalsiyum klorür tuzu Şekil 4' te görülmektedir.



Şekil 4. Kalsiyum klorür tuzu

3.1.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Çeneli Kırıcı: Çeneli kırıcılar, boyutu küçültülecek malzemeyi biri sabitlenmiş ve diğer aksam hareket halinde olan iki adet çeneden oluşan sistemde sıkıştırmak suretiyle kırarak küçültmektedir. Kırma işlemi hareket halindeki çene aksamının bir mil vasıtasıyla hareket verilmesiyle olmaktadır. Çeneli kırıcılar genellikle iri boyuttaki malzemelerin küçültülmesinde birincil kırıcı olarak kullanıldığı gibi daha ince boyutta malzeme almak için ikincil kırıcı olarak da kullanılabilir. Çeneli kırıcılar ağır işlerde kullanılan ekipmanlar olduklarından büyük kuvvetlere ve etkilere maruz kalmaları durumunda dayanıklı olacak şekilde yapılırlar. Gövdelerinde dökme çelik veya kalın çelik levhalar kullanılır. Çene aksamlarında ise krom çelik ve mangan çelik alaşımlı plakalar bulunur.

Çan Bölgesi'ne ait linyitin ilk olarak değirmene beslenebilecek boyuta indirilebilmesi amacıyla boğaz aralığı istenilen derecede tutulabilen MERTEST firmasına ait laboratuvar tipi çeneli kırıcı kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırma işlemine tabi tutularak -10 mm boyutuna indirilmiştir. Kullanılan çeneli kırıcı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı

TYLER Elek Serisi: Kırılan ve öğütülen linyitin istenilen boyutta kullanıma hazırlamak, şlam etkisini ortadan kaldırmak amacıyla flotasyon işleminden önce yaş ve kuru eleme işlemlerinde TYLER elek serisi kullanılmıştır. Şekil 6'da bu elek serisi yer almaktadır.



Şekil 6. Eleme işlemlerinde kullanılan Tyler elek serisi

Çubuklu Değirmen: Çan linyitinin çeneli kırıcıda boyutlandırılmasının ardından öğütülerek flotasyon işlemeine uygun tane boyutuna getirilmesinde çubuklu değirmen kullanılmıştır. Kullanılan çubuklu değirmen Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Çubuklu değirmen

Flotasyon Cihazı: Çan linyitinin tuzlu ortamda flotasyon davranışlarının saptanması amacıyla yapılan flotasyon deneylerinde alt kısmı döküm, kolon ve kol kısımları, muhafazası dökme alüminyum olan, DENVER/D-12 Model flotasyon cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri şu şekildedir,

- 1) Pervane dönüş hızı 700-2600 devir arasında kademesiz olarak ayarlanabilir,
- 2) Dijital elektronik devir göstergesi ve koruyucu motor başlatma/durdurma anahtarı,
- 3) Bir seferde 250-2000 gr arasında örnekle çalışabilir,
- 4) İki takım AISI 316 paslanmaz çelikten, iki takım beyaz sert plastikten (derlin) imal edilmiş büyük ve küçük dört ayrı karıştırma rotor ve stator seti,
- 5) Flotasyon kafaları kolayca değiştirilebilir,
- 6) AISI 316 paslanmaz çelik sacdan flotasyon hücresi hacimleri 1, 2, 3, 4 litre,
- 7) Elektrik Motoru; 1 hp, 1400 rpm, 380 V, 3p ve değişken V-Kayışlı tahrik bulunmaktadır (<https://unal Muhendislik.com>).

Kullanılan flotasyon cihazı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Flotasyon cihazı

pH Metre: Mikroişlemci tabanlı, LCD ekrana sahip, otomatik kalibrasyon hızlı ölçüm çevrimleri yapabilen, pH ve mV ölçümleri yapan, birim olarak ° C veya ° F arasında değiştirilebilir bir sıcaklık seçimi sunabilen, otomatik sıcaklık telafisi ve hafıza özelliği bulunan Isolab Laborgerate GmbH marka pH metre kullanılmıştır. Şekil 9’da deneylerde kullanılan pH metre görülmektedir.

Flotasyon deneyleri sırasında tuzlu ortamın ve sonrasında gazyağı eklenerek oluşturulan ortamların ayrı ayrı pH’ ları ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. pH ölçümleri sonrasında pH metrenin elektrotu su içerisine batırılarak bir sonraki pH ölçümüne hazır hale getirmek amacıyla o şekilde bekletilmiştir. Her kullanımdan önce pH metrenin doğruluğu kontrol edilmiştir. Kullanılan pH metre Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. pH metre

Hassas Terazı: Yapılan flotasyon deneyleri öncesinde kullanılan tüm numunelerin ve çözelti için kullanılan tuzların tartımında Radwag marka hassas terazi kullanılmıştır. Kullanılan hassas terazi Şekil 10'da görölmektedir.



Şekil 10. Hassas terazi

Etüv: Yapılan flotasyon işlemiyle zenginleştirme deneyleri sonrasında alınan malzemelerin nemini ortadan kaldırmak için yüzdürülen ve batan malzemelerin ayrı ayrı filtrasyon işlemi sonrasında kurutulması amacıyla Nüve – FN055 etüv kullanılmıştır. Şekil 11’de kullanılan etüv verilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında filtre edilen linyit numuneleri 80°C sıcaklıkta kurutulmuştur.



Şekil 11. Etüv

Fotoğraf Makinesi: Çalışmanın görüntü alma ve işleme aşamalarında Canon marka EOS 600d model fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Ayrıca görüntü sabitlenmesi ve titreşimin azaltılması amacıyla fotoğraf makineleri için tasarlanan tripod vasıtasıyla fotoğraf makinesi sabitlenmiş ve görüntüler bu şekilde alınmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kırma ve Eleme İşlemi

Çan linyiti numunesi çeneli kırıcı kullanılarak -10 mm boyuta indirilmiştir. Çeneli kırıcı işlemi sonrasında kırılan linyit numunesi miktarını düşürme amacıyla konileme-dörtleme yapılarak bir kısmı şahit numune olarak ayrılmış ve muhafaza altına alınmıştır. Geriye kalan kısmı çubuklu değirmen vasıtasıyla öğütülmüş, değirmenden alınan linyit -212 mikron elekten geçirilerek elenmiştir. Elek altı flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere paketlenerek dipfrize alınmış, eleküstü tekrar değirmene alınarak öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

3.2.2. Eleme İşlemi

Flotasyon deneyleri öncesinde flotasyon işlemine uygun boyut elde edebilmek amacıyla değirmenden alınan linyitin kuru eleme yapılarak -212 mikron boyutunda ayrılmış, deney sırasında oluşacak şlam etkisinden kurtulabilmek için ise +38 mikron elekten geçirilerek çok küçük tane boyutunun malzeme yüzebilirliğine olan olumsuz etkisinden kurtulmak amacıyla yaş eleme yapılmıştır.

Flotasyon ile zenginleştirme küçük tane boyutlarıyla yapılan bir metod olması sebebiyle alınan Çan linyiti numunesi kademeli olarak kuru eleme ve ardından yaş eleme yapılarak -212+38 µm boyut aralığında tutulmuştur.

3.2.3. Öğütme İşlemi

Flotasyon deneyleri yapılmadan önce kullanılacak numunenin flotasyona hazır hale getirilmesi amacıyla istenilen boyuta küçültülmesi gerekmektedir. Zira flotasyon tanelerin yüzey özelliklerine dayanan bir ayırma yöntemidir. Bu sebeple tane yüzeylerinde serbestleşme derecesinin yüksek olması bu ayırma yönteminin verimini oldukça etkilemektedir. Tane boyutunun yüzme veriminin yüksek seviyeye getirebilmek amacıyla serbest yüzey alanını arttırmak amacıyla flotasyon öncesinde 20 dk süresince çubuklu değirmende öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme işlemi sonrasında kuru eleme yapılmış, eleküstü linyit tekrar öğütülmüştür.

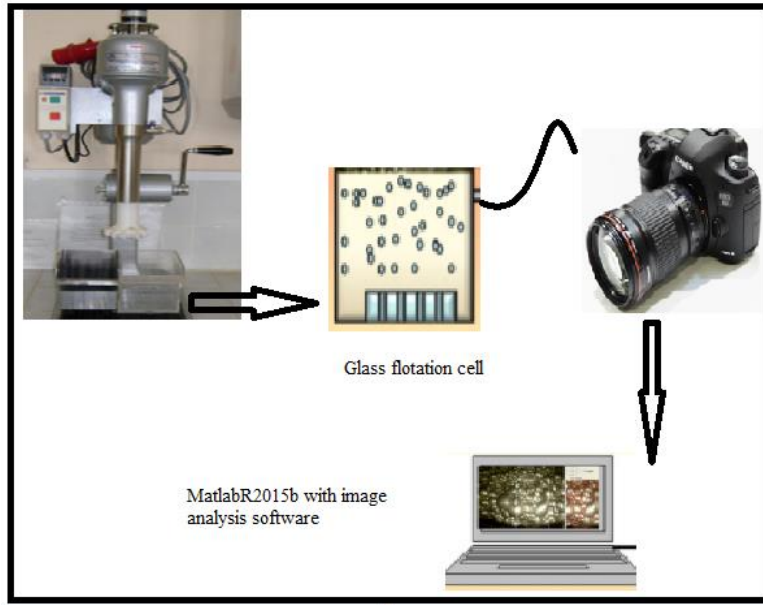
3.2.4. Görüntü Alma ve İşleme

Çalışmanın bu kısmında farklı tuz konsantrasyonlarında yapılan linyit flotasyonu deneylerinde flotasyon hücresinde oluşturulan kabarcıkların sayısı ve çapını otomatik olarak saptayabilmek ve ortaya koymak hedeflenmiştir. Bunun için Matlab R2015b programı ile görüntü işleme yöntemi kullanılarak flotasyon esnasında oluşan kabarcıkların sayısındaki ve çapındaki değişim otomatik olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, tuzlu ortamdaki kabarcık sayısı ve boyutundaki değişimleri saptayabilmek için NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂ tuzları ile çözelti hazırlanmıştır. Tuz çözeltileri hazırlanırken saf su kullanılmıştır.

Görüntü seti, 40 x 40 cm boyutunda bir panel ve ışığın homojen dağılması için panel etrafını çevreleyen siyah renkte kumaştan oluşturulmuştur. Panel oluşturulduktan sonra özel olarak tasarlanmış flotasyon hücresi boyutundaki cam hücre, çekim yapılacak olan panelin ortasına yerleştirilmiştir. Yansımayı engellemek için cam hücrenin tabanına beyaz ve mat

renkte bir karton yerleştirilmiş, çekim sırasında oluşabilecek titreşimlerin önlenmesi için dijital fotoğraf makinası bir tripod üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 12. Deney setinin şematik gösterimi

3.2.5. Flotasyon DeneYleri

Kömür yapısı kendiliğinden yüzme eğilimine sahip olsa da bu özelliğe içerdiği karbon, kül ve neme bağlı olarak değişir. En yüksek yüzme yeteneğine sahip kömür, içeriğinde minimum seviyede uçucu madde ihtiva eden bitümlü kömürdür. Fazla karbon içeriğine sahip antrasit veya düşük seviyedeki linyitin yüzme eğilimleri düşüktür. Kül ve nem ihtivasi yükseldikçe hidrofob özelliği düşmektedir. Kömür içeriğindeki istenmeyen unsurlardan bir tanesi de kükürttür. Kükürt, kömür bünyesinde organik veya inorganik olarak bulunabilir. Organik halde bünyede yer alan kükürt makromolekül şeklinde olduğundan flotasyon yöntemiyle uzaklaştırılması mümkün değildir. İnorganik şekildeki kükürt ise çoğunlukla demir sülfür ve jips şeklinde olduğundan serbestleşebildiği sürece flotasyon yöntemiyle uzaklaştırılabilmesi mümkündür (Atak ve Tolun, 2014).

Çan Bölgesinden alınan linyit numunesi flotasyona elverişli hale getirilmek üzere bir dizi işlemden geçirilerek, ince tane boyutuna öğütülmüş ve bu tanelerin serbest yüzeylerinin sahip olduğu hidrofobik özelliğe dayanarak, hiçbir flotasyon kimyasalı (köpürtücü v.b.) kullanmaksızın çeşitli tuzların varlığında yüzdürülmesi yoluyla ayırma işlemi yapılmıştır.

