



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK VE ÇİFT DEĞERLİKLİ İYONLARIN MİNERALLERİN
FLOTASYON DAVRANIŞINA KABARCİK BİRLEŞİMİ
AÇISINDAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Elif İŞLEK

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

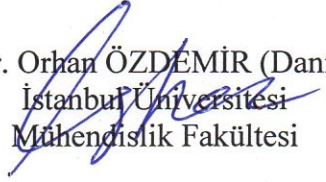
DANIŞMAN
Doç. Dr. Orhan ÖZDEMİR

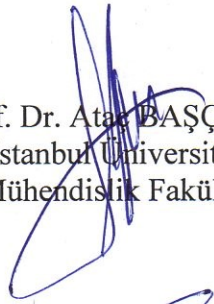
Ocak, 2018

İSTANBUL

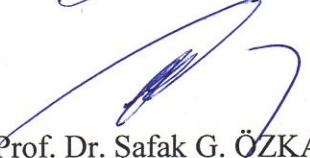
Bu çalışma, 23.01.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliğı Anabilim Dalı,
Maden Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Jürisi


Doç. Dr. Orhan ÖZDEMİR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. İlgin KURŞUN ÜNVER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Mehmet S. ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu destek ve yardımlarından dolayı danışmanım çok değerli hocam Doç. Dr. Orhan ÖZDEMİR'e,

Katkılarından dolayı Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN'e, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı ve Bölüm Başkan Yardımcısı Prof. Dr. İlgin KURŞUN ÜNVER'e, çalışmalarımın en başından sonuna kadar her türlü desteği esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Can GÜNGÖREN'e ve Arş. Gör. Yasin BAKTARHAN'a ve tüm hocalarıma,

Çalışma arkadaşım Kimya Yüksek Mühendisi Khandjamts BATJARGAL'a,

Hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, bilhassa babam Şeref İŞLEK'e ve annem Hatice İŞLEK'e, teşekkür ederim.

Ocak 2018

Elif İŞLEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1.FLOTASYON	3
2.1.1.Flotalyondaki Fazlar	3
2.1.2.Flotalyon Reaktifleri	4
2.1.3.Flotalyon Makineleri.....	6
2.1.4.Flotalyonda Tuz Kullanımı	9
2.2.YÜZEY GERİLİMİ	16
2.3.KABARCIK BİRLEŞMESİ.....	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1.MALZEME	19
3.2.YÖNTEM.....	19
3.2.1.Yüzey Gerilimi	19
3.2.2.Kabarcık Birleşmesi Ölçümleri	22
3.2.3.Dinamik Köpük Stabilitesi	26
4. BULGULAR.....	29
4.1.YÜZEY GERİLİMİ	29
4.1.1.MIBC'nin Su İçerisindeki Yüzey Gerilimi Ölçümleri	29
4.1.2.NaCl Varlığında MIBC ile Yüzey Gerilim Ölçümleri	30
4.1.3.CaCl ₂ Varlığında MIBC ile Yüzey Gerilimi Ölçümleri	33
4.2.KABARCIK BİRLEŞMESİ.....	38
4.3.DİNAMİK KÖPÜK STABİLİTE TESTLERİ.....	41
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	43

KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	50



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Flotasyon mekanizması (Bekçi, 2014).....	3
Şekil 2.2: Üç fazın teması ve yüzey gerilimleri (Düzyol, 2009).....	4
Şekil 2.3: Reaktiflerin katı yüzeyine adsorplanması.....	5
Şekil 2.4: Köpürtücü moleküllerinin kabarcık yüzeyine adsorpsiyonu (Buluç, 2015).	6
Şekil 2.5: Köpük flotasyon cihazının şematik gösterimi (Özdemir, 2014).....	8
Şekil 2.6: Farklı flotasyon hücrelerinde kabarcık oluşturma mekanizması (Bekçi, 2014).	9
Şekil 2.7: Bazı elektrolitlerin tuz geçiş konsantrasyonu (Craig ve diğ., 1993).....	12
Şekil 2.8: Tuz çözeltileri içerisinde taş kömürü flotasyonu (a) NaCl (b) KCl (c) CaCl ₂ (d) MgCl ₂ (Özdemir, 2013).	14
Şekil 2.9: NaCl konsantrasyonuna bağlı tuz çözeltisi içerisinde taşkömürü flotasyonundan resimler (a) 1·10 ⁻² M, (b) 1·10 ⁻¹ M, (c) 1 M NaCl (Özdemir, 2013).....	15
Şekil 2.10: Farklı tuz konsantrasyonlarına bağlı kömür flotasyonu (Özdemir, 2013).....	15
Şekil 2.11: Moleküller arası çekim kuvveti (Merhametli, 2013).	16
Şekil 2.12: Kabarcık birleşmesi (Bournival ve diğ., 2012).	18
Şekil 3.1: KSV Attension Theta Lite (Attension, 2017).	20
Şekil 3.2: Yüzey gerilimi deney düzeneği.	21
Şekil 3.3: Asılı damlanın ya da tutulu kabarcığın görüntüsü.	21
Şekil 3.4: Yüzey gerilimi ölçüm deney seti.	22
Şekil 3.5: BCT-100 kabarcık-tane yapışma cihazı.....	23
Şekil 3.6: BCT-100 cihazının çalışma düzeneği.	24
Şekil 3.7: Kabarcık-kabarcık birleşmesi (Bournival ve diğ., 2012).....	24
Şekil 3.8: Kabarcık birleşmesi deney düzeneği.	25
Şekil 3.9: Kabarcık birleşmesi ölçüm deney seti.	25

Şekil 3.10: Kabarcık birleşmesi ölçümleri analizi.	26
Şekil 3.11: Dinamik köpük stabilite deney düzeneği.....	27
Şekil 3.12: Dinamik köpük stabilite deney düzeneğinin şematize hali.....	28
Şekil 4.1: MIBC'nin konsantrasyona bağlı olarak yüzey gerilimi değerleri.	30
Şekil 4.2: Farklı MIBC konsantrasyonlarında elde edilen damlaların şekilleri.	30
Şekil 4.3: Farklı MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilimi değişimi.	32
Şekil 4.4: MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilim değişimi.	32
Şekil 4.5: Farklı MIBC ve CaCl ₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.	34
Şekil 4.6: Sabit MIBC ve değişen CaCl ₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.	34
Şekil 4.7: MIBC ve 1·10 ⁻³ M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.	36
Şekil 4.8: MIBC ve 1·10 ⁻² M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.	36
Şekil 4.9: MIBC ve 1·10 ⁻¹ M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.	37
Şekil 4.10: MIBC ve 1 M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.	37
Şekil 4.11: 1 ppm MIBC varlığında kabarcık birleşme süresi tayini.....	38
Şekil 4.12: MIBC varlığında kabarcık birleşme profili.	39
Şekil 4.13: MIBC'nin elektrolit varlığında kabarcık birleşme profili.....	39
Şekil 4.14: Kabarcık birleşme deneylerinden görüntüler.....	40
Şekil 4.15: NaCl ve CaCl ₂ 'nin 100 ms'deki kabarcık birleşme oranlarındaki değişim.....	41
Şekil 4.16: NaCl'nün konsantrasyonuna bağlı olarak DKS taş kömürü sonuçları.	42
Şekil 4.17: Farklı çözeltiler içerisinde DKS taş kömürü sonuçları.	42

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Tuzların geçiş konsantrasyonları.....	12
Tablo 4.1: MIBC'nin saf sudaki yüzey gerilim değerleri.....	29
Tablo 4.2: Sabit MIBC ve değişen NaCl değerlerinde yüzey gerilim değerleri.....	31
Tablo 4.3: Farklı MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilimi değerleri.	31
Tablo 4.4: Farklı MIBC ve CaCl ₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.	33
Tablo 4.5: Sabit MIBC ve değişen CaCl ₂ değerlerinde yüzey gerilimi değerleri.....	33
Tablo 4.6: MIBC'nin NaCl ve CaCl ₂ 'ün farklı konsantrasyonlarında yüzey gerilimi değerlerinin karşılaştırılması.	35
Tablo 4.7: Farklı konsantrasyonlardaki NaCl ve CaCl ₂ varlığında kabarcık birleşme sonuçları.	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: Kesit alanı, cm^2
Ca	: Kalsiyum
cm	: Santimetre
Cos	: Cosinüs
Fe	: Demir
g	: Gram
h_{\max}	: Maksimum köpük yüksekliği, cm
K	: Potasyum
M	: Molar
m	: Metre
Mg	: Magnezyum
mL	: Mililitre
mN	: Milinewton
Na	: Sodyum
Q	: Hava miktarı, cm^3/dak
R_1, R_2	: Hava-su ara yüzeyinin yarıçapları
V_f	: Köpük hacmi, cm^3
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
ΔP	: Arayüzeylerdeki basınç farkı
γ	: Yüzey gerilimi, dyn/cm
μm	: Mikrometre
θ	: Temas açısı, $^{\circ}$

Kısaltmalar	Açıklama
AFM	: Atomik kuvvet mikroskopisi
CaCl_2	: Kalsiyum klorür
CCC	: Kritik birleşme konsantrasyonu (critical coalescence concentration)
CCD	: Çift geçirgenli aygıt (charged coupled device)
Cgs	: Santimetre, gram, saniye birim sistemi

DKS	: Dinamik köpük stabilitesi
dk	: Dakika
KCl	: Potasyum klorür
MgCl₂	: Magnezyum klorür
MIBC	: Metil İzobutil Karbinol
ms	: Milisaniye
NaCl	: Sodyum klorür
pH	: Asitlik bazlık derecesi
ppm	: Milyonda bir birim
SI	: Uluslararası birimler sistemi
sn	: Saniye
Syn	: Sıfır yük noktası

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK VE ÇİFT DEĞERLİKLİ İYONLARIN MİNERALLERİN FLOTASYON DAVRANIŞINA KABARCİK BİRLEŞİMİ AÇISINDAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Elif İŞLEK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Orhan ÖZDEMİR

Cevher zenginleştirmenin en önemli yöntemlerinden biri olan flotasyon, yüzeyleri doğal olarak hidrofobik olan ya da kullanılan reaktiflerle hidrofobik hale getirilen minerallerin, sistemde oluşturulan hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye çıkması ve konsantre olarak alınmasıdır. Oluşturulan hava kabarcıkları hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvveti zayıftır ve birleşerek daha büyük bir kabarcık oluşturma eğilimindedir. Bu durum flotasyon açısından, çeşitli sorunlar oluşturabilir. Bunun önüne köpürtücü adı verilen ve hava/su arayüzey gerilimini düşüren reaktiflerin kullanılması ile geçilir. Ortamdaki iyonlar da benzer şekilde hava/su arayüzey gerilimini düşürür. Kabarcık boyutunun ve köpüğün stabil kalması flotasyon veriminde önemli rol oynar.

Dünyada taze su kaynaklarının azalması ile birlikte, flotasyon tesisleri su ihtiyaçlarını kuyu suyu, deniz suyu ya da tesis suyu gibi kaynaklardan karşılamak zorunda kalmaktadırlar. Bu kaynaklar genellikle flotasyon işlemini verimini etkileyebilecek yüksek konsantrasyonlu inorganik elektrolitler içermektedirler.

Bu doğrultuda bu tezin amacı, flotasyonda kullanılan suyun içerisindeki çözülmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeylere etkisi ve özellikle yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri nasıl değiştirdiğini ortaya koymaktır.

Bu çalışma kapsamında, çözülmüş iyonlar varlığında kabarcık-tane ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için, elektrolit olarak sodyum klorür (NaCl) ve kalsiyum klorür (CaCl₂) tuzları ve köpürtücü olarak da Metil İzobutil Karbinol (MIBC) kullanılarak tesis suyu taklit edilmeye

alışılmış, yzey gerilimi, kabarcık birleşmesi ve dinamik köpük stabilitesi deneyleri ile araştırılmıştır.

Kabarcıkların tuzlar ve yzey aktif madde varlığında stabilize olma mekanizması özel bir deneysel dizayn kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar yzey gerilim ölümleri, kabarcık stabilitesi, dinamik köpük stabilitesi (DKS) ve deney sonuçları ile yorumlanarak flotasyon verimi üzerine muhtemel etkileri tartışılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar ile bu iyonlarının flotasyon sonuçları üzerinde iyon spesifik etkisini ortaya konacak, ayrıca birçok sistemin tuzlu sular içerisinde flotasyon davranışlarını anlamamıza da yardımcı olacaktır. Ayrıca, Türkiye’de ki cevher ve kömür hazırlama endstirisinde flotasyon teknolojisinin gelişmesinde temel bir altyapı oluşturacaktır.

Ocak 2018, 65 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tuz, MIBC, Yzey Gerilimi, Kabarcık Birleşmesi, Dinamik Köpük Stabilitesi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF EFFECT OF MONOVALENT AND DIVALENT IONS ON FLOTATION BEHAVIOUR OF MINERALS IN TERMS OF BUBBLE COALESCENCE

Elif İŞLEK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Mining Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Orhan ÖZDEMİR

Flotation, one of the most important mineral processing methods, is based on recovering of naturally hydrophobic minerals or hydrophobized minerals with chemicals via attaching these minerals to bubbles produced in a system, and collecting them as a product. Since produced bubbles are hydrophobic, repulsion forces between bubbles are weak, and they tend to become bigger size bubble due coalescence. This can cause several problems for flotation process. This can be eliminated with use of frothers which reduce the gas/liquid interface tension. Likewise, ions in water also reduce the surface tension. Stability of bubble size and froth plays an important role in flotation recovery.

Flotation plants sometimes use bore water, seawater or plant recycled water due to scarcity of fresh water sources in the World. These sources may generally contain high concentration ions, which can impact the flotation recovery of minerals.

In this context, the aim of this thesis is to investigate the effect of dissolved ions in plant water used for flotation process on solutions and interfaces, and to reveal, particularly, how high concentrated ions change the colloidal interactions between bubbles and particles.

In the scope of this study, in order to understand bubble-particle interaction in the presence of dissolved ions, sodium chloride and calcium chloride salts as electrolytes and Methyl Isobutil Carbinol (MIBC) as a frother were used to imitate the plant water, and surface tension

experiments, bubble coalescence measurements and dynamic froth stability tests were carried out.

Mechanism for stabilization of bubbles in the presence of electrolytes and surface active agent was investigated using a special experimental design. The results were discussed with surface tension experiments, bubble stability, and dynamic froth stability (DFS) and their possible effects on flotation recovery.

The results obtained from this study will reveal the ion specific effect of the dissolved ions on flotation, and help to understand the flotation behaviors of many minerals in salt solutions. Moreover, these will constitute an important basis to improve the flotation technology for mineral and coal processing industries in Turkey.

January 2018, 65 pages.

Keywords: Salt, MIBC, Surface Tension, Bubble Coalescence, Dynamic Froth Stability.

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınmasında büyük rolü olan madenler, bir ya da daha fazla mineralin bir arada bulunmasıyla meydana gelen cevherlerden oluşmaktadır. Ekonomik değer taşıyan minerallerin ekonomik olmayanlardan ayrılmaları ve tüketime faydalı hale getirilmeleri cevher hazırlama işlemleri sonucu olmaktadır.

Bunun sonucu olarak gelişen cevher hazırlama endüstrisinde bugün birçok farklı yöntem kullanılarak, cevherler zenginleştirilmekte ve ekonomik değerleri artırılmaktadır. Cevher hazırlamada kullanılan yöntemler, cevheri oluşturan minerallerin yapısal özellikleri, yöntemin ekonomikliğı gibi birçok etkene bağlıdır.

En önemli cevher zenginleştirme yöntemlerinde biri de flotasyondur. Serbestleşme tane boyutuna getirilen cevherler yüzeylerinin ıslanabilirlik özelliklerine göre su içerisinde hava kabarcıkları varlığında birbirlerinden ayrılırlar. Yüzeyleri doğal olarak hidrofobik olan ya da kullanılan reaktiflerle hidrofobik hale getirilen mineraller, sistemde oluşturulan hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye çıkar ve konsantre olarak alınmaktadır. Hidrofilik olan mineraller ise artık olarak pülp içerisinde kalırlar.

Minerallerin flotasyonu, inorganik tuzların kullanılmasıyla arttığı bilinmektedir. Flotasyonda, yüksek konsantrasyonda çözülmüş iyonların, solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, kabarcıklarla taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmektedir. Bu konudaki çalışmalar özellikle tuzlu sular ya da deniz suyu içerisinde kömür flotasyonu üzerine yoğunlaşmakta ve flotasyon mekanizmasını ortaya koymak üzere yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu geliştirilen teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini engelleyerek, kabarcık boyutunu düşürdüğü ve sayısını arttırdığı üzerine olmaktadır. Bu durumun kabarcık-tane yapışma olasılığını arttırmakla birlikte, köpük stabilitesini ve böylece flotasyon verimini de arttırdığı belirtilmektedir. Flotasyonda tuz kullanılmasının birçok avantajı var olmakta ve daha az kimyasal kullanıldığı için maliyetler düşmektedir. Su kaynaklarının giderek azaldığı ve flotasyondaki su tüketiminin fazla olması göz önüne alındığında, tuzların kullanımı, suyun geri dönüşümüne olanak sağladığından çok büyük bir önem arz etmektedir (Özdemir, 2013).

Bu tez kapsamında, flotasyondaki tane-kabarcık ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için, elektrolit olarak NaCl ve CaCl₂ tuzları ve köpürtücü olarak MIBC kullanılarak tesis suyu taklit edilmeye çalışılmış ve çözünmüş iyonların flotasyonda kabarcık birleşimi açısından etkisi yüzey gerilimi, kabarcık birleşmesi ve dinamik köpük stabilitesi deneyleri ile araştırılmıştır.

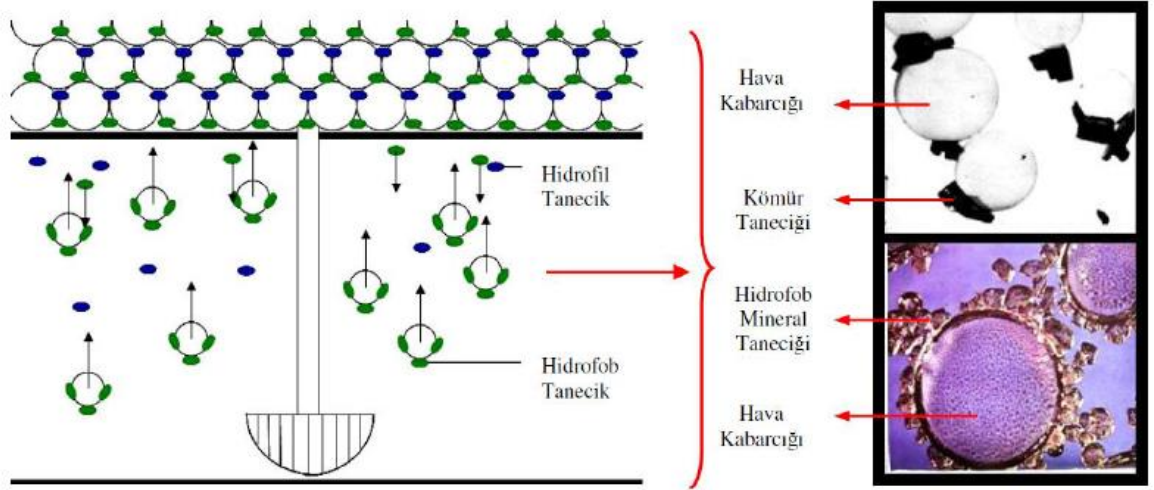


2. GENEL KISIMLAR

2.1.FLOTASYON

Flotasyon kelime anlamıyla ‘yüzdürme’ demektir. Bu zenginleştirme yöntemi, çok ince tane boyutunda, ayrılabilir olan minerallere uygulanmaktadır (Kaytaç, 1990).

Kurşun, çinko ve bakır gibi metallerin sülfürlü bileşikleri üzerinde ilk uygulamaları yapılan flotasyon, hidrofobik (su-sevmeyen) tanelerin, hidrofilik (su-seven) tanelerden hava kabarcıkları yardımıyla ayrılması prensibine dayanmaktadır (Ersoy, 2014). Şekil 2.1’de flotasyon mekanizması ve kabarcık-tanecik bağlarının oluşumu verilmiştir.



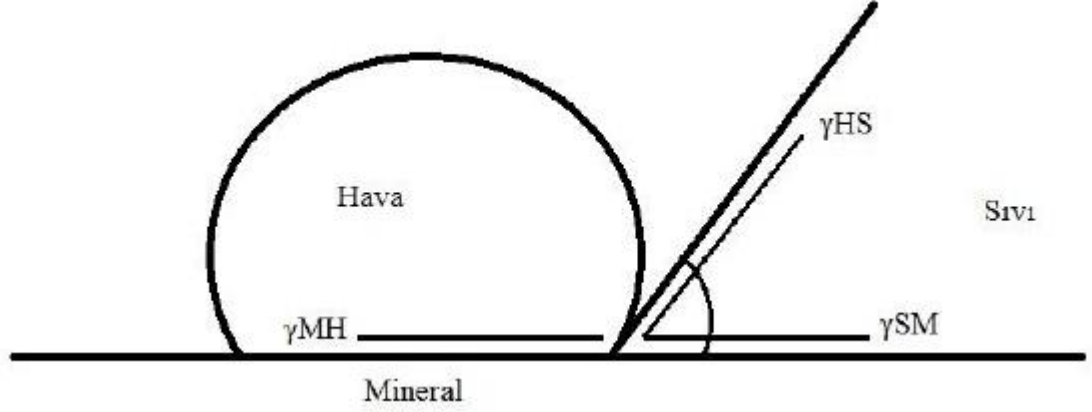
Şekil 2.1: Flotasyon mekanizması (Bekçi, 2014).

2.1.1.Flotasyondaki Fazlar

Flotasyonda katıların sıvı ortamda, gaz kabarcıklarına yapışarak birbirinden ayrılmasını sağlayan üç faz bir arada bulunur.

- Gaz fazı; tanelerin köpüğe yapışarak yüzmelerini sağladığından flotasyonda önem arz etmektedir. Genellikle gaz fazı olarak hava kullanılmaktadır,
- Sıvı fazı; flotasyonda genellikle seyreltik bir su çözeltisidir,
- Katı fazı; bu fazın flotasyondaki etkisi, katının yapısından çok yüzey özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Kaytaç, 1990).

Tanecik hava kabarcığına yapıştığına bir kısmı hava ile geri kalan kısmı da su ile temas halindedir, böylece su-hava, mineral-hava, mineral-su ara yüzeylerinin birbirini kesen bir hat meydana gelir. Üç fazla sınırı olan bu hat üzerinde bu üç ara yüzeyin yüzey gerilimleri hem kendi aralarında hem de yerin çekim kuvveti ve suyun basıncı gibi diğer kuvvetlerle denge halinde olmaktadır. Bu durum Şekil 2.2’de verilmektedir.



Şekil 2.2: Üç fazın teması ve yüzey gerilimleri (Düzyol, 2009).

Üç faz dengede iken;

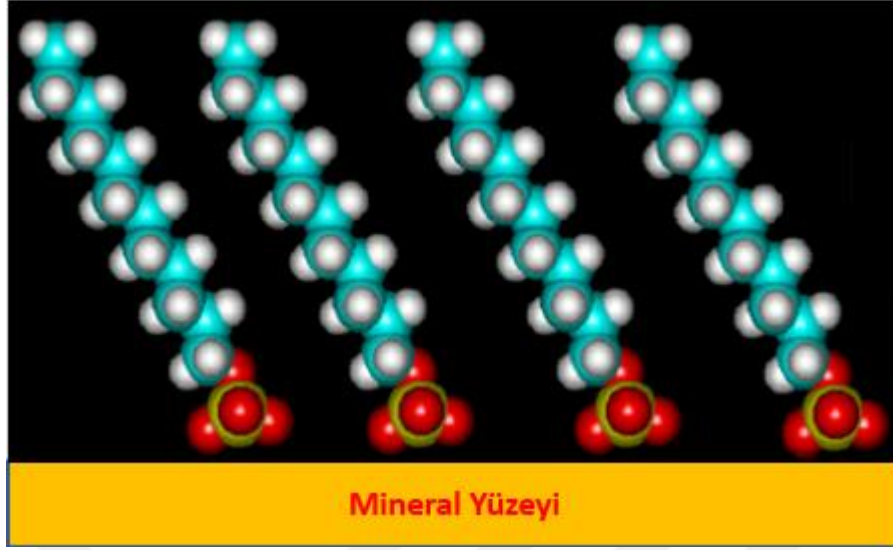
$$\gamma_{\text{Mineral-Hava}} = \gamma_{\text{Mineral-Su}} + \gamma_{\text{Su-Hava}} \cos\theta \quad (2.1)$$

$$\cos\theta = (\gamma_{\text{Mineral-Hava}} - \gamma_{\text{Mineral-Su}}) / \gamma_{\text{Su-Hava}} \quad (2.2)$$

Böylece Young eşitliği (2.2) elde edilmektedir. Young eşitliğindeki açığa temas açısı adı verilmekte ve temas açısı sıfır olduğunda $\gamma_{\text{Su-Hava}} < \gamma_{\text{Mineral-Hava}} - \gamma_{\text{Mineral-Su}}$ olmaktadır. Böylece su mineral yüzeyini tamamen ıslatır ve de mineralin yüzmesi gerçekleşmemektedir. Buna bağlı olarak; temas açısı ne kadar büyükse, göreceli olarak mineralin hidrofobik özelliği o kadar fazla olmakta ve mineralin flotasyon yeteneği o derece güçlü olması beklenmektedir (Bekçi, 2015).

2.1.2. Flotasyon Reaktifleri

Kollektör reaktifler (toplayıcılar); ıslanan (hidrofil) minerallerin yüzeylerine fiziksel ya da kimyasal yolla adsorbe olarak yüzeyi hidrofob hale getiren kimyasallardır (Önal ve diğ., 2014, Birinci, 2011). Şekil 2.3’te bir mineral yüzeyine adsorbe olan kollektör reaktifleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Reaktiflerin katı yüzeyine adsorplanması.

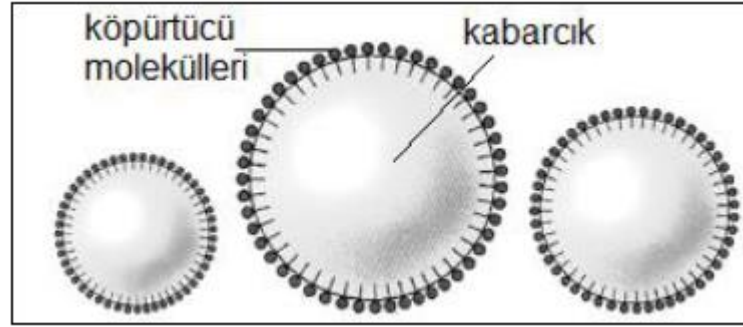
Flotasyon pülpünün pH'sını ayarlayan, (pH ayarlayıcı) yüzmesi istenmeyen minerallerin kollektörlerle kaplanmasını engelleyen (bastırıcı), yüzmesi istenen mineral yüzeyine kollektör adsorpsiyonunu kolaylaştıran (canlandırıcı), şlam kaplanmasını önleyen (dağıtıcı) reaktifler kullanılmaktadır. Bu reaktiflere genel bir isim olarak kontrol reaktifleri adı verilmektedir (Önal ve diğ., 2014, Birinci, 2011).

Mineral tanelerinin hava kabarcıklarına yapışabilmesinin yolu mineral yüzeyindeki suyun uzaklaştırılmasıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, mineral yüzeyinin suyu sevmeyen, diğer bir ifadeyle hidrofobik olması gereklidir. Yüze çıkkan hava kabarcıklarının mineral tanelerini taşımaya devam edebilmesi için gerekli olan kararlı bir köpük oluşturmaktır. Eğer bu durum sağlanamazsa hava kabarcıkları patlar ve taneler hava kabarcıklarından koparlar. Bu koşulları sağlayabilmek için yeterli miktarda köpürtücü reaktif kullanılması gerekmektedir (Özdemir, 2014).

Köpürtücü reaktifler; köpüğün direncini arttıran kimyasallardır ve minerallerin bazılarının hava kabarcığına yapışması için gerekli yüzey özelliğinin kazandırılması ve flotasyon makinesinde köpük oluşturulmasında kullanılırlar. Çünkü tanelerin köpükte taşınabilmesi ve hava kabarcıklarının patlayarak, mineralleri bırakmaması gereklidir (Önal ve diğ., 2014).

Bir polar grup ve hidrokarbon zincirden oluşan, su-hava ara yüzeyine adsorbe yeteneğine sahip köpürtücüler, heteropolar kimyasallardır. Köpürtücüleri içeren polar grup; OH, COOH, CO, OSO₂ veya SO₂OH olabilmekte ve bu grup su fazı içine yönelmektedir. Hidrokarbon zinciri,

hava fazına yönelerek su-hava ara yüzeyine adsorpsiyonu sağlamaktadır. Böylece köpürtücü molekülleri hava-su ara yüzeyine adsorplanarak kabarcıkların yüzeyini kaplarlar, kabarcıkların birbirlerine çarparak birleşmelerini engeller ve stabil bir köpük zonu oluşmasını sağlamaktadırlar. Bunlara ek olarak yüzey gerilimini düşüren köpürtücüler, su yüzeyine çıkan kabarcıkların yüzeye çarparak parçalanmalarını ve böylece üzerlerine yapışmış olan hidrofob taneleri de bırakmalarını engellerler (Buluç, 2015).



Şekil 2.4: Köpürtücü moleküllerinin kabarcık yüzeyine adsorpsiyonu (Buluç, 2015).

Köpürtücülerin, az miktar konsantrasyonda köpük oluşturabilecek şekilde yüzey-aktif olmalı, sabun ve diğer organik kolloidler tarafından adsorplanmamalı ve solüsyonda bulunan diğer çözünenlerden etkilenmemelidir. Ayrıca bol, uzun ömürlü, kolay kolay patlamayan fakat çok dayanıklı olmayan köpük oluşturmalı ve stoklanmaya karşı dayanıklı olmalı, farklı sıcaklıklarda sıvı durumunu korumalıdır (Önal ve diğ., 2014).

2.1.3. Flotasyon Makineleri

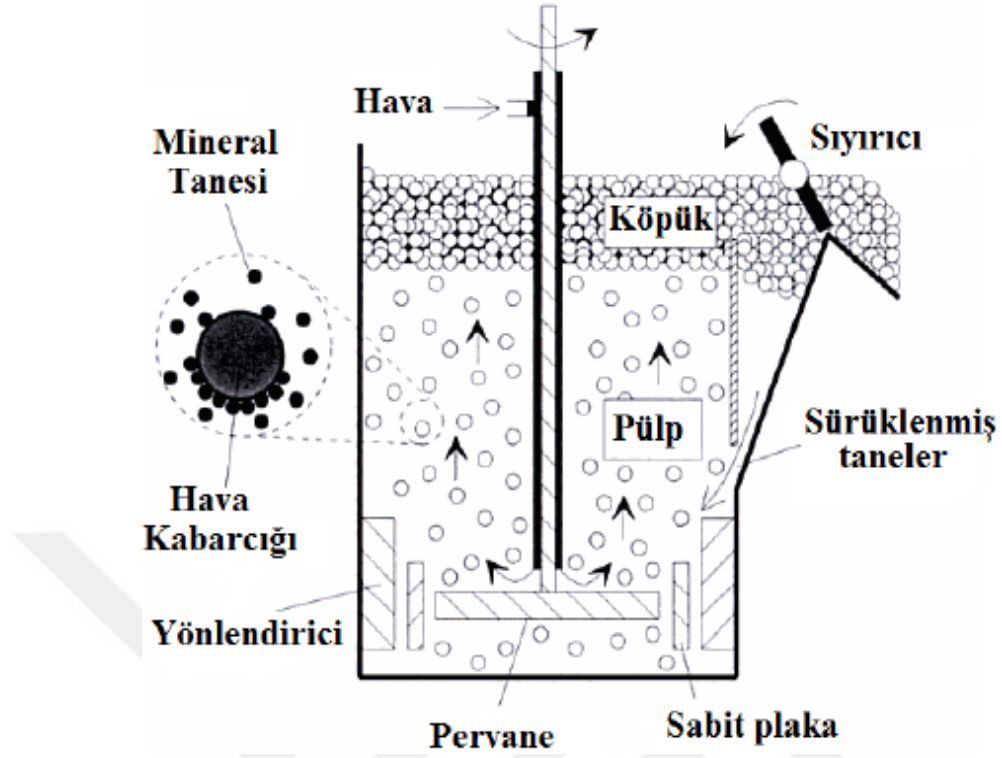
Flotasyon işleminin gerçekleştirildiği cihazlara flotasyon makineleri veya flotasyon hücreleri denir. Bu makinelerinin bir flotasyonda gerçekleştirilmesi beklenen fonksiyonları aşağıda özetlenmiştir (Hacıfazlıoğlu, 2009):

- Mineral tanelerinin flotasyon sırasında askıda tutulması,
- Hava kabarcıkları elde etmek üzere pülpe hava verilmesi ya da başka bir yolla hava kabarcığı üretilmesi,
- Taneciklerinin hava kabarcıkları ile temasının sağlanması,
- Kararlı köpük oluşumu ve köpüğün taşınmasının sağlanması,

- Flotasyon sonucu konsantre ve artığın makineden alımı ve de aynı zamanda beslemenin yapılabilmesi için gerekli donanımların oluşturulması,
- Pülp seviyesi, köpük tabakası kalınlığı, reaktif miktarı gibi parametrelerin kontrolünün sağlanması için gerekli mekanizmaların mevcut olması.

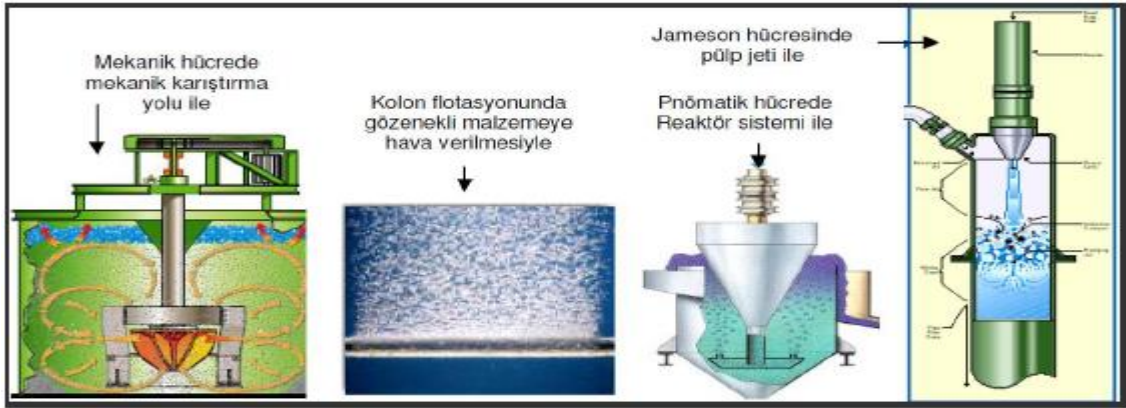
Flotasyonun gerçekleştirildiği ilk makineler olan mekanik hücreler, cevher zenginleştirmede 1920'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Fakat, uygulama tane boyutunun küçülmesiyle makinelerden yüksek verimli ve yüksek tenörlü konsantreler üretmek neredeyse imkansız olmaktadır. Son 40 yıl içerisinde değişik prensiplerle çalışan 100'ün üzerinde flotasyon hücresi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu flotasyon hücrelerinin, çok sayıda ve çok ince boyutta kabarcık üretebilme gibi bir ortak özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, bu makinelerde gerçekleştirilen flotasyona çoğu zaman mikro kabarcık flotasyonu denilmektedir. Bu cihazların diğer ortak özellikleri ise yüksek köpük derinliklerine ve yıkama suyu sistemlerine sahip olmalarıdır. Böylece köpükle yükselen ince gang taneleri geri düşmekte ve konsantrenin kalitesini arttırmaktadırlar (Hacıfazlıoğlu, 2007).

İlk kez Denver Equipment Company tarafından üretilen D-12 Laboratuvar tipi flotasyon makinesi deneysel çalışmalar için kullanılan bir cihazdır (Şekil 2.5). Bu cihaz, tank içerisinde sürekli bir karışma ve katı/sıvı süspansiyonu meydana gelecek şekilde, flotasyon ortamını bir karıştırıcı yardımıyla karıştırır. Bunların dışında kolon flotasyonu gibi endüstriyel cihazlar yanında Hallimond tüpü flotasyonu, elektroflotasyon iyon flotasyonu gibi test amaçlı farklı cihazlar da kullanılmaktadır.



Şekil 2.5: Köpük flotasyon cihazının şematik gösterimi (Özdemir, 2014).

Farklı flotasyon makinelerinde kabarcıklar değişik şekillerde oluşturulabilmektedir. Örneğin, klasik flotasyon hücrelerinde (Denver ve Wedag gibi) kabarcıklar mekanik karıştırma yöntemiyle, Jameson hücresinde de suyun jet hareketiyle gerçekleştirilir. Kolon flotasyonunda ise gözenekli malzemeye ya da sparger denen özel hava üreteçlerine kompresörden hava verilerek kabarcık oluşumu sağlanmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Farklı flotasyon hücrelerinde kabarcık oluşturma mekanizması (Bekçi, 2014).

Elektrik akımıyla (elektroflotasyon) ya da havanın bir ortamda çözündürülerek başka bir ortamda serbest bırakılması ile (çözünmüş hava flotasyonu) kabarcık oluşturulabilmektedir. Flotasyonda tanecik-kabarcık çarpışmasının olması için klasik hücrelerde karıştırma işlemi kullanılır. Fakat, bu hücrelerde çok ince tanelerin kabarcıklarla çarpışma olasılığı düşük olduğu için verim de düşük olmaktadır. Böyle bir durumda klasik hücrede karıştırma hızı arttırılır. Jameson hücresinde de su jetinin etkisiyle yoğun karışma sağlamaktadır. Bu nedenle çok ince tanelerin flotasyonu için uygun olduğu söylenebilir. Kolon flotasyonunda da taneler yukarıdan aşağıya doğru inerken, aşağıdan yukarıya doğru yükselen hava kabarcıkları ile çarpışarak tanecik-kabarcık bağları oluşturmaktadırlar (Bekçi, 2015).

2.1.4. Flotasyonda Tuz Kullanımı

Çözünmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, bilhassa yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir (Özdemir ve diğ., 2009).

Çözünen tuzların flotasyonunda doymuş çözeltiler kullanılır. Bu flotasyonun farkı, çözeltinin iyon derişiminin çok yüksek değerde olmasıdır. Böylece elektriksel çift tabaka kalınlığı bir iyon kalınlığına, yüzey elektrik yükü ya da zeta potansiyeli sıfıra inmektedir. Çözünen tuzların flotasyonunda önemli olan toplayıcı iyonunun, hidrokarbon zinciri uzunluğu, molekül çapı, yüzeydeki kimyasal tepkimeler ve yüzey çökeltmeleri olmaktadır (Özer, 2007).

Potasyum, bor ya da trona gibi çözünebilir minerallerin flotasyonu bu konuda verilebilecek önemli bir örnek olmaktadır. Bu mineraller suda çözündüklerinden dolayı flotasyonları halit

(NaCl) ve silvin (KCl) örneklerinde olduğu gibi yüksek doygun çözeltilerde (5M) olabilmektedir (Ersoy, 2014).

Bugün dünyadaki birçok flotasyon tesisinde tuz konsantrasyonu yüksek su kullanılmaktadır. Örneğin Keith dağında (Avustralya) nikel flotasyon tesisi, tuz konsantrasyonu 60,000 ppm olan kuyu suyu kullanmaktadır (Bekçi, 2015).

Demir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda (2001) ise Na^+ ve K^+ gibi monovalent iyonların Na-feldspat K-feldspat ayırımında önemli oldukları ortaya konulmaktadır. Guimaraes ve Peres (1999) yaptıkları çalışmalarında, Ca^{+2} , Mg^{+2} ve F^- gibi çözülmüş iyonların barit ve apatitin flotasyonunu etkilediklerini göstermektedirler. Pek çok teorinin üretildiği bu konuda, en önemlisi ise kristal yüzeylerinde olan hidrasyon olayıdır. Yapılan çalışmaların sonucu, çözülmüş iyonların suyun yapısını bozucu veya yapıcı özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu etki kimya ve biyoloji de Hofmeister etkisi olarak da tanımlanır (Ersoy, 2014).

Yıllardır büyük ilgi çeken tuzlu suyun kömür flotasyonunda kullanılması, suyun tekrar kullanılmasına olanak sağladığı ve tuz iyonlarının kömür flotasyonunu arttırdığı için önem arz etmektedir. Majer ve arkadaşları tarafından (1934) yapılan çalışmada kömürün yüzebilirliğinin tuz konsantrasyonlarında ve flotasyon kimyasalı kullanımı gerektirmeksizin artırılabilirliğini keşfetmektedirler. Klassen ve Plaksin'in (1954) hipotezlerine göre tuz iyonları kömürü çevreleyen su tabakalarının stabilizasyonunu bozar ve bu nedenle kömürün yüzey hidrasyonu azalır. Destabilizasyon kömürü daha hidrofobik yapar ve kabarcık-tane etkileşimini artırır. Charlamow (1957) yaptığı çalışmada tuz flotasyonunun sadece doğal hidrofobik minerallerle mümkün olduğunu gözlemlemektedir. Klassen ve Kovatchev (1959) çalışmalarında taneciklerin zeta potansiyellerinin azalmasıyla tuz flotasyonu arttığını belirtmektedirler (Ratajczak ve Drzymala., 2003).