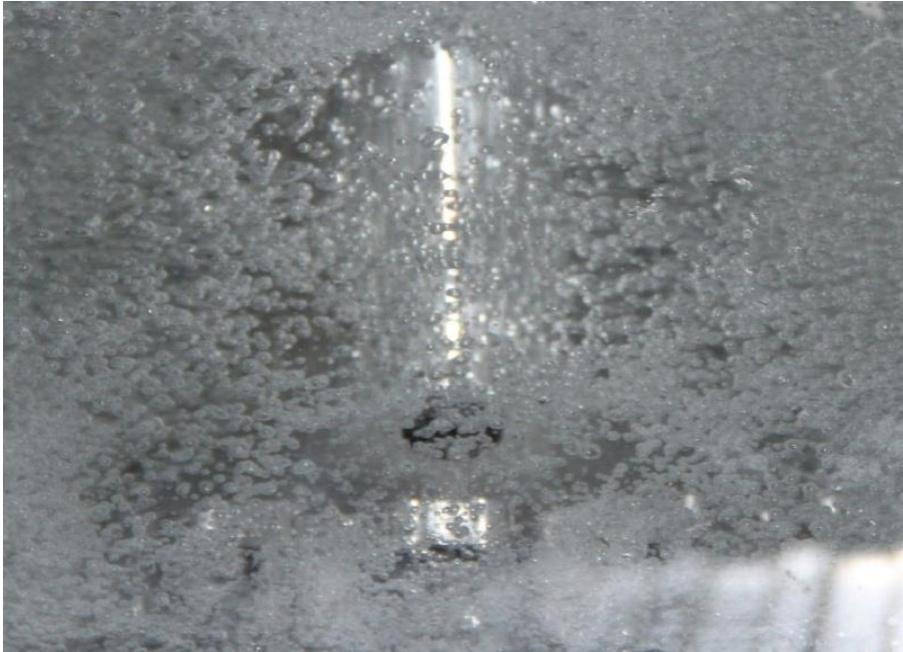
BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Konsantrasyonlardaki Tuzların Varlığında Flotasyon Hücresindeki Kabarcık Boyutu ve Değişikliğinin Belirlenmesi

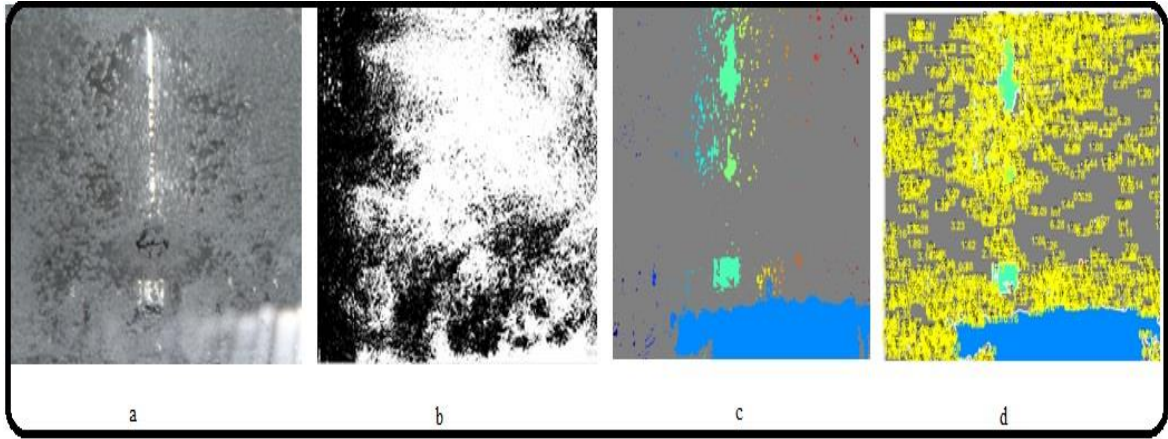
Çalışmanın bu aşaması özel olarak tasarlanmış cam flotasyon hücresindeki kabarcıkların her birinin görüntülenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Dört farklı konsantrasyonda, dört farklı tuz çözeltisinde alınan kabarcık görüntüleri Matlab Image Processing Toolbox programı yardımıyla analiz edilerek veriler elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda, flotasyon hücresindeki tuz konsantrasyonu arttığında kabarcıkların boyutunun azaldığı ve kabarcık sayılarının arttığı gözlenmiştir. Ortamdaki en yüksek kabarcık sayısı ve en küçük kabarcık boyutu 1 M $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ konsantrasyonunda belirlenmiştir. Sonuçların linyit numuneleri ile test edilen tuz yüzdürme sonuçlarına uygun olduğu anlaşılmıştır.

Çekilen görüntüler JPG formatında kaydedilmiştir. Fotoğraf Şekil 13'te verilmiştir. Görüntü işleme amacıyla öncelikle kabarcıkların arka zeminde segmentasyonu sağlanmıştır. Bunun için de kabarcık olmadan çekilen boş ekran her bir kabarcık ile çekilmiş görüntüden önce çıkartılmış, daha sonra kabarcıkları segmente edebilecek eşik değeri hesaplanarak görüntü binary kodlamaya (1/0) dönüştürülmüştür. Görüntüde oluşan gürültüler temizlendikten sonra öznelik vektörleri hesaplanmıştır.



Şekil 13. Cam flotasyon hücresine ait görüntü

Alınan görüntüler Şekil 14’te verilmiştir. Bu görüntüler üzerinde yapılan görüntü işleme adımları sırasıyla, arka zemin çıkarılması, eşikleme (a), siyah/beyaz kodlama (b), gürültü azaltılması, boşluk doldurma uygulanarak, kabarcıkların segmentasyonu (c) gerçekleştirilmiş ve görüntülerden alınan kabarcıklara ait öznitelik vektörleri hesaplanmıştır (d). Öznitelik vektörleri, kabarcıkların 45^0 ve 90^0 açılarındaki görüntülerinden kabarcıkların sayısı ve ortalama çapı ortaya konmuştur.



Şekil 14. Görüntü işleme aşamaları

4.1.1. Kabarcık Sayısı Ölçümleri

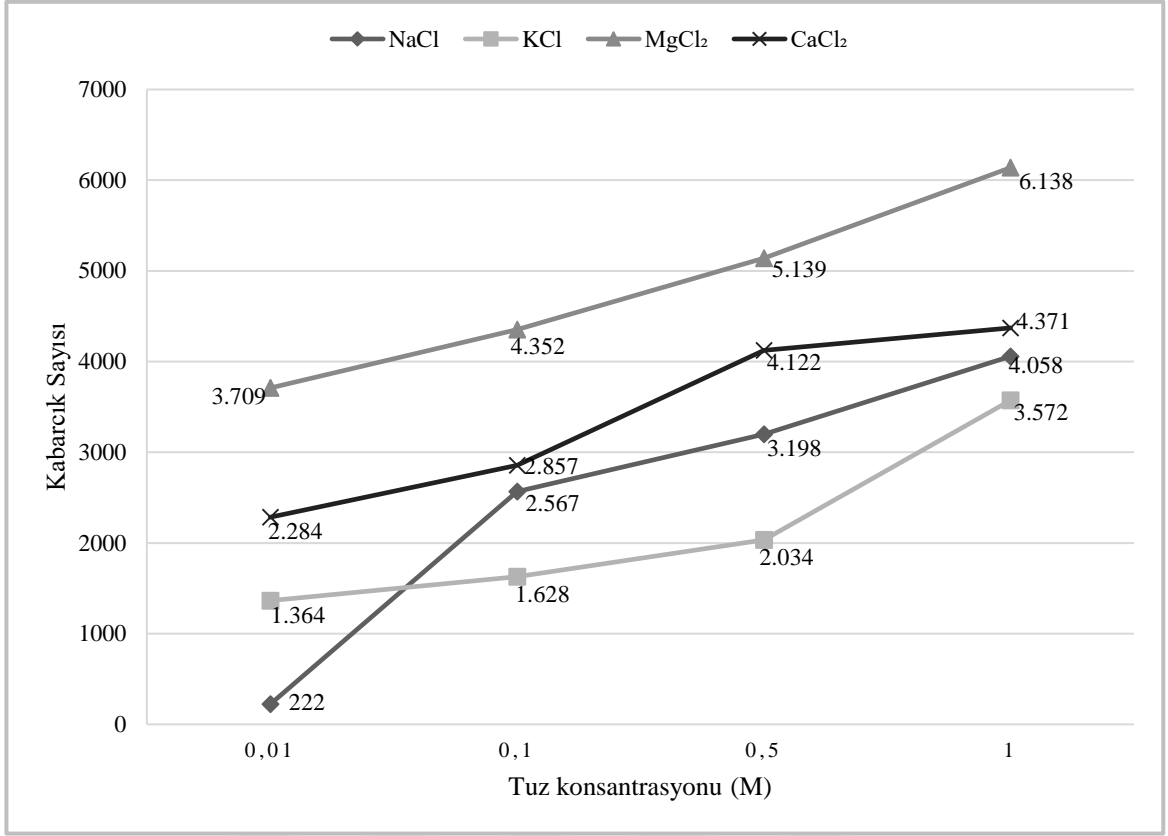
Cam flotasyon hücresinden çekilen 16 adet fotoğrafın görüntü işleme metodu ile işlenmesi sonucu tuz konsantrasyonunun artması ile kabarcık sayısının arttığı Şekil 15’te gösterilmiştir. 10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M $MgCl_2$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen kabarcık ölçümleri sonuçları Şekil 15’de verilmiştir. Şekil 15’te görüldüğü gibi 10^{-2} M tuz çözeltisi içerisinde yapılan fotoğraf çekimlerinde 3709 adet kabarcık sayılmıştır. $MgCl_2$ tuzunun konsantrasyonu arttıkça kabarcıkların sayısı artmaktadır.

10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M $MgCl_2$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen kabarcık ölçümleri sonuçları sırasıyla 3709, 4352, 5139, ve 6138’dir. Tuz konsantrasyonunun artırılması ile kabarcık sayısının arttığı gözlemlenmektedir.

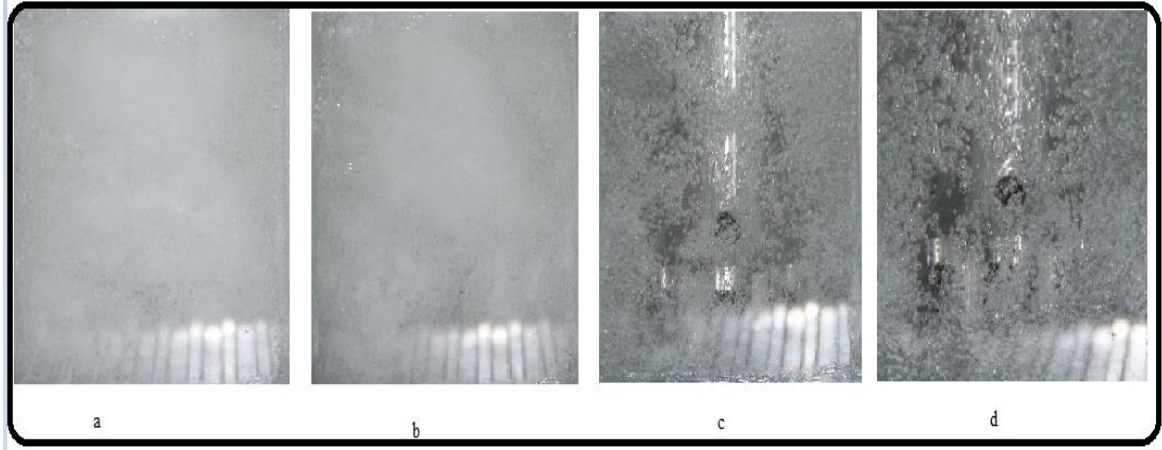
10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M $CaCl_2$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen kabarcık ölçümleri sonuçları sırasıyla 2284, 2857, 4122, ve 4371’dir.

10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M $NaCl$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen kabarcık ölçümleri sonuçları sırasıyla 222, 2567, 3198 ve 4058’dir.

10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M KCl çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen kabarcık ölçümleri sonuçları sırasıyla 1364, 1628, 2034 ve 3572’dir.

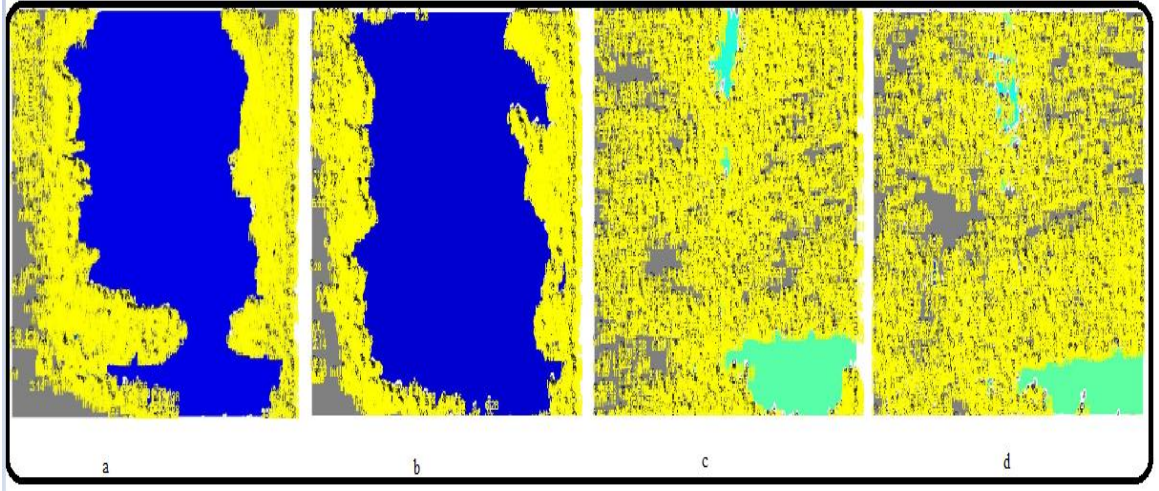


Şekil 15. Görüntü analizi kullanılarak işlenen fotoğraflardaki konsantrasyona göre kabarcık sayıları değişimi



Şekil 16. MgCl₂ Tuzu çözeltisinde konsantrasyona bağlı kabarcık değişimleri

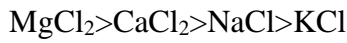
Şekil 16'da, 1 M (a), 5×10^{-1} M (b), 10^{-1} M (c) ve 10^{-2} M (d) MgCl₂ tuzu çözeltisindeki kabarcık değişimleri görülmektedir. 1 M tuz çözeltisinde kabarcık sayısındaki yoğunluk tuz çözeltisi molaritesi azaldıkça düşmektedir. Flotasyon verimine etki eden en önemli faktörlerden bir tanesi olan kabarcık sayısı olması sebebiyle tuzlu ortamda yapılan flotasyonla ayırma işlemlerinde tuz çözeltisi molaritesinin kritik öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 17. Görüntü analizi ile işlenmiş fotoğraflar

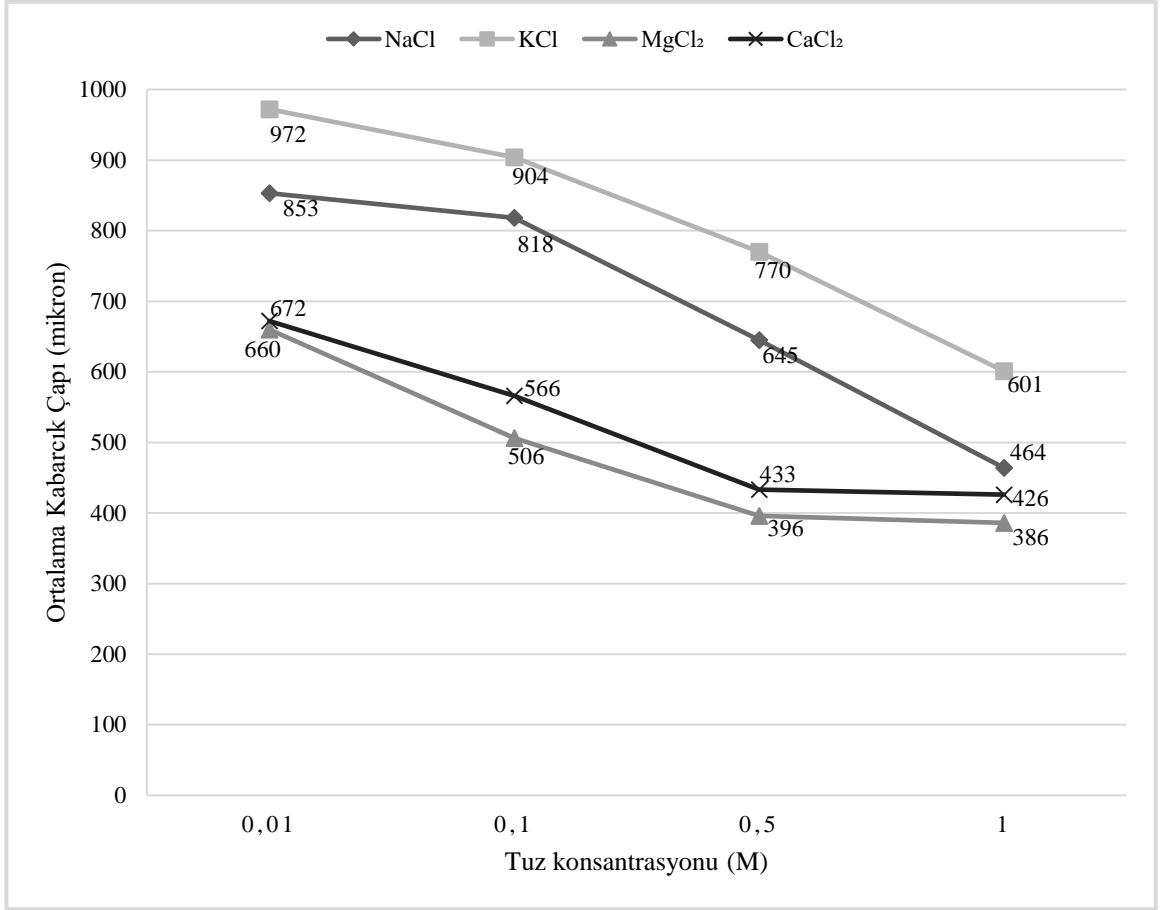
Şekil 17’de ise, 1 M (a), 5×10^{-1} M (b), 10^{-1} M (c) ve 10^{-2} M (d) $MgCl_2$ ’e ait görüntü analizleri yer almaktadır.

Bu sonuçlara göre tuz tipinin ve konsantrasyonun flotasyon hücresi içerisindeki kabarcık sayılarında değişim gösterdikleri ortaya konulmuştur. Kullanılan tuzlar arasında en yüksek kabarcık sayısı ile en az kabarcık sayısı kıyaslandığında aşağıdaki gibi bir bağıntı bulunmuştur.



4.1.2. Ortalama Kabarcık Çapı Ölçümleri

Cam flotasyon hücresinden çekilen 16 adet fotoğrafın görüntü işleme metodu ile işlenmesi sonucu tuz konsantrasyonunun artması ile ortalama kabarcık çapının azaldığı Şekil 17’de gösterilmiştir. 10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} M ve 1 M $MgCl_2$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen ortalama kabarcık çapı ölçümleri sonuçları Şekil 18’de verilmiştir. Şekil 18’de görüldüğü gibi 10^{-2} M $MgCl_2$ tuz çözeltisi içerisinde yapılan fotoğraf çekimlerindeki kabarcıkların ortalama çapı 660 mikrondur. $MgCl_2$ tuzunun konsantrasyonu arttıkça kabarcıkların ortalama çapı azalmaktadır. 1 M $MgCl_2$ tuz konsantrasyonunda ise 386 mikrona kadar azalma göstermektedir. 10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M $CaCl_2$ çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen ortalama kabarcık çapı ölçümleri sonuçları sırasıyla 672, 566, 433 ve 426 mikrondur. Tuz konsantrasyonunun artırılması ile ortalama kabarcık çapının azaldığı gözlemlenmektedir.

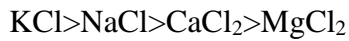


Şekil 18. Görüntü analizi kullanılarak işlenen fotoğraflardaki konsantrasyona göre ortalama kabarcık çapı değişimi

10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M NaCl çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen ortalama kabarcık çapı ölçümleri sonuçları sırasıyla 853, 819, 645 ve 464 mikrondur.

10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M KCl çözeltileri içerisinde gerçekleştirilen ortalama kabarcık ölçümleri sonuçları sırasıyla 972, 904, 770 ve 601 mikrondur.

Bu sonuçlara göre tuz tipinin ve konsantrasyonun flotasyon hücresi içerisindeki kabarcıkların ortalama çap hesaplarında değişim gösterdikleri ortaya konulmuştur. Kullanılan tuzlar arasında en yüksek kabarcık çapı ile en düşük kabarcık çapı kıyaslandığında aşağıdaki gibi bir bağıntı bulunmuştur.



4.2. Flotasyon Deneyleri

4.2.1. Saf Su İçerisinde Yapılan Flotasyon Deneyi

Linyit kömürü ile öncelikle saf su kullanılarak flotasyon deneyi yapılmıştır. Flotasyon deneyi sırasında hiçbir flotasyon reaktifini ortama ilave edilmemiştir. 3 dakikalık koşullandırma sonunda flotasyon hücresine hava verildiğinde köpük oluşumu olmadığından dolayı yüzen ürün alınamamıştır. Flotasyon deneyi sırasında çekilen fotoğraf Şekil 19’da yer almaktadır.



Şekil 19. Saf suda yapılan linyit flotasyonu

4.2.2. Saf Suda Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

Saf su içerisinde linyit flotasyonu deneyi sonrasında toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak MIBC kullanılarak, toplayıcının linyit kömürünün yzebilirliğine olan etkisi araştırılmıştır. Flotasyon deneylerinde toplayıcı miktarı 200 g/t, 600 g/t, 1000 g/t, 1400 g/t ve 2000 g/t olarak, köpürtücü miktarı ise her bir deney için 2 damla olarak sabit alınmıştır. Deneylerde linyit numunesi saf su içerisinde 3 dk kondisyonlandırma sonrası 5 dk da gazyağı ile koşullandırıldıktan sonra ortama hava verilerek 5 dk köpük alınmıştır. Deneyler sonrasında yüzen ve batan malzemeler filtre edilerek etüvde 80 C’de kurutulmuş ve hassas tartım işlemi sonrasında elde edilen yüzen ürün miktarı hesaplanmıştır. Saf su içerisinde gazyağı eklenerek yapılan linyit flotasyonu deneyi sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 5’te verilmiştir.

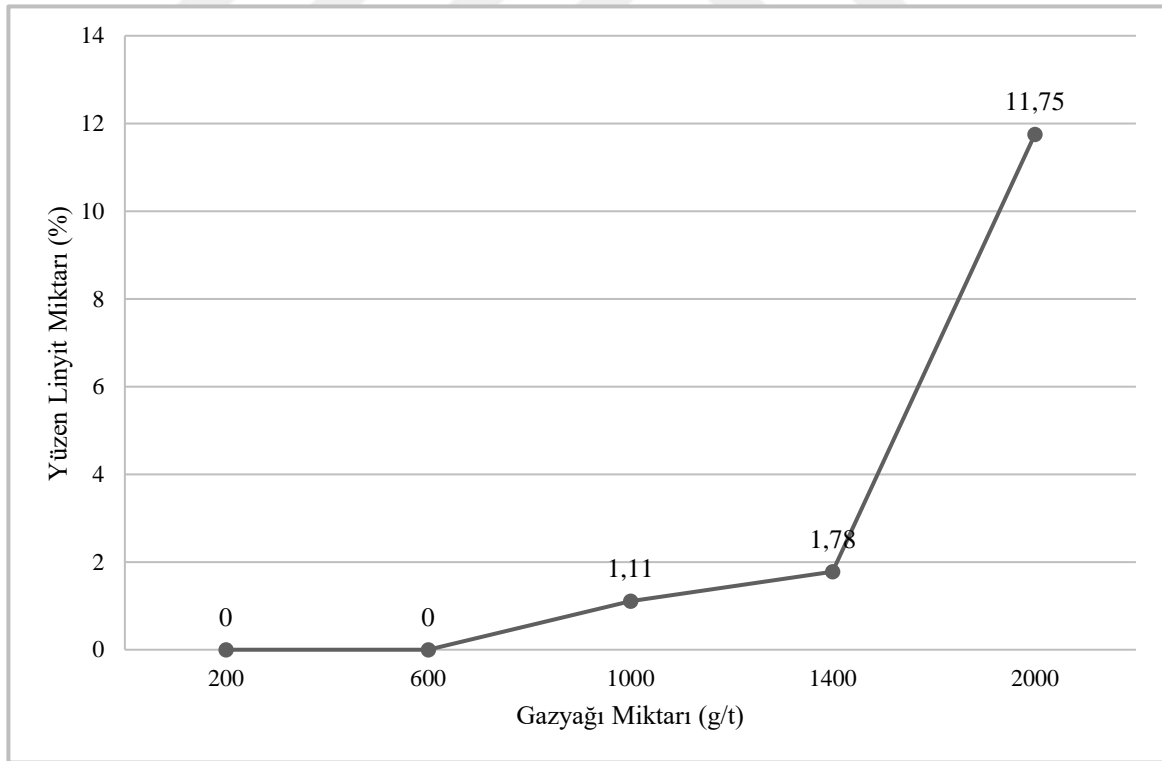
MIBC, kırılğan köpük oluşturan zayıf bir köpürtücü olması sebebiyle oluşan kabarcıklarla yüzeye ulaşan linyit miktarı gazyağının toplayıcı özelliği görevi ile artmış, yine de flotasyon verimi düşük sonuçlar vermiştir.

Tablo 5

Saf suda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

Gazyağı Miktarı (g/t)	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
200	0	4,80
600	0	4,81
1000	1,11	4,84
1400	1,78	4,85
2000	11,75	4,86

Tablo 5’te verilen sonuçlar incelendiğinde, 600 g/t miktarına kadar yüzen ürün alınamamıştır. Daha sonra artan gazyağı miktarıyla beraber yüzen ürün miktarının da arttığı ve 2000 g/t gazyağı konsantrasyonunda %11,75’e çıktığı görülmektedir. Linyit kömürleri flotasyon kabiliyeti oldukça düşük kömür türleridir. Flotasyonda oldukça büyük miktarlarda gazyağı tüketirler. Şekil 20’den de görüldüğü üzere ortama verilecek gazyağı miktarı arttıkça yüzen ürün miktarında hızlı bir şekilde artacağı görülmektedir. Fakat gazyağı konsantrasyonu arttıkça flotasyon yönteminin ekonomikliği de kaybolmaktadır.



Şekil 20. Gazyağı miktarına bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim

4.3. Tuz Flotasyonu

Linyit kömürünün ortamda tek ve çift değerli tuzlar varlığında flotasyon kabiliyetinin belirlenmesi için hiçbir flotasyon reaktifi kullanılmaksızın tuzlu ortamda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Tek değerli tuz olarak NaCl ve KCl çift değerlikli tuzlar olarak CaCl₂ ve MgCl₂'ün flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bitümlü kömürlerle yapılan çalışmalarda tuzlu ortamın kömürün flotasyon kabiliyetini artırdığı bilinmektedir (Özdemir ve diğerleri, 2009). Ayrıca tuz varlığında toplayıcı olarak gazyağı kullanımının yüzen ürün miktarındaki değişime olan etkisi araştırılmıştır.