Literatürde ilk defa Klassen ve Mokrousov (1963) doğal hidrofob taneciklerin tuzlu su içerisinde flotasyonunun arttığını belirtmiştir. İnorganik elektrolitlerin kömür yüzeyindeki suyu attığı ve böylece kömürün ıslanmasını azalttığını öne sürmüşlerdir. Buna göre kömür daha fazla hidrofob olur ve böylece kabarcık tane yapışmasını da artırır. Fakat, bu teoride doğal hidrofilik tanelerin tuzlu suda neden yüzemediklerini açıklayamaz. Laskowski, (1962, 1963) yılındaki yaptığı çalışmalarında tuz flotasyonunun elektrokimyasal bir olay olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmasında Laskowski, iyonların kabarcık ve mineral arasındaki elektriksel çift tabakayı

sıkıştırdığını, böylece kabarcığın ve mineralin zeta potansiyelini düşürdüğünü belirtmektedir. Laskowski ve Mielecki (1964) çalışmalarında, tuzların flotasyonunun mükemmel kinetiği olduğunu göstermişlerdir. Laskowski'nin Iskra ile (1970) yaptığı çalışmada ise tuz konsantrasyonunun artmasıyla temas açısının değişmediğini belirtmektedirler (Bekçi, 2015).

Marrucci ve Nicodemo (1967) yaptıkları çalışmada tuz konsantrasyonu arttıkça kabarcığın boyutunun küçüldüğünü göstermektedirler. Kabarcığın boyutunu etkileyenlerin iyonun valans değeri ve yüzey gerilimi olarak belirtmektedirler (Özdemir, 2013).

Belirtildiği gibi, tuzların flotasyonda kullanılmasıyla birlikte bilhassa kömür flotasyonu üzerine yoğunlaşmış bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar aynı zamanda birçok teoriyi de beraberinde getirmiştir.

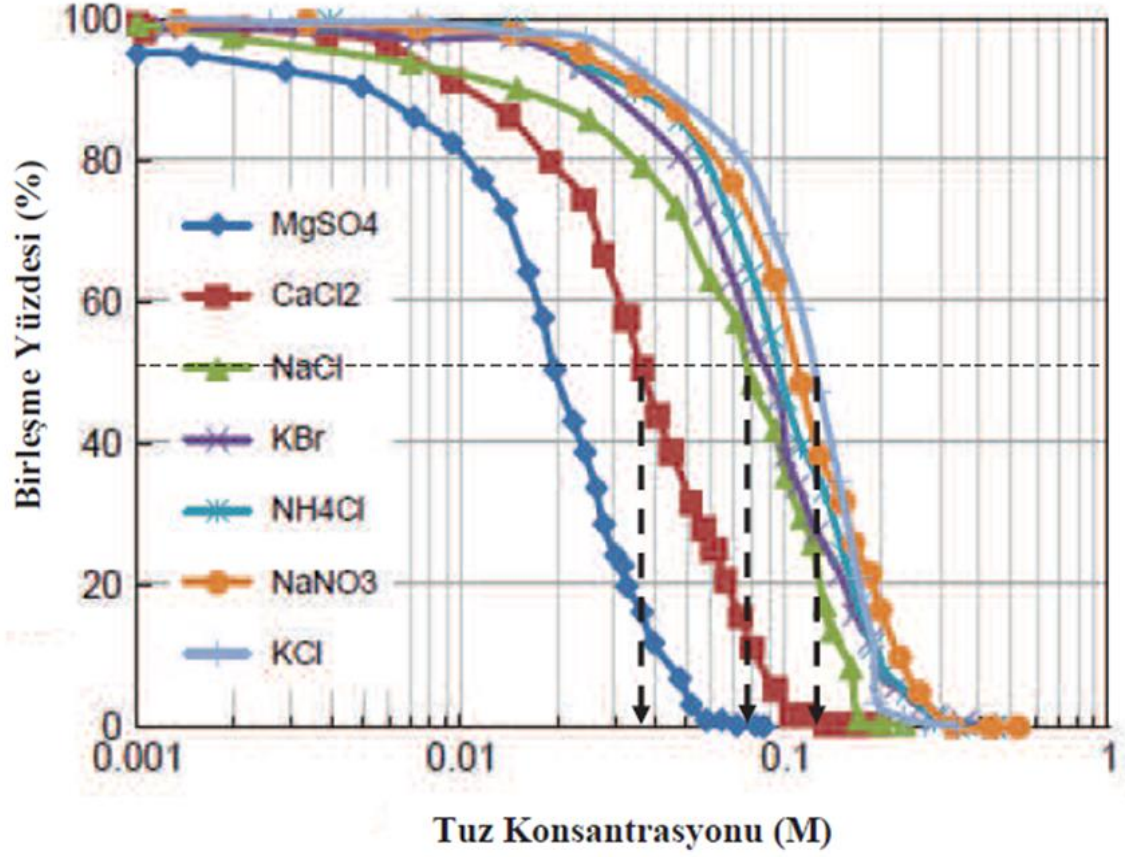
Çalışmalar kapsamında geliştirilen teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediğini ve böylece de kabarcık boyutunu düşürdüğü ve sayısını artırdığını belirtmektedir. Bunun da kabarcık-tane yapışma olasılığını artırdığı, köpük stabilitesi ve dolayısıyla flotasyon verimini artırdığını söylenmektedir (Yoon, 1982; Paulson ve Pugh, 1996).

Yapılan diğer çalışmalarda ise flotasyon veriminin maksimum değerlerine sıfır yük noktasının (syn) üzerinde ve altında erişildiğini göstermiştir (Ersoy, 2014).

Li ve Somasundaran (1991) çalışmalarında, taşkömürünün NaCl çözeltisindeki flotasyonunu incelemişlerdir. Flotasyon verimi, düşük tuz konsantrasyonlarında (0,1 M altı), tuz konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır ve yüksek tuz konsantrasyonlarında ise (0,1 M üzeri) tuz konsantrasyonu arttıkça flotasyon verimi de artmaktadır. Buna göre, düşük tuz konsantrasyonlarında flotasyon kömürün hidrofobitesinin etkisinde iken, yüksek tuz konsantrasyonlarında ise elektrostatik etkileşimlerin etkisi altında olmaktadır. Tuz çözeltisindeki kabarcık birleşmesinin azalması Craig ve arkadaşları tarafından (1993) incelenmekte ve çalışmalarının sonucunda elektrolitlerin değerlikleriyle geçiş konsantrasyonu arasında kabarcık birleşmesinin %50 'sinin azaltıldığı noktada belirgin bağlantı var olduğu göstermektedirler (Bekçi, 2015).

Kabarcık birleşmesinin %50 olduğu konsantrasyon, geçiş konsantrasyonu olarak adlandırılmaktadır (Craig ve diğ., 1993).

Geçiş konsantrasyon değerleri her tuz için farklıdır. Şekil 2.7’de tuzların geçiş konsantrasyonları içeren grafik görülmektedir.



Şekil 2.7: Bazı elektrolitlerin tuz geçiş konsantrasyonu (Craig ve diğ., 1993).

Bu deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan tuz geçiş konsantrasyonları Tablo 2.1’de verilmektedir.

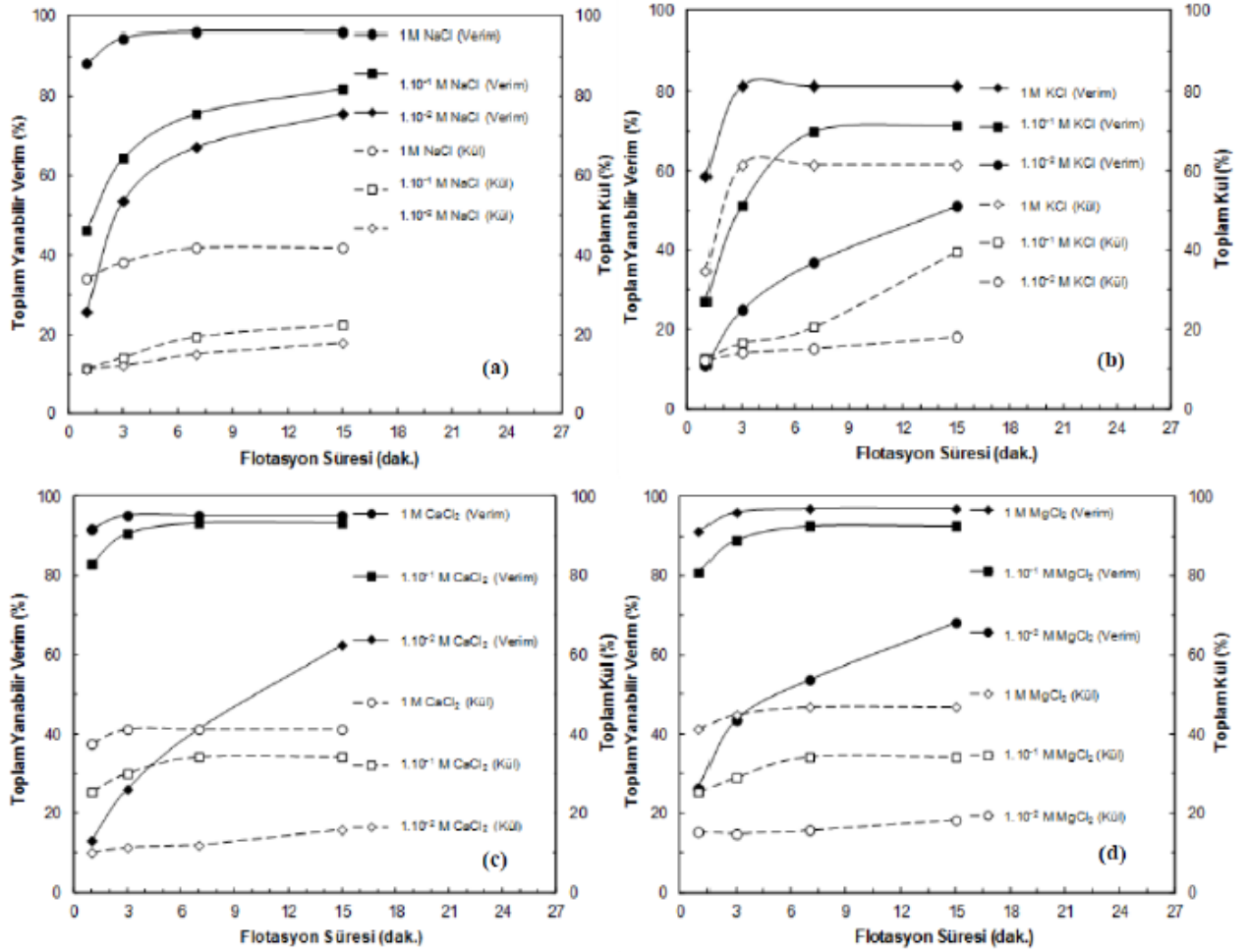
Tablo 2.1: Tuzların geçiş konsantrasyonları.

Tuz	Tuz Geçiş Konsantrasyonu, M
MgCl ₂ CaCl ₂	~0,03
NaCl	~0,08
KCl	~0,15

Bazı tuzların ise kabarcık birleşmesi üzerinde herhangi bir konsantrasyonda etkisi yoktur. İyon spesifik etkisi tuz çözeltilerinin hacmiyle ilişkilidir. İnorganik tuzlar oksijen çözülebilirliğini artırmaktadırlar. Kabarcık birleşmesinde, oksijen çözülebilirliği ve iyon spesifik etkisi arasında bir bağlantı kurulabilir. Kabarcık birleşmesinde iyon spesifik etkisi olduğunda tuz geçiş konsantrasyonu ile bir değerlendirme yapılabilir. İyon spesifik etkisinin gücü küçük geçiş konsantrasyonunda daha fazladır. Laskowski (1994) çalışmasında çözeltideki tuz iyonlarının, hidrofilik bölgeler arasındaki köprü olarak hidrofobik bölge çevresindeki su tabakalarının destabilize ettiğini ortaya koymuştur. Pugh ve arkadaşları (1997) tuz flotasyonunun mineral yüzeyindeki hidrofobik mikro kabarcıkların değişmesiyle meydana gelebileceğini göstermişlerdir. Tuzlu suyun daha az çözünmüş hava içerdiğinden dolayı kabarcık oluştuğunu ispat etmektedirler (Ersoy, 2014).

Özdemir ve arkadaşlarının (2009) çalışmasında 1 M NaCl içerisinde yaptıkları kömür flotasyonunun, Laskowski ve Iskra (1970) çalışmasının sonuçlarının ispatı durumundadır. Bu çalışmada tuzlu sudaki kömürün temas açısı, saf suyla yapılan çalışmayla kıyaslandığında değişiklik göstermemiştir. Buna ek olarak atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) sonuçları kabarcık ve kömür tanesi arasındaki itme kuvvetinin tuzlu suda azaldığını göstermektedir (Özdemir, 2009).

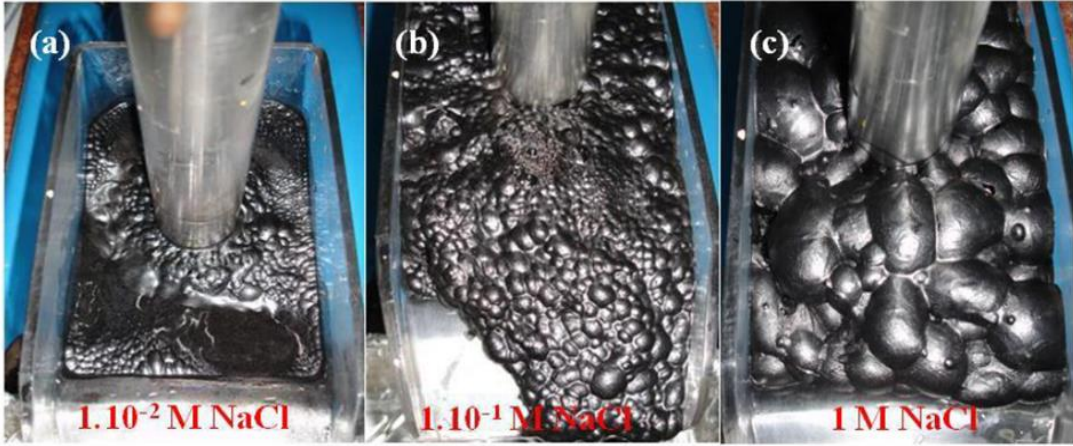
Özdemir'in (2013) yaptığı çalışmada ise ilk kez Zonguldak-Üzülmez Bölgesi taş kömürlerinin ve Manisa-Soma bölgesi linyit kömürlerinin tuzlu suda toplayıcı ve köpürtücü kullanılmadan flotasyon davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada, NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ çözeltileri ile yapılan flotasyon deneylerinden ulaşılan verim ve kül değerleri Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Tuz çözeltileri içerisinde taş kömürü flotasyonu (a) NaCl (b) KCl (c) CaCl₂ (d) MgCl₂ (Özdemir, 2013).

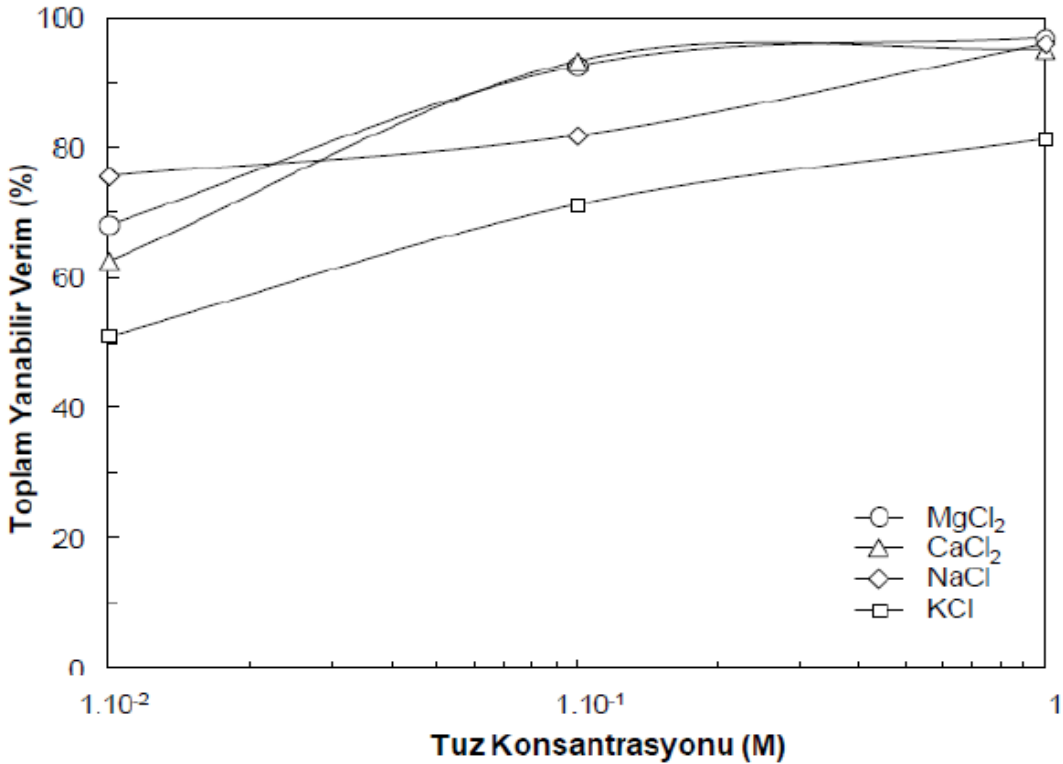
Şekil 2.8’de de görüldüğü üzere bu sonuçlara göre her tuz için kritik bir tuz konsantrasyonunun olduğu, 10⁻¹ M’ın üzerindeki konsantrasyonlarda kömür ile birlikte kil yapıcı minerallerin de yüzdüğü sonucuna ulaşılmaktadır. Bu nedenle flotasyon sonucu elde edilen ürünlerin kil içerikleri artmaktadır. Bu durum tuz konsantrasyonunun kömürün flotasyonunda önemli bir parametre olduğunu belirtmektedir (Özdemir, 2013).

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi tuz konsantrasyonu arttıkça köpükteki kabarcık boyutunun değiştiği ve bir taraftan flotasyon verimi ile köpük boyutu arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 2.9: NaCl konsantrasyonuna bağlı tuz çözeltisi içerisinde taşkömürü flotasyonundan resimler (a) $1 \cdot 10^{-2}$ M, (b) $1 \cdot 10^{-1}$ M, (c) 1 M NaCl (Özdemir, 2013).

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi tuz tipi ve konsantrasyonuna bağlı olarak ulaşılan flotasyon sonuçlarına göre kullanılan her tuz içerisinde taşkömürü, tuz konsantrasyonuna bağlı olarak farklı verimlerde yüzmektedir (Özdemir, 2013).



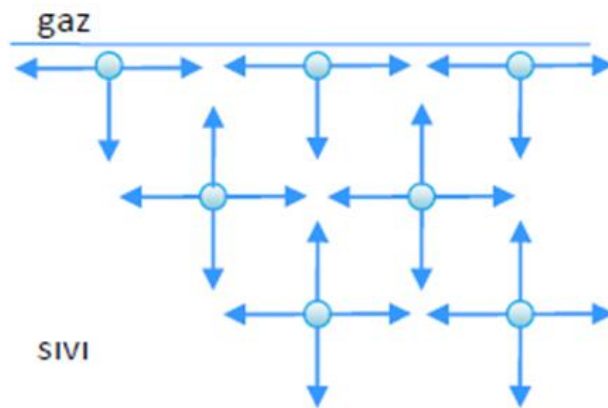
Şekil 2.10: Farklı tuz konsantrasyonlarına bağlı kömür flotasyonu (Özdemir, 2013).

Bu sonuçlara göre tuz tipinin de taşkömürünün flotasyondaki davranışını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Yapılan çalışma kapsamında kullanılan tuzlar arasında en iyi

yüzdürme özelliği olan $MgCl_2$ ve en düşük yüzdürme özelliğine sahip olan ise KCl olduğu görülmektedir.

2.2.YÜZEY GERİLİMİ

Bütün sıvılarda, büyüklüğü sıvının çeşidine göre değişen moleküller arası çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) bulunmaktadır. Sıvı molekülleri arasında her yönden eşit olarak, diğer başka bir ifadeyle küresel simetrik şekilde, çekim kuvvetlerinin etkisi altında bulunmaktadır. Sıvı içerisindeki bir moleküle etkiyen kuvvetler denge halindedir. Fakat sıvının yüzeyinde bulunan bir molekül (sıvı-gaz ara yüzeyi göz önüne alındığında) gaz fazındaki yoğunluk sıvı fazdan düşük olduğundan, yalnızca yüzeyin altındaki moleküller tarafından sıvının içerisine doğru çekilir ve sıvının yüzeyi en küçük değeri alacak şekilde gergin bir zar şeklini almaktadır (Şekil 2.11). Zarı gergin tutan kuvvetlere yüzey gerilimi kuvvetleri ve bu olaya da yüzey gerilmesi adı verilir. Bu gerilme dengelenmemiş kuvvetlerin bileşkesine eşit olmaktadır. Yüzey geriliminin simgesi γ olup, birimi ise cgs sistemine göre dyn/cm , SI sistemine göre mN/m 'dir. Sıvı içerisindeki moleküller, yüzeydeki moleküllere göre daha fazla çekim kuvvetinin etkisi altında bulduklarından ve bir cisme etki eden çekim kuvvetleri ne kadar büyükse cismin potansiyel enerjisi o kadar düşük olacağından, sahip oldukları potansiyel enerjileri yüzeydeki moleküllerin potansiyel enerjilerinden daha küçük olmaktadır (Gönül, 2000; Düzyol, 2009; Ertaş, 2010; Sünal, 2011; Merhametli, 2013).