4.3.1. Sodyum Klorür Tuzu ile Yapılan Linyit Flotasyonu Deneyleri

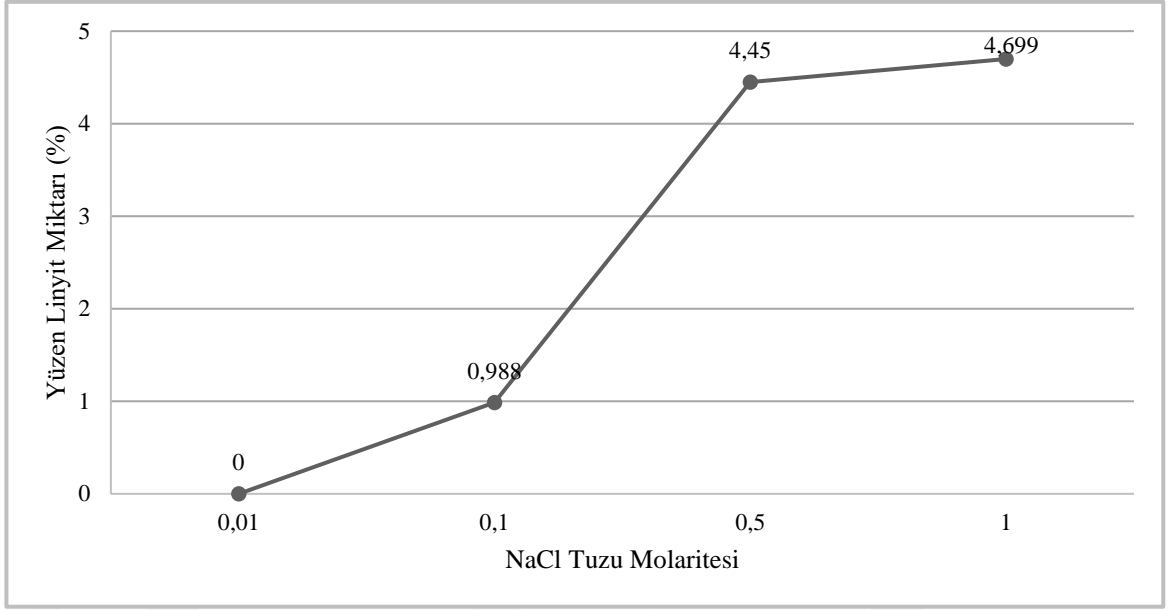
NaCl tuzunun ortamdaki konsantrasyonuna bağlı olarak, 10⁻² M, 10⁻¹ M, 5x10⁻¹ M ve 1 M NaCl tuzu ile hazırlanan çözeltilerde linyit flotasyonu deneyleri yapılmıştır. NaCl tuzunun farklı molariteleri ile yapılan flotasyon deneylerine ait sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

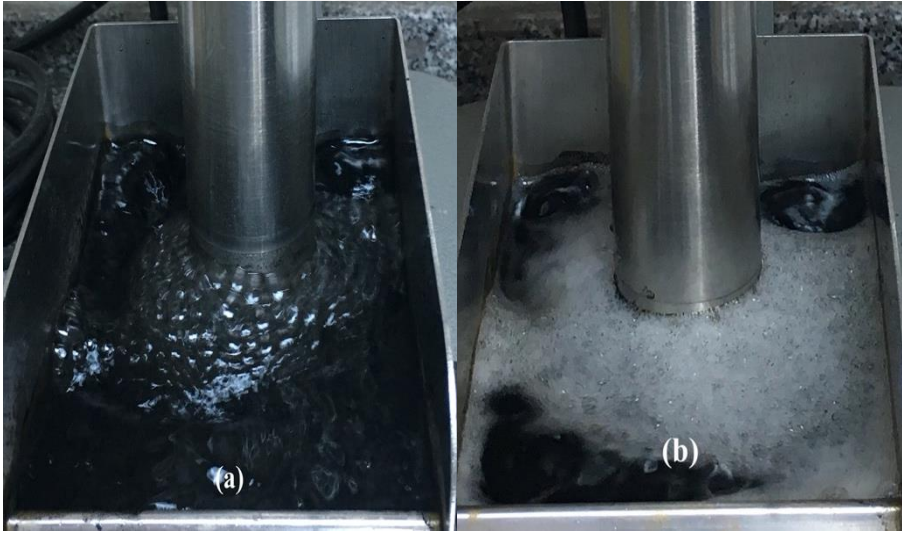
Sodyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

NaCl Tuzu Molaritesi	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
10 ⁻²	0	4,27
10 ⁻¹	0	4,24
5x10 ⁻¹	4,450	4,19
1	4,699	4,15

Yapılan flotasyon deneylerinde 5x10⁻¹ M ve 1 M NaCl çözeltisinde yüzen linyit miktarında diğer molaritelerdeki verimden farklı olarak hızlı bir artış olduğu, sodyum klorür tuzu çözeltisi molaritesinin artmasıyla yüzen linyit miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu değişimler Şekil 21'de yer almaktadır. Şekil 21'den de görüldüğü üzere yüzen linyit miktarında artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak önemli bir artış görülmemektedir. 1 M tuz konsantrasyonunda bu değer ancak %4,7 çıkmıştır. Yüzen ürün miktarındaki artış, tuz konsantrasyonundaki artışla beraber ortamda artan kabarcık sayısı ve boyutundaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Bu durum Şekil 16'da görülmektedir. Şekil 22'de yapılan bu deneye ait fotoğrafta da köpük boyut ve miktarları açıkça görülmektedir. Sonuç olarak NaCl tuzu varlığının linyitin yüzebilirliği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 21. NaCl tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim



Şekil 22. 10^{-2} M (a) ve 1 M (b) NaCl tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

4.3.2. Sodyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

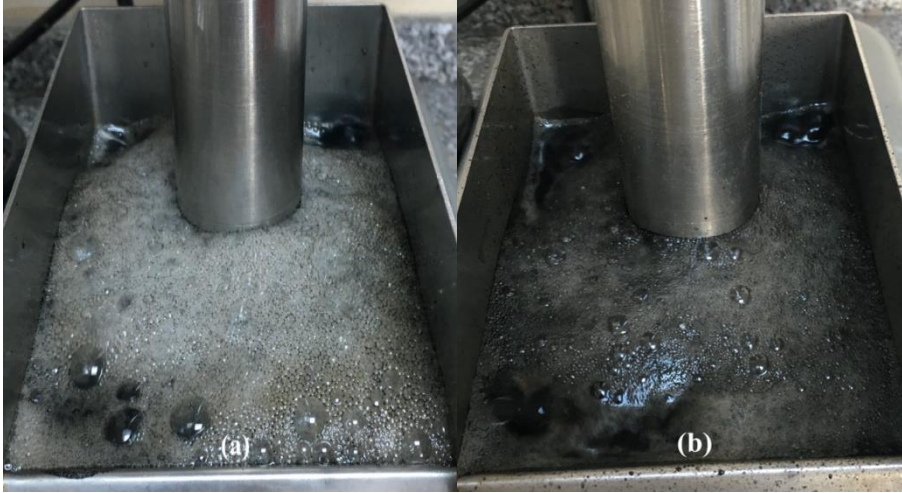
Sadece sodyum klorür tuzu ile yapılan deneylerde başarılı sonuçlar elde edilemeyince tuzlu ortamda gazyağının etkisini incelemek amacıyla en iyi sonucun alındığı 1 M NaCl tuzu ile hazırlanan çözelti içerisine 200 g/t, 600 g/t, 1000 g/t, 1400 g/t ve 2000 g/t miktarlarında gazyağı eklenerek flotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 7’de ve Şekil 24’te yer almaktadır. Sadece tuz varlığında, 1 M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı %4,7 iken ortama ilave edilen gazyağı miktarı ile yüzen ürün miktarının arttığı ve 2000 g/t gazyağı miktarı için bu değer %21,7 çıktığı görülmektedir. Bu artış gazyağı ile

birlikte linyit kömürünün hidrofobitesindeki artıştan ileri geldiği Şekil 23'te açıkça görülmektedir. Sadece 2000 g/t gazyağı varlığında linyit kömürü miktar olarak yaklaşık %11,75 yüzerken bu oran tuz varlığında %21,7 çıkmaktadır. Bu artış ortamdaki tuz varlığının etkisini açık bir şekilde göstermektedir.

Tablo 7

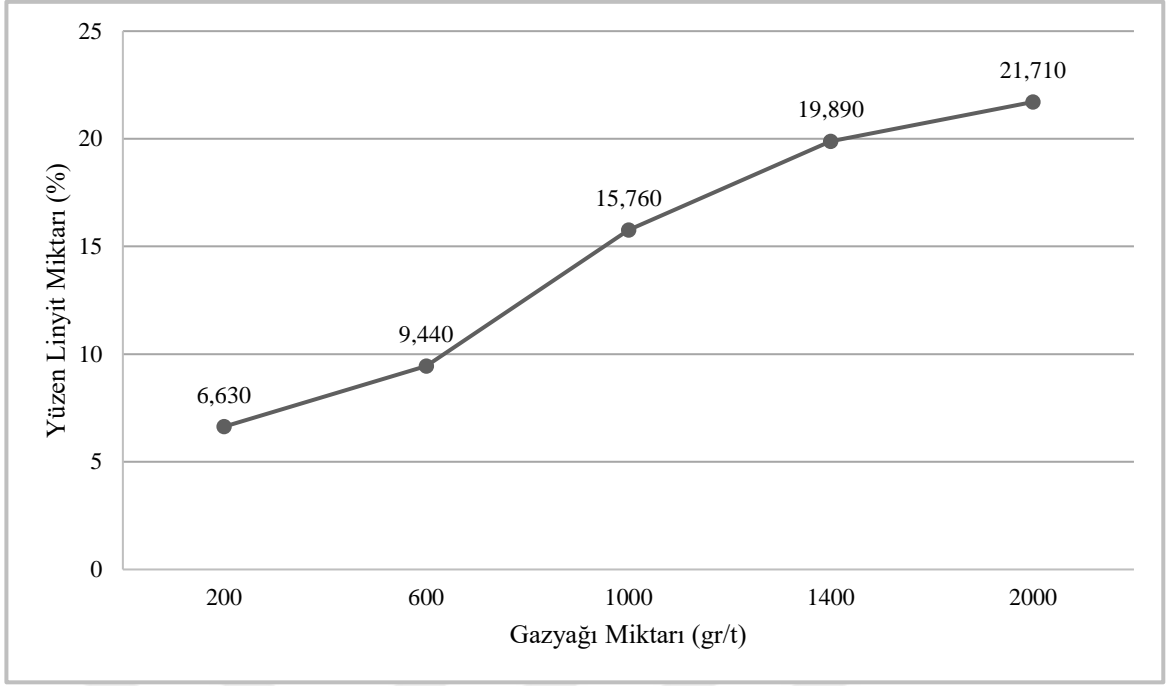
1 M NaCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

Gazyağı Miktarı (g/t)	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
200	6,630	4,20
600	9,440	4,21
1000	15,760	4,22
1400	19,890	4,25
2000	21,710	4,27



Şekil 23. 1 M NaCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

Şekil 23'te görüldüğü üzere, flotasyon sırasında oluşan köpük içerisindeki kabarcıklara tutunan linyit miktarı 2000 g/t gazyağı miktarında 200 g/t gazyağı miktarına göre oldukça fazladır. Bu artış gazyağının flotasyon işlemi sırasında toplayıcı özelliği göstermesinden ileri gelmektedir.



Şekil 24. 1 M NaCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim

4.3.3. Potasyum Klorür Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri

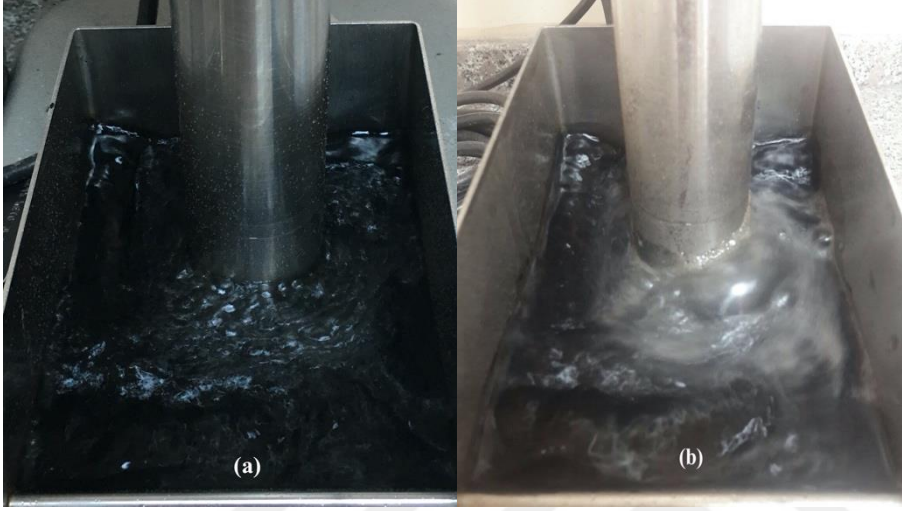
KCl tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde çözelti molaritesi 10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} M ve 1 M olarak hazırlanmış ve sodyum klorür deneylerinde olduğu gibi 3 dk kondisyonlama ve 5 dk köpük çekme işlemi yapılmıştır. Batan ve yüzen linyit toplanarak filtre edilmiş ve etüvde kurutularak tartımları yapılmıştır. Flotasyon deneyleri sonrasında elde edilen veriler Tablo 8’de Şekil 26’da verilmiştir. Tablo ve şekilden görüldüğü üzere KCl tuzu ortamında linyit kömürünün 1M tuz konsantrasyonuna kadar hiç yüzmediği 1M tuz konsantrasyonunda ise bu değer ancak %2 olduğu görülmektedir. KCl tuzunun linyitin flotasyonunda yüzebilirliği üzerine herhangi bir pozitif etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 8

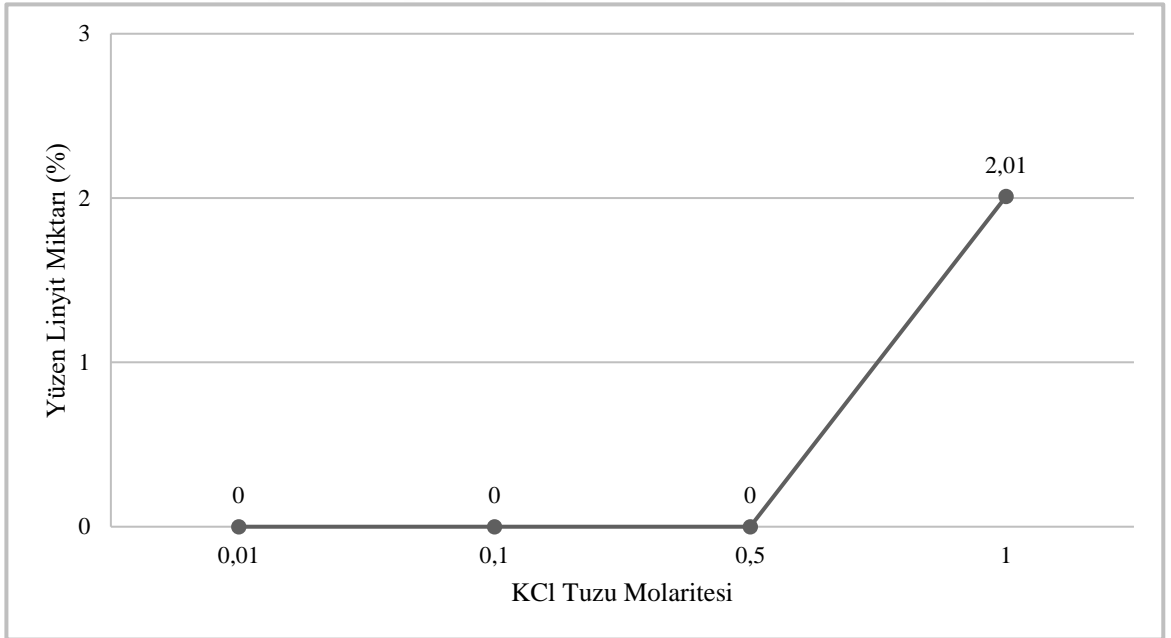
Potasyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

KCl Tuzu Molaritesi	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
10^{-2}	0	4,21
10^{-1}	0	4,17
5×10^{-1}	0	4,11
1	2,01	4,02

KCl tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde 10^{-2} ve 10^{-1} ve 5×10^{-1} M çözeltilerde köpük oluşmadığı gözlenmiştir. Flotasyon sırasında molarite arttıkça köpük boyutu ve sayısında da değişim olduğu gözlenmiş, bu değişimlere ait görüntüler Şekil 25'te verilmiştir. Çözelti içerisindeki KCl tuzu miktarı arttıkça oluşan köpük sayısının arttığı, köpük çaplarının ise düştüğü görülmüştür.