Şekil 2.11: Moleküller arası çekim kuvveti (Merhametli, 2013).

Sıvıların birçoğunun yüzey gerilimi, sıcaklık arttıkça doğrusal olarak azalmaktadır. Bu moleküllerin kinetik enerjisinin artmasıyla yüzey gerilimlerin azaldığını ifade etmektedir. Kritik sıcaklığa gelindiğinde ise yüzey gerilimi sıfır olmaktadır (Çelebi ve diğ., 2009).

Yüzey ve yüzeyler arası gerilimi ölçme yöntemleri:

- Kapillerde yükselme yöntemi; yalnızca yer çekimi etkisi altında bulunan bir kaptaki sıvının serbest yüzü yatay, fakat sıvı yüzeyinin kabın kenarında olan kısmı, sıvının kabı ıslatıp ıslatmamasına göre aşağı veya yukarı doğrudur. Bu olay, dar borularda (tüplerde, kılcal borularda) açık olarak görülür. Boruda yüzey gerilim nedeniyle yükselen sıvı, yer çekimi ile dengelenmektedir,
- Wilhelmy levha yöntemi; düzenek, esas itibarıyla bir terazi ile ince bir mika levha ya da lamdan oluşur. Terazinin bir kolu ucuna levha asılır ve sıvıya daldırılarak uygulanmaktadır,
- DuNouy halka yöntemi; yüzey ya da ara yüzeye daldırılmış platin iridyumdan yapılmış halkanın sıvıdan ayrılması için gerekli kuvvetin, yüzey ve yüzeyler arası gerilimle orantılı olması esasına dayalı bir yöntem olmaktadır,
- Damla yöntemi; yarıçapı bilinen bir kılcal borudan damlanın ağırlığıyla kopmasından hareketle yüzey gerilimi hesaplanması esasına dayanmaktadır,
- Asılı damla yöntemi (Pendant Drop Method); duyarlı ve tekrarlanabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde asılı damlanın fotoğrafı çekilerek, damlanın boyutlarından yüzey gerilimi hesaplanmaktadır,
- Salınımlı (Oscillating) jet yöntemi; yaklaşık 0,01 saniye gibi çok kısa bir zamanda yüzey gerilimini ölçen bir yöntemdir. Sıvı, basınçla küçük bir delikten geçirilir ve dairesel bir şekil alan sıvının fotoğrafı çekilerek hesaplama yapılmaktadır (Gönül, 2000; Çelebi ve diğ., 2009; Merhametli, 2013).

2.3.KABARCİK BİRLEŞMESİ

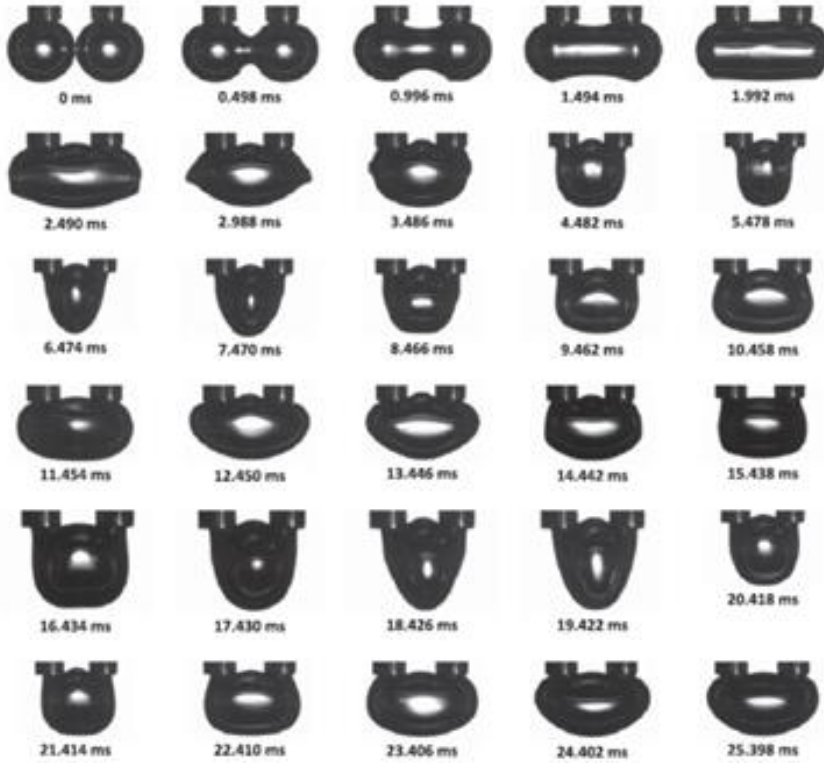
Flotasyonda flotasyon hızı, yüzen tanelerin miktarı ve boyutu kabarcık boyutu ile doğrudan ilişkilidir (Ata ve diğ., 2005).

Ancak kabarcıklar çarpıştıklarında yüzey geriliminden dolayı yüzey alanlarını küçültme eğiliminde olduklarından, birleşerek daha büyük bir kabarcık oluşturma eğilimindedirler.

Bunun önüne ortama bir köpürtücü reaktif eklenerek geçilebilir. Kabarcık birleşmesinin tamamen önlenemediği minimum reaktif konsantrasyonuna kritik birleşme konsantrasyonu (critical coalescence concentration, CCC) adı verilir (Castro ve diğ., 2013).

En sık kullanılan inorganik elektrolitlerin çoğu da kabarcık birleşmesini engeller. Ancak bazı tuzlar böyle bir etki oluşturmaz. Bu sebeple tuzlu su veya deniz suyu kullanılarak flotasyon çalışmaları denenmiştir (Marrucci ve diğ., 1967; Zieminski ve diğ., 1971; Keitel ve diğ., 1982; Weissenborn ve diğ., 1995; Cho ve diğ., 2002; Laskowski ve diğ., 2003; Craig, 2004; Grau ve diğ., 2005; Kracht ve diğ., 2010).

Örnek bir kabarcık birleşmesi Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12: Kabarcık birleşmesi (Bournival ve diğ., 2012).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.MALZEME

Deneysel köpürtücü olarak MIBC (metil izobütil karbinol, %98, ABCR, Almanya) kullanılmıştır. MIBC, alkol kökenli bir köpürtücü olup, molekül ağırlığı 102,174 g/mol ve formülü $C_6H_{14}O$ 'dir. MIBC hava-su ara yüzey gerilimini düşürerek küçük boyutta hava kabarcığı üretmeyi sağlayan ve hava kabarcıklarının birleşmesini engelleyen bir köpürtücüdür (Özdemir, 2014).

MIBC çözeltileri 0'dan $1 \cdot 10^{-2}$ M aralığındaki farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır.

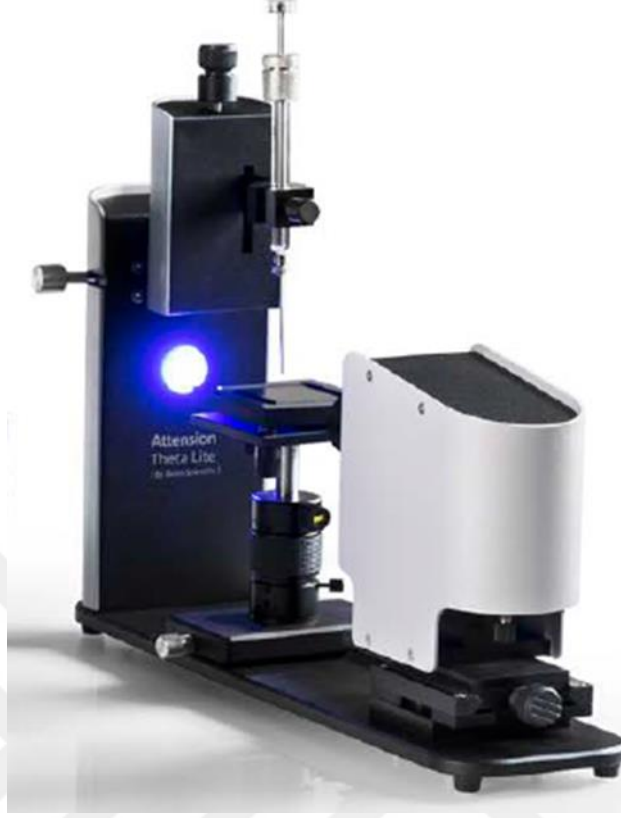
Deneysel ayrıca analitik kalite sodyum klorür ($NaCl$, 58,4 g/mol, Carlo Erba, İtalya) ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$, 110,98 g/mol, Merck KGaA, Almanya) inorganik tuzları kullanılmıştır. Elektrolit çözeltileri ise 0'dan 1 M aralığındaki farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Hem çözeltiler hem de deneyler için tek aşama damıtma su kullanılmıştır (GFL, Almanya).

Dinamik köpük stabilitesi deneylerinde ise Zonguldak-Üzümler bölgesinden temin edilmiş $212 \times 75 \mu m$ boyut aralığındaki taş kömürü numunesi ile kullanılmıştır.

3.2.YÖNTEM

3.2.1.Yüzey Gerilimi

Sıvı moleküllerinin yüzey alanlarını arttırmaya karşı gösterdikleri mukavemete yüzey gerilimi denir. Yüzey gerilimiyle elde edilen sonuçlar flotasyonda kabarcık-tane yapışması açısından önem arz etmektedir. MIBC, $NaCl$ ve $CaCl_2$ 'ün farklı konsantrasyonlardaki sulu çözeltileri kullanılarak yüzey gerilim ölçümleri, Şekil 3.1'de görülen KSV Attension Theta Lite Yüzey Gerilimi-Temas Açısı Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır.



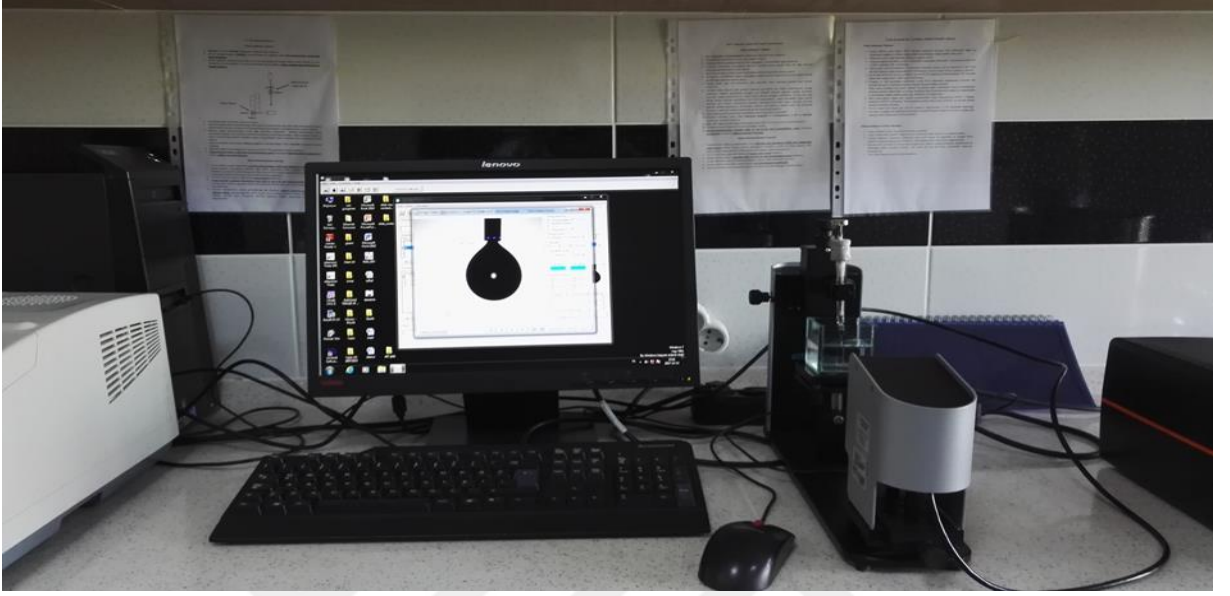
Şekil 3.1: KSV Attension Theta Lite (Attension, 2017).

Bu cihaz, statik ve dinamik temas açısı ölçümleri, üç boyut (3D) yüzey pürüzlülüğü, serbest yüzey enerjisi, yüzey ve ara yüzey gerilimi ve ara yüzey reolojisi ölçümlerini gerçekleştirebilen bir optik tensiyometre sistemidir. Bu cihazın kamerası, saniyede 3009 kare (fps) gibi yüksek hızlarda görüntü alabilmektedir. Ölçüm hassasiyetinde oldukça önemli olan damla profili için, 1984×1264 piksellik yüksek çözünürlükteki görüntülerde hesaplamalar gerçekleştirmektedir. Cihazın ölçüm aralığı 0.01-2000 mN/m ve ölçüm hassasiyeti ise ± 0.01 mN/m'dir (Attension, 2017).

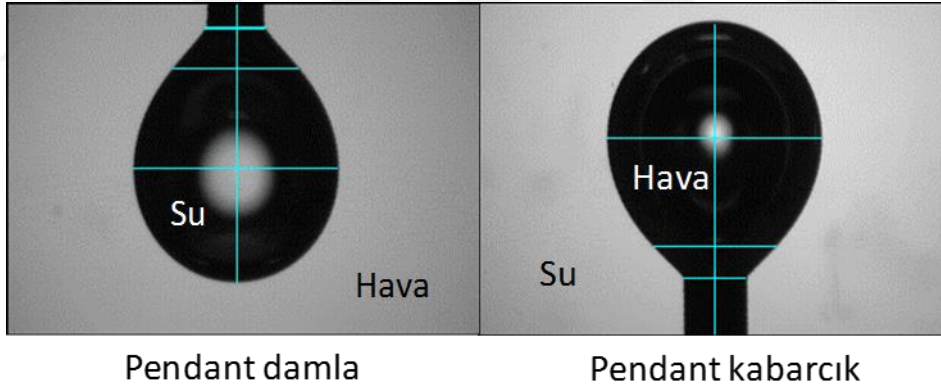
Şekil 3.2'de yüzey gerilimi deney düzeneği verilmektedir. Bu yöntemde bir tüp ucundaki asılı damlanın ya da kabarcığın fotoğrafı çekilir ve yüzey gerilimi Young-Laplace formülü kullanılarak hesaplanır (Şekil 3.3). Yüzey geriliminin sonucu olarak, herhangi bir kavisli yüzeyde konkav tarafta daha büyük basınç vardır. Kavisli yüzeyler için basınç farklılığı Young-Laplace denklemiyle verilir:

$$\gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \Delta P \quad (3.1)$$

γ yüzey gerilim, R_1 ve R_2 hava-su arayüzeyinin çapları olur iken, ΔP arayüzeydeki basınç farkıdır.

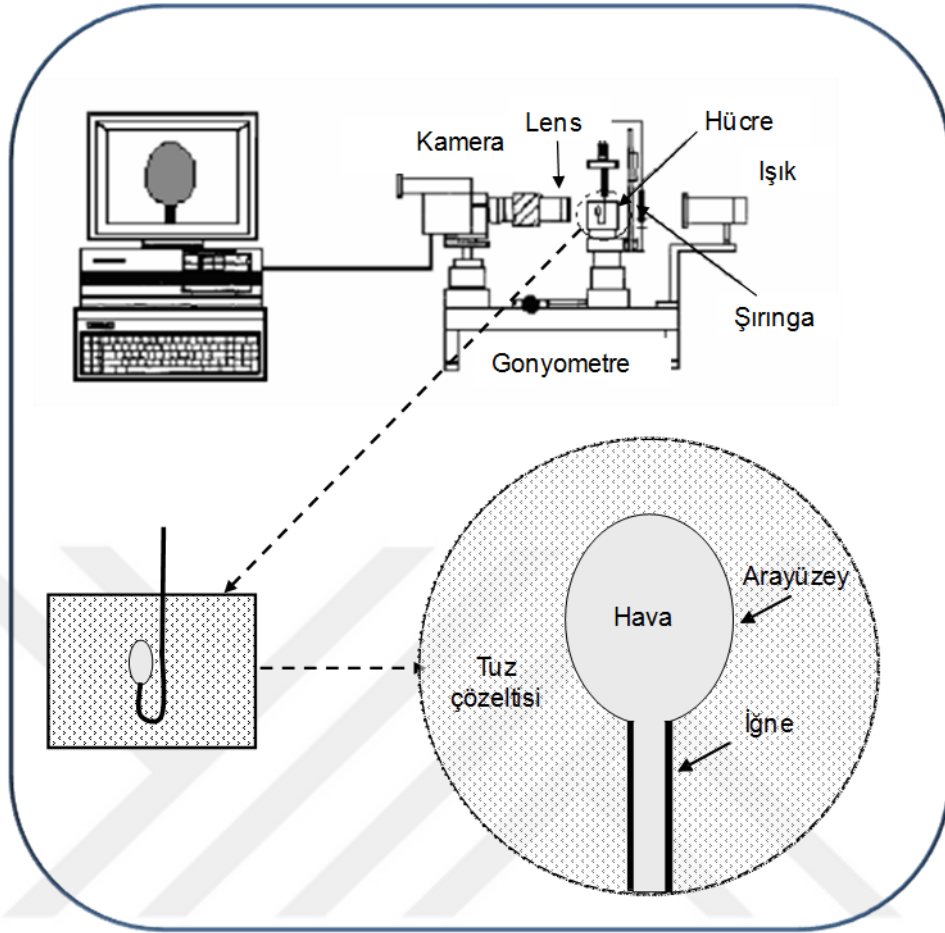


Şekil 3.2: Yüzey gerilimi deney düzeneği.



Şekil 3.3: Asılı damlanın ya da tutulu kabarcığın görüntüsü.

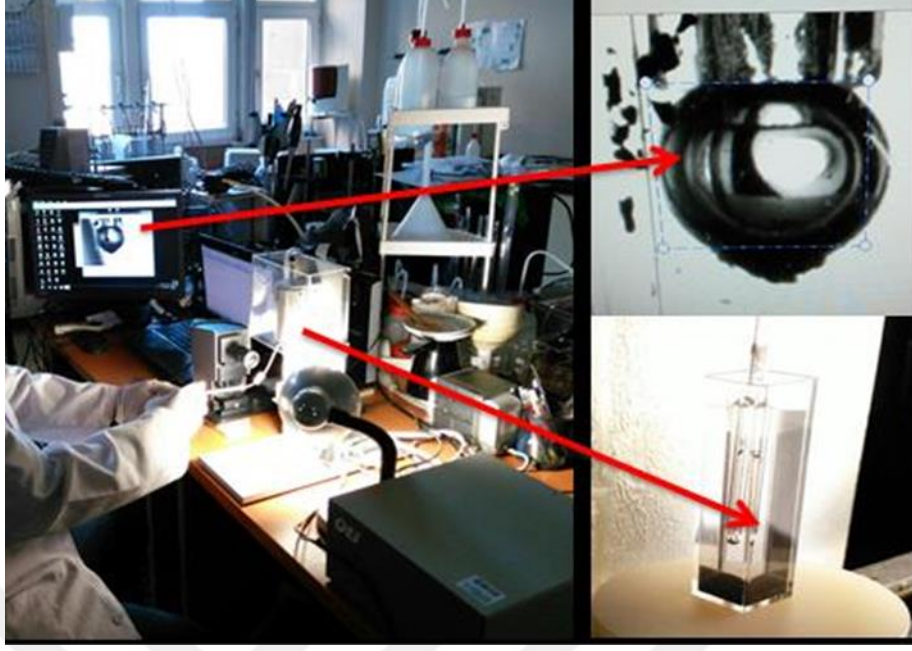
Yüzey gerilimi ölçümleri ilk önce MIBC'nin farklı konsantrasyonlarda ($1 \cdot 10^{-2}$, $7 \cdot 10^{-3}$, $5 \cdot 10^{-3}$, $3 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-5}$ M) oda sıcaklığında ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) gerçekleştirilmiştir. Elektrolit varlığındaki ölçümler ise 1, 10^{-1} , 10^{-2} , ve 10^{-3} M NaCl ve CaCl_2 konsantrasyonlarına 1, 10 ve 100 ppm MIBC eklenerek yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler ile farklı konsantrasyon ve sabit MIBC değerlerinde yüzey geriliminin değişimi gözlemlenmiştir. Hazırlanan her bir çözelti hücreye konularak, şırıngayla oluşturulan kabarcıkların yüzey gerilimleri ölçülmüştür. Şekil 3.4'de yapılan yüzey gerilimi ölçüm deney seti şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.4: Yüzey gerilimi ölçüm deney seti.