Şekil 25. 10^{-2} M (a) ve 1M (b) KCl çözeltisinde linyit flotasyonlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim



Şekil 26. KCl tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim

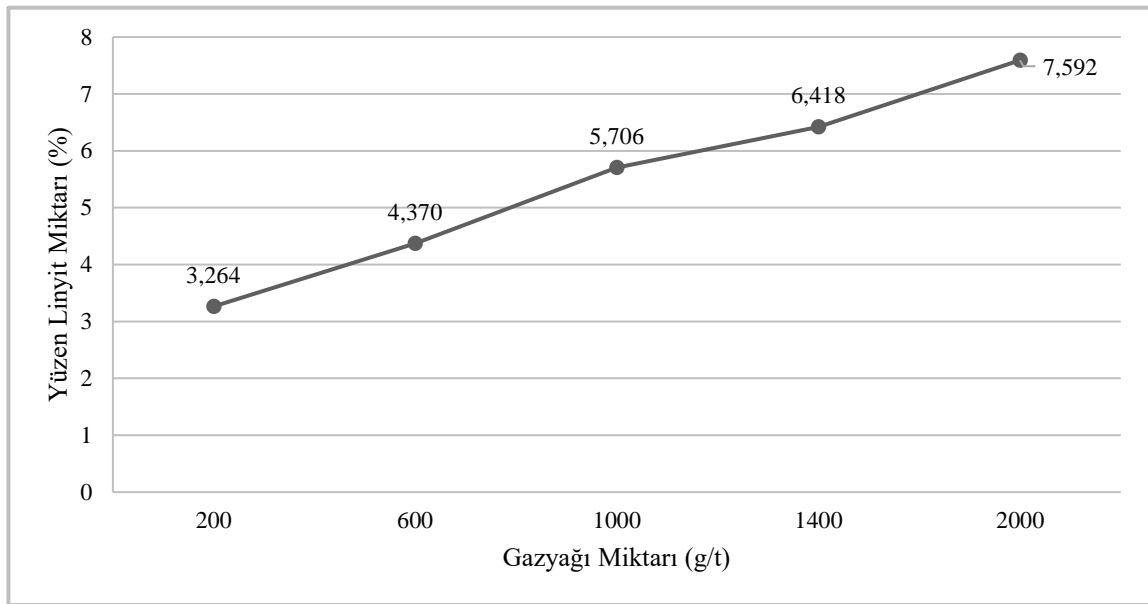
4.3.4. Potasyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

KCl tuzunun farklı molaritelerinde hazırlanmış çözelti içerisinde yapılan flotasyon deneyleri sonrasında 1 M KCl tuzu çözeltisine farklı miktarlarda gazyağı eklenerek gazyağının tuzlu ortamda yapılan flotasyon işlemine etkisi araştırılmıştır. Yapılan flotasyon deneylerine ait gazyağı miktarları ve yüzen linyit miktarları Tablo 9’da ve Şekil 27’de verilmiştir. Tablo ve şekilden de açıkça görüleceği üzere 1 M tuz konsantrasyonunda ortama ilave edilen gazyağı miktarındaki artış ile yüzen ürün miktarı artmış ve 2000 g/t gazyağı miktarında %7,6’ya çıkmıştır. Bu değer sadece gazyağı kullanılarak yapılan deneylerde 2000gr/t gazyağı için %11,7 iken 1M tuz varlığında %7,6’ya düşmüş olması KCl’ün linyitin yüzebilirliği üzerine negatif etkisinin olduğunu göstermektedir.

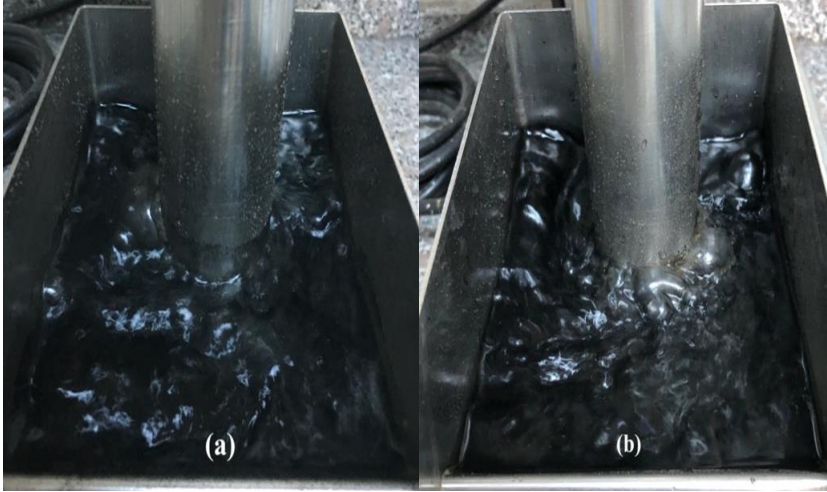
Tablo 9

1 M KCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

Gazyağı Miktarı (g/t)	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
200	3,264	4,35
600	4,370	4,33
1000	5,706	4,31
1400	6,418	3,63
2000	7,592	3,53



Şekil 27. 1 M KCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim



Şekil 28. 1 M KCl tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

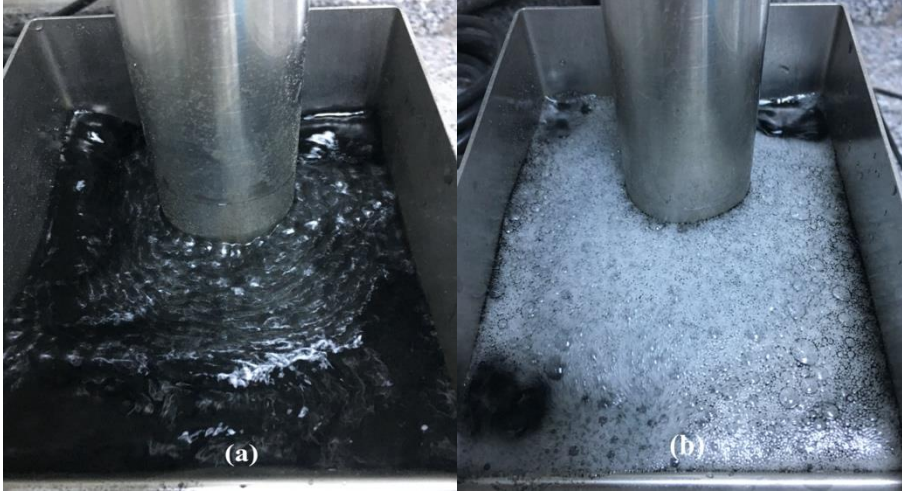
4.3.5. Magnezyum Klorür Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri

Çift değerlikli $MgCl_2$ tuzu varlığında yapılan linyit flotasyonu deneylerinde ortamdaki tuz konsantrasyonu arttıkça yüzen linyit miktarının arttığı Tablo 10 ve Şekil 30'dan açık bir şekilde görülmektedir. 10^{-2} M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün olmazken, tuz konsantrasyonu arttıkça ortamda artan kabarcık sayısındaki artışa ve kabarcık boyutundaki azalmaya paralel olarak hızlı bir şekilde yüzen ürün miktarı artmakta ve 1 M tuz konsantrasyonunda %40,87 değerine ulaşmaktadır. Bu değer sadece gazyağı varlığında yapılan flotasyon deneyinde elde edilen ürün miktarının yaklaşık dört katına eşit olduğunu göstermektedir. Şekil 29'da flotasyon hücresindeki kabarcık boyutundaki değişimde bu durumu açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 10

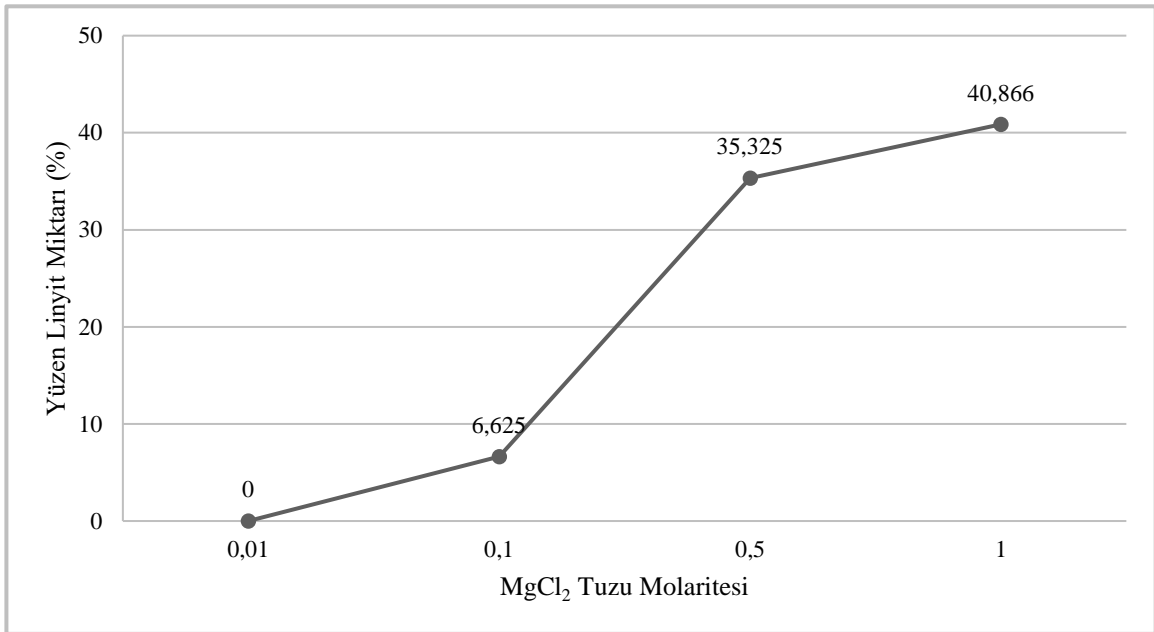
Magnezyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

MgCl ₂ Tuzu Molaritesi	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
10^{-2}	0	4,66
10^{-1}	6,625	4,58
5×10^{-1}	35,325	4,48
1	40,866	4,40



Şekil 29. 10^{-2} M (a) ve 1M (b) $MgCl_2$ tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

Yapılan $MgCl_2$ tuzu çözeltilerindeki linyit flotasyonuna ait örnek fotoğraflar Şekil 29’da verilmiştir. Fotoğraflarda kabarcık miktarları ve boyutları karşılaştırıldığında 10^{-2} M çözeltide oluşan az sayıda ve büyük çaptaki kabarcık oluşumunda flotasyon hücresi içerisinde yer alan linyit taneciklerinin bu kabarcıklarla çarpışma olasılıkları düşüktür. Bu sebeple 1 M çözelti içerisinde oluşan fazla miktardaki kabarcığa tutunarak yüzeye çıkan linyit taneciği sayısı kabarcık sayısı ile birlikte artmaktadır. Bu deneyde flotasyon verimi yüzen linyit miktarıyla birlikte artmaktadır.



Şekil 30. $MgCl_2$ tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim

4.3.6. Magnezyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

1 M MgCl₂ tuz çözeltisinde yapılan flotasyon deneyi sonrasında bu molaritede ortama gazyağı ilave edilmesi durumunda yüzen ürün miktarındaki değişim araştırılması amacı ile farklı miktarlarda gazyağı (200 g/t, 600 g/t, 1000 g/t, 1400 g/t ve 2000 g/t) ilavesi ile flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylere ait gazyağı miktarları ve yüzen linyit miktarı ile pH değerleri Tablo 11 ve Şekil 31’de verilmiştir. Tablo ve şekilden görüldüğü üzere ortama 200g/t gaz yağı ilave edildiğinde yüzen linyit miktarı hızlı bir şekilde %69,4 çıkmakta fakat tuz konsantrasyonu artırıldığında yüzen ürün miktarının hızlı bir şekilde düşüş gösterdiği ve 2000 g/t gazyağı miktarında yaklaşık %48 değerine düştüğü görülmektedir. Normalde artan gazyağı miktarındaki artışa paralel olarak linyitin hidrofobitesindeki artışla verimin artması beklenirken ani bir düşüş olmuştur. Şekil 32 incelendiğinde bu azalma gazyağı miktarı arttığında ortamdaki kabarcık sayısındaki azalmayla veya çift değerlikli tuzun gazyağı ile etkileşimi sonrası ortamdaki kabarcıkların yüzeye ulaşmadan sönmelerine neden olduğu ile açıklanabilir (Bulut ve Göktepe, 2012).