3.2.2. Kabarcık Birleşmesi Ölçümleri

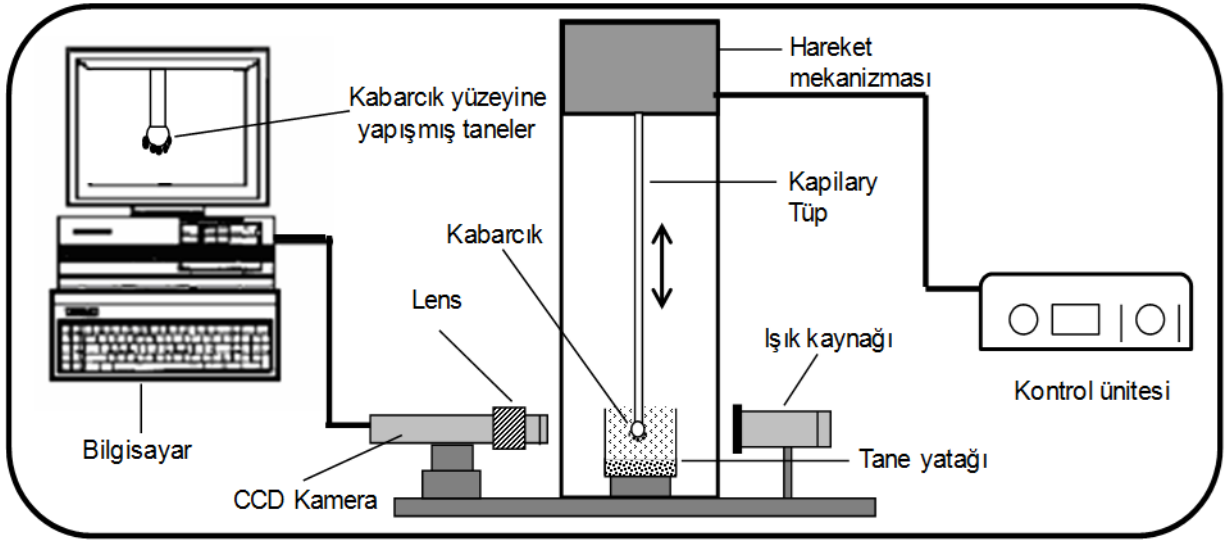
Flotasyonda kabarcıklar yüksek derecede hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvvetleri zayıftır ve birleşirler. Bu nedenle kabarcıkların stabilitesi flotasyon verimini etkilemektedir. Literatürde kabarcık birleşme ölçümleri yüksek hızlı kameralar ile yapılır iken, bu tez kapsamında kabarcık birleşme ölçümleri literatürde ilk kez Şekil 3.5’de görülen BCT-100 (Bratton Engineering and Technical Associates, LLC, USA) kabarcık-tane yapışma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde görüntüler CCD kamera (HIKVISION, Çin) elde edilmiştir.



Şekil 3.5: BCT-100 kabarcık-tane yapışma cihazı.

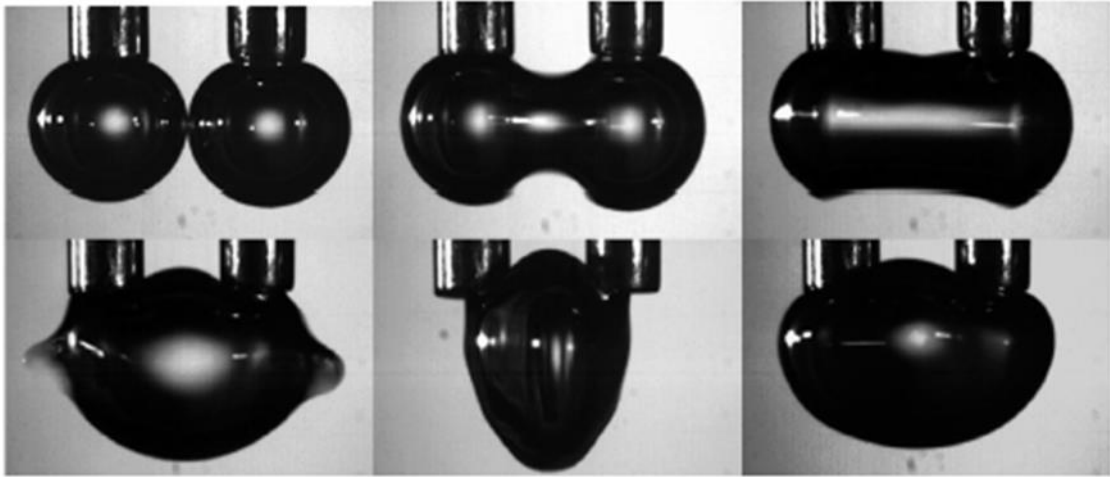
Kabarcık-tane yapışma zamanı ölçüm cihazı birçok flotasyon sisteminde; kabarcık-tane, tane-tane ve diğer etkileşimleri araştırmada da kullanılabilir. Buna ek olarak, kabarcık-tane yapışma zamanını etkileyen tane boyutu, kabarcık boyutu, pH, sıcaklık gibi fiziksel parametreler de çalışılabilir. Bu sonuçlar cevher hazırlama endüstrisi için flotasyon teknolojisinin gelişmesinde faydalı olacaktır.

Kabarcık-tane yapışma zamanı deneylerinde bir mikro şırınga kullanılarak oluşturulan kabarcık belli sürelerde tane yüzeyi ile otomatik olarak temas ettirilir ve sonra kabarcık eski yerine getirilir ve kabarcık üzerindeki yapışmış taneler gözlenir (Şekil 3.6). Bu işlem en az 20 kez tane yatağının farklı yerlerinde tekrarlanır ve gözlemler kayıt edilir. En sonunda gözlemlerin %50'sinin yapışma olduğu zaman "kabarcık-tane yapışma zamanı" olarak saptanır.



Şekil 3.6: BCT-100 cihazının çalışma düzeni.

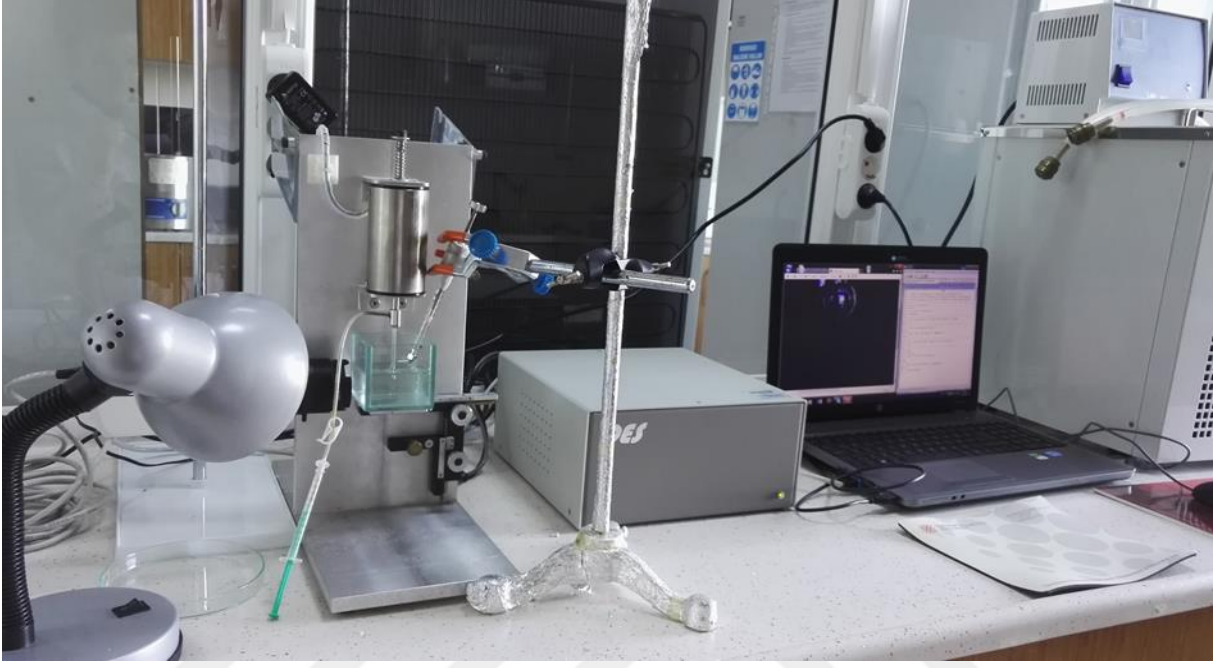
Kabarcık birleşmesi kabarcık-tane yapışmasına benzer aşamalardan oluşur. İki kabarcık birbirine yaklaştığında aralarında önce bir su filmi meydana gelir. Bu film incelerek sonunda çöker ve iki kabarcık birleşir (Şekil 3.7). İki kabarcığın birleşmesi için gereken toplam süreye kabarcık yapışma süresi adı verilir. Bu sürenin ölçülmesinde çeşitli yöntemler kullanılmış ve birçoğunda yüksek hızlı kameradan faydalanılmıştır (Bournival ve diğ., 2012).



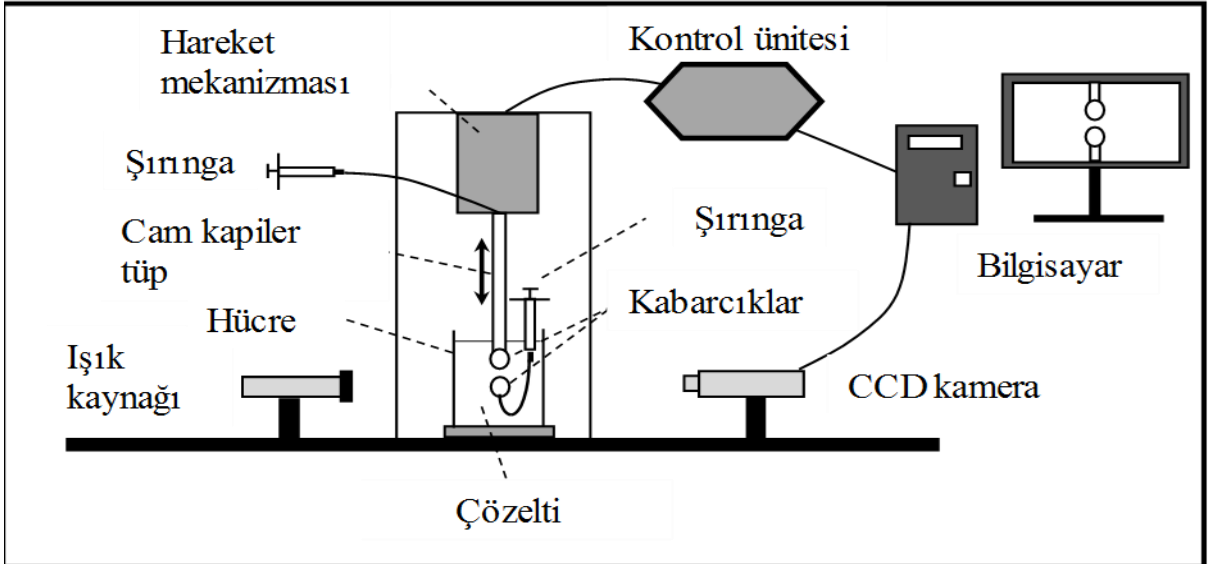
Şekil 3.7: Kabarcık-kabarcık birleşmesi (Bournival ve diğ., 2012).

Şekil 3.8’de kabarcık birleşme ölçümleri için deney düzeni verilmektedir. Bu yöntemde kapiler cam tüpün altına düz yüzeyli bir cam hücre yerleştirilir ve su veya reaktif/elektrolit çözeltisi ile doldurulur. Kanca uçlu şırınga hücrenin içerisine daldırılarak kapiler tüpün tam altında konumlandırılır. Hem cam tüpün hem de iğnenin ucunda birbirine yakın boyutlu

kabarcıklar oluşturulur. Cam tüp iğneye doğru hareket ettirilerek kabarcıklar birbiri ile belirlenen temas süresinde temas ettirilir. Cam tüp eski pozisyonuna döner ve kabarcık birleşmesi olup olmadığı CCD kamera ile gözlenir (Şekil 3.9).

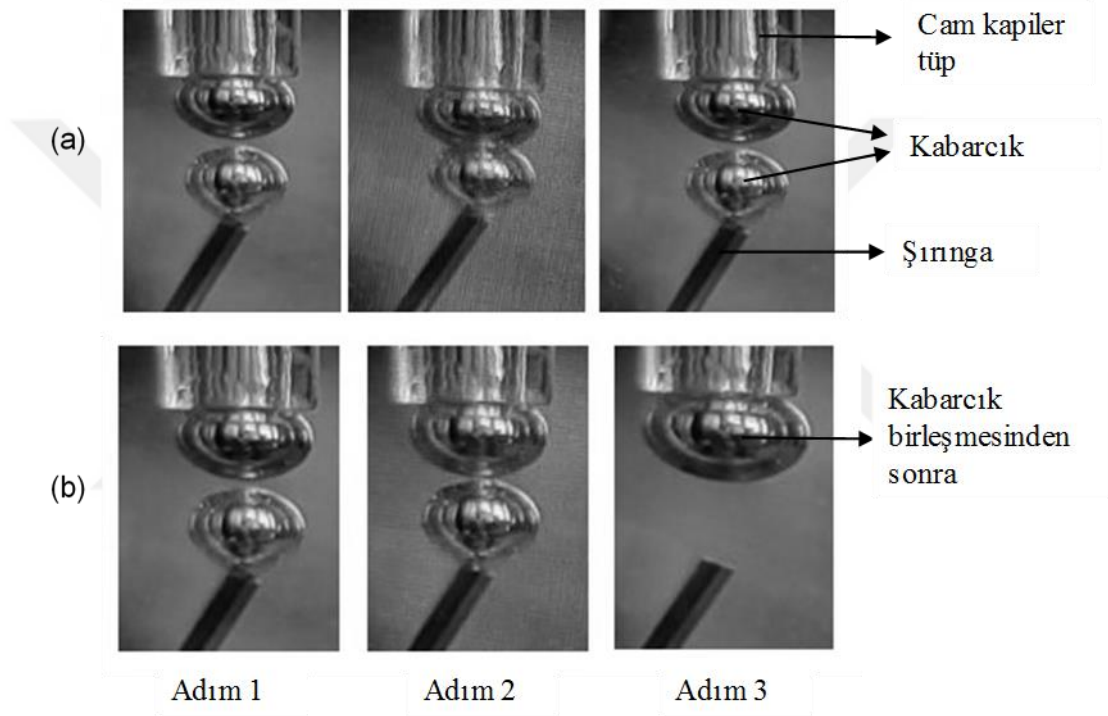


Şekil 3.8: Kabarcık birleşmesi deney düzeneği.



Şekil 3.9: Kabarcık birleşmesi ölçüm deney seti.

Bu ölçümler kapsamında, saf su ve $1, 5 \cdot 10^{-1}, 3 \cdot 10^{-1}, 2 \cdot 10^{-1}, 1 \cdot 10^{-1}, 8 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-3}$ NaCl ve CaCl_2 tuz çözeltileri ayrıca 1 ppm MIBC içeren 10^{-3} M NaCl ve CaCl_2 çözeltileri 100 mL olarak hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiler içerisinde karşılıklı iki kapilerin ucunda yaklaşık olarak aynı boyutlarda üretilmiş iki kabarcığın 100 ms süreyle birbirleriyle temas ettirilmesi sonucu, bu kabarcıkların birleşip birleşmediğinin gözlemlenmiştir (Şekil 3.10). Daha sonra kabarcık birleşme süresi kabarcık-tane yapışmasında olduğu gibi %50 birleşmenin gerçekleştiği durum için tespit edilir.



Şekil 3.10: Kabarcık birleşmesi ölçümleri analizi.

3.2.3. Dinamik Köpük Stabilitesi

Dinamik köpük stabilite testleri mikro-flotasyon düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.11'de olduğu gibi mikroflotasyon kolonunu manyetik karıştırıcının üzerine yerleştirip, içerisine çözelti, kömür ve manyetik balık konularak, sisteme hava verilmiştir. Bu işlemde gaz olarak azot kullanılmış, basınçlı tüpten gelen azot basıncı manometre yardımıyla ayarlanıp debimetre ile de istenilen gaz miktarı sabit tutularak sistem çalıştırılmıştır. Hücrenin dibindeki frit içerisinden geçen gaz sistemde kabarcık oluşumunu sağlamıştır. 50 cm^3 hava ve manyetik karıştırıcı ile çalışan düzende, her 15 saniyede bir görüntü alınıp, köpük yükseklikleri gözlemlenerek, aşağıdaki eşitlik yardımıyla çözeltilerin dinamik köpük stabilite (DKS)

değerleri hesaplanmıştır (Johansson ve Pugh 1992, 1996; Gourram-Badri ve diğ., 1997; Barbian ve diğ., 2003):

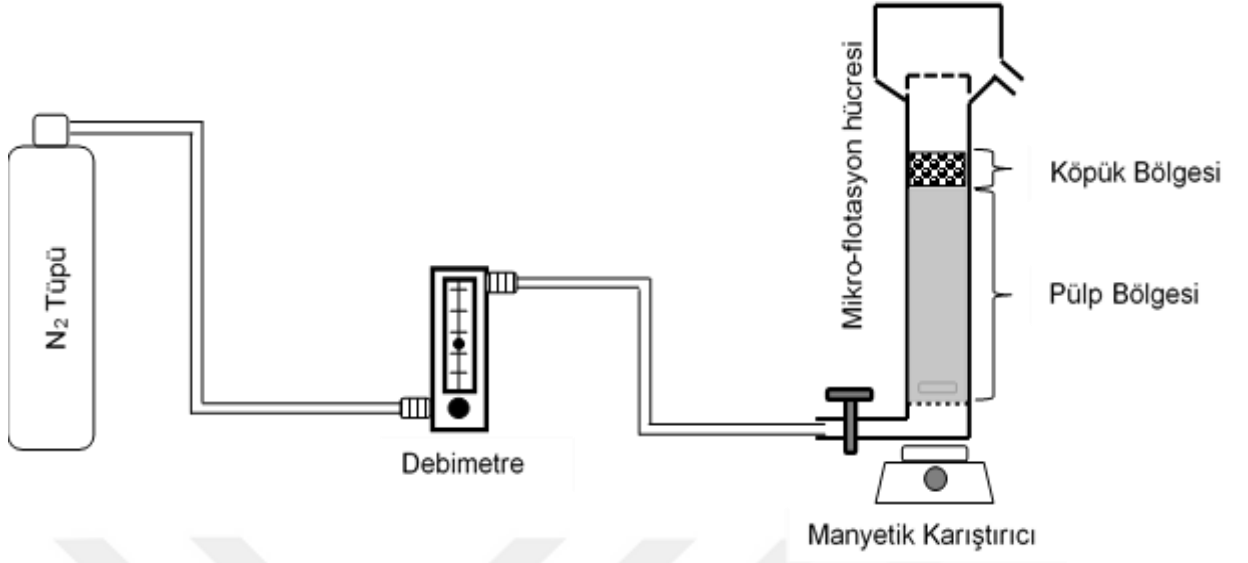
$$DKS = \frac{V_f}{Q} = \frac{h_{max} \cdot A}{Q} \quad (3.2)$$

Burada DKS dinamik köpük stabilitesi (dk), V_f köpük hacmi (cm^3), h_{max} maksimum köpük yüksekliği (cm), A hücrenin kesit alanı (cm^2) ve Q gaz miktarıdır (cm^3/dk).



Şekil 3.11: Dinamik köpük stabilite deney düzeneği.

Şekil 3.12’de deney düzeneğinin şematize edilmiş hali verilmektedir. Deneylerde, 1, 10^{-1} , 10^{-2} M NaCl, 1 M NaCl+100 ppm MIBC, 1M CaCl_2 , 1 M CaCl_2 +100 ppm MIBC ve 1, 10, 100 ppm MIBC çözeltileri 100 mL olarak hazırlanmıştır. Her bir deneyde $212 \times 75 \mu\text{m}$ boyut aralığında 1 g taş kömürü (Üzülmez, Zonguldak, Türkiye) kullanılmıştır.