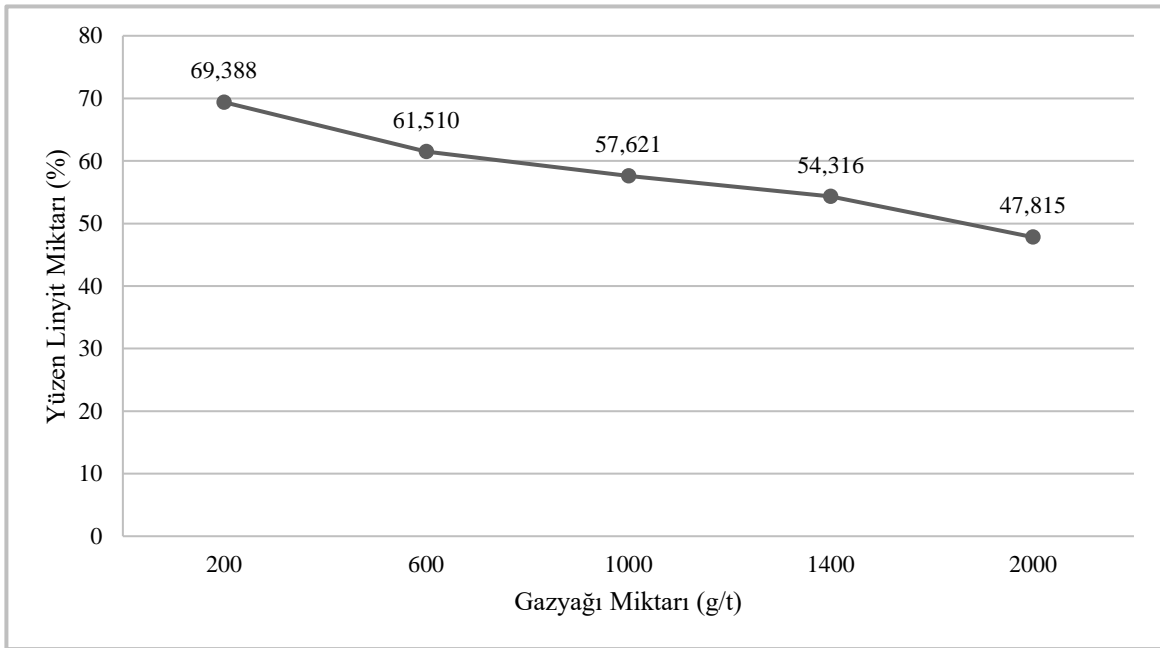
Tablo 11

1 M MgCl₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

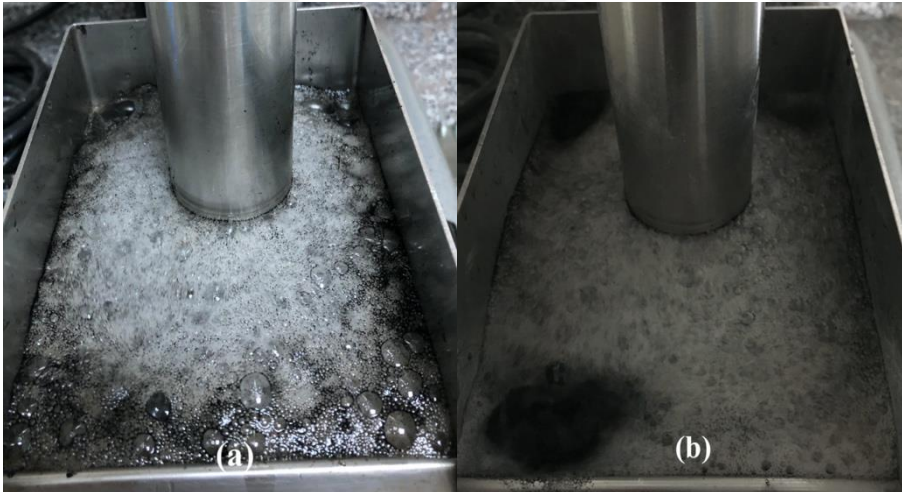
Gazyağı Miktarı (gr/t)	Yüzen Linyit Miktarı (%)	pH
200	69,388	3,82
600	61,510	3,94
1000	57,621	4,02
1400	54,316	4,16
2000	47,815	4,40

Tek değerlikli tuzlarla (NaCl, KCl) hazırlanan çözeltelerde yapılan linyit flotasyonlarında gazyağının flotasyon verimini arttırmasının aksine çift değerlikli olan MgCl₂ tuzu çözeltisinde gazyağının linyit flotasyonu verimine olumsuz etkilerinin olduğu görülmüştür. Çift değerlikli tuzlar varlığında daha önceden açıklandığı üzere ortamda daha fazla sayıda kabarcık bulunması çift değerlikli tuzun tek değerlikli tuzlara göre daha iyi sonuç verdiğini fakat ortama gazyağı verildiğinde linyitin hidrofobitesindeki artışa rağmen gazyağı miktarındaki artışın sadece tuz varlığına göre her bir gazyağı miktarında yüksek olması gazyağının linyit flotasyonunda olumlu etki yaptığı göstermektedir. Fakat gazyağı artışıyla yüzen ürün miktarındaki azalma kömürün hidrofobluğunu arttırdığını fakat ortamdaki

aşırı gazyağının ortamdaki kabarcıkları söndürülendirerek sayısının azalmasına neden olarak verimin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 31. 1 M $MgCl_2$ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim



Şekil 32. 1 M $MgCl_2$ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

Bazı minerallerin (özellikle oksitli mineraller) flotasyonu işlemlerinde çok miktarda oluşan köpüğü söndürmek amacıyla da gazyağı kullanılmaktadır (Bulut ve Göktepe, 2012).

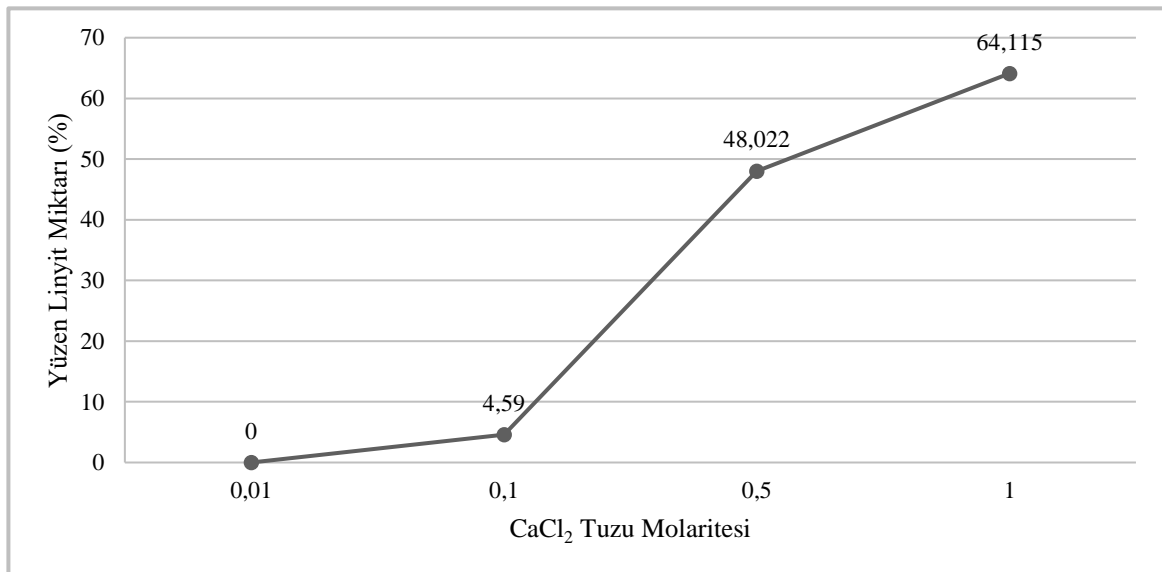
4.3.7. CaCl₂ Tuzu Çözeltilerinde Yapılan Flotasyon Deneyleri

Çift değerlikli kalsiyum klorür tuzunun farklı konsantrasyonlarının (10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} M ve 1 M) linyit flotasyonuna olan etkisini araştırmak amacıyla flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen yüzen ürün miktarlarındaki değişim Tablo 12 ve Şekil 34'te verilmiştir. Tablo ve şekil incelendiğinde ortamın tuz konsantrasyonu arttıkça yüzen ürün miktarının hızlı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. 10^{-2} M tuz konsantrasyonunda yeterli köpük oluşmadığından dolayı yüzen ürün alınamazken tuz konsantrasyonu artışı ile birlikte yüzen ürün miktarının yaklaşık % 64'e çıktığı görülmektedir. Bu artış bölüm 4.1'de açıklandığı üzere ortamda artan tuz konsantrasyonu ile birlikte artan kabarcık sayısı ve kabarcık boyutundaki azalma nedeniyledir. Şekil 33 de bu durumu açık bir şekilde göstermektedir. Elde edilen sonuçlar çift değerlikli MgCl₂ tuzu ile elde edilen sonuçlarla paralellik arz etmektedir.

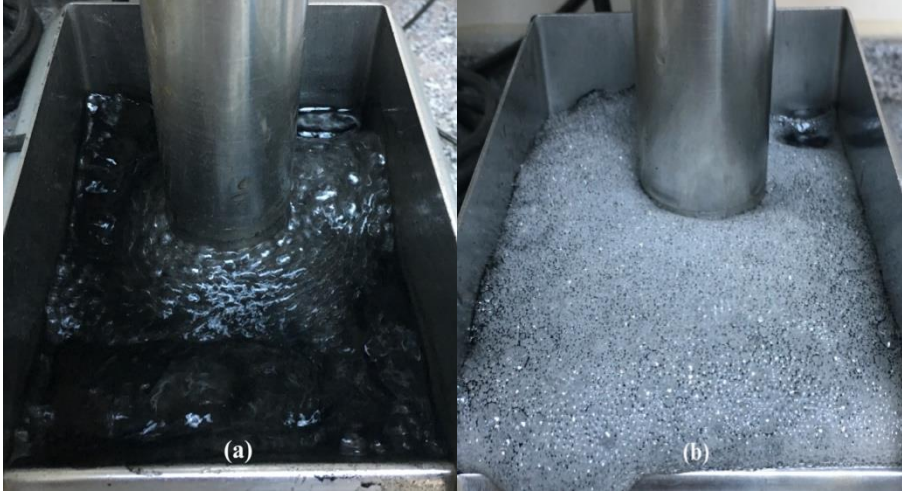
Tablo 12

Kalsiyum klorür tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

CaCl ₂ Tuzu Molaritesi	Yüzen Miktar %	pH
10^{-2}	0	4,04
10^{-1}	4,590	3,93
5×10^{-1}	48,022	3,82
1	64,115	3,80



Şekil 33. CaCl₂ tuzu çözeltisinde yapılan flotasyon deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim



Şekil 34. 10^{-2} M (a) ve 1M (b) CaCl_2 tuzu çözeltisinde yapılan linyit flotasyonu deneylerindeki kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

4.3.8. Kalsiyum Klorür Tuzu Çözeltisinde Gazyağı ile Yapılan Flotasyon Deneyleri

1 M CaCl_2 tuz çözeltisinde yapılan flotasyon deneyi sonrasında bu molaritede ortama gazyağı ilave edilmesi durumunda yüzen ürün miktarındaki değişim araştırılması amacı ile farklı miktarlarda gazyağı (200 g/t, 600 g/t, 1000 g/t, 1400 g/t ve 2000 g/t) ilavesi ile flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylere ait gazyağı miktarları ve yüzen linyit miktarı ile pH değerleri Tablo 13 ve Şekil 36'da verilmiştir.

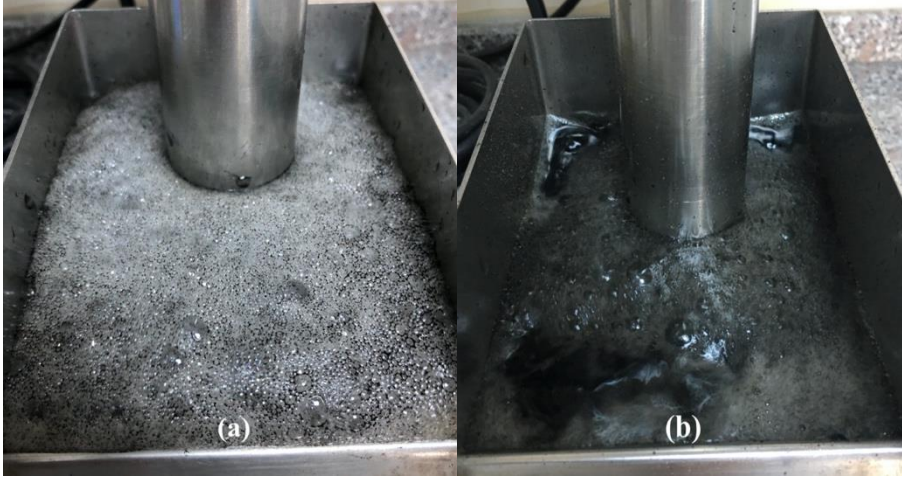
Tablo ve şekilden görüldüğü üzere ortama 200g/t gazyağı ilave edildiğinde yüzen linyit miktarı hızlı bir şekilde %70,62 çıkmakta fakat tuz konsantrasyonu artırıldığında yüzen ürün miktarının hızlı bir şekilde düşüş gösterdiği ve 2000 g/t gaz yağı miktarında yaklaşık %50 değerine düştüğü görülmektedir. Normalde artan gazyağı miktarındaki artışa paralel olarak linyitin hidrofobitesindeki artışla verimin artması beklenirken ani bir düşüş olmuştur. Şekil 32 incelendiğinde bu azalma gazyağı miktarı arttığında ortamdaki kabarcık sayısındaki azalmayla veya çift değerlikli tuzun gazyağı ile etkileşimi sonrası ortamdaki kabarcıkların yüzeye ulaşmadan sönmelenmesine neden olduğu ile açıklanabilir (Bulut ve Göktepe, 2012).

Flotasyon verimi açısından gazyağı miktarını fazla arttırmanın olumsuz sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Düşük miktarda ortama verilen gazyağı toplayıcı görevi sağlarken, yüksek miktarda verilen gazyağı flotasyon hücresinde oluşan ve kabarcıkları sönmlediği, flotasyon işleminde kritik öneme sahip kabarcık sayısında azalmaya sebep olarak köpük sönmleyici haline gelmektedir. Tuzlu ortamdaki gazyağı miktarı arttıkça tuz flotasyonu verimi sönmlenen kabarcık sayısı sebebiyle düşmektedir.

Tablo 13

1 M CaCl_2 tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarları ve pH değerleri

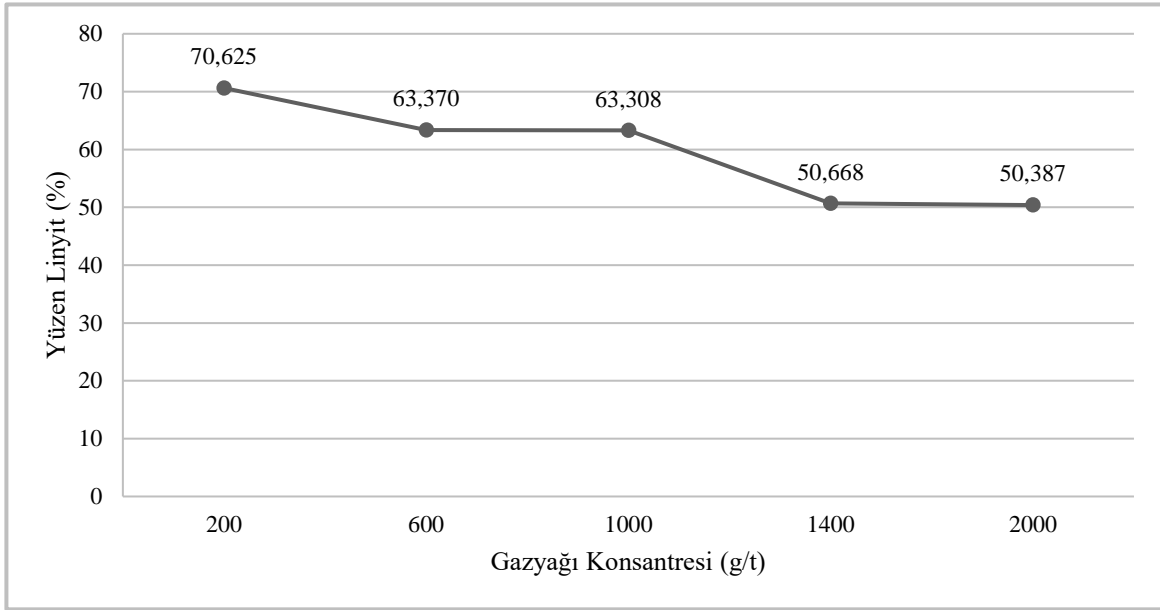
Gazyağı Miktarı (g/t)	Yüzen Linyit Miktarı %	pH
200	70,625	3,59
600	63,370	3,67
1000	63,308	3,70
1400	50,668	3,73
2000	50,387	3,75



Şekil 35. 1 M CaCl_2 tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde 200 g/t (a) ve 2000 g/t (b) gazyağı miktarlarında kabarcık boyutu ve sayısındaki değişim

Tek değerlikli tuzlarla (NaCl , KCl) hazırlanan çözeltilerde yapılan linyit flotasyonlarında gazyağının flotasyon verimini arttırmasının aksine çift değerlikli olan CaCl_2 tuzu çözeltisinde gazyağının linyit flotasyonu verimine olumsuz etkilerinin olduğu görülmüştür. Çift değerlikli tuzlar varlığında daha önceden açıklandığı üzere ortamda daha fazla sayıda kabarcık bulunması çift değerlikli tuzun tek değerlikli tuzlara göre daha iyi sonuç verdiğini fakat ortama gazyağı verildiğinde linyitin hidrofobitesindeki artışa rağmen gazyağı miktarındaki artışın sadece tuz varlığına göre her bir gazyağı miktarında yüksek olması gazyağının linyit flotasyonunda olumlu etki yaptığı göstermektedir. Fakat gazyağı artışıyla yüzen ürün miktarındaki azalma kömürün hidrofobluğunu arttırdığını fakat ortamdaki aşırı gazyağının ortamdaki kabarcıkları söndürerek sayısının azalmasına neden olarak,

verimin düşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak çift değerlikli tuzlarla yapılan gazyağı çalışmalarının aynı etkiyi yaptığı ve yaklaşık aynı sonuçların alındığı görülmektedir.



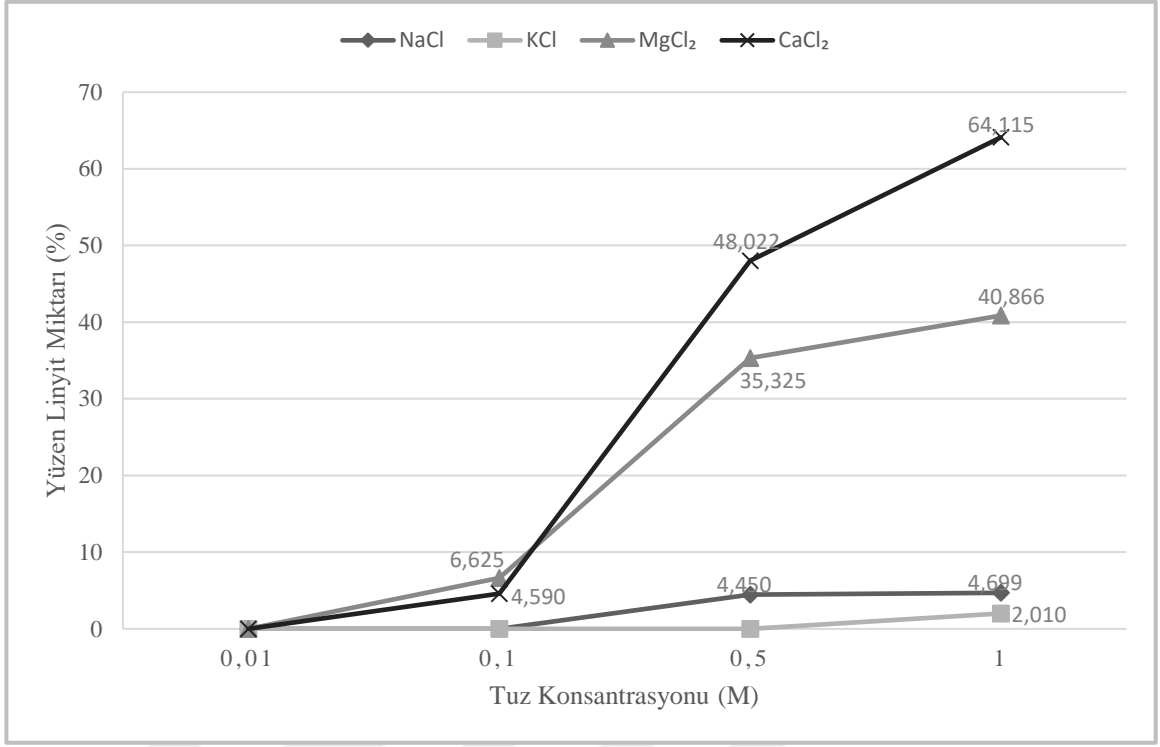
Şekil 36. 1 M CaCl₂ tuzu çözeltisinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim

Sonuç olarak sadece ortamda tuzlar varlığında hiçbir flotasyon reaktifi kullanılmaksızın yapılan deneylerde çift değerlikli tuzların (MgCl₂ ve CaCl₂) tek değerlikli tuzlara (NaCl ve KCl) göre yüzen ürün miktarı göz önüne alındığında daha iyi sonuç verdiği ve sıralamanın CaCl₂>MgCl₂>NaCl>KCl şeklinde olduğu görülmüştür. Yapılan tuz flotasyonu deneylerinde tuz konsantrasyonlarındaki değişime bağlı elde edilen yüzen linyit miktarları yüzdeleri Tablo 14 ve Şekil 37' de verilmiştir.

Tablo 14

Tuz flotasyonu deneylerinde molarite değişimlerine bağlı yüzen linyit miktarları

	10 ⁻² M	10 ⁻¹ M	5x10 ⁻¹ M	1 M
NaCl	0	0	4,450	4,699
KCl	0	0	0	2,01
MgCl ₂	0	6,625	35,325	40,866
CaCl ₂	0	4,590	48,022	64,115



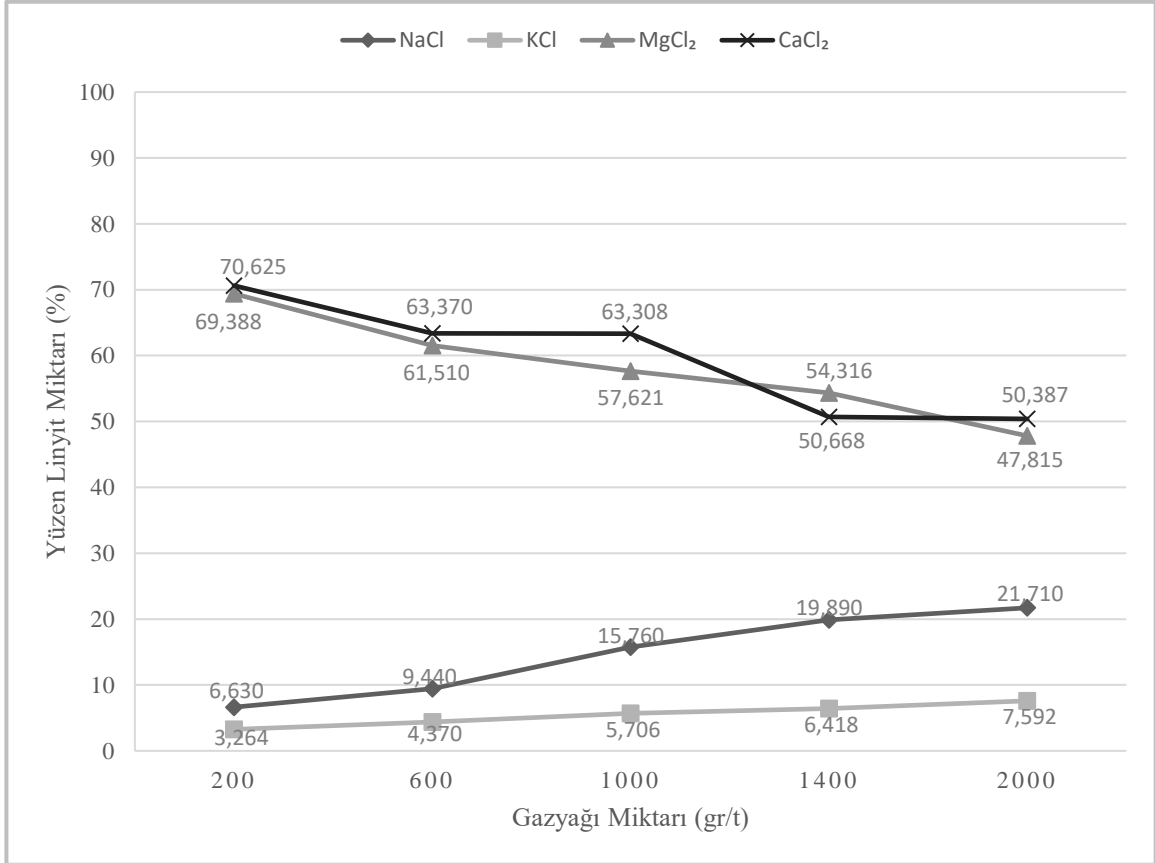
Şekil.37 Tuz flotasyonu deneylerinde molariteye bağlı yüzen linyit miktarındaki değişim

Aynı tuzlarla elde edilen en iyi sonuçlarda (1M tuz konsantrasyonunda) ortama gazyağı ilave edildiğinde tek değerlikli tuzlarda yüzen ürün miktarında gazyağı ile artan hidrofobisiteye bağlı olarak bir artış olmuş fakat bu artış NaCl'de KCl'e göre daha yüksektir. Çift değerlikli tuzlarla yapılan deneylerde ise aynı şekilde gazyağı miktarıyla beraber artan hidrofobisiteyle beraber tuzlu ortama göre yüzen ürün miktarında bir artış olmaktadır. Fakat bu artış 200 g/t gazyağı miktarında yaklaşık %70'lere çıkarken gazyağı miktarı arttırıldığında düşüş sergilemektedir. Bunun sebebi ortamdaki serbest kabarcık miktarı sayısının ortama ilave edilen gazyağı miktarındaki artışla gazyağının ortamdaki kabarcıkları söndürmesi ve kabarcık sayılarında meydana gelen azalmadan kaynaklanmaktadır. Buna göre gazyağı varlığında en iyi sonuçlar çift değerlikli tuzlarla elde edilmiş ve sıralama $CaCl_2 > MgCl_2 > NaCl > KCl$ şeklinde olmuştur. Gazyağı varlığında yapılan deneylere ait yüzen linyit miktarları Tablo 15 ve Şekil 38' de verilmiştir.