Şekil 3.12: Dinamik köpük stabilite deney düzeneğinin şematize hali.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, flotasyondaki tane-kabarcık ilişkisi, NaCl ve CaCl₂ tuzları ve köpürtücü olarak MIBC kullanılarak tesis suyu taklit edilmeye çalışılmış, çözünmüş iyonların flotasyonda kabarcık birleşimi açısından etkisi yüzey gerilimi, kabarcık birleşmesi ve dinamik köpük stabilitesi deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

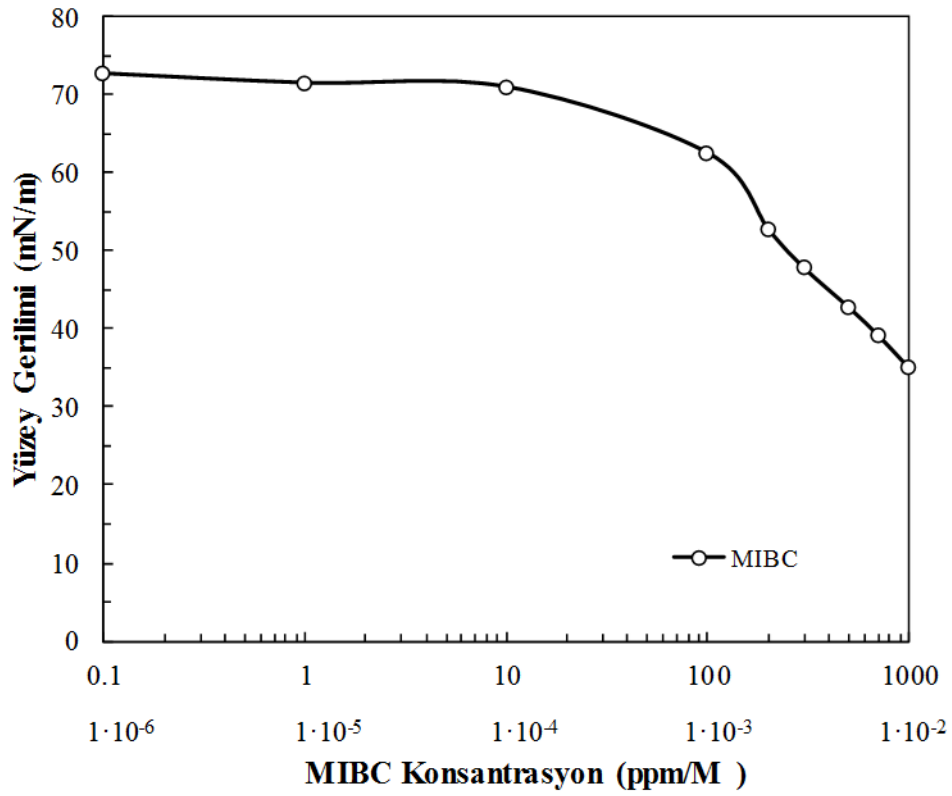
4.1.YÜZEY GERİLİMİ

4.1.1.MIBC'nin Su İçerisindeki Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Flotasyonda kullanılan tipik bir flotasyon köpürtücü olan MIBC'nin konsantrasyona bağlı olarak yüzey gerilimi değişimini ortaya koymak amacıyla ilk önce oda sıcaklığında (23°C±2) yüzey gerilimi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de görülmektedir. Sonuçlardan görüleceği üzere saf suyun yüzey gerilimi değeri 72,7 mN/m bulunurken MIBC'nin yüzey gerilimi konsantrasyon artışı ile 1.10⁻⁴ M'a kadar az bir değişim gösterir iken bu değerden sonra konsantrasyona bağlı olarak düşmüş ve 1.10⁻² M'da ise 34.95 mN/m olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüş, bu da hem deney şartları hem de yöntem açısından sistemin güvenilir olduğunu ortaya çıkarmıştır (Özdemir ve diğ., 2009; Bournival ve diğ., 2012).

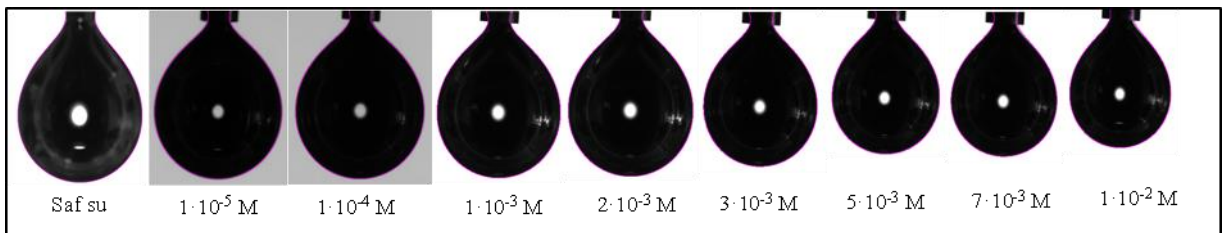
Tablo 4.1: MIBC'nin saf sudaki yüzey gerilim değerleri.

MIBC Konsantrasyon (M)	Yüzey Gerilimi	
	(mN/m)	ppm
Saf su	72,7	-
1.10 ⁻⁵	71,49	1
1.10 ⁻⁴	70,98	10
1.10 ⁻³	62,5	100
2.10 ⁻³	52,67	200
3.10 ⁻³	47,8	300
5.10 ⁻³	42,76	500
7.10 ⁻³	39,17	700
1.10 ⁻²	34,95	1000



Şekil 4.1: MIBC'nin konsantrasyona bağlı olarak yüzey gerilimi değerleri.

Ayrıca Şekil 4.2'de görüldüğü gibi MIBC konsantrasyonu arttıkça elde edilen damlaların boyutları da küçülmektedir. Bu da köpürtücü moleküllerinin hava-arayüzeyine adsorplanması ile su molekülleri arasındaki hidrojen bağı kurarak suyun yüzey gerilimini düşürmektedir.



Şekil 4.2: Farklı MIBC konsantrasyonlarında elde edilen damlaların şekilleri.

4.1.2. NaCl Varlığında MIBC ile Yüzey Gerilim Ölçümleri

Farklı NaCl konsantrasyonlarında 1, 10 ve 100 ppm MIBC konsantrasyonlarında yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar toplu olarak Tablo 4.2-4.3 ve Şekil 4.3-4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Sabit MIBC ve değişen NaCl değerlerinde yüzey gerilim değerleri.

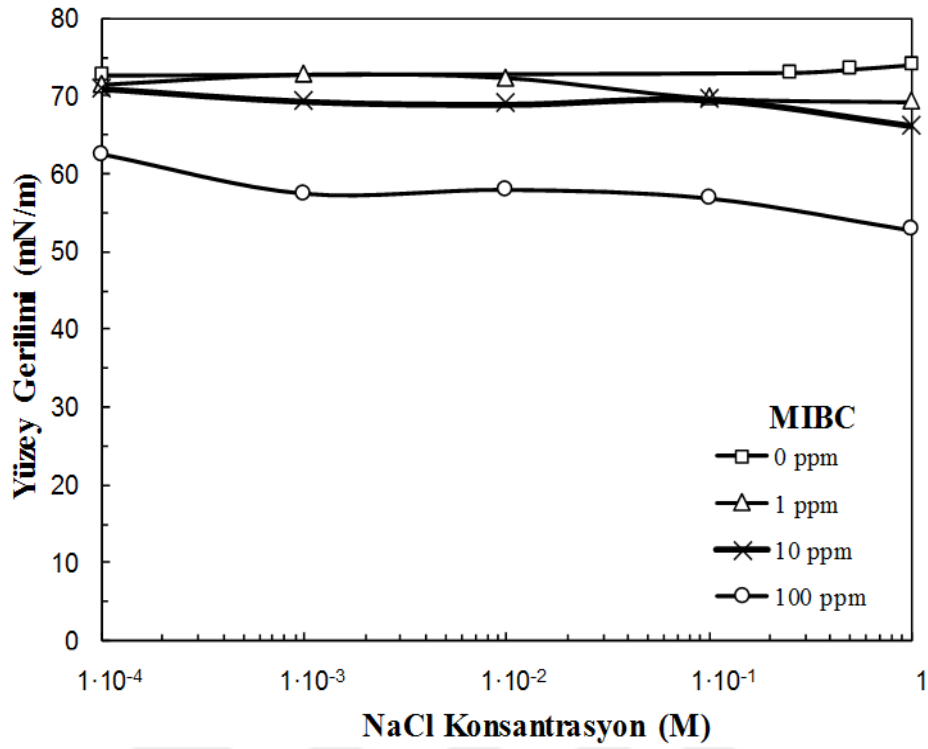
MIBC (ppm)	Saf su	NaCl (M)			
		1.10^{-3}	1.10^{-2}	1.10^{-1}	1
Su	72,7	72,7	72,7	72,7	72,7
1	71,5	72,8	72,3	69,8	69,3
10	71,0	69,3	69,0	69,5	66,2
100	62,5	57,5	58,0	56,9	52,8

Tablo 4.3: Farklı MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilimi değerleri.

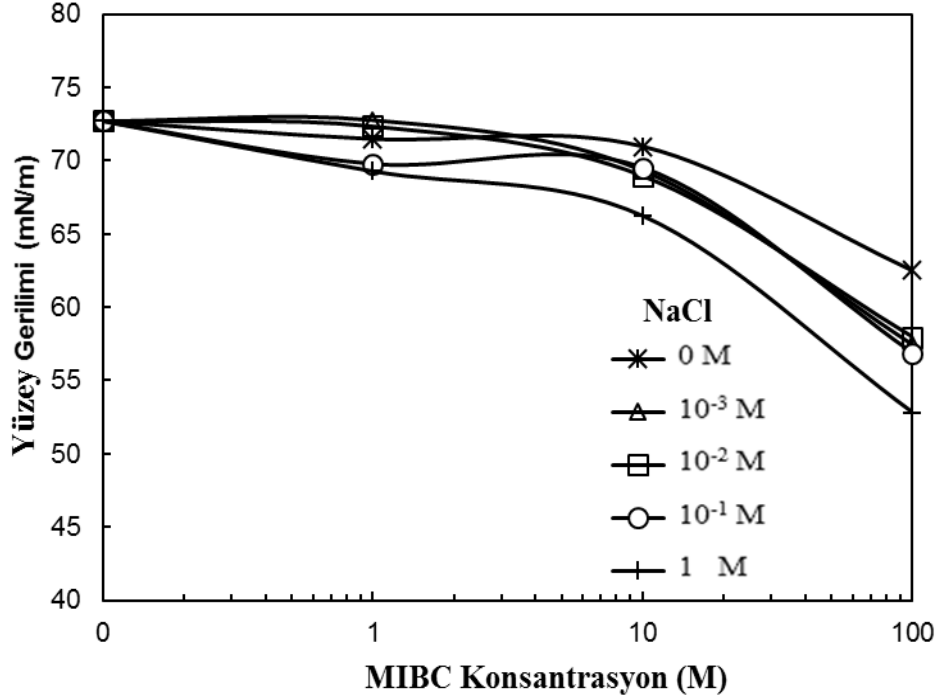
NaCl	MIBC (ppm)		
	1	10	100
Saf su	71,5	71,0	62,5
1.10^{-3}	72,8	69,3	57,5
1.10^{-2}	72,3	69,0	58,0
1.10^{-1}	69,8	69,5	56,9
1	69,3	66,2	52,8

Şekil 4.3'den görüldüğü üzere 1 ppm, 10 ppm ve 100 ppm MIBC'nin yüzey gerilimi değerleri tuz konsantrasyonu arttıkça düşmektedir. Aynı sonuçları kullanarak ama bu sefer MIBC konsantrasyonuna göre çizilen Şekil 4.4 ise bu etkinin 10 ppm'den sonra arttığını 100 ppm'de ise maksimum düşüş olduğunu göstermektedir. Hatta saf su içinde 100 ppm MIBC'nin yüzey gerilimi 62,5 mN/m ölçülmüş iken bu konsantrasyon 1 M NaCl tuz içerisinde 52,8 mN/m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar açıkça göstermiştir ki MIBC moleküllerinin tuz iyonları varlığında hava-su arayüzeyine daha fazla adsorplandığını bu da MIBC'nin yüzey aktif özelliğinin arttığını göstermektedir.

Ayrıca literatürde ticari köpürtücüler ile neredeyse doymuş tuz konsantrasyonlarında yapılan yüzey gerilim ölçümlerinde köpürtücülerin yüzey gerilimi düşmesi maksimum olmuştur (Castro ve diğ., 2013).



Şekil 4.3: Farklı MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilimi değişimi.



Şekil 4.4: MIBC ve NaCl değerlerinde yüzey gerilim değişimi.

4.1.3. CaCl₂ Varlığında MIBC ile Yüzey Gerilimi Ölçümleri

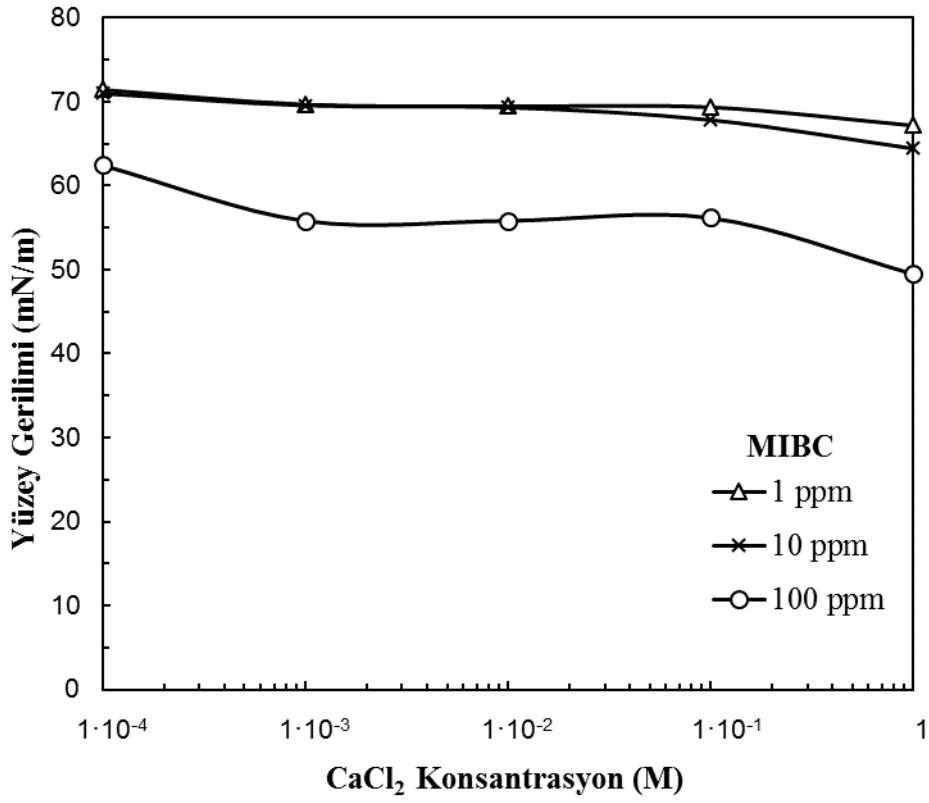
Aynı ölçümler bu sefer farklı CaCl₂ konsantrasyonlarda 1, 10 ve 100 ppm MIBC konsantrasyonlarda gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar toplu olarak Tablo 4.4-4.5 ve Şekil 4.5-4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Farklı MIBC ve CaCl₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.

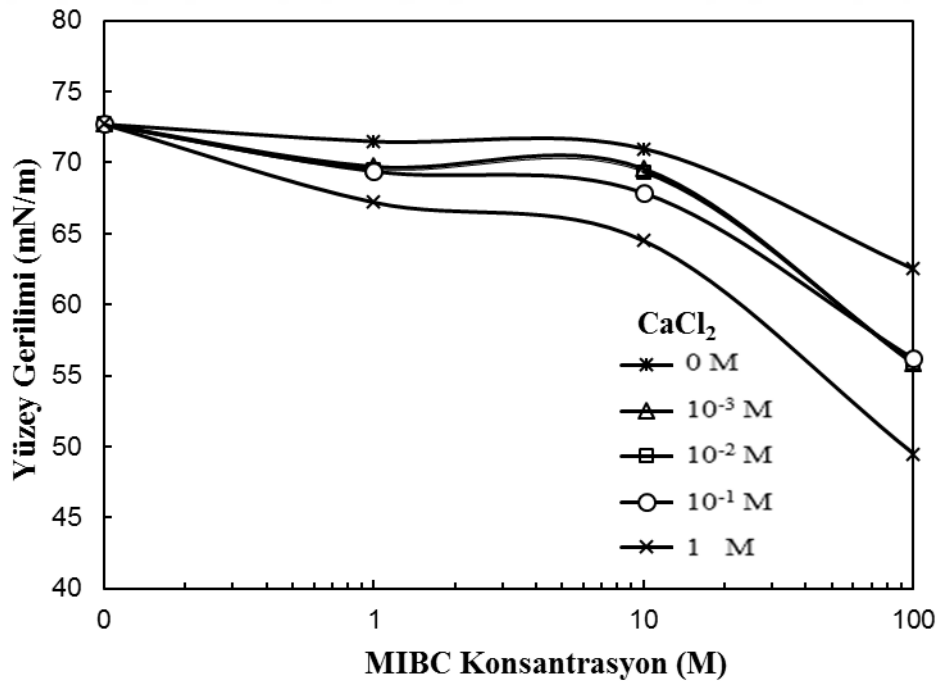
CaCl ₂	MIBC (ppm)		
	1	10	100
Saf su	71,5	71,0	62,5
1.10 ⁻³	69,7	69,6	55,8
1.10 ⁻²	69,5	69,3	55,9
1.10 ⁻¹	69,4	67,9	56,2
1	67,2	64,5	49,5

Tablo 4.5: Sabit MIBC ve değişen CaCl₂ değerlerinde yüzey gerilimi değerleri.

MIBC (ppm)	Saf su	CaCl ₂ (M)			
		1.10 ⁻³	1.10 ⁻²	1.10 ⁻¹	1
0,1	72,7	72,7	72,7	72,7	72,7
1,0	71,5	69,7	69,5	69,4	67,2
10,0	71,0	69,6	69,3	67,9	64,5
100,0	62,5	55,8	55,9	56,2	49,5



Şekil 4.5: Farklı MIBC ve CaCl₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.



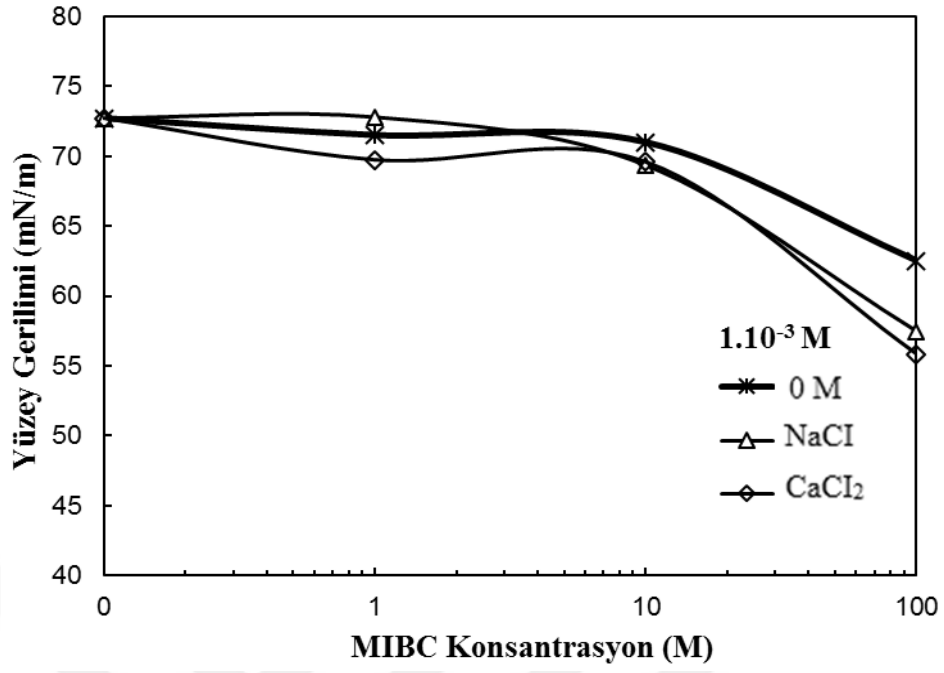
Şekil 4.6: Sabit MIBC ve değişen CaCl₂ değerlerinde yüzey gerilim değerleri.

$1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-1}$, 1 M tuz çözeltilerinde MIBC'nin yüzey gerilimi değişimi topluca Tablo 4.6 ve Şekil 4.7-4.8-4.9-4.10'da verilmektedir.

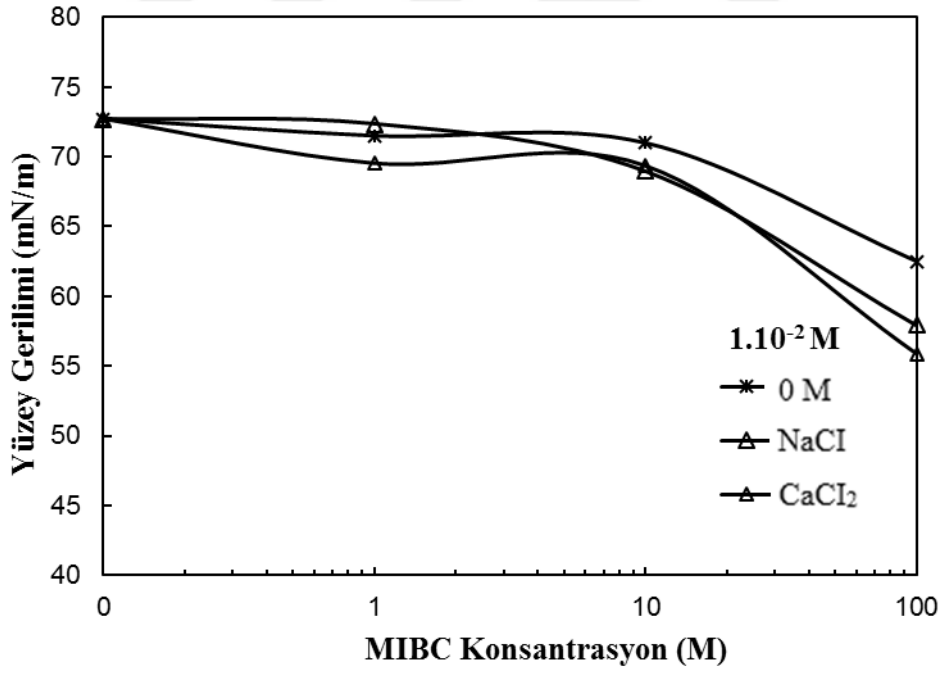
Tablo 4.6: MIBC'nin NaCl ve CaCl₂'ün farklı konsantrasyonlarında yüzey gerilimi değerlerinin karşılaştırılması.

Konsantrasyon	1 ppm		10 ppm		100 ppm	
	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂
Saf su	71,5	71,5	71,0	71,0	62,5	62,5
$1 \cdot 10^{-3}$	72,8	69,7	69,3	69,6	57,5	55,8
$1 \cdot 10^{-2}$	72,3	69,5	69,0	69,3	58,0	55,9
$1 \cdot 10^{-1}$	69,8	69,4	69,5	67,9	56,9	56,2
1	69,3	67,2	66,2	64,5	52,8	49,5

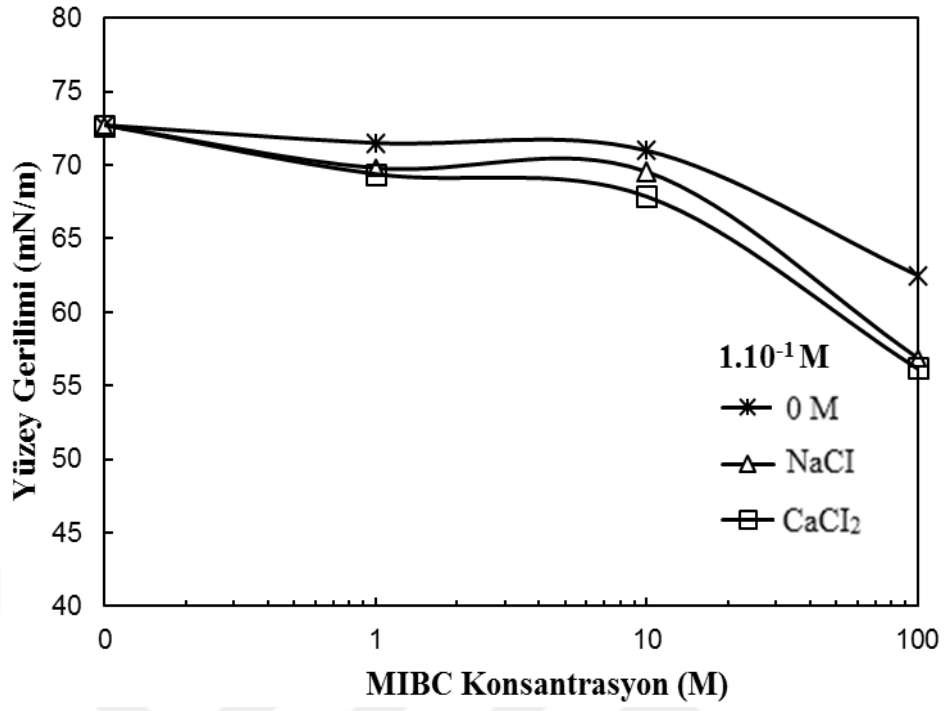
Sonuçlardan görüleceği üzere belirlenen her tuz konsantrasyonunda, Ca⁺² iyonunun MIBC'nin yüzey gerilimi değişiminde etkisi Na⁺ iyonuna göre daha fazla olmuştur. Bu etki düşük tuz konsantrasyonunda ($1 \cdot 10^{-3}$ M) fazla değil iken, konsantrasyon değerinin özellikle $1 \cdot 10^{-2}$ M değerine çıkartılması ile Ca⁺² iyonun etkisi Na⁺ göre fazla olmuştur. $1 \cdot 10^{-1}$ M da ise iki tuz arasında bir etki kalmamıştır. 1 M gibi yüksek bir tuz konsantrasyonunda ise Ca⁺² iyonunun etkisi Na⁺ göre fazla olmuştur. Böylelikle tesis suyu içerisindeki Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² iyonlarının köpürtücülerin yüzey gerilimi değerlerini etkileyeceği ve önceki çalışmalardan da bilindiği üzere bu iyonların flotasyon sonuçları üzerinde iyon spesifik etkisini ortaya koymuştur (Özdemir, 2013).



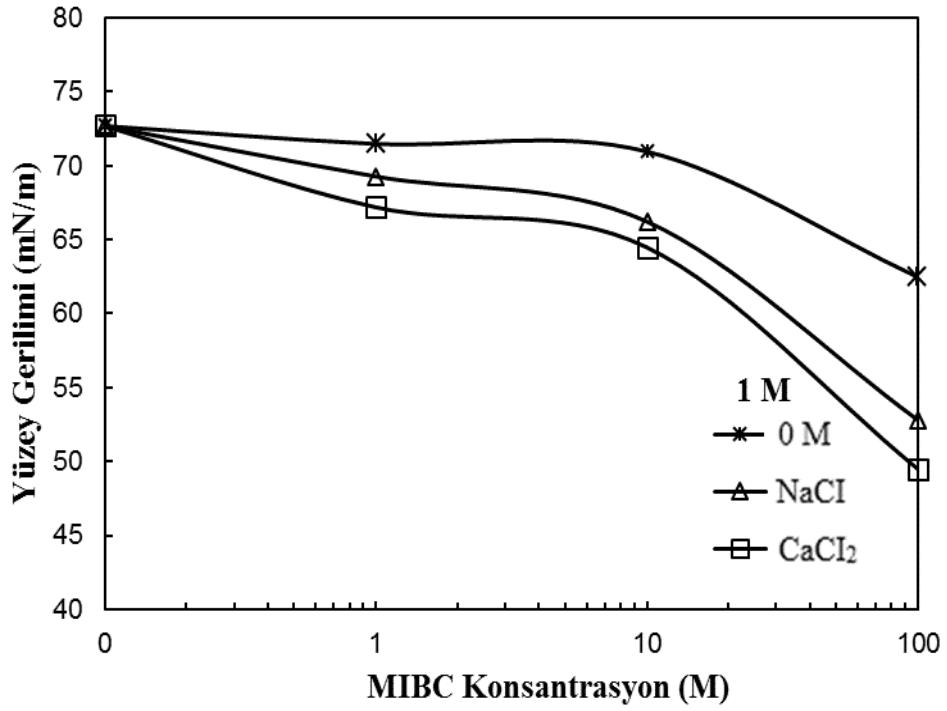
Şekil 4.7: MIBC ve $1 \cdot 10^{-3}$ M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.



Şekil 4.8: MIBC ve $1 \cdot 10^{-2}$ M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.



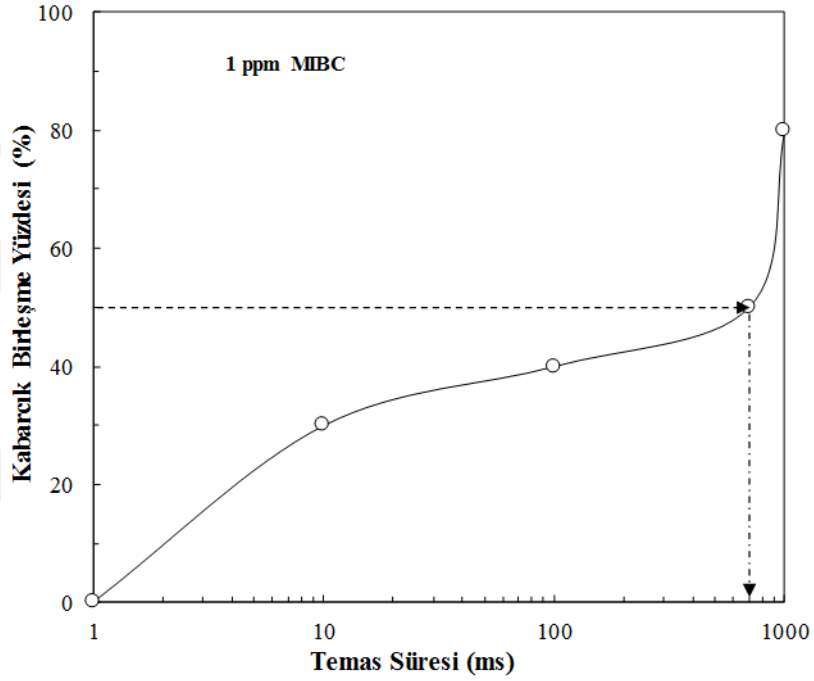
Şekil 4.9: MIBC ve $1 \cdot 10^{-1}$ M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.



Şekil 4.10: MIBC ve 1 M tuz konsantrasyonlarında yüzey gerilim değerleri.

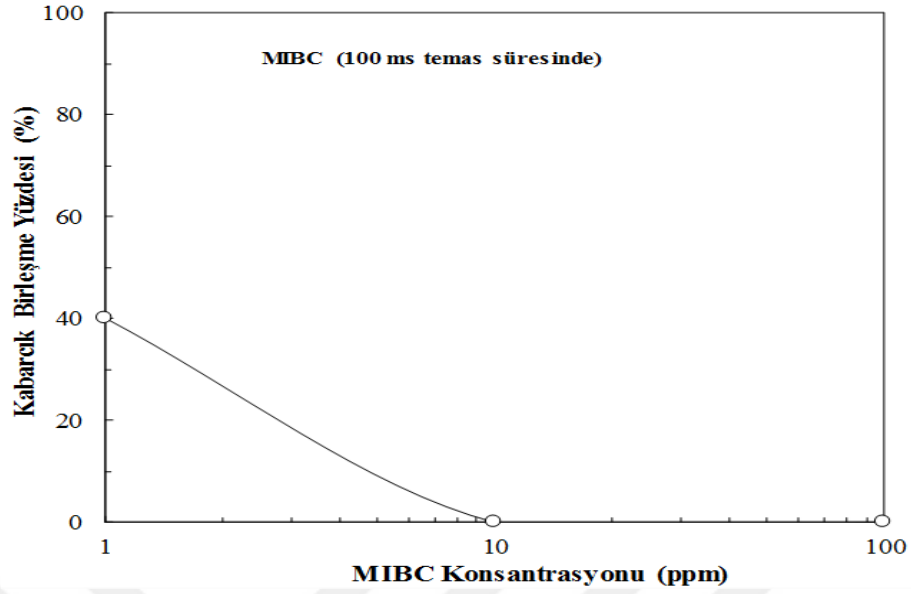
4.2.KABARCİK BİRLEŞMESİ

İnorganik elektrolitler (NaCl ve CaCl₂) ve yüzey aktif maddeler (MIBC) varlığında kabarcık birleşimini gözlemek amacıyla özel deney düzeneği kullanılarak kabarcık birleşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.11, 1 ppm MIBC varlığındaki sonuçları göstermektedir. Sonuçlardan görüleceği üzere 1 ppm MIBC çözeltisi içerisinde üretilen kabarcıkların birleşme süresi %50 birleşme oranı hesaba katıldığında değer 800 ms olarak bulunmuştur.



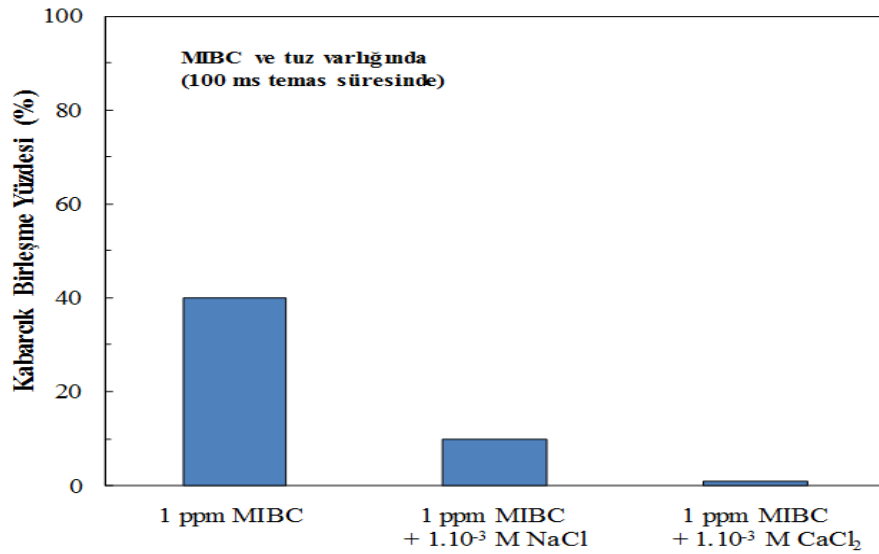
Şekil 4.11: 1 ppm MIBC varlığında kabarcık birleşme süresi tayini.

Daha sonra bu deneyler 10 ve 100 ppm MIBC değerleri için yapılmış ve ölçümlerde her temas sürelerinde kabarcıkların birleşmediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi 1 ppm MIBC için 100 ms temas süredeki %40’lık birleşme yüzdesi hesaba katılarak Şekil 4.12 elde edilmiştir. Bu sonuç 10 ppm MIBC konsantrasyonunun optimum köpürtücü konsantrasyonu olabileceğini, ayrıca bu konsantrasyonun MIBC için kritik birleşme konsantrasyonu (KBK ya da CCC, critical coalescence concentration) olarak alınabileceğini de ortaya koymuştur.



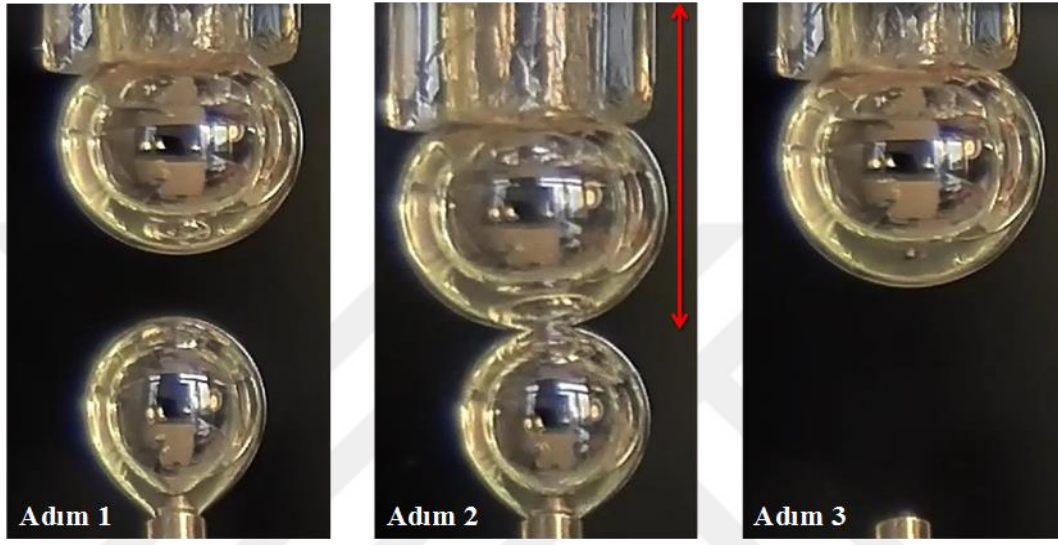
Şekil 4.12: MIBC varlığında kabarcık birleşme profili.

MIBC'nin elektrolit varlığında kabarcık birleşmesini gözlemlemek amacıyla $1 \cdot 10^{-3}$ M NaCl ve CaCl_2 çözeltileri içerisinde yine 100 ms temas süresinde 1 ppm MIBC'nin kabarcık birleşmesi deneyleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.13'te verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere, 1 ppm MIBC'de %40 olan oran Na^+ iyonu varlığında %10'a düşmüş hatta Ca^{+2} varlığında neredeyse 0 olmuştur. Bu sonuçlar sudaki çözülmüş iyonların MIBC'nin kabarcıkları stabil hale katkıda bulunduğunu aynı zamanda bu değişimin iyonların etkisinin spesifik olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.13: MIBC'nin elektrolit varlığında kabarcık birleşme profili.

İnorganik elektrolitlerin de kabarcık birleşmesini engellediği ve flotasyon sistemine katkıda bulunduğu literatürden bilinmektedir (Cho ve Laskowski, 2002; Kracht ve Finch, 2010). Bu kapsamda NaCl ve CaCl₂ tuzlar varlığında kabarcık birleşmesi deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.14). Elde edilen sonuçlar Tablo 4.7’de ve her iki tuz varlığında kabarcık birleşme sonuçları da topluca Şekil 4.15’de görülmektedir.



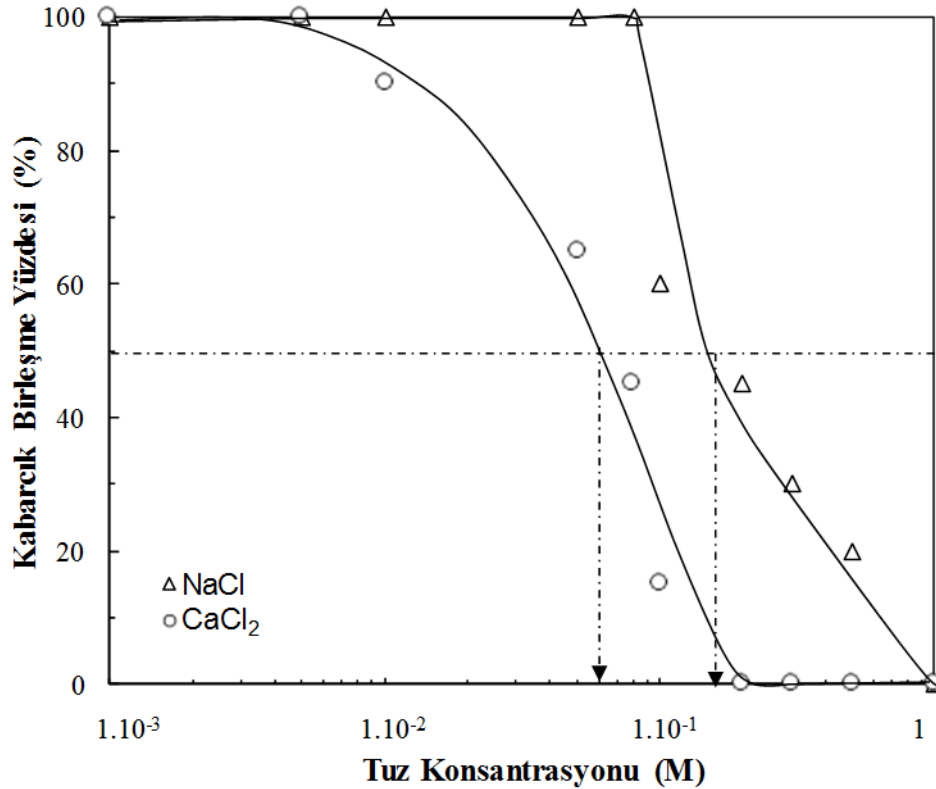
Şekil 4.14: Kabarcık birleşme deneylerinden görüntüler.

Tablo 4.7: Farklı konsantrasyonlardaki NaCl ve CaCl₂ varlığında kabarcık birleşme sonuçları.