Tablo 15

Gazyağı miktarındaki değişime bağlı elde edilen yüzen linyit miktarları

	200 g/t	600 g/t	1000 g/t	1400 g/t	2000 g/t
NaCl	6,630	9,440	15,760	19,890	21,710
KCl	3,264	4,370	5,706	6,418	7,592
MgCl ₂	69,388	61,510	57,621	54,316	47,815
CaCl ₂	70,625	63,370	63,308	50,668	50,387



Şekil 38. Farklı tuzların 1 M çözeltilerinde gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde yüzen linyit miktarındaki değişim

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çan Bölgesi linyit kömürünün tuzlu ortamdaki flotasyonu ve tuzlu ortamda gazyağının flotasyona olan etkileri üzerine yapılan bu çalışmada, hiçbir reaktif kullanmadan linyit yüzdürülmeye çalışılmış ve gazyağının flotasyon verimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Tuz flotasyonu çalışmaları öncesi sadece tuz varlığında flotasyon hücresi içinde ortama hava verildiğinde tuz konsantrasyonuna bağlı olarak ortamda oluşan kabarcık sayısı ve çaplarındaki değişimin belirlenmesi amacıyla görüntüleme analiz yöntemi kullanılmıştır. Ortamdaki kabarcık sayısındaki artış ve çaptaki en yüksek düşüş çift değerlikli iyonlarla olmuş ve sıralama $\text{CaCl}_2 > \text{MgCl}_2 > \text{NaCl} > \text{KCl}$ şeklindedir. Saf su ortamında toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak MIBC kullanılan flotasyon deneylerinde 2000 g/t miktarlarına kadar çıkılmasına rağmen ancak kömürün %11 yüzdürülebilmiştir. Bu sebeple hidrofilik eğilim gösteren linyitin flotasyonla yüzdürülmesinin zor ve oldukça yüksek miktarlarda gazyağına ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. NaCl tuzu çözeltilerinde yapılan linyit flotasyonu deneylerinde etkili molarite değeri 1 M olduğu, yapılan KCl çözeltisinde linyit flotasyonu deneylerinde ise tüm molaritelerde verimin düşük olduğu anlaşılmıştır. Çift değerlikli tuzlarla (MgCl_2 ve CaCl_2) hazırlanan çözeltilerde yapılan linyit flotasyonu deneylerinde ise verimin diğer tuzlarla hazırlanan çözeltilerde yapılan flotasyon deneylerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Gazyağının flotasyon verimine etkilerinin araştırılması sırasında ise, gazyağının linyit yüzeyinin hidrofobluğunu arttırarak yüzen linyit miktarında artış sağlamış ve flotasyon verimini arttırmıştır.

Farklı tuz konsantrasyonları varlığında her bir tuzla cam flotasyon hücresinden yüksek çözünürlüklü kamera ile alınan görüntülerin Matlab Image Processing Toolbox programı yardımıyla işlenmesiyle ortamdaki tuz konsantrasyonunun (10^{-2} M, 10^{-1} M, 5×10^{-1} ve 1 M) kabarcık sayısında ve çapında olan değişimin her bir molarite için sırası ile KCl için 1364-3752; 972-601, NaCl için 222-4058; 853-464, CaCl_2 için 2284-4371; 672-426, MgCl_2 için 3709-6138; 660-386 şeklinde olduğu görülmektedir. Kısaca çift değerlikli tuzlar varlığında ortamdaki kabarcık sayısı daha fazla iken tek değerlikli tuzlarda daha az olmakta ve kabarcık sayısı bakımından sıralama $\text{MgCl}_2 > \text{CaCl}_2 > \text{NaCl} > \text{KCl}$ şeklinde olurken, kabarcık çapındaki azalma çift değerlikli tuzlarda tek değerlikli tuzlara göre daha fazla olup kabarcık büyüklüğüne göre sıralama $\text{MgCl}_2 < \text{CaCl}_2 < \text{NaCl} < \text{KCl}$ şeklinde gerçekleşmiştir.

Saf suda yapılan flotasyon deneylerinde flotasyon reaktifi olarak sadece köpürtücü olarak MIBC kullanıldığında linyit kömürü yüzdürülemediği görülmüştür.

Saf suda toplayıcı olarak gazyağı ve köpürtücü olarak MIBC kullanılan flotasyon deneylerinde 2000 g/t toplayıcı konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı yaklaşık %11'dir.

Sadece tek (KCl ve NaCl) ve çift (CaCl₂ ve MgCl₂) değerlikli tuzlar varlığında hiçbir flotasyon reaktifi kullanılmadan yapılan flotasyon çalışmalarında ve toplayıcı olarak gazyağının kullanıldığı flotasyon deneylerinde çift değerlikli tuzların tek değerlikli tuzlara göre flotasyonda daha etkili olduğu görülmüştür.

KCl tuzu varlığında 5x10⁻¹ M tuz konsantrasyonuna kadar yüzen ürün alınamamış 1 M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı sadece %2,01 olmuştur. 1M tuz konsantrasyonunda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde artan gazyağı miktarıyla birlikte linyitin artan hidrofobisitesine bağlı olarak yüzen ürün miktarı 200 g/t gazyağı için %3,264 iken 2000 g/t için %7,59'e çıkmıştır.

NaCl tuzu varlığında 10⁻² M tuz konsantrasyonuna kadar yüzen ürün alınamamış 1 M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı sadece %4,7 olmuştur. 1M tuz konsantrasyonunda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde artan gazyağı miktarıyla birlikte linyitin artan hidrofobisitesine bağlı olarak yüzen ürün miktarı 200 g/t gazyağı için %6,63 iken 2000 g/t için %21,71'e çıkmıştır.

MgCl₂ tuzu varlığında 10⁻² M tuz konsantrasyonuna kadar yüzen ürün alınamamış 1 M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı sadece %40,86 olmuştur. 1M tuz konsantrasyonunda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde artan gazyağı miktarıyla birlikte linyitin artan hidrofobisitesine bağlı olarak yüzen ürün miktarı 200 g/t gazyağı için %69,39 iken 2000 g/t için %47,82'e düşmüştür. Artan gazyağına bağlı olarak yüzen ürün miktarındaki düşüş ortamdaki kabarcık sayısının gazyağının ortamdaki kabarcıkları söndürmesinden kaynaklanmaktadır.

CaCl₂ tuzu varlığında 10⁻² M tuz konsantrasyonuna kadar yüzen ürün alınamamış 1 M tuz konsantrasyonunda yüzen ürün miktarı sadece %64,12 olmuştur. 1M tuz konsantrasyonunda gazyağı ile yapılan flotasyon deneylerinde artan gazyağı miktarıyla birlikte linyitin artan hidrofobisitesine bağlı olarak yüzen ürün miktarı 200 g/t gazyağı için %70,62 iken 2000 g/t için %50,38'e düşmüştür. Artan gazyağına bağlı olarak yüzen ürün miktarındaki düşüş ortamdaki kabarcık sayısının gazyağının ortamdaki kabarcıkları söndürmesinden kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akar, A., Cöcen, İ., Malayoğlu, U. (2014). Kırma. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, (2), 35-64.
- Altınbaş, H. (2016). *Çanakkale-Çan Kömür Yatağının Surpac Programı Kullanılarak Ekonomik Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Arabacı, İ. (2019). *Dolaşımli Akışkan Yataklı Termik Santrallerde Kömür Özelliklerinin Santral Verimine Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Atak, S., Tolun, R. (2014). Flotasyon. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, (10), 185-236.
- Ateşok, G. (2014). Kömürün Özellikleri. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, (12), 263-284.
- Atukalp, M.E. (2019). *Türkiye Kömür Madenciliğinde Etkinlik Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Aydın, M. (2009). *Türkiye' de Kömürün Enerji Üretimindeki Rolü* (Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Bournival, G., Zhang, F. Ata, S. (2019). Coal Flotation in Saline Water: Effects of Electrolytes on Interfaces and Industrial Practice. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1-21. Erişim adresi: <https://tandfonline.com>
- Bulut, G., Göktepe, F. (2012). Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (1), 38-56. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr>
- Craig, V. S. J., Ninham, B. W., Pashley R. M. (1993). Effect of electrolytes on bubble coalescence. *Nature*, 364, 317-319. Erişim adresi: <https://nature.com>
- Çağlayan, G.H. (2016). *Kömürden Kükürt Giderimi* (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>

- Demirbaş, A. (2002). Demineralization And Desulfurization Of Coals Via Column Froth Flotation And Different Methods. *Energy Conversion And Management*, 43 (7): 885-895. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Durgut, E. (2018). *Kırşehir Bölgesi Nefelinli Siyentitlerinden Seramik Sektörüne Uygun Hammadde Üretimi* (Yüksek Lisan Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Emboy Kimyevi Maddeler Ticaret Limited Şirketi. *Ürünlerimiz*. Erişim adresi: <https://emboykimya.com.tr>
- Grabiec, A., Mlynarczykowska, A., Tupek, K. (2016). Flotation of Polish Hard Coal in Saline Water. *XVIII International Coal Preparation Congress*, Saint-Petersburg. 1045-1051. Erişim adresi: <https://researchgate.net>
- Gündoğan, A.C., Yaraç, N., Bogatır, O.B. (2018). *Linyit Yanmaz, Yakar*. Erişim adresi: <http://ekoiiq.com/arsiv/liniyit%20raporu%20biten.pdf>
- Hampton, M.A., Nguyen, A.V. (2009). Accumulation Of Dissolved Gases Of Hydrofobic Surfaces In Water And Sodium Chloride Solutions: Implications For Coal Flotation. *Minerals Engineering*, 22 (9-10): 786-792. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Hüyükpınar, T. (2010). *Çeşitli Organik Asit Çözeltileri ve Sub-Kritik Su Kullanılarak Bazı Türk Kömürlerinin Deminerilizasyon ve Desülfürizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Jaiswal, S., Tripathy, S.K., Banerjee, P.K. (2015). An Overview Of Reverse Flotation Process For Coal. *International Journal Of Mining Process*, 134: 97-110.
- Karaoğlan, M.K. (2018). *İnce Boyutlu Tunçbilek Linyit Kömürünün Flotasyonla Zenginleştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Kurşun, H. (2001). Investigation of the Theory of Parameters Affecting Concentration by Flotation Columns. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (25-39).
- Li, C., Somasundaran, P. (1991). Reversal Of Bubble Charge In Multivalent Inorganic Salt Solutions-Effect Of Magnesium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 146 (1), 215-218. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>

- Li, G., Deng, L., Cao, Y., Wang, B., Ran, J., Zhang, H. (2017). Effect Of Sodium Chloride On Fine Coal Flotation And Discussion Based On Froth Stability And Particle Coagulation. *International Journal Of Mineral Processing*, 169: 47-52. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Marrucci, G., Nicodemo, L. (1967). Coalescence of Gas Bubbles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes. *Chemistry Engineering Science*, 22: 1257-1265. Erişim Adresi: <https://sciencedirect.com>
- Nguyan, A.V. (2007). Flotation. *Encyclopedia Of Seperation Science*, 1-27. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Ozdemir, O., Taran, E., Hampton, M.A., Karakashev, S.I., Nyguen, A.V. (2009). Surface Chemistry Aspects Of Coal Flotation In Bore Water. *Processing*, 92 (3-4): 370–371. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Özbayoğlu, G., Kemal, O. (2014). Kömür Zenginleştirme Yöntemleri. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, (13), 285-302.
- Özdemir, O., Çinku, K., Uslu, T., Kılıç, E., Çelik, M.S. (2013). Flotation Behavior of Bituminous and Lignite Coals in Salty Water. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13, 1-14. Erişim adresi: <https://fenbildergi.aku.edu.tr>
- Polat, M., Polat, H., Chander, S. (2003). Physical and Chemical Interactions In Coal Flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 72 (1-4): 199-213. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Samasundaran, P., Wang, D. (2006). Application Of Flotation Agents And Their Structure-Property Relationship. *Developments In Mineral Processing*, 17: 143-201. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Sayın, N. (2019). *Linyit Tesis Atığından Temiz Kömür Kazanımının Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Sobhy, A., Tao, D. (2013). Nanobubble Column Flotation Of Fine Coal Particles And Associated Fundamentals. *International Journal Of Mineral Processing*, 124: 109-116. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>

- Suiçmez, T. (2007). *Kömürün Petrografik Bileşenlerinin Seçimli Olarak Ayrılması* (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Taşdoğan, N. (2019). *Kömürün Aglomerasyon, Flotasyon, Agloflotasyon Yöntemleri ile Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Tümüklü, Ş. (2009). *Garp Linyit Müesseseleri* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr>
- Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü Çan Linyit İşletmesi Müdürlüğü. (2017). *Bilgi ve Belgeler*. Erişim adresi: <https://cli.gov.tr>
- Ünal Mühendislik ve Makine Sanayi. (2020). *Ürünlerimiz*. Erişim Adresi: <https://unalmuhendislik.com>
- Wang, B., Peng, Y. (2014). The Effect Of Saline Water On Mineral Flotation – A Critical Review. *Mineral Engineering*, 66-68: 13-24. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Xia, Y., Xing, Y., Gui, X. (2019). Oily Collector Pre-dispersion For Enhanced Surface Adsorption Durin Fine Low-rank Coal Flotation. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 82, 303-38. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>
- Yoon, R.H., Sabey, J.B. (1982). *Coal Flotation In Inorganic Salt Solutions*. Erişim adresi: <https://www.osti.gov/biblio/7052037-coal-flotation-inorganic-salt-solutions>
- Zhijun, Z., Jiongtion, L., Liqiang, M. (2013). Effects Of Clay And Calcium Ions On Coal Flotation. *International Journal Of Mining Science And Technology*, 23 (5): 689-692. Erişim adresi: <https://sciencedirect.com>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Kamil DİŞ
Doğum Yeri : Rize
Doğum Tarihi : 01.09.1984

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 2007
Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Bölümü, 2020
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: İÇDAŞ A.Ş., 2008-2009
EKŞİ A.Ş., 2009-2012
MK MÜHENDİSLİK, 2014-Devam
Ediyor

İLETİŞİM

E-posta Adresi : mkamildis@yahoo.com