	NaCl	CaCl ₂
Konsantrasyon (M)	Kabarcık Birleşme Oranı (%)	Kabarcık Birleşme Oranı (%)
1.10 ⁻³	100	100
5.10 ⁻³	100	100
1.10 ⁻²	100	90
5.10 ⁻²	100	65
8.10 ⁻²	100	45
1.10 ⁻¹	60	15
2.10 ⁻¹	45	0,1
3.10 ⁻¹	30	0,1
5.10 ⁻¹	20	0,1
1	0,10	0,1

Şekil 4.15’ten görüldüğü üzere tuz konsantrasyonu arttıkça kabarcık birleşme oranı da düşmektedir. CaCl₂ için yaklaşık 2.10⁻¹ M’dan sonra NaCl için ise yaklaşık 1 M’dan sonra

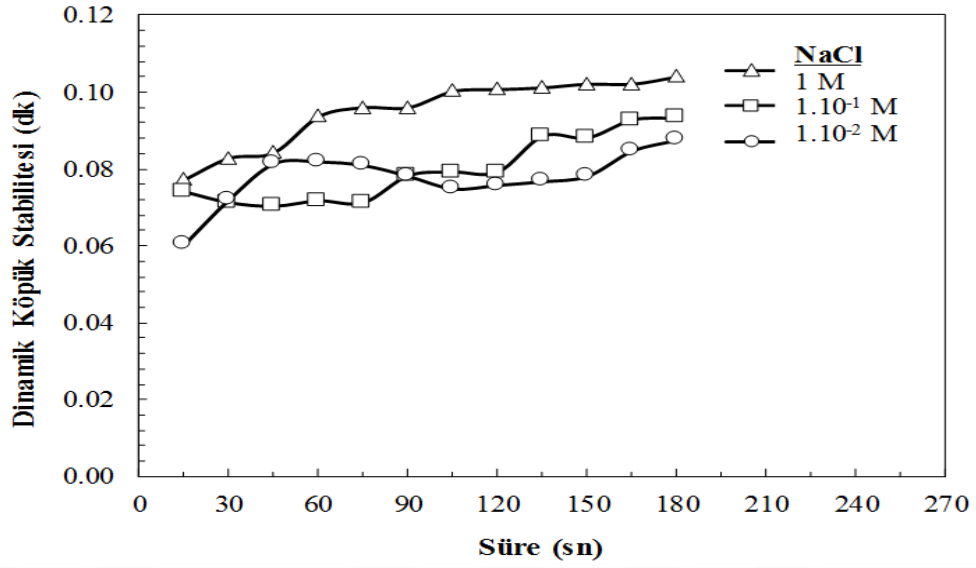
kabarcık birleşmesi olmamıştır. Literatürde kabarcık birleşme sonuçlarına göre %50'değerindeki tuz konsantrasyonu o tuz için “tuz geçiş konsantrasyonu” olarak ifade edilmiştir. Bu kapsamda bu değer CaCl_2 için $6 \cdot 10^{-2}$ M bulunur iken NaCl için $1,5 \cdot 10^{-1}$ M olarak bulunmuştur. Literatür de bu değerler CaCl_2 ve NaCl için sırasıyla $3 \cdot 10^{-2}$ ve $8 \cdot 10^{-2}$ M olarak bulunmuştur ki bu da elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.15: NaCl ve CaCl_2 'nin 100 ms'deki kabarcık birleşme oranlarındaki değişim.

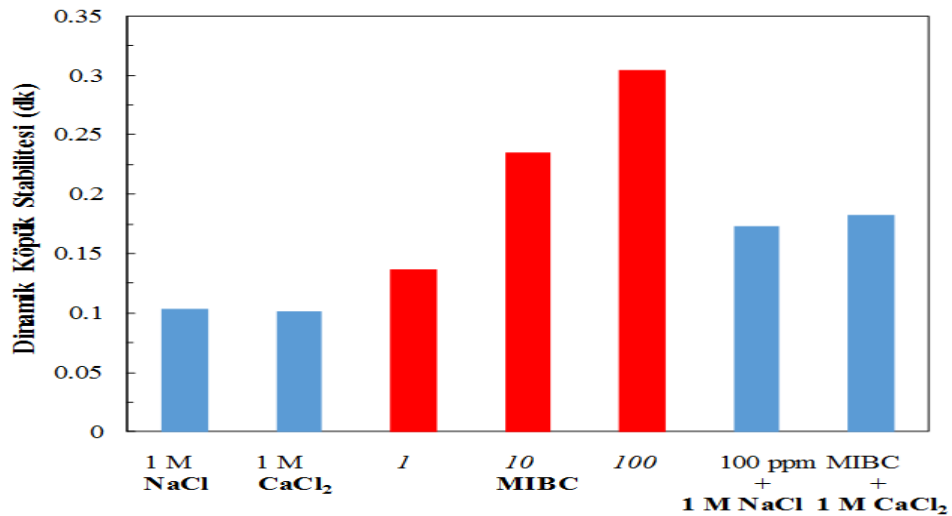
4.3.DİNAMİK KÖPÜK STABİLİTE TESTLERİ

NaCl , CaCl_2 ve MIBC kullanılarak hazırlanan çözeltilerle taş kömürü numunesi ile dinamik köpük stabilite (DKS) deneyleri yapılmıştır. NaCl 'nin $1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-1}$ ve 1 M'da yapılan DKS ölçümleri Şekil 4.16'da görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere tuz konsantrasyonu arttıkça DKS değeri de artmıştır. Bu sonuç tesis suyundaki iyon varlığında özellikle kömür gibi hidrofobik minerallerin hiçbir kimyasal olmadan yüzdürülebileceğini göstermiştir.



Şekil 4.16: NaCl'nün konsantrasyonuna bağlı olarak DKS taş kömürü sonuçları.

Şekil 4.17'de 1 M NaCl ve CaCl₂, 1, 10 ve 100 ppm MIBC, ve 1M NaCl + 100 ppm MIBC, 1M CaCl₂+100 ppm MIBC konsantrasyonlarında yapılan DKS ölçümleri görülmektedir. Sonuçlardan görüleceği üzere, 1 M Na ve Ca konsantrasyonunda ciddi bir fark görülememiştir. MIBC konsantrasyonuna göre yapılmış sonuçlara göre de konsantrasyon arttıkça beklenildiği gibi de köpük stabilitesi artmıştır. Tuz varlığında MIBC ile yapılan DKS sonuçları ise iyon varlığının DKS üzerinde etkisi olmadığını göstermiştir. Bu durumun sebebi tuz konsantrasyonu ile MIBC konsantrasyonu arasında kritik bir oran olabileceği ve bu orandan sonra pozitif etkinin ortadan kalktığı şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.17: Farklı çözeltiler içerisinde DKS taş kömürü sonuçları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kabarcık-tane yapışma süresi ve kabarcık birleşme süresi tanelerin hava kabarcıklarına tutunma ve ayrılma aşamalarında ve dolayısı ile flotasyon verimi üzerinde büyük rol oynarlar. Flotasyon verimi kabarcık-tane yapışma süresi daha kısa, kabarcık birleşme süresi ise daha uzun olduğunda daha fazladır. Dolayısıyla bu sürelerin bilinmesi flotasyonun iyileştirilmesi açısından çok önemlidir.

Bu kapsamda, bu çalışmada, flotasyondaki kabarcık-tane ilişkisinin daha iyi ortaya koymak amacıyla MIBC, NaCl ve CaCl₂ tuzları ile yüzey gerilim deneyleri, kabarcık birleşmesi ve dinamik köpük stabilitesi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tesis suyundaki çözülmüş iyonların etkisini ortaya koyma açısından tek ve çift değerlikli iyonlar (Na⁺ ve Ca⁺²) varlığında MIBC ile yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlk önce MIBC'nin saf su içerisinde konsantrasyona bağlı olarak yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlar ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonra farklı NaCl ve CaCl₂ konsantrasyonlarda 1, 10 ve 100 ppm MIBC konsantrasyonlarda yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 1 ppm, 10 ppm ve 100 ppm MIBC'nin yüzey gerilimi değerleri tuz konsantrasyonu arttıkça düşmektedir. Bu etkinin 10 ppm'den sonra arttığını 100 ppm'de ise maksimum düşüş olduğunu göstermektedir.

Ayrıca her tuz konsantrasyonunda, Ca⁺² iyonunun MIBC'nin yüzey gerilimi değişiminde etkisi Na⁺ iyonuna göre daha fazla olmuştur. Bu da tesis suyu içerisindeki Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² iyonlarının köpürtücülerin yüzey gerilimi değerlerini etkileyeceği ve önceki çalışmalardan da bilindiği üzere bu iyonların flotasyon sonuçları üzerinde iyon spesifik etkisini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar açıkça göstermiştir ki MIBC moleküllerinin tuz iyonları varlığında hava-su arayüzeyine daha fazla adsorplandığını bu da MIBC'nin yüzey aktif özelliğinin arttığını göstermektedir.

İnorganik elektrolitler (NaCl ve CaCl₂) ve yüzey aktif maddeler (MIBC) varlığında kabarcık birleşimini gözlemlemek amacıyla özel deney düzeneği kullanılarak kabarcık birleşme deneyleri gerçekleştirilmiştir. MIBC ile yapılan deneylerde 1 ppm MIBC çözeltisi içerisinde

üretileen kabarcıkların birleşme süresi 800 ms olarak bulunmuş, 10 ve 100 ppm MIBC değerlerinde her temas sürelerinde kabarcıkların birleşmediği gözlemlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, 10 ppm MIBC konsantrasyonunun optimum köpürtücü konsantrasyonu olabileceğini, ayrıca bu konsantrasyonun MIBC için kritik birleşme konsantrasyonu (CCC, critical coalescence concentration) olarak alınabileceğini de ortaya koymuştur.

MIBC'nin elektrolit varlığında kabarcık birleşmesini gözlemlemek amacıyla NaCl ve CaCl₂ çözeltileri içerisinde MIBC'nin kabarcık birleşmesi deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar dan 1 ppm MIBC'de %40 olan oran Na⁺ iyonu varlığında %10'a düşmüş hatta Ca⁺² varlığında neredeyse 0 olduğunu göstermiştir, bu da tesis suyundaki çözülmüş iyonların MIBC varlığında oluşturulacak kabarcıkların daha kararlı olmasında spesifik bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Daha sonra inorganik elektrolitlerin de kabarcık birleşmesini engellediğini ispatlamak için NaCl ve CaCl₂ tuzlar varlığında kabarcık birleşmesi deneyleri yapılmıştır. Her iki tuz varlığında farklı konsantrasyon değerlerinde 100 ms'de yapılan ölçümlerde konsantrasyon arttıkça kabarcık birleşme oranı düşmüştür. Tuz geçiş konsantrasyon değeri olarak yaklaşık 1,5·10⁻¹ M bulunmuştur. Bu değer daha önce yapılan çalışmalarla elde edilmiş NaCl için tuz geçiş konsantrasyon değeri olan 8·10⁻² M'a yakın olarak bulunmuştur. CaCl₂ tuz geçiş konsantrasyon değeri olarak yaklaşık 6·10⁻² M bulunmuştur. Bu değer daha önce yapılan çalışmalarla elde edilmiş CaCl₂ için tuz geçiş konsantrasyon değeri olan 3·10⁻² M'a yakın olarak bulunmuştur. Kabarcık birleşmesi deneylerinde ilk defa denenen bu yöntemle elde edilen sonuçlar, bu yöntemin uygulanabilirliğiyle ilgili bir gelişme olmaktadır.

En sonunda inorganik elektrolitler ve köpürtücü varlığında taş kömürü numunesi kullanılarak dinamik köpük stabilite (DKS) deneyleri gerçekleştirilmiştir. NaCl ile yapılan deneylerde tuz konsantrasyonu arttıkça DKS değeri de artmıştır. Bu sonuç özellikle tesis suyunda olması mümkün olan iyonların kömür gibi hidrofobik mineralleri yüzdürmede herhangi kimyasal kullanılmadan yüzdürülebileceğini göstermiştir. NaCl, CaCl₂ ve MIBC ile yapılan deneylerde, Na ve Ca⁺²'nin DKS üzerinde bariz bir etkisi gözlemlenememiştir. MIBC ile yapılan deneylerde konsantrasyon arttıkça DKS'de artmıştır. MIBC ile tuz varlığında yapılan DKS

deneylerinde ise ortamdaki iyonların DKS üzerinde pozitif bir etkisi olmadığını göstermiştir. Bunun gelecek çalışmalarda daha detaylı incelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma ile klasik kabarcık-tane yapışma süresi tespit cihazı kullanılarak özel bir dizayn ile kabarcık birleşme süresinin tayininde başarı ile uygulandığı ortaya çıkmıştır. Gelecek çalışmalar bu yeni dizaynın daha da geliştirilmesi üzerine olacaktır. Bu çalışmadan elde edilen tecrübe ile daha özgün bir cihazın planlanması da düşünülebilmektedir. Ayrıca hem bu tezden hem de gelecek çalışmalardan elde edilen bulgular ile endüstriyel boyutta flotasyon cihazı ya da diğer kabarcık üretimi ile ilgili cihazların geliştirilmesinde faydalı olacaktır.

Cevher hazırlamada tuzlu suların kullanımı dünyada doğal su kaynaklarının azlığından dolayı kaçınılmazdır. Bu amaçla bu tez çalışmasından çıkan sonuçlar minerallerin tuzlu sular içerisinde flotasyon davranışını anlamada yardımcı olacaktır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile bu iyonlarının flotasyon sonuçları üzerinde iyon spesifik etkisini ortaya koyarak, ayrıca birçok sistemin tuzlu sular içerisinde flotasyon davranışlarını anlamamıza da yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ata, S., and Jameson, G., J., 2005, The formation of bubble clusters in flotation cells, *International Journal of Mineral Processing*, 76, 1-2, 123-139.
- Attension Theta Brochure, 2017, [Ziyaret Tarihi 27.11.2017], http://www.terralab.com.tr/docs/attension/Attension_Theta_Brochure.pdf
- Barbian, N., Ventura-Medina E., and Cilliers, J. J., 2003, Dynamic froth stability in froth flotation, *Minerals Engineering* 16(11): 1111-1116.
- Bekçi, G., 2014, *Çözünmüş Hava Flotasyonu (çhf) Tekniği Kullanılarak Doğal Hidrofob Minerallerin Yüzebilirliğine Çözünmüş İyonların Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bournival, G., et al. (2012). "Examination of NaCl and MIBC as bubble coalescence inhibitor in relation to froth flotation." *Minerals Engineering* 25(1): 47-53.
- Buluç, B., 2015, *Köpürtücülerin Bitümlü Şeyl Flotasyonuna Etkisi ve Kupferschiefer (Polonya) Bakır Cevherine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Birinci, M., 2011, *Dış Manyetik Alanın Flotasyon Sistemine Entegrasyonu ve Manyetik Flotasyonda Demir Minerallerinin Bastırılması*, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Castro, S., Miranda, C., Toledo, P. and Laskowski, J. S., 2013, Effect of frothers on bubble coalescence and foaming in electrolyte solutions and seawater, *International Journal of Mineral Processing*, 124, 8-14.
- Cho, Y., S., Laskowski, J., 2002, Effect of Flotation Frothers on Bubble Size and Foam Stability, *Int. J. Miner. Process.*, 64, 69-80.
- Craig, V., S., J., Ninham, B., W., Pashley, R., M., 1993b, The Effect of Electrolytes on Bubble Coalescence in Water, *J. Phys. Chem.*, 97 (39), 10192-7.
- Craig, V., S., J., 2004, Bubble Coalescence and Specific-ion Effects, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9, 178.
- Çelebi, N., Değim, T., Değim, Z., 2009, *Yüzeylerarası Özellikler*, Modern Farmasötik Teknoloji, In: Acartürk, F. (ed), Bölüm 13, Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Birliği Yayını, İstanbul, s. 243-262.
- Demir, C., Abramov, A., A., Çelik, M., S., 2001, Flotation Separation of Na-feldspar from K-feldspar by Monovalent Salts, *Miner. Eng.*, 14 (7), 733-740.
- Düzyol, S., 2009, *Cevher Hazırlamada Islanabilirliğe Dayanan İşlemlerde Hidrofobisite ve Yüzey Geriliminin Etkisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ersoy, Ö., F., 2014, *Isıl İşlemin Türk Linyitlerinin Tek ve Çift Değerlikli Tuzlar Varlığında Flotasyonuna Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertaş, A., 2010, *Toprak Hidrolik Özellikleri ve Toprak Suyu Yüzey Gerilimi İlişkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gourram-Badri, F., Conil, P., and Morizot, G., 1997, Measurements of selectivity due to coalescence between two mineralized bubbles and characterization of MIBC action on froth flotation, *International Journal of Mineral Processing* 51(1-4): 197-208.
- Gönül, N., 2000, *Çok Fazlı Sistemler*, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, ISBN: 975-482-499-1.
- Guimaraes R., C., Peres, A., E., C., 1999, Interfering Ions in the Flotation of a Phosphate Ore in a Bank Column, *Miner. Eng.*, 12 (7), 757-768.
- Grau, R., A., Laskowski, J., S., Heiskanen, K., 2005, Effect of Frothers on Bubble Size, *Int. J., Miner., Process*, 76, 225-233.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2007, Alternatif Flotasyon Yöntemlerinin Tanıtılması, *Madencilik*, 46 (3), 23-41.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2009, *İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu İçin Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Zonguldak Karalemas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Johansson, G., and Pugh, R. J., 1992, The influence of particle size and hydrophobicity on the stability of mineralized froths, *International Journal of Mineral Processing* 34(1-2): 1-21.
- Kaytaç, Y., 1990, *Cevher Hazırlama*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu.
- Keitel, G., Onken, U., 1982, Inhibition of Bubble Coalescence by solutes in Air/Water Dispersions, *Chem. Eng. Sci.*, 37, 1635-1638.
- Klassen V., I., Kovatchev K., P., 1959, On Mechanism of Action of Inorganic Electrolytes in Flotation of Minerals, *DAN SSSR*, 129, 6, 1356-1358.
- Klassen, V., I., Mokrousov V., A., 1963, *An Introduction to the Theory of Flotation*, London, Butterworths.
- Kracht, W. and J. A. Finch (2010). "Effect of frother on initial bubble shape and velocity." *International Journal of Mineral Processing* 94(3): 115-120.
- Laskowski, J., Iskra, J., 1970, Role of Capillary Effects in Bubble-Particle Collision in Flotation, *Inst. Mining Met., Trans., Sect. C*, 79 (March), C6-C10.
- Laskowski, J., 1994, Flotation of Potash Ores, *Reagents for Better Metallurgy SME*, Littleton, USA.

- Laskowski, J., Cho, Y., S., Ding, K., 2003, Effect of Frothers on Bubble Size and Foam Stability in Potash Ore Flotation System, *Can. J. Chem. Eng.* 81, 63-69.
- Li, C., Somasundaran P., 1993, Role of Electrical Double Layer Forces and Hydrophobicity in Coal Flotation in Sodium Chloride Solutions, *Energy Fuels*, 7 (2), 244-248.
- Marrucci, G., Nicodemo, L., 1967, Coalescence of Gas Bubbles in Aqueous Solutions of I Inorganic Electrolytes, *Chemical Engineering Science*, 22 (9), 1257-1265.
- Merhametli, R., 2013, *Probleme Dayalı Öğretim Modelinin 'Yüzey Gerilimi' Konusunun Öğretimine Uygulanması: Deneysel Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Ozdemir, O., et al. (2009). "Adsorption and surface tension analysis of concentrated alkali halide brine solutions." *Minerals Engineering* 22(3): 263-271.
- Ozdemir, O., Taran, E., Hampton M., A., Karashey S., I., Nguyen A., V., 2009, Surface Chemistry Aspects of Coal Flotation in Bore Water, *International Journal of Mineral Processing*, 92 (3-4), 177-183.
- Ozdemir, O., 2013, Specific Ion Effect of Chloride Salts on Collectorless Flotation of Coal, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49 (2), 511-524.
- Önal, G., Ateşok, G., Perek, K., 2014, *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul, ISBN: 978-975-7946-39-7, 185-235.
- Özdemir, E., 2014, *Oksitlenmiş Kompleks Bakır-Kurşun-Çinko Cevherlerinin Flotasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özer, H., 2007, *Oksit Flotasyonunda Tane Boyutu, Hidrofobiklik, Köpük Yapısı ve Mekanik Taşıma Arasındaki İlişki*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Paulson, O., Pugh R., J., 1996, Flotation of Inherently Hydrophobic Particles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes, *Langmuir*, 12 (20), 4808-4813.
- Pugh, R. J., Weissenborn, P., O., 1997, Flotation in Inorganic Electrolytes – the Relationship between Recover of Hydrophobic Particles, Surface Tension, Bubble Coalescence and Gas Solubility, *International Journal of Mineral Processing*, 51 (1-4), 125-138.
- Rataiczak, T., Drzymala, J., 2003, *Flotacja Solna (Salt Flotation)*, Oficyna Wydawnicza Wrocław University of Technology, Poland.
- Süenal, S., 2011, *Gözenek Büyüklüğü ve Suyun Yüzey Gerilimi Etkileşiminin, Bromun Gözenekli Ortamlarda Taşınmasına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Weissenborn, P., K., Pugh, R. J., 1995, Surface Tension and Bubble Coalescence Phenomena of Aqueous Solutions of Electrolytes, *Langmuir*, 11 (5), 1422-1426.

Yoon, R. H., 1982, Flotation of Coal Using Micro-Bubbles and Inorganic Salts, *Mining Congress Journal*, 6876–6780.

Zeiminski, S., A., Whittemore, R., C., 1971, Behavior of Gas Bubbles in Aqueous Electrolyte Solutions, *Chem. Eng. Sci.*, 26, 509-520.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Elif İşlek
Doğum Yeri	Keşan
Doğum Tarihi	02.05.1987
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05345511207
E-Posta Adresi	elifislek87@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	08.06.2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	23.01.2